

outre les conducteurs organiques, les fils quantiques (gravés dans un substrat semi-conducteur qui confine les électrons transversalement à l'aide d'un « puits quantique »), les nanotubes de carbone et les échelles quantiques.

Malheureusement, l'analyse de ces matériaux est compliquée par le fait qu'on peut très rarement décrire un matériau réel à l'aide d'un modèle purement unidimensionnel. Ainsi, par exemple, les conducteurs organiques sont composés d'empilements de chaînes atomiques le long desquelles les électrons peuvent se mouvoir plus facilement que dans les autres directions, mais où le mouvement transverse reste possible. Un tel système est, par conséquent, susceptible de présenter un mélange de

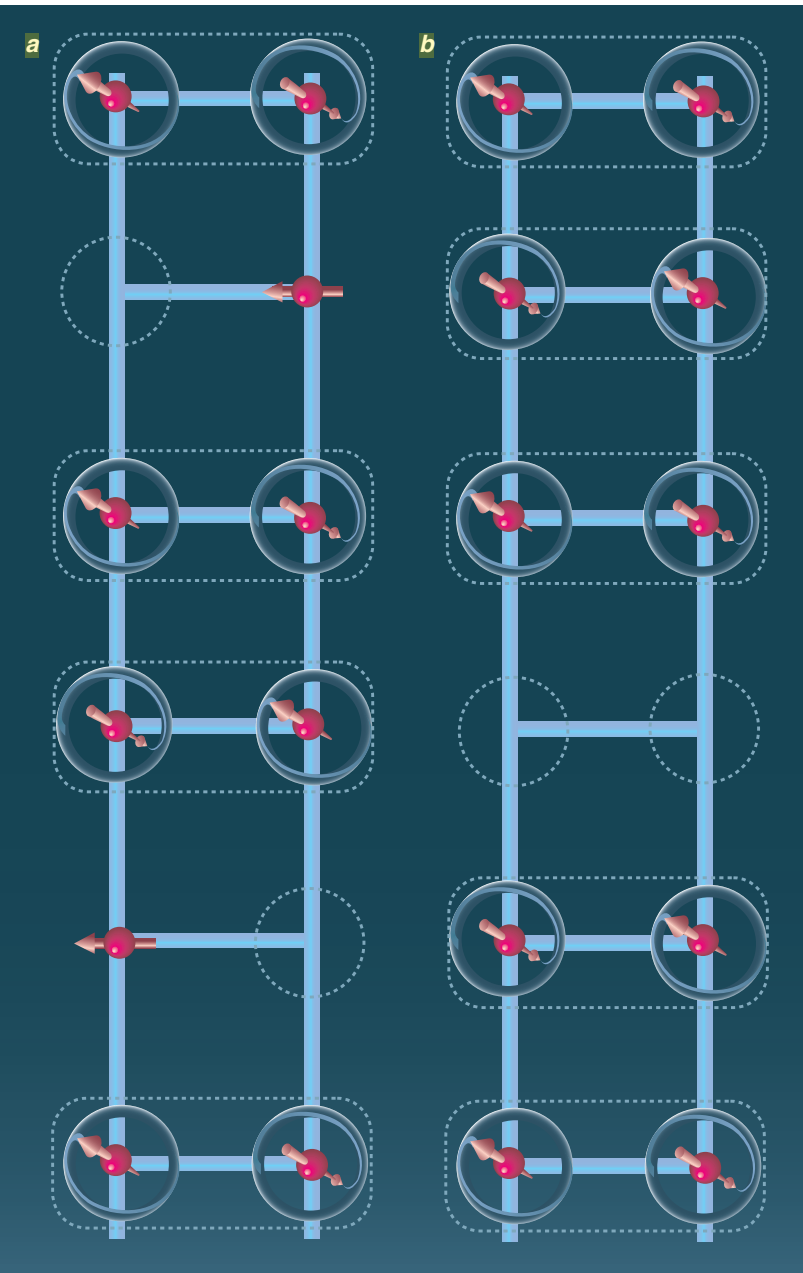
propriétés propres aux liquides de Luttinger et aux liquides de Fermi. La manière dont se fait la transition entre un liquide de Luttinger et un liquide de Fermi, en fonction de la dimension du système considéré ou de l'intensité des interactions, reste une question théorique sans réponse satisfaisante pour le moment.

Stimulée par ces problèmes, une intense activité tant théorique qu'expérimentale s'est développée récemment autour de composés intermédiaires entre une simple structure unidimensionnelle et un ensemble de chaînes unidimensionnelles couplées : les composés en échelle. La surprise est que ces échelles présentent un ensemble de propriétés tout à fait nouvelles.

Les échelles isolantes

Intéressons-nous plus en détail à la structure cristalline d'un de ces matériaux en échelle : un cristal de strontium et d'oxyde de cuivre de formule SrCu_2O_3 . La structure de ce composé est proche de celle des supraconducteurs à haute température. Cependant, alors que les plans d'oxyde de cuivre des pérovskites supraconductrices sont invariants par une rotation de 90 degrés autour d'un axe perpendiculaire à leur plan, dans SrCu_2O_3 , ces plans sont formés de doubles chaînes d'atomes de cuivre et d'oxygène appelées « échelles » (voir la figure 1). Le recouvrement des orbitales atomiques impose aux électrons de suivre les chaînes. En l'absence des ponts « horizontaux » Cu-O-Cu, les électrons devraient suivre un chemin unidimensionnel « vertical » ; la présence de ces ponts – les « barreaux » de l'échelle – permet aux électrons de se déplacer le long des chemins transverses. Cette structure a la forme d'une échelle à deux montants, d'où son nom. En fait, il existe une classe entière de composés, synthétisés pour la première fois en 1991 par Zenji Hiroi, à l'Université de Kyoto, dont la formule chimique générale est $\text{Sr}_{n+1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+1}$, et qui constituent des échelles à n montants.

Pourquoi les composés en échelle sont-ils si particuliers ? Considérons d'abord une échelle simple ayant exactement un électron libre par site, c'est-à-dire par atome de cuivre. C'est la structure électronique normale d'une échelle en l'absence de dopage. En plus de sa position le long de l'échelle, l'état quantique de l'électron est défini par son spin (un moment magnétique quantifié qui lui confère des propriétés analogues à celles d'une petite aiguille aimantée). Si l'on néglige la répulsion coulombienne, rien n'empêche deux électrons de se trouver sur le même site, pourvu que leurs spins soient opposés, puisque leurs états ne sont alors pas identiques. Cela permet aux électrons de se déplacer le long de l'échelle, d'atome de cuivre en atome de cuivre, et l'on a un état conducteur. Si, au contraire, la répulsion coulombienne est très forte, il y aura exactement un électron sur chaque site pour minimiser la répulsion entre les électrons : toute autre configuration est un état excité de haute énergie. Dans ce cas, la position des électrons est gelée et le système est un isolant dit de Mott (du nom du prix Nobel Sir Nevil Mott qui en a le premier compris le mécanisme). Dans le matériau isolant, le spin joue un rôle essentiel. En effet, les électrons dont la position est gelée se comportent comme de petits « aimants » individuels. Nous devons donc comprendre comment interagissent les moments magnétiques de deux électrons situés sur deux sites différents.



5. SI L'ON INTRODUIT DES TROUS dans une échelle, on détruit des états singulets qui sont les états d'énergie minimale. Par conséquent, l'opération exige de fournir de l'énergie : il en coûte plus de le faire sur deux barreaux distincts (a), ce qui casse deux singulets, que de mettre les deux trous sur le même barreau (b). Il existe, par conséquent, une attraction résultante entre les trous dans une échelle. Cette attraction permet la formation de paires de trous et conduit à la supraconductivité.