

Press release

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Kristian Lozina

10/29/2019

<http://idw-online.de/en/news726167>

Research projects, Research results
Physics / astronomy
transregional, national



Topologische Isolatoren: Elektronen halten Sicherheitsabstand

Ein Team der Uni Würzburg hat die elektronischen Eigenschaften des neuartigen Materials Bismuten untersucht, einem Topologischen Isolator. Erstmals wurde beobachtet, dass dort die Beweglichkeit von Elektronen durch kollektive Effekte eingeschränkt werden kann.

Topologische Isolatoren sind Zwittermaterialien. Das bedeutet, dass sie in ihrem Inneren keinen elektrischen Strom leiten können, sehr wohl aber an ihrem Rand. Gewöhnliche leitfähige Materialien, zum Beispiel Metalkabel, besitzen einen kleinen, aber endlichen elektrischen Widerstand. Dieser führt zu elektrischen Verlusten und das Material erhitzt sich. Ursache dafür ist die Streuung der Elektronen an Defekten in der Kristallstruktur des Leitermaterials. Hierdurch wird der Fluss der Elektronen gehemmt und ineffizient – wie bei einem Auto auf einem holprigen Feldweg, dessen Fahrt durch Schlaglöcher massiv abgebremst wird.

Im Gegensatz dazu verhalten sich Topologische Isolatoren grundlegend anders. Hier können sich die Elektronen nur entlang eindimensionaler Leitungskanäle am Rand des Materials frei bewegen. Aufgrund eines physikalischen Phänomens – des Quanten Spin Hall Effekts – können sie dabei nicht mehr an Defekten gestreut werden. Dieser „topologische Schutz“ führt zu einem verlustfreien Strom. Statt eines holprigen Feldwegs gibt es hier quasi eine perfekte Autobahn für Elektronen.

Wie eine Verengung der Fahrbahn

Um das Verhalten der Elektronen in solchen Randkanälen besser zu verstehen, hat ein Forschungsteam der Lehrstühle Experimentelle Physik IV (Professor Ralph Claessen) und Theoretische Physik I (Professor Ronny Thomale) der Julius-Maximilians-Universität Würzburg Untersuchungen an dem kürzlich erstmals synthetisierten Topologischen Isolator Bismuten durchgeführt. Dabei handelt es sich um eine einzelne Lage von Bismut-Atomen, die in Form eines bienenwabenförmigen Gitters auf dem Halbleiter Siliziumkarbid aufliegt.

Das Team der Experimentalphysik konnte durch ein Rastertunnelmikroskop beobachten, dass sich das Verhalten der Elektronen bei tiefen Temperaturen auffällig verändert: „Auf unserer Elektronenautobahn ist der Einfluss der tiefen Temperatur vergleichbar mit der Fahrbahnverengung bei einer Baustelle. Hier ist die Gefahr von Zusammenstößen zwischen den Elektronen deutlich erhöht. Um dies zu vermeiden und ausreichend Abstand halten zu können, vermindern die Elektronen daher ihre Geschwindigkeit“, erklärt Ralph Claessen. In Bismuten zeige sich dieses Verhalten in einer temperaturabhängigen Energie-Verteilung der Elektronen in den Randkanälen. Dieses Phänomen ist bereits aus anderen eindimensionalen Elektronensystemen als „Tomonaga-Luttinger-Verhalten“ bekannt.

Klarheit durch Topologische Isolatoren

Eine genauere theoretische Analyse des Teams der Theoretischen Physik I zeigt, dass der Effekt zwischen zwei Elektronen umso stärker zu Tage tritt, je enger der Randkanal ist – wie bei einer Autobahnbaustelle mit nur einem statt

zweier Fahrstreifen.

„Hier müssen alle Autos Rücksicht aufeinander nehmen und die Geschwindigkeit anpassen, um Kollisionen zu vermeiden. Obwohl dieser Effekt grundsätzlich in jedem verengten Leitungskanal auftritt, ist er unter den perfekten Autobahnbedingungen des Topologischen Isolators am deutlichsten zu beobachten.“, sagt Ronny Thomale. Dies sei in der vorliegenden Arbeit zum ersten Mal in beeindruckender Klarheit gelungen.

Die Elektronenautobahnen am Rand von Topologischen Isolatoren könnten Bauelemente künftiger Mikroelektronik werden, in der man die besonders geschützten Leitungskanäle für eine verlustfreie und ultraschnelle Computertechnologie verwendet. Dies ist auch Thema und Ziel des Exzellenzclusters „ct.qmat“ und des Sonderforschungsbereichs „ToCoTronics“ in der Würzburger Physik. Hierfür muss jedoch zunächst das Verkehrsverhalten der Elektronen vollständig verstanden werden.

contact for scientific information:

Prof. Dr. Ralph Claessen, Experimentelle Physik IV, Universität Würzburg, T +49 (931) 31 85732, claessen@physik.uni-wuerzburg.de;

Prof. Dr. Ronny Thomale, Theoretische Physik I, Universität Würzburg, T +49 (931) 31 86225, rthomale@physik.uni-wuerzburg.de

Original publication:

R. Stühler, F. Reis, T. Müller, T. Helbig, T. Schwemmer, R. Thomale, J. Schäfer, R. Claessen: Tomonaga-Luttinger liquid in the edge channels of a quantum spin Hall insulator; Nature Physics (2019); DOI: [10.1038/s41567-019-0697-z](https://doi.org/10.1038/s41567-019-0697-z)