

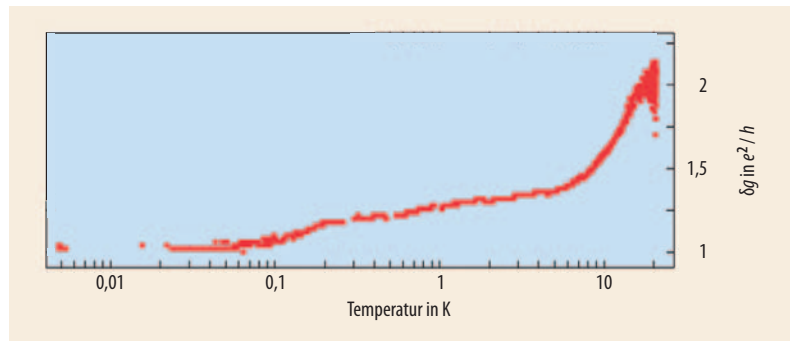
Spins in Spiralform?

Tiefe Temperaturen halbieren den Leitwert in Quantendrähten.

In Quantendrähten ist die Bewegung von Elektronen auf nur eine Dimension beschränkt. Dies gelingt z. B. durch das atomar kontrollierte Züchten von eindimensionalen Kristallgrenzflächen in Halbleitern. Wie groß der Leitwert bei einem derartigen perfekten, eindimensionalen elektrischen Transport ausfällt, ist im Prinzip seit über einem halben Jahrhundert bekannt: $2 \cdot e^2/h$ [1]. Der Faktor zwei beschreibt dabei die Spinartung, da der Spin von wechselwirkungsfreien Elektronen zwei unterschiedliche Werte annehmen kann.

Die genannte Leitwertquantisierung ließ sich in Quantendrähten und in so genannten Quantenpunktkontakten experimentell bestätigen [2]. Nun hat eine Gruppe um Dominik Zumbühl von der Universität Basel das Experiment mit Quantendrähten erstmals bis zu Temperaturen hinab bis etwa 10 mK durchführen können [3]. Überraschenderweise beobachten die Experimentatoren, dass der Leitwert dann e^2/h beträgt, d. h. ohne den Faktor zwei. Sie zeigen, dass das Ergebnis unabhängig von dem von außen angelegten Magnetfeld und der Ladungsträgerdichte in den untersuchten Quantendrähten ist.

Die Experimentatoren beobachten zudem, dass die Elektronen wie Wellen interferieren. So lässt sich ausschließen, dass die Elektronen bei den tiefen Temperaturen als unabhängige Einzelteilchen propagieren. Interferierende Elektronen wechselwirken in einer Dimension stark miteinander, da sie ein und denselben Raum besetzen. Ein



nach [3]

Bei tiefen Temperaturen reduziert sich der Leitwert in Quantendrähten um den Faktor zwei zu $1 \cdot e^2/h$. Eine mögliche

derartiges Elektronensystem heißt Luttinger-Flüssigkeit [4]. In diesem Modell werden die Ladungs- und Spinfreiheitsgrade der Elektronen unabhängig voneinander mittels Wellenanregungen durch den eindimensionalen Draht transportiert. Die von Zumbühl und seiner Gruppe beobachteten Temperatur- und Spannungsabhängigkeiten zeigen allerdings charakteristische Energien, die nicht allein mit einer derartigen Quantenflüssigkeit zu verstehen sind.

Eine zuvor veröffentlichte Theorie aus der Gruppe von Daniel Loss scheint die Daten erklären zu können [5]. Sie geht davon aus, dass eine Luttinger-Flüssigkeit bei tiefen Temperaturen über die so genannte RKKY-Wechselwirkung eine räumlich helikale Spinstruktur in den Kernspins des Kristalls erzeugt [6]. Die Wechselwirkung koppelt die Kernspins durch die Spinfreiheitsgrade des Elektronensystems miteinander. Die helikale Magnetisierung der Kernspins wiederum hat einen Rückeffekt auf die Spinfreiheitsgrade der Elektronen in dem

Erklärung können helikale Spinstrukturen liefern.

Quantendraht. So erhalten nicht nur die Kernspins, sondern auch die Luttinger-Flüssigkeit eine helikale Spinordnung, und beide Ordnungen stabilisieren sich gegenseitig. Wichtig für die Interpretation des Experiments ist, dass dabei die Spinartung der Elektronenspins teilweise aufgehoben wird und sich daher der elektrische Leitwert um den Faktor zwei verringert – der neue experimentelle Befund bei tiefen Temperaturen.

Um die skizzierte Theorie weiter zu bestätigen, sind zusätzliche Experimente, beispielsweise zum Nachweis der helikalen Magnetisierung, nötig. Die aktuellen Ergebnisse zeigen aber erneut, wie faszinierend es ist, die Dynamik von Elektronen in einem Kristall experimentell genauer unter die Lupe zu nehmen.

Alexander Holleitner

KURZGEFASST

Nächtlicher Neutrinospuk

Materie hat Einfluss darauf, wie sich Sonnenneutrinos von einer Art in die andere umwandeln. Das zeigen Beobachtungen mit dem Neutrino-detektor Super-Kamiokande, bei denen die Zählraten für Sonnenneutrinos bei Tag mit denen in der Nacht verglichen wurden. Demnach wandelt sich ein Teil der ankommenden Myon-

Neutrinos beim Durchqueren der Erde in Elektron-Neutrinos um. Dies ist der erste direkte Hinweis, dass Materie die Neutrinooszillationen beeinflusst. In ferner Zukunft könnten Neutrinos dazu dienen, in das Innere der Erde zu blicken.

A. Renshaw et al. (Super-Kamiokande Coll.), Phys. Rev. Lett. **112**, 091805 (2014)

Prof. Dr. Alexander Holleitner, Walter-Schottky-Institut und Physik-Department, Zentrum für Nanotechnologie und Nanomaterialien (ZNN), Technische Universität München, Am Coulombwall 4a, 85748 Garching

- [1] R. Landauer, IBM J. Res. Dev. **1**, 223 (1957)
- [2] B. J. van Wees et al., Phys. Rev. Lett. **60**, 848 (1988); D. A. Wharam et al., J. Phys. C. **21**, L209 (1988); W. Wegscheider et al., Solid State Electron. **37**, 547 (1994); R. de Picciotto et al., Nature **411**, 51 (2001); F. Bauer et al., Nature **501**, 73 (2013)
- [3] C. P. Scheller et al., Phys. Rev. Lett. **112**, 066801 (2014)
- [4] S.-I. Tomonaga, Prog. Theor. Phys. **5**, 544 (1950); J. M. Luttinger, J. Math. Phys. (N. Y.) **4**, 1154 (1963)
- [5] B. Braunecker, P. Simon und D. Loss, Phys. Rev. B **80**, 165119 (2009)
- [6] M. A. Ruderman und C. Kittel, Phys. Rev. **96**, 99 (1954); T. Kasuya, Prog. of Theor. Phys. **16**, 45 (1956); K. Yosida, Phys. Rev. **106**, 893 (1957)