

SPERRFRIST: 23.05.2013, BIS 20.00 UHR MEZ

---

Atome ahmen Verhalten von Elektronen nach

## Ein Quantensimulator für magnetische Materialien

Zürich, 23.05.2013. **Physiker der ETH Zürich haben einen Quantensimulator entwickelt, in dem Atome das Verhalten von Elektronen in magnetischen Materialien nachahmen. Damit können schwierig zu verstehende Eigenschaften neuartiger Materialien systematisch untersucht werden, was letztlich auch zur Entwicklung neuer magnetischer Materialien führen könnte.**

Weshalb ein Kühlschrankmagnet an bestimmten metallischen Oberflächen haften bleibt, das verstehen Physiker in jedem Detail. Magnetische Materialien existieren jedoch auch in exotischen Varianten, deren Eigenschaften trotz jahrzehntelanger Forschung noch weitgehend unverstanden sind. Tilman Esslinger und seine Gruppe am Institut für Quantenoptik und -elektronik haben nun einen wesentlichen Schritt unternommen, diese Lücken zu schliessen. Das Team kombiniert Laserstrahlen und Atome so miteinander, dass Strukturen entstehen, die sich exakt wie magnetische Materialien verhalten. Diese Methode verspricht grundlegende Erkenntnisse zu magnetischen Materialien zu liefern, die über das hinausgehen, was heutzutage mit theoretischen und computergestützten Methoden möglich ist. Die Arbeit könnte Forschern auch helfen, neue Materialien zu finden, die interessante Eigenschaften hinsichtlich zukünftiger Technologien und Anwendungen besitzen.

### Das Konzert der winzigen Magneten

Magnetische Materialien verdanken ihre Eigenschaften einem komplexen Wechselspiel einer Vielzahl von winzigen Magneten, die in der Regel in der Form von einzelnen Elektronen vorliegen. Beobachtbarer Magnetismus tritt dann auf, wenn diese magnetischen Bausteine in bestimmten Mustern angeordnet sind, in denen sie durch quantenmechanische Wechselwirkungen festgehalten werden. Ein typischer Kühlschrankmagnet, zum Beispiel, besteht aus mehreren ferromagnetischen Teilstücken und in jedem Segment sind sämtliche Elementarmagnete parallel zueinander ausgerichtet, woraus das magnetische Verhalten resultiert.

In anderen magnetischen Materialien ist die Situation weniger anschaulich, da die magnetischen Bausteine in komplizierteren Mustern angeordnet sind. Ein Beispiele hierfür sind die sogenannten Quanten-Spin-Flüssigkeiten, in welchen die Elementarmagnete in einer Weise wechselwirken, die sie daran hindert, jemals in einem geordneten Zustand vorzuliegen. Physiker und Materialwissenschaftler sind an solchen unkonventionellen Magneten interessiert, weil sie grundlegende Probleme der Vielteilchen-Quantenphysik verkörpern, aber auch, weil diese Materialien Eigenschaften besitzen, die eine Grundlage bilden könn-

ten für zukünftige magnetische Speichermedien oder für neuartige Formen der Informationsverarbeitung.

### **Quantensysteme mit Quantensystemen simulieren**

Anders als im Fall von Kühlschrankmagneten lässt sich das Verhalten von Quanten-Spin-Flüssigkeiten und anderen exotischen magnetischen Zuständen, heutzutage nur sehr begrenzt voraussagen. Es ist ein hartnäckiges Problem, da die Wechselwirkung zwischen hunderten von Elementarmagneten berücksichtigt werden muss. Die Komplexität dieses Problems erklärt denn auch, warum viele magnetische Materialien — aber auch viele idealisierte Modellsysteme — heute nur unvollständig verstanden sind. Das fehlende Verständnis behindert Fortschritte in der Nutzung und Weiterentwicklung dieser Materialien.

Da herkömmliche Methoden für diese komplizierten Systeme häufig unzureichend sind, verfolgen Esslinger und seine Mitarbeiter einen gänzlich anderen Ansatz. Sie schaffen künstliche Materialien, die das Material, welches sie ursprünglich studieren wollen, replizieren. Mit anderen Worten, um das eigentliche Material zu untersuchen, führen die Wissenschaftler ihre Messungen an einem künstlich erschaffenen Gegenstück durch, das leichter zu handhaben ist und in dem wichtige Parameter (wie etwa die Stärke der Wechselwirkung zwischen den Elementarmagneten) verändert werden können.

Esslinger und sein Team schaffen ihre künstlichen Materialien, indem sie Atome verwenden, die sich im Wesentlichen wie Elektronen verhalten. Diese bringen sie dann in einen «Kristall» ein der durch eine Überlagerung mehrerer Laserstrahlen erzeugt wird. Sowohl die Laserstrahlen wie auch die gefangenen Atome können mit grosser Genauigkeit gesteuert werden. «Auf diese Weise können wir das quantenmechanische Verhalten von verschiedenen magnetischen Materialien simulieren», sagt Esslinger.

### **Vom Modell zur Anwendung**

Die Erkundung von Eigenschaften eines quantenmechanischen Systems mit Hilfe eines anderen, das besser kontrollierbar ist, wird als Quantensimulation bezeichnet. In den vergangenen Jahren haben Physiker in diversen Forschungsgruppen intensiv daran gearbeitet, einen Quantensimulator für magnetische Materialien zu entwickeln – diese spezifische Anwendung gilt als eines der wichtigsten Ziele in diesem Feld. Esslinger und seinem Team ist es jetzt erstmals gelungen, ein Experiment aufzubauen, in dem das Verhalten einer grossen Anzahl von Elektronen in einem magnetischen Material direkt reproduziert wird. «Der Schlüssel zu unserem Erfolg ist eine Methode, die es uns ermöglicht, die extrem niedrigen Temperaturen zu erreichen, die benötigt werden, um Quantenmagnetismus erkunden zu können», erklärt Daniel Greif, Doktorand in der Gruppe von Esslinger und Erstautor der Studie. Ihre neue Methode ermöglichte es den Physikern, ein magnetisches System mit 5'000 Atomen zu erschaffen. Gemeinsam mit der Arbeitsgruppe von Matthias Troyer, Professor am Institut für Theoretische Physik, untersuchen sie derzeit, ob das Verhalten dieses Systems auf einem herkömmlichen Computer nachvollzogen werden kann.

Quantensimulatoren bieten die Möglichkeit, verschiedenste Szenarien durchzuspielen, wie Elektronen in einem magnetischen Material miteinander wechselwirken. Die Ergebnisse solcher Simulationen können dann mit dem Verhalten natürlicher magnetischer Materialien verglichen werden. Es besteht aber auch die Aussicht darauf, magnetische Zustände zu entdecken, die bisher noch nicht in natürlichen Materialien gesehen wurden. Dies wiederum könnte zu neuen Anwendungen führen, sagt Esslinger: «Die Triebfeder hinter neuen Technologien ist oft die Entwicklung neuer Materialien, wie etwa Hochtemperatur-Supraleiter, Graphen oder eben neue magnetische Materialien.»

Original: Greif D, Uehlinger T, Jotzu G, Tarruell L, Esslinger T: Short-range quantum magnetism of ultracold fermions in an optical lattice. Science, 2013

#### Weitere Informationen

ETH Zürich  
Prof. Tilman Esslinger  
Institut für Quantenelektronik  
Telefon: +41 44 633 23 40  
[esslinger@phys.ethz.ch](mailto:esslinger@phys.ethz.ch)

ETH Zürich  
Claudia Naegeli  
Medienstelle  
Telefon: +41 44 632 41 41  
[mediarelations@hk.ethz.ch](mailto:mediarelations@hk.ethz.ch)