

Garching, 27.07.2008

Presse-Information

Ein Quantensimulator für Quantenmagneten

Forschern am MPQ gelingt Simulation von Quantenmagneten mit Hilfe von Ionenfallen

Ein Buch mit sieben Siegeln ist die Welt der einzelnen Quanten heutzutage nicht mehr. Doch bereits einfache Systeme aus mehreren Quantenteilchen können nicht mehr mit Hilfe klassischer Computer beschrieben und verstanden werden. Der Weg zu universellen Quantencomputern aber ist noch weit. Eine Abkürzung wählten Dr. Tobias Schätz, Leiter der Nachwuchsgruppe „Quantensimulationen“ am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching bei München, und seine Mitarbeiter Hector Schmitz und Axel Friedenauer. Basierend auf einem Vorschlag von Prof. Ignacio Cirac (Direktor am MPQ und Leiter der Abteilung Theorie) und Dr. Diego Porras (MPQ, Abt. Theorie) gelang es ihnen erstmals zu zeigen, dass sich mit Hilfe von in einer Falle gefangenen Ionen Quantensysteme prinzipiell simulieren lassen. Als Modellfall diente ihnen der Übergang eines Quantenmagneten von der paramagnetischen in die ferromagnetische Ordnung (Nature Physics, DOI 10.1038/nphys1032, Advance Online Publication on 27 July 2008). Da das Konzept auf größere Quantensysteme erweiterbar ist, könnten solche Simulationen dazu beitragen, weitgehend ungeklärte Phänomene wie z.B. die Hochtemperatur-Supraleitung besser zu verstehen.

Die seit Jahrtausenden bekannten Phänomene des Magnetismus – z.B. dass Magneten metallische Stoffe anziehen – gehen letztendlich auf atomare Vorgänge zurück: Bei bestimmten Elementen besitzen die Atome einen Eigendrehimpuls, einen so genannten „Spin“, mit dem wiederum ein magnetisches Moment verknüpft ist. Infolge gegenseitiger Wechselwirkung streben sie danach, sich einheitlich auszurichten und von einem ungeordneten und nach außen hin unmagnetischen (paramagnetischen) Zustand in einen streng geordneten ferromagnetischen überzugehen. Liegt ein äußeres Magnetfeld vor, dann legt dieses die Polung der Magnete fest.

Tobias Schätz und seine Mitarbeiter testen die Machbarkeit von Quantensimulationen am Beispiel eines solchen „Phasenübergangs“ für ein einfaches System aus zwei atomaren Elementarmagneten. Das Grundprinzip dabei ist scheinbar einfach: Man modelliert ein Quantensystem, das nicht direkt zugänglich und steuerbar ist, durch ein anderes, an dem sich die analogen Fragestellungen genau studieren lassen, da dessen Verhalten bzw. Eigenschaften gezielt beeinflusst und verändert werden können. Im vorliegenden Experiment werden die beiden Elementarmagnete durch je ein positiv geladenes Magnesium-Ion verkörpert, die in einer „Paul-Falle“ gespeichert und extrem gut von ihrer Umgebung isoliert sind. So wie sich ein Elementarmagnet zum Nord- bzw. Südpol ausrichten kann, so können diese Ionen jeweils einen von zwei Energiezuständen einnehmen.

Der Quantensimulator muss sowohl die Wechselwirkung benachbarter Spins als auch die Wirkung eines äußeren Magnetfeldes auf einen Spin simulieren. Bei den Elementarmagneten legt das Magnetfeld eine Vorzugsrichtung fest. Den analogen Einfluss auf die Energieniveaus der Magnesium-Ionen erreichen die Physiker mit Radiostrahlung. Ein Ion kann dadurch zu einem Übergang in das andere Energieniveau bewegt werden. Die Wechselwirkung zweier Nachbarn miteinander simulieren die Wissenschaftler mit einer stehenden Welle aus zwei

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

Laserstrahlen, die ein Ion – abhängig von seinem jeweiligen Energiezustand – zieht oder schiebt.

Der Übergang von der paramagnetischen in die ferromagnetische Phase wird experimentell folgendermaßen nachvollzogen: Zur Simulation eines statischen äußeren Magnetfeldes wird die Falle mit den zwei Magnesium-Ionen mit Radiowellen bestrahlt. Gleichzeitig wird die Intensität der stehenden Laserwelle kontinuierlich hochgefahren. Wenn die dadurch simulierte Spin-Spin-Wechselwirkung erheblich stärker als das (simulierte) Magnetfeld ist, werden Radio- und Laserstrahlung abgeschaltet. Nun wird untersucht, wie viele Ionen sich in welchem Energieniveau befinden. Dazu nutzt man aus, dass nur eines der beiden Energieniveaus zum Leuchten angeregt werden kann. Senden beide Ionen Licht aus, dann sind sie im gleichen Zustand, es liegt also eine ferromagnetische Phase vor, bei der die Spins (je nach Definition) in Richtung des Nordpols weisen. Leuchtet keines der beiden Ionen, dann handelt es sich wieder um eine ferromagnetische Phase, jedoch mit zum Südpol gerichteten Spins. Leuchtet nur eines, dann sind die beiden benachbarten Ionen in verschiedenen Energiezuständen, was einem Antiferromagneten entspricht.

Unter identischen Bedingungen wird diese Messung etwa 10 000 mal durchgeführt und dann für andere experimentelle Parameter wiederholt, woraus sich die jeweilige Wahrscheinlichkeit für die Ausrichtung der Quantenmagneten zueinander berechnen lässt. Wie die Abbildung zeigt, treten beide ferromagnetischen Phasen mit gleicher Wahrscheinlichkeit auf. Zusätzliche Messungen zeigen, dass der Endzustand des Systems eine kohärente Überlagerung der beiden möglichen ferromagnetischen Ordnungen ist – die Spins sind parallel ausgerichtet, jedoch weisen alle gleichzeitig zum Nord- und zum Südpol. Dieses Phänomen lässt sich nur mit Hilfe der Quantenmechanik beschreiben. „Bei dieser Form der analogen Simulation können wir den Quanten bei der Arbeit zuschauen. Wir können besser verfolgen, welche Einflüsse zu diesen von Einstein „spukhaft“ genannten Überlagerungszuständen führen, die sich in unserer klassischen Anschauung gegenseitig ausschließen“, erklärt Tobias Schätz. „Das hier geschilderte Experiment hat aber vor allem den Charakter einer Machbarkeitsstudie: Wir haben nachgewiesen, dass sich mit einer Ionenfalle einfache Quantensimulationen durchführen lassen“. Die MPQ-Gruppe plant nun, mit neuen Ionenfallen-Techniken größere, letztendlich zweidimensionale Anordnungen aus bis zu 20 mal 20 Ionen zur realisieren. Damit ließen sich bereits komplexe Systeme simulieren und wichtige Fragen der Festkörperphysik adressieren.

Olivia Meyer-Streng

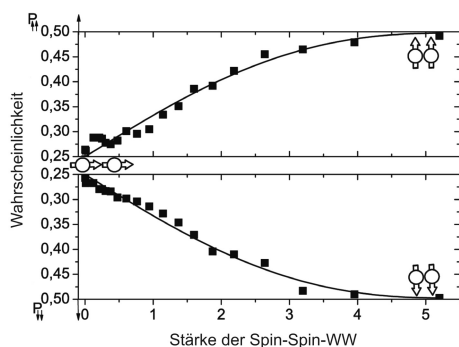


Abb.: Anfänglich sind die Spins des Quantenmagneten individuell zufällig ausgerichtet, das Spin-System ist paramagnetisch. Mit zunehmender Spin-Spin-Wechselwirkung geht das System in einen Zustand über, in dem zwei ferromagnetische Ordnungen gleichzeitig existieren.

Originalveröffentlichung:

Friedenauer, H., H. Schmitz, J.T. Glueckert, D. Porras and T. Schaetz

“Simulating a quantum magnet with trapped ions”

Nature Physics, DOI 10.1038/nphys1032, Advance Online Publication (AOP) on 27 July 2008

Kontakt:

Dr. Tobias Schätz

Telefon: +49 - 89 / 32905 - 199

Fax: +49 - 89 / 32905 - 311

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

Dr. Diego Porras

Telefon: +49 - 89 / 32905 - 343

Fax: +49 - 89 / 32905 - 336

E-Mail: diego.porras@mpq.mpg.de