



PRESSEINFORMATION

FORSCHUNG

Ein Quantenstift für Atome – Laserlicht verändert gezielt Spin-Zustand einzelner Atome

München, 17. März 2011 – Weltweit ringen Physiker derzeit um den besten Weg für die Realisierung eines Quantencomputers. Einem Team um Professor Stefan Kuhr und Professor Immanuel Bloch vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik und der LMU ist nun ein entscheidender Schritt in diese Richtung gelungen: Sie konnten erstmals einzelne Atome mit Laserlicht ansprechen und zu beliebigen Strukturen anordnen. So reihten die Forscher die Atome entlang einer Linie auf und konnten deren Tunneldynamik in einem ‚Wettrennen‘ direkt beobachten. Ein Register aus mehreren Hundert adressierbaren Quantenteilchen könnte nun in einem Quantencomputer der Speicherung und Verarbeitung von Quanteninformation dienen, so die Hoffnung der Forscher. (Nature online, 17. März 2011)

Kalte Atome in optischen Gittern haben sich in den letzten Jahren zu einem interdisziplinären Werkzeug der Quanten- und Festkörperphysik entwickelt, da sie sich unter bestimmten Bedingungen in sehr regelmäßigen Strukturen anordnen - eine wesentliche Voraussetzung dafür, gezielt einzelne Atome ansprechen zu können. Auch Kuhr und Bloch arbeiten mit künstlichen Kristallen aus Licht: Die Physiker kühlten zunächst Rubidium-Atome auf eine Temperatur von einigen Millionstel Grad über dem absoluten Nullpunkt. Dann fixierten sie die Atome in einem optischen Gitter, das durch die Überlagerung mehrerer Laserstrahlen erzeugt wurde. In diesem sogenannten Mott-Isolator werden die Atome ähnlich wie Murmeln in den Mulden eines Eierkartons festgehalten.

Das Team um Kuhr und Bloch zeigte bereits vor einigen Monaten, dass sich in diesem Lichtgitter jeder Platz mit genau einem Atom besetzen lässt. Nun ist es den Forschern gelungen, die auf ihren Gitterplätzen fixierten Atome einzeln anzusprechen und ihre jeweiligen Energiezustände zu ändern. Mithilfe eines Mikroskops fokussierten sie einen Laserstrahl auf einen Durchmesser von etwa 600 Nanometern, was knapp über dem Gitterabstand liegt, und richteten ihn mit hoher Genauigkeit auf einzelne Atome. Dadurch

Luise Dirscherl (Leitung)

Telefon +49 (0)89 2180 - 2706
Telefax +49 (0)89 2180 - 3656
dirscherl@lmu.de

Infoservice:
+49 (0)89 2180 - 3423

Geschwister-Scholl-Platz 1
80539 München
presse@lmu.de
www.lmu.de

Kommunikation und Presse

Telefon +49 (0)89 2180 - 2706
Telefax +49 (0)89 2180 - 3656
[dirtscherl@lmu.de](mailto:dirscherl@lmu.de)

Infoservice:
+49 (0)89 2180 - 3423

ließ sich gezielt die Energiedifferenz zwischen den beiden Spin-Zuständen des Atoms verändern: Atome mit einem Spin, also einem Eigendrehimpuls, verhalten sich wie kleine Magneten, die sich in zwei entgegengesetzte Richtungen ausrichten können.

Werden die Atome nun mit Mikrowellen bestrahlt, die mit dem modifizierten Spin-Übergang in Resonanz sind, dann absorbieren nur die adressierten Atome ein Mikrowellen-Photon, was ein Umklappen ihres Spins zur Folge hat. Alle anderen Atome im Gitter bleiben von dem Mikrowellenfeld unbeeinflusst. Die Methode ist sehr zuverlässig: Um dies zu demonstrieren, klappten die Wissenschaftler nacheinander die Spins aller Atome entlang einer Linie um. Anschließend wurden alle Atome mit umgeklapptem Spin entfernt. Die adressierten Atome werden so als Fehlstellen sichtbar, die leicht gezählt werden können. Auf diese Weise ließ sich nachweisen, dass das Adressieren in 95 Prozent aller Fälle funktioniert.

An 16 Atomen auf benachbarten Gitterplätzen untersuchten die Wissenschaftler, was passiert, wenn die von der Lichtintensität abhängige Gitterhöhe soweit heruntergefahren wird, dass die Teilchen nach den Regeln der Quantenmechanik „tunneln“ dürfen. Dabei gelangen sie von einem Gitterplatz zum nächsten. „Sobald die Gitterhöhe den Punkt erreicht hat, an dem das Tunneln möglich ist, laufen die Teilchen los, ähnlich wie bei einem Pferderennen“, erläutert Christof Weitenberg, Doktorand am Experiment. „Indem wir zu verschiedenen Zeiten nach dem ‚Startschuss‘ Schnapsschüsse von den Atomen im Gitter machten, konnten wir den quantenmechanischen Tunneleffekt erstmals direkt an einzelnen massiven Teilchen in einem Gitter beobachten.“

Die neuen Adressiertechniken ermöglichen viele interessante und kontrollierte Untersuchungen der Dynamik von kollektiven Quantenzuständen wie sie in komplexen Festkörpersystemen auftreten und eröffnet auch in der Quanteninformationsverarbeitung neue Perspektiven: „Ein Mott-Isolator mit genau einem Atom pro Gitterplatz stellt ein natürliches Quantenregister mit mehreren Hundert Quantenbits dar“, sagt Kuhr. „Das ist die ideale Ausgangsbasis für skalierbare Quanteninformationsverarbeitung. Wir haben gezeigt, dass wir einzelne Atome gezielt speichern und adressieren können. Damit das Atom als Quantenbit taugt, müssen wir auch noch kohärente Überlagerungen seiner beiden Spin-Zustände erzeugen können. Erst dann lassen sich zum Beispiel elementare Logikoperationen zwischen zwei bestimmten Atomen im Gitter, sogenannte Quantengatter, realisieren.“ (MPQ/göd)

Publikation:

Christof Weitenberg, Manuel Endres, Jacob F. Sherson, Marc Cheneau, Peter Schauß, Takeshi Fukuhara, Immanuel Bloch, and Stefan Kuhr; „Single-Spin Addressing in an Atomic Mott Insulator“; Nature, DOI: 10.1038/nature09827

Ansprechpartner:

Prof. Dr. Stefan Kuhr
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Tel.: 089 / 32905 – 738
E-Mail: stefan.kuhr@mpq.mpg.de

Prof. Dr. Immanuel Bloch
Lehrstuhl für Physik an der LMU
Tel.: 089 / 32905 – 138
E-Mail: immanuel.bloch@mpq.mpg.de

Web: <http://www.quantum-munich.de>

Kommunikation und Presse

Telefon +49 (0)89 2180 - 2706
Telefax +49 (0)89 2180 - 3656
[dirtscherl@lmu.de](mailto:dirscherl@lmu.de)

Infoservice:
+49 (0)89 2180 - 3423