

Garching, 20. Februar 2015

Presse-Information

Quanten-Vielteilchensysteme auf dem Weg zurück zum Gleichgewicht

Fortschritte in der experimentellen und theoretischen Physik ermöglichen ein tieferes Verständnis der Dynamik und Eigenschaften von Quanten-Vielteilchensystemen

Bedenkt man, wie viele Teilchen in einem Kubikzentimeter Luft oder Festkörper enthalten sind (ca. 10^{19} bis 10^{23}), so ist es eigentlich kaum vorstellbar, dass Physiker heute im Labor Ensembles aus nur wenigen Hundert oder sogar nur einer Handvoll Atome präparieren können. Noch dazu haben sie ihre Methoden so verfeinert, dass sie die Teilchen einzeln oder als Gesamtheit gezielt manipulieren und die Wechselwirkungen zwischen ihnen steuern können. Aufgrund neuer numerischer Verfahren, leistungsfähiger Computer, sowie neuer theoretischer Modelle hat die theoretische Beschreibung solcher Quanten-Vielteilchensysteme nicht weniger Fortschritte gemacht. In einem jüngst in der Zeitschrift *Nature Physics* (3. Februar 2015) veröffentlichten Artikel geben Prof. Dr. Jens Eisert, Mathis Friesdorf (beide vom Dahlem Center for Complex Quantum Systems, Freie Universität Berlin) und Dr. Christian Gogolin, Postdoc-Wissenschaftler in der Abteilung Theorie von Prof. Ignacio Cirac am MPQ (Garching) und Research Fellow am ICFO (Barcelona), einen Überblick, welche Arten von Systemen bereits realisiert werden konnten, wie deren Verhalten theoretisch gedeutet wird und welche Entwicklungen in Zukunft zu erwarten sind.

Besonders aufschlussreich bei der Untersuchung von Quanten-Vielteilchensystemen sind die Prozesse, die ablaufen, wenn das System nach einer externen Störung wieder in einen Gleichgewichtszustand strebt. Hier gilt es die Brücke zu schlagen zwischen der mikroskopischen Beschreibung der lokalen, quantenmechanischen Dynamik auf der einen Seite, und der bekannten statistischen Behandlung großer Teilchenensembles auf der anderen. Welcher Ansatz die Oberhand behält, hängt entscheidend von der Größe des Systems und der Art der Wechselwirkung zwischen den Teilchen ab.

In vielen Experimenten werden heute lokale Systeme aus wenigen Teilchen realisiert, zwischen denen Wechselwirkungen mit sehr kurzer Reichweite herrschen. Von besonderer Bedeutung hierbei sind Experimente mit ultrakalten Quantengasen in sogenannten optischen Gittern (dabei handelt es sich im Wesentlichen um Gitter aus stehenden Wellen, die durch gegenläufige Laserstrahlen erzeugt werden). Solche Systeme können z.B. als Modelle für ferromagnetische Materialien dienen.

Ein sehr interessanter Gesichtspunkt in der Festkörperphysik, der ebenfalls mit diesen Systemen untersucht werden kann, ist Transport – etwa der von Elektronen und damit elektrischer Ladung in einem Kristall. In enger Zusammenarbeit finden experimentelle und theoretische Physiker dabei z.B. heraus, von welchen Parametern Eigenschaften wie die Leitfähigkeit bestimmt werden, oder wie Defekte und störende Einflüsse die Mobilität von Teilchen beeinflussen.

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

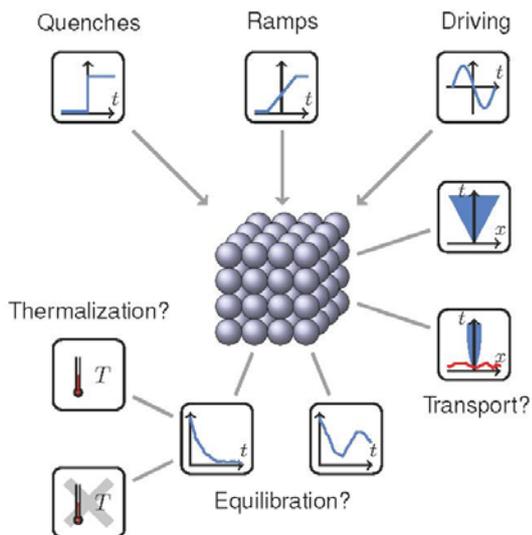


Abb.: Illustration der verschiedenen Möglichkeiten, Quanten-Vielteilchensysteme zu beeinflussen. (Abteilung Theorie, MPQ)

Größeren Quanten-Vielteilchensystemen nähern sich die Theoretiker gerne mit statistischen, der Thermodynamik entlehnten Methoden. Von besonderer Bedeutung ist hier die zeitliche Entwicklung des Systems, wenn man globale Parameter – etwa die Temperatur oder externe Felder – verändert. Eine solche Änderung kann ganz plötzlich und einmalig stattfinden, aber sich auch über einen gewissen Zeitraum hinziehen oder periodisch wiederholen.

Die Wissenschaftler gehen dabei der Frage nach, ob, wie und nach welchen Zeitspannen das System einen neuen Gleichgewichtszustand erreicht hat. In vielen Systemen lassen sich bei bestimmten „kritischen“ Werten der Parameter Übergänge in eine andere „Phase“ beobachten, bei denen sich die Systemeigenschaften dramatisch ändern – ähnlich dem Schmelzen von Eis oberhalb von Null Grad Celsius. Die Dynamik solcher Phasenübergänge zu verstehen ist für Theoretiker auch heute noch eine große Herausforderung.

Bewährt haben sich Quanten-Vielteilchensysteme bereits als Simulatoren von großen Systemen, z.B. mehrdimensionalen Gittersystemen, deren Nicht-Gleichgewichtsverhalten mit analytischen und numerischen Verfahren nicht mehr erfasst werden kann. Experimentelle Systeme mit ultrakalten Atomen in optischen Gittern stellen hier analoge Modelle dar, mit denen sich diese Grenzen überwinden lassen. In diesem Sinne können die Systeme auch als analoge Quantencomputer dienen, deren Leistung die von klassischen Computern bei bestimmten Aufgaben übertrifft.

Bei allen Fortschritten in der Erforschung von Quanten-Vielteilchensystemen sind noch viele Fragen offen. Zwar sind einzelne Schritte auf dem Weg in den Gleichgewichtszustand mittlerweile verstanden, doch wovon die Zeitskalen abhängen, auf denen diese Relaxationsprozesse ablaufen, ist bislang nur unzureichend verstanden. Darüber hinaus möchten die Wissenschaftler in Zukunft nicht nur geschlossene Systeme untersuchen, sondern auch solche, in denen es durch die Wechselwirkung mit der Umgebung zu Rauschen und Dissipation kommt. Diese an sich schädlichen Prozesse könnten, wenn sie wohl kontrolliert sind, genutzt werden, um interessante Materiezustände zu präparieren. *Olivia Meyer-Streng*

Originalveröffentlichung:

J. Eisert, M. Friesdorf and C. Gogolin

Quantum many-body systems out of equilibrium

Nature Physics, 3 February 2015, DOI:10.1038/Nphys3215

Kontakt

Prof. Dr. Ignacio Cirac

Honorarprofessor, TU München
Direktor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Str. 1, 85748 Garching
Telefon: +49 (0)89 / 32 905 -705/-736
Telefax: +49 (0)89 / 32 905 -336
E-Mail: ignacio.cirac@mpq.mpg.de

Dr. Olivia Meyer-Streng

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching b. München
Telefon: +49 (0)89 / 32 905 -213
E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de

Dr. Christian Gogolin

ICFO - The Institute of Photonic Sciences
Mediterranean Technology Park,
Av. Carl Friedrich Gauss, 3,
08860 Castelldefels (Barcelona), Spanien
Telefon: +34 935 54 22 37
E-Mail: christian.gogolin@icfo.es