UNIVERSITÄT GREIFSWALD
Wissen lockt. Seit 1456

Medieninformation

Quantenoptiker zwingen Lichtteilchen, sich wie Elektronen zu verhalten

Universität Greifswald, 24.03.2020

Auf der Basis theoretischer Überlegungen von Physikern der Universität Greifswald ist es Mitarbeitern der AG Festkörperoptik um Professor Alexander Szameit an der Universität Rostock gelungen, photonische topologische Isolatoren als Lichtwellenleiter zu realisieren, in denen sich Photonen wie Elektronen verhalten, und somit fermionische Eigenschaften zeigen. Ihre Entdeckung wurde jüngst im renommierten Fachblatt "Nature Materials" veröffentlicht.

Dass es elektronische topologische Isolatoren gibt - Festkörper, die im Innern keinen elektrischen Strom leiten, dafür aber umso besser entlang ihrer Oberfläche - haben 2007 Professor Laurens Molenkamp und sein Team von der Universität Würzburg erstmals im Experiment nachweisen können. Ob es allerdings ein solches System auch für Licht geben könnte, also einen photonischen topologischen Isolator? - "Das ist unmöglich", zitiert Professor Alexander Szameit, Quantenoptiker am Institut für Physik der Universität Rostock, gern die landläufige Meinung des Fachgebiets. "Das ist erst einmal auch ganz richtig", führt Szameit aus. "Denn Lichtteilchen gehören zur Klasse der sogenannten Bosonen. Die verhalten sich vollkommen anders als Elektronen, die Ladungsträger des elektrischen Stromes, welche zur Klasse der Fermionen gehören."

Fermionen seien von Bosonen quantenmechanisch so verschieden, wie Vögel biologisch von Fischen. Was die beiden Teilchenklassen so gravierend unterscheidet, ist die quantenmechanische Eigenschaft des Spins. Diese Eigenschaft könnte man sich als Drehung um die eigene Achse vorstellen, wenn man bei der sprichwörtlichen Unanschaulichkeit der Quantenmechanik die Vorstellung nicht ganz beiseite lassen müsste. Bosonen haben einen ganzzahligen Spin, Fermionen hingegen einen halbzahligen, und das eine lasse sich nicht in das andere verwandeln. Deshalb ließen sich die Spineigenschaften von Lichtteilchen, den Photonen, auch nicht verändern.

Was aber, wenn sich gar nicht die Teilcheneigenschaften ändern müssten, sondern wenn die Eigenschaften des Mediums sich so modifizieren ließen, dass die Photonen gezwungen wären, sich wie Elektronen zu verhalten? Mit einem Schlitten kann man nicht auf Asphalt fahren, aber auf einem Wasser-Seifenfilm rutscht er wie auf Schnee. Warum also nicht einfach den Untergrund so anpassen, sodass der Schlitten sich verhält wie im besten Winter?

Professor Holger Fehskes Arbeitsgruppe von der Universität Greifswald befasst sich mit dem abstrakten Verhalten komplexer Quantensysteme. Die Idee seines Teams, den quantenmechanischen Spin als Eigenschaft dem Medium aufzuprägen, faszinierte den experimentellen Physiker Szameit: "Prinzipiell braucht man nur ein Material, bei dem sich die Atomabstände sprunghaft zu bestimmten Zeiten ändern." Szameit schmunzelt: "So etwas gibt es natürlich nicht." Das Problem löste sein Doktorand Lukas Maczewsky. Er hat die erforderliche zeitliche Veränderung des Materials in eine räumliche Struktur übersetzt, durch die die Photonen mit Lichtgeschwindigkeit rasen. "Genau zu dem Zeitpunkt, zu dem sich die Atomstruktur sprunghaft ändern müsste, haben wir das Licht gezwungen, sich in Lichtwellenleitern um die Kurve zu bewegen und sich dann bis auf eine kritische Distanz zu nähern. Genau dort kann das Licht für eine sehr kurze Zeit wechselwirken", erläutert Lukas Maczewsky die Überlegung.

Wie aber müssen die Lichtwellenleiter gestaltet sein? Der Quantenphysiker und findige Experimentator Maczewsky hat sich der Lösung Schritt für Schritt angenähert. Er erprobte mathematische Funktionen, mit denen er den Bearbeitungs-Laser programmierte, der ähnlich einer CNC-Maschine die Wellenleiter ins Glas brennt. Zwei Jahre Forschungsarbeit und unzählige Stunden im Laserlabor des Instituts für Physik der Universität Rostock liegen hinter ihm. Seine Mühen wurden belohnt. Zwei geschickt ineinander verwobene Gitter aus kompliziert gebogenen Wellenleitergespinsten, die abschnittsweise einer Sinusquadratfunktion gehorchen, leiten das Licht so durch den Wellenleiter, als bestünde es aus Elektronen und nicht aus Photonen.

Die neuartige Struktur der Wellenleiter führt dazu, dass das Licht die Wellenleiterstruktur an seinem Rand entlang in beide Richtungen völlig ungehindert passieren kann, ohne Rückstreuung oder ähnliche Effekte. Die entscheidende Eigenschaft, die dies erlaubt, kann sonst nur bei Elektronen beobachtet werden: ein halbzahliger Eigendrehimpuls, auch Spin genannt. Dies auf Photonen zu übertragen, ist nur durch einen Trick möglich: der Spin beider Bewegungszustände, die entweder nach links oder nach rechts laufen, ist in der Struktur des Wellenleitersystems kodiert.

"Die gleichzeitige Existenz zweier solcher entgegengesetzer Randzustände ist eine absolute Neuheit in diesem Feld", so Szameit. Welche Richtung das Licht übrigens einschlage, hänge vom Anfangszustand ab. Das Phänomen, das die Quantenphysiker erstmals nachweisen konnten, lasse sich mit einer perfekten Diode für den Stromfluss vergleichen, bei der die eine Richtung supraleitend sei, die andere aber unendlichen Widerstand zeige, wobei sich zudem diese beiden Richtungen auf Knopfdruck tauschen lassen.

Mit der erfolgreichen Zusammenarbeit zwischen den Physikern der Universitäten Rostock und Greifswald ist die Grundlagenforschung in der Quantenoptik und auf dem dynamischen Gebiet der topologischen Isolatoren wieder ein Stück vorangekommen. Bis sich eines Tages das Puzzle zu einem Quantencomputer fügt, ist noch einiges an Forschung nötig, etwa wie sich ein optischer, idealer Schalter realisieren lasse. Mit der Entdeckung der Physiker in diesem exotischen Gebiet reiner Grundlagenforschung verbindet sich dennoch die Erwartung vielversprechender Anwendungen in der Zukunft. Optische Synapsen, das ist es, wovon die enthusiastischen Quantenoptiker Szameit und Maczewsky träumen. So rasant wie sich die Quantenoptik derzeit weltweit entwickelt, könnte ihr Traum bald wahr werden.

Die Forschungen wurden finanziert aus Mitteln der Deutsche Forschungsgemeinschaft und der Alfried Krupp von Bohlen und Halbach-Stiftung.

Die Original-Veröffentlichung in "Nature Materials" ist unter DOI 10.1038/s41563-020-0641-8 verfügbar.

Ansprechpartner

Prof. Dr. Alexander Szameit
AG Experimentelle Festkörperoptik
Institut für Physik der Universität Rostock
Telefon +49 381 498 6790
alexander.szameit obscureAddMid() uni-rostock obscureAddEnd() de

Prof. Dr. Holger Fehske
AG Komplexe Quantensysteme
Institut für Physik der Universität Greifswald
Telefon +49 3834 420 4760

fehske obscureAddMid() physik.uni-greifswald obscureAddEnd() de

Quelle
Dies ist eine Medieninformation der Universität Rostock.

Universität Rostock
Presse- und Kommunikationsstelle
Universitätsplatz 1, 18055 Rostock
Telefon 0381 498 1012
www.uni-rostock.de