

Garching, 26. Januar 2012

Presse-Information

Tempolimit auf dem Quanten-Highway

Physiker am Max-Planck-Institut für Quantenoptik messen die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Quantensignalen in einem Vielteilchensystem.

Quantencomputer, in denen Quantenteilchen die Aufgaben der klassischen Bits übernehmen, können im Prinzip eine vielfach höhere Rechenleistung erzielen als herkömmliche Rechner. Aber wie effizient und wie schnell können Quantencomputer wirklich werden? Wo werden ihre Grenzen liegen? Dies hängt kritisch davon ab, mit welcher Geschwindigkeit ein Quantensignal innerhalb eines Quantenprozessors übertragen werden kann. Die Ausbreitung solcher Quantensignale haben nun Physiker aus der Abteilung Quanten-Vielteilchensysteme am Max-Planck-Institut für Quantenoptik (Garching bei München) in einem festkörperähnlichen System erstmals direkt beobachtet (Nature, DOI:10.1038/nature10748), in enger Zusammenarbeit mit theoretischen Physikern der Universität Genf. In einem streng geordneten Gitter aus einzelnen Rubidiumatomen erzeugten sie eine Quantenstörung – ein „verschränktes“ Paar aus einem doppelt besetzten und einem leeren Gitterplatz. Mit Hilfe mikroskopischer Verfahren verfolgten sie, wie dieses Signal von Gitterplatz zu Gitterplatz wandert. „Diese Messung gibt uns erstmals Auskunft darüber, wie ein ganz elementarer Prozess bei der Ausbreitung von Quantensignalen abläuft“, erklärt Prof. Immanuel Bloch, der Leiter der Abteilung Quanten-Vielteilchensysteme.

Die Übermittlung und Verarbeitung von Information in Quantencomputern beruht auf fundamental anderen Konzepten als in klassischen Computern. Das liegt an den gravierenden Unterschieden zwischen Quantenteilchen und klassischen Objekten. Während letztere z.B. entweder schwarz oder weiß sind, können Quantenteilchen beide Farben gleichzeitig haben. Erst beim Messvorgang entscheiden sie sich für eine der beiden möglichen Eigenschaften. Aufgrund dieser Besonderheit können zwei Quantenobjekte einen gemeinsamen „verschränkten“ Zustand bilden, in dem ihre Eigenschaften fest verknüpft, d.h. *quantenkorreliert* sind. Dafür, wie schnell sich eine solche *Quantenkorrelation* nach ihrer Erzeugung in einem Medium ausbreitet, gibt es derzeit keine allgemeinen Vorhersagen.

Die Physiker in der Abteilung Quanten-Vielteilchensysteme haben nun einen solchen Prozess direkt beobachtet. Dabei experimentieren sie mit einem extrem kalten Gas aus Rubidiumatomen. Mit Lichtfeldern strukturieren sie das Ensemble derart, dass sich die Atome nur noch entlang eindimensionaler, parallel verlaufender Röhren bewegen dürfen. Diesen Röhren wird schließlich eine stehende Laserwelle überlagert, so dass sich die Atome in einer periodischen Folge heller und dunkler Gebiete befinden. Hier ordnen sich die Teilchen zu einer regelmäßigen Gitterstruktur an: in jedem hellen Gebiet sitzt genau ein Atom wie in einer Mulde, die von der nächsten Mulde durch eine Barriere getrennt ist.

Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit
Dr. Olivia Meyer-Streng

Tel.: 089 / 32 905-213
E-Mail: olivia.meyer-
streng@mpq.mpg.de

Hans-Kopfermann-Str. 1
D-85748 Garching

Tel.: 089 / 32 905-0
Fax: 089 / 32 905-200

Über die Laserintensität lässt sich die Höhe der Barriere zwischen den Mulden steuern. Am Anfang ist diese so hoch, dass die Atome auf ihren Plätzen fixiert sind und nicht zum Nachbarplatz wandern können. Dann wird quasi „auf Knopfdruck“ die Barriere so weit erniedrigt, dass das System aus dem Gleichgewicht gerät und lokale Störungen entstehen. Denn unter den neuen Bedingungen darf das eine oder andere Atom die Barriere „durchtunneln“ und auf seinen Nachbarplatz gelangen. Auf diese Weise entstehen vereinzelt verschränkte Paare aus je einem doppelt besetzten Gitterplatz (Doublon genannt) und einem leeren Gitterplatz, einem Loch oder auch „Holon“ (von dem englischen Wort „hole“ abgeleitet). Nach einem von einem Team um Prof. Corinna Kollath (Universität Genf) entwickelten Modell wandern Doublon und Holon wie echte Teilchen durch das System, und zwar in entgegengesetzte Richtungen (siehe Abb.). „Für ein verschränktes Paar ist zunächst nicht definiert, ob das Holon rechts oder links vom Doublon ist. Beide Konstellationen sind gleichzeitig vorhanden“, erläutert Dr. Marc Cheneau, Wissenschaftler in der Abt. Quanten-Vielteilchensysteme. „Aber wenn ich einen doppelt besetzten Platz oder ein Loch sehe, dann weiß ich, wo ich das jeweilige Gegenstück finde. Das ist die Korrelation, von der wir sprechen.“

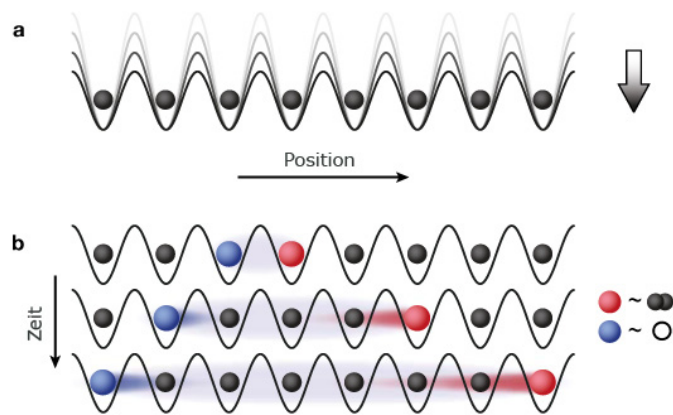
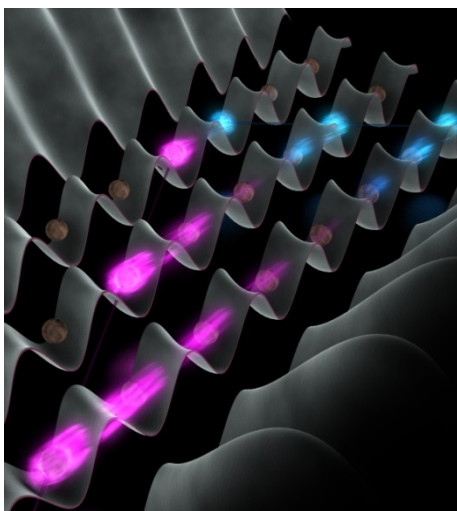


Abb.: Ausbreitung von Quantenkorrelationen in einem optischen Gitter.

Links: künstlerische Darstellung (Grafik: woogie works animation studio). Rechts: a) Im Anfangszustand ist jeder Gitterplatz mit genau einem Atom besetzt. Dann wird die Barriere abrupt erniedrigt, und das System gerät aus dem Gleichgewicht. b) Nach dem Herunterfahren der Barriere entsteht ein Paar aus einem Doublon und einem Holon, die sich in entgegengesetzte Richtungen ausbreiten. (Grafik: MPQ)

Nun beobachten die Wissenschaftler, wie sich die Korrelationen in dem System ausbreiten. Dies gelingt mit einem neuartigen Mikroskopieverfahren, das einzelne Atome auf ihren jeweiligen Gitterplätzen sichtbar macht. Vereinfacht ausgedrückt, werden in bestimmten Zeitabständen immer wieder Schnappschüsse von den Atomen im Gitter gemacht, die zeigen, wo sich die Doublon- und Holon-Teilchen gerade befinden. Aus der Strecke, die sich die beiden Partnerteilchen in einem bestimmten Zeitraum voneinander entfernt haben, lässt sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der jeweiligen Korrelation bestimmen. Diese Messergebnisse sind in guter Übereinstimmung mit den Werten, die sich aus dem oben erwähnten Modell ergeben.

„Wenn Quanteninformation mit Lichtquanten übertragen wird, ist die Sache klar: die Daten werden mit Lichtgeschwindigkeit weiter gegeben“, erklärt Dr. Cheneau. „Anders sieht es aus, wenn Quantenbits oder Quantenregister mit Festkörperstrukturen realisiert werden. Hier muss die Quantenkorrelation von Bit zu Bit weiter gereicht werden. Wenn wir verstehen, wie schnell dieser Prozess ablaufen kann, wissen wir auch, was die Geschwindigkeit zukünftiger Quantenprozessoren begrenzen könnte.“ *Olivia Meyer-Streng*

Originalveröffentlichung:

Marc Cheneau, Peter Barmettler, Dario Poletti, Manuel Endres, Peter Schauß, Takeshi Fukuhara, Christian Gross, Immanuel Bloch, Corinna Kollath and Stefan Kuhr

Light-cone-like spreading of correlations in a quantum many-body system

Nature, DOI:10.1038/nature10748

Kontakt:**Prof. Dr. Immanuel Bloch**

Lehrstuhl für Quantenoptik, LMU München
Schellingstr. 4, 80799 München, und
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1
85748 Garching b. München
Tel.: +49 89 / 32905 -138
E-Mail: immanuel.bloch@mpq.mpg.de

Prof. Dr. Stefan Kuhr

University of Strathclyde
Department of Physics
107 Rottenrow East
Glasgow G4 0NG, U.K.
Tel.: +44 141 / 548-3364
E-Mail: stefan.kuhr@strath.ac.uk

Dr. Marc Cheneau

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Straße 1
85748 Garching b. München
Tel.: +49 89 / 32905 -631
E-Mail: marc.cheneau@mpq.mpg.de

Prof. Dr. Corinna Kollath

Département de Physique Théorique
Université de Genève
24, Quai Ernest Ansermet
1211 Genève, Switzerland
Tel.: +41 22 / 37 96 241
E-Mail: corinna.kollath@unige.ch