

Pressemitteilung**Universität zu Köln****Gabriele Meseg-Rutzen**

01.04.2019

<http://idw-online.de/de/news713167>Forschungsergebnisse
Physik / Astronomie
überregional**Verhalten von eingesperreten Elektronen in einer eindimensionalen Welt erstmals im Labor beob****Ein Kölner Forschungsteam hat die von der Tomonaga-Luttinger Theorie für Elektronen vorhergesagte Trennung von Spin und Ladung gemessen / Veröffentlichung in „Physical Review X“**

Physik: Verhalten von eingesperreten Elektronen in einer eindimensionalen Welt erstmals im Labor beobachtet

Ein Kölner Forschungsteam hat die von der Tomonaga-Luttinger Theorie für Elektronen vorhergesagte Trennung von Spin und Ladung gemessen / Veröffentlichung in „Physical Review X“

Eine Gruppe von Physikern an der Universität zu Köln hat erstmals ein exotisches Verhalten von Elektronen im Realraum untersucht, das bisher nur indirekt nachgewiesen werden konnte. Elektronen bewegen sich normalerweise frei durch den dreidimensionalen Raum. Wenn sie jedoch gezwungen sind, sich auf einer Kette, also in nur einer Dimension, zu bewegen, spalten sie ihre Eigenschaften auf – das sagt die Tomonaga-Luttinger Theorie seit Jahrzehnten voraus. Im Labor konnte dieses Phänomen bisher jedoch nur indirekt nachgewiesen werden. Ein internationales Forschungsteam um Professor Dr. Thomas Michely am II. Physikalischen Institut der Universität zu Köln hat nun eindimensionale Leiter hergestellt, in denen die Physiker das Verhalten von eingesperreten Elektronen zum ersten Mal in nur einer Dimension mit dem Rastertunnelmikroskop beobachten konnten. Sie berichten über die Entdeckung in der Fachzeitschrift „Physical Review X“.

„Mit der Frage, wie sich Elektronen in einem Stück Metall verhalten, das auf eine Dimension reduziert ist, beschäftigte sich der japanische Physiker und spätere Nobelpreisträger Shin'ichiro Tomonaga schon 1950“, erläutert Professor Michely. „Besonders faszinierend für uns Physiker ist es, welche bemerkenswerten Folgen es hat, wenn Elektronen sich nicht aus dem Weg gehen können. Im dreidimensionalen Raum können sie sich frei und nahezu unabhängig bewegen, aber auf einer metallenen Kette von Atomen wechselwirken sie sehr stark miteinander.“

Eigentlich tragen Elektronen einen Spin – einen quantenmechanischen Drehimpuls – und eine Ladung. In nur einer Dimension hören sie jedoch wegen ihrer starken Wechselwirkung auf, sich wie normale Elektronen zu verhalten. Stattdessen teilen sie sich in zwei Arten von Quasi-Teilchen auf, welche entweder Spin oder Ladung besitzen. Hier werden Elektronen besser als zwei unabhängige Wellen beschrieben: eine Spindichtewelle und eine Ladungsdichtewelle. Dieses Phänomen nennt sich Spin-Ladungs-Trennung und ist das wesentliche Element der Tomonaga-Luttinger Theorie, benannt nach Tomonaga, der die Theorie 1950 begründete, und dem amerikanischen theoretischen Physiker Joaquin Mazdak Luttinger, der sie wesentlich weiterentwickelte.

Um diese Spin-Ladungs-Trennung im Realraum zum ersten Mal sehen zu können, haben die Kölner Forscher die sogenannte Tomonaga-Luttinger-Flüssigkeit in Draht endlicher Länge eingesperret und damit einen Käfig geschaffen. Durch die endliche Länge des Drahtes bilden sich stehende Elektronenwellen mit diskreten Energien aus, so wie es die Quantenmechanik fordert. Mit diesem Trick ist es nun möglich, die Grenzen der Theorien von Luttinger und Tomonaga mit einer Präzision zu erforschen, wie es sich ihre Erfinder nicht hätten vorstellen können.

Die Arbeitsgruppe am II. Physikalischen Institut ist spezialisiert auf die Herstellung und Untersuchung zweidimensionaler Materialien wie etwa Graphen oder atomar dünne Lagen von Molybdändisulfid (MoS₂). Sie entdeckten, dass an der Grenze zwischen zwei zusammengewachsenen einlagigen MoS₂ Inseln eindimensionale Leiter entstehen, die spiegelbildlich zueinander angeordnet sind. Die Forscher konnten die stehenden Wellen entlang des

Drahtes und ihre diskreten Energien mit Hilfe ihres Rastertunnelmikroskops bei einer Temperatur von minus 268 °C (5 Kelvin) direkt sichtbar machen.

Die Überraschung war perfekt, als die Wissenschaftler zwei Serien von stehenden Wellen in dem eindimensionalen Metall entdeckten, während für unabhängige Elektronen nur eine Serie zu erwarten gewesen wäre. Der Schlüssel zur Erklärung des Phänomens kam von den theoretischen Physikern um Professor Dr. Achim Rosch, ebenfalls Universität zu Köln: Die beiden Serien von stehenden Wellen repräsentieren die Spindichte- und die Ladungsdichtewelle, so wie es Tomonaga und Luttinger vor mehr als einem halben Jahrhundert vorhergesagt hatten.

Die Wissenschaftler planen nun das Verhalten der Elektronen in eindimensionalen Käfigen noch genauer zu untersuchen. Dazu wollen sie neue Experimente bei mehr als zehnmal tieferen Temperaturen, bei 0,3 Kelvin, und in einem verbesserten Käfig durchführen. Damit hoffen sie die Grenzen der Tomonaga-Luttinger Theorie überprüfen zu können.

Inhaltlicher Kontakt:

Professor Dr. Thomas Michely

+49 221 470-3583

michely@ph2.uni-koeln.de

Presse und Kommunikation:

Eva Schissler

+49 221 470-4030

e.schissler@uni-koeln.de

Veröffentlichung:

<https://journals.aps.org/prx/abstract/10.1103/PhysRevX.9.011055>