



Spiralförmig geordnete Elektronen- und Kernspins in Quantendrähten

Spiralförmig geordnete Elektronen- und Kernspins in Quantendrähten
Für ihr Experiment benutzten die Forscher um Prof. Dominik Zumbühl vom Departement Physik der Universität Basel sogenannte Quantendrähte aus dem Halbleiterwerkstoff Galliumarsenid. Dabei handelt es sich um eindimensionale Strukturen, bei denen sich Elektronen nur in einer Raumrichtung bewegen können. Bei Temperaturen über zehn Kelvin wiesen die Quantendrähte eine universelle, quantisierte Leitfähigkeit auf, deren Wert auf einen ungeordneten Zustand der Elektronenspins hinweist. Kühlten die Forscher die Drähte mit flüssigem Helium aber auf eine Temperatur unter hundert Millikelvin (0,1 Kelvin) ab, zeigten die elektronischen Messungen einen um die Hälfte reduzierte Leitfähigkeit, was auf eine kollektive Ausrichtung der Elektronenspins schliessen lässt. Dieser Zustand blieb auch konstant, als die Forscher die Probe auf noch tiefere Temperaturen bis zehn Millikelvin herunterkühlten. Kopplung von Kernen und Elektronen
Die Resultate sind deshalb aussergewöhnlich, weil zum ersten Mal eine Kernspinordnung schon bei rund 0,1 Kelvin gemessen werden konnte. Dass sich eine spontane Ordnung der Kernspins bildet, liess sich meist erst unter einem Mikrokkelvin beobachten, also bei einer um fünf Grössenordnungen tieferen Temperatur. Die Erklärung, weshalb eine Kernspinordnung schon bei 0,1 Kelvin möglich ist, liegt darin, dass die Kerne der Gallium- und der Arsenatome in Quantendrähten an die Elektronen koppeln und diese wiederum auf die Kerne rückwirken. Durch diese Kopplung verstärkt sich die Wechselwirkung zwischen den magnetischen Momenten, was zur Ordnung der Kern- und Elektronenspins führt. Diese wird zusätzlich durch den Umstand stabilisiert, dass sich die Elektronen in den eindimensionalen Quantendrähten nicht ausweichen können, wodurch sie stark miteinander wechselwirken.
Spiralförmige Ordnung der Elektronen- und Kernspins
Im geordneten Zustand zeigen die Spins der Elektronen und der Atomkerne allerdings nicht alle in dieselbe Richtung, sondern ihre Ausrichtung war entlang des Quantendrahts spiralförmig verdreht. Diese Anordnung der Spins in Form einer Helix, wird von einem theoretischen Modell vorausgesagt, das Physiker um Prof. Daniel Loss von der Universität Basel bereits 2009 beschrieben hatten. Demnach halbiert sich die Leitfähigkeit bei einer spiralförmigen Anordnung der Kernspins. Alle anderen heute bekannten Theorien sind mit den Daten aus dem Experiment nicht vereinbar. Schritt hin zur Entwicklung von Quantenrechnern
Die Resultate des Experiments sind für die Grundlagenforschung von grosser Bedeutung, aber auch für die Entwicklung von Quantenrechnern interessant, die auf Elektronenspins beruhen und diese als Informationseinheit verwenden (vorgeschlagen 1997 von Daniel Loss and David P. DiVincenzo). Um mit Elektronenspins rechnen zu können, müssen sie für lange Zeit stabil gehalten werden. Doch die schwierig zu kontrollierenden Kernspins stellen für die Stabilität der Elektronenspins eine grosse Fehlerquelle dar. Die Arbeit der Basler Physiker zeigt nun einen Weg auf, wie sich die Störung durch Kernspins beheben lässt. Denn durch die im Experiment erreichte Ordnung der Kernspins lassen sich vielleicht in den Quantendrähten viel stabilere Informationseinheiten erzeugen. Zudem lassen sich die Kernspins mit elektrischen Feldern steuern, was bisher nicht möglich war: Durch das Anlegen einer elektrischen Spannung werden die Elektronen aus dem Halbleiter hinausgeworfen, wodurch sich die Elektron-Kern-Kopplung und die spiralförmige Ordnung der Spins wieder auflöst. Internationale Forschungszusammenarbeit
Die Arbeit wurde von einem internationalen Team um Prof. Dominik Zumbühl vom Departement Physik der Universität Basel ausgeführt. Bei den Messungen wurden die Basler Physiker von der Harvard University unterstützt (Prof. Amir Yacoby); die Nanodrähte stammen von der Princeton University (Loren N. Pfeiffer und Ken West). Die Forschung wurde vom Europäischen Forschungsrat, vom Schweizerischen Nationalfonds, vom Basler Zentrum für Quantencomputing und Quantenkohärenz (Basel QC2 Center), vom Swiss Nanoscience Institute und vom Nationalen Forschungsschwerpunkt Quantenwissenschaften und -technologie (QSIT) mitfinanziert.
Originalbeiträge
Experiment: C. P. Scheller, T.-M. Liu, G. Barak, A. Yacoby, L. N. Pfeiffer, K. W. West, and D. M. Zumbühl
Possible Evidence for Helical Nuclear Spin Order in GaAs Quantum Wires
Physical Review Letters, published 10 February 2014 | doi: 10.1103/PhysRevLett.112.066801
Theorie: B. Braunecker, P. Simon, and D. Loss
Nuclear magnetism and electron order in interacting one-dimensional conductors
Physical Review B, published 16 October 2009 | doi: 10.1103/PhysRevB.80.165119
Weitere Auskünfte
Prof. Dr. Dominik Zumbühl, Universität Basel, Departement Physik, Tel. +41 61 267 36 93, E-Mail: dominik.zumbuhl@unibas.ch
Prof. Dr. Daniel Loss, Universität Basel, Departement Physik, Tel. +41 61 267 37 49, E-Mail: daniel.loss@unibas.ch

Pressekontakt

Universität Basel

4003 Basel

dominik.zumbuhl@unibas.ch

Firmenkontakt

Universität Basel

4003 Basel

dominik.zumbuhl@unibas.ch

Weitere Informationen finden sich auf unserer Homepage