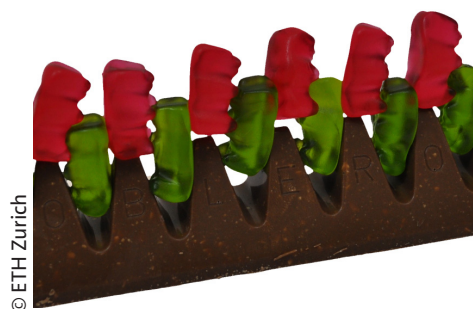




Quand la supraconductivité disparaît au cœur d'un tube quantique

En remplaçant les électrons par des atomes ultrafroids, un groupe de physiciens a créé un matériau parfaitement propre qui révèle de nouveaux états de la matière au niveau quantique.



© ETH Zurich

Dans un potentiel périodique unidimensionnel, représenté ici par une barre de Toblerone, il n'y a aucun flux d'électrons (représentés ici par les ours en gomme) lorsque deux d'entre eux occupent un creux. La recherche a permis d'observer un comportement similaire avec les atomes de lithium-6 ultrafroids.

Illustrations haute définition

Le comportement des électrons dans un matériau est généralement difficile à prévoir. En les remplaçant par des atomes neutres de lithium ultra-froid qu'ils ont fait circuler dans un tube quantique unidimensionnel, des physiciens de l'Université de Genève (UNIGE), de l'ETH Zurich et de l'EPFL ont pu confirmer un état inhabituel de la matière, qui reste isolante quelle que soit le niveau d'attraction entre les particules. Leurs travaux, à découvrir dans *PRX*, ouvrent la voie à la recherche de nouveaux matériaux aux propriétés atypiques.

Le fait qu'un matériau soit un métal ou un isolant dépend d'une série de détails microscopiques, tels que la force des interactions entre électrons, la présence d'impuretés ou d'obstacles, ou encore le nombre de dimensions à travers lesquelles les porteurs de charge peuvent se propager. Cette complexité rend très difficile la prédiction des propriétés électroniques d'un matériau donné. Car si on sait parfaitement modéliser la trajectoire d'une particule dans le vide, on peine à le faire dans un matériau, un cristal par exemple, où les électrons circulent entre des noyaux d'atomes chargés positivement. Ces derniers génèrent un potentiel périodique, un peu comme une série de crêtes qui influerait sur le déplacement des électrons, compliquant les prédictions. Le matériau sera-t-il un métal ? Un isolant ? Un semi-conducteur ? Tout dépendra de deux paramètres, la force de l'interaction entre les électrons et celle du potentiel périodique.

La réponse est venue de l'échange constant entre un groupe de théoriciens, emmené par Thierry Giamarchi, professeur au Département de la physique de la matière quantique, section de physique de la Faculté des sciences de l'UNIGE, et les groupes expérimentaux basés à Zurich et Lausanne, pilotés par Martin Lebrat, du groupe du professeur Tilman Esslinger de l'Institute for Quantum Electronics de l'ETH Zurich et par Jean-Philippe Brantut, professeur à l'EPFL.

L'endroit le plus froid de l'Univers

Les chercheurs se sont attaqué au problème en menant leurs expériences dans un matériau artificiel parfaitement propre, qui leur a permis de contrôler aussi bien l'interaction que le potentiel périodique. Au lieu de faire circuler des électrons dont les interactions à longue portée compliquent les prédictions, ils ont eu recours à des atomes neutres de lithium-6 ultra-froids qu'ils ont stocké grâce à un laser dans deux réservoirs sans bords, de véritables «bols de lumière». «Le cœur de cette expérience est l'endroit le plus froid de l'Univers, la température n'y atteint que 70 milliardièmes de degré au-dessus du zéro absolu, bien plus basse que celle du vide intersidéral», s'enthousiasme Thierry Giamarchi.

Les réservoirs d'atomes ont ensuite été reliés par un tube quantique unidimensionnel au sein duquel un autre laser est venu simuler les « crêtes » du potentiel périodique. Les chercheurs ont ainsi pu mesurer la conductivité du tube tout en faisant varier les paramètres pertinents, y compris la longueur et la hauteur du potentiel périodique et les interactions entre les particules qui le traversent. Ils ont mis en évidence un état inhabituel de la matière, prédit par la théorie mais que personne n'avait pu observer jusque-là : un isolant de bande qui se maintient quelle que soit la force de l'interaction attractive entre les particules.

On pourrait conclure intuitivement que plus l'attraction entre particules est forte, plus le matériau tendra à être conducteur ou supraconducteur. « C'est vrai dans le monde en trois dimensions, mais dans le monde quantique à basse dimension, c'est une légende urbaine », s'exclame Thierry Giamarchi. « Lorsqu'on parvient à confiner le matériau dans un tube quantique unidimensionnel avec un potentiel périodique, il reste toujours isolant, même dans le cas d'une attraction infinie. »

La très grande flexibilité offerte par cette recherche ouvre la voie à la création de structures complexes. « On peut voir ce système comme une sorte de simulateur qui permettra de définir les ingrédients à utiliser pour créer un matériau qui n'existe pas encore, et qui pourrait répondre à des besoins dans de futurs systèmes électroniques, par exemple dans les ordinateurs quantiques », conclut Thierry Giamarchi.

contact

Thierry Giamarchi

Professeur au Département de la physique
de la matière quantique
section de physique de la Faculté des sciences

+41 22 379 63 63

Thierry.Giamarchi@unige.ch

DOI: [10.1103/PhysRevX.8.011053](https://doi.org/10.1103/PhysRevX.8.011053)

UNIVERSITÉ DE GENÈVE
Service de communication

24 rue du Général-Dufour
CH-1211 Genève 4

Tél. +41 22 379 77 17

media@unige.ch

www.unige.ch