

Eislaufbahn für Elektronen

15.9.2026 - | Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Physiker der FAU erschaffen durch Bestrahlung mit Licht ein leitendes Material mit exotischen Eigenschaften.

Topologische Isolatoren sind Werkstoffe mit hochinteressanten elektrischen Eigenschaften. Sie sind jedoch sehr schwer zu erzeugen. Wissenschaftlern der **Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)** ist es nun gelungen, **einem leicht herzustellenden Material beizubringen, sich wie ein topologischer Isolator zu verhalten**. Sie konnten zudem die Bewegung der Elektronen darin nach Wunsch manipulieren. Die Arbeit könnte die **Grundlage für eine neue Art besonders leistungsfähiger Computer legen**. Sie ist in der **Fachzeitschrift Nature Physics** erschienen*.

Für Festkörperphysiker war die Welt lange Zeit übersichtlich: Es gab Materialien, die den elektrischen Strom leiten (die Leiter; z.B. die meisten Metalle); es gab andere, die das nicht tun (die Nichtleiter) und schließlich solche, die eines kleinen Schubbers bedürfen, bevor sie sich dazu überreden lassen (die Halbleiter).

2007 trat eine vierte Materialgruppe auf den Plan: die **topologischen Isolatoren**. Diese **leiten Strom nur an ihrer Oberfläche, dort allerdings extrem gut**. In ihrem Zentrum sind sie dagegen Nichtleiter. Das Phänomen ist für die Physik aus verschiedenen Gründen hochinteressant. Doch leider ist es nicht einfach, topologische Isolatoren herzustellen. Es gibt daher bislang nur eine Handvoll dieser exotischen Verbindungen.

Den Wissenschaftlern am Lehrstuhl für Laserphysik der FAU ist es nun jedoch gelungen, Graphen die Eigenschaften eines topologischen Isolators zu verleihen. Dabei handelt es sich um ein Material, das aus einer einzigen Schicht von Kohlenstoff-Atomen besteht. Diese sind in einem sechseckigen Muster angeordnet, wie die Waben in einem Bienenstock.

Polarisiertes Licht zwingt Elektronen auf eine Kreisbahn

Graphen lässt sich relativ leicht erzeugen. Normalerweise hat es keine ungewöhnlichen elektrischen Eigenschaften – es verhält sich schlicht wie ein Leiter. „**Wir haben jedoch Graphen mit intensiven, sehr kurzen Laserpulsen bestrahlt**“, erklärt Dr. Daniel Lesko, Postdoktorand am Lehrstuhl für Laserphysik. „**Solange diese Pulse andauerten, nahm Graphen die Merkmale eines topologischen Isolators an.**“ In der Physik spricht man auch von einem sogenannten **Floquet-Zustand**.

Grund dafür: Durch die Laserpulse entstehen Bandlücken – das sind gewissermaßen „No-Go-Gebiete“ für Elektronen, die die Bewegungsmöglichkeiten der Ladungsträger einschränken. Die Elektronen konnten sich daher nur noch in schmalen Streifen aufhalten, zwischen denen sie nicht ohne Weiteres wechseln konnten.

„Unser Laserstrahl hatte eine Eigenschaft, die wir ‚**zirkuläre Polarisation**‘ nennen“, sagt Lesko. Das **elektromagnetische Lichtfeld verändert dabei ständig seine Richtung** – vergleichbar mit einem Schlauch, den man bei der Bewässerung der Blumen in einer kreisenden Bewegung schwenkt. „Dadurch wurden auch die **Elektronen im Graphen auf eine Kreisbahn gezwungen**, ähnlich wie wenn sich auf einer Eisbahn alle Läufer in dieselbe Richtung bewegen“, erklärt Lesko.

Beam me up, Scotty!

Die Wissenschaftler **bestrahlten nun das Material mit einem zweiten Laserstrahl**, der exakt die **doppelte Frequenz** des ersten Strahls hatte. Die Photonen dieses Lasers hatten also auch die **doppelte Energie**. Dadurch konnten die Physiker die **Elektronen auf eine andere Eisbahn „beamen“**. Genauer gesagt: nur einen Teil von ihnen. Es ist, als würden die Eisläufer an einer bestimmten Stelle der Bahn durch einen Spot laufen und dadurch weggebeamt.

Auf der neuen Eisbahn beschrieben die hochgebeamten Elektronen nun eine gekrümmte Bewegung, je nachdem, an welchem Punkt der Kreisbahn der Spot sie erwischte hatte. **„Wir konnten den Ort des Spots und damit auch diese sogenannte Berry-Krümmung nach Wunsch variieren, und das extrem schnell“, erklärt der Lehrstuhlinhaber Peter Hommelhoff**, der inzwischen an die LMU München gewechselt ist. „Diese Eigenschaft lässt sich theoretisch für besonders rasante und leistungsfähige Computer nutzen.“

Dazu könnte auch noch ein zweiter Effekt beitragen, den die Wissenschaftler nachweisen konnten. Obwohl sich die Elektronen auf der ursprünglichen Eisbahn in dieselbe Richtung bewegen und dieselbe Energie haben, sind sie nämlich nicht identisch. Es ist, als würden einige von ihnen ein blaues und andere ein rotes T-Shirt tragen. Die Physiker konnten nun ihren Spot so einstellen, dass er beispielsweise vor allem die rot gekleideten Läufer hochbeamte. Im Prinzip könnten Computerbauteile dadurch die doppelte Menge an Informationen verarbeiten – je nachdem, ob sie gerade Team rot oder Team blau für ihre Berechnungen nutzen.

Die theoretische Basis der Arbeit stammt von der Arbeitsgruppe um Prof. Ofer Neufeld am Israel Institute of Technology in Haifa. Die Publikation ist also auch Ausdruck einer erfolgreichen internationalen Kooperation.

<https://www.fau.de/2026/09/news/forschung/materialforschung/eislaufbahn-fuer-elektronen>