

L'information scientifique de référence maintenant sur tablette et smartphone !



Téléchargez gratuitement
l'application sur App Store et Google Play.
Le 1^{er} numéro de *Pour la Science* est offert !



Disponible sur
App Store

DISPONIBLE SUR
Google play



Flashez ce QR code
avec votre mobile
ou votre tablette
pour télécharger
immédiatement
l'application.

Avec l'application « Pour la Science », retrouvez dès leur sortie
le mensuel *Pour la Science* à 5,49 € et son hors-série trimestriel
Dossier Pour la Science à 5,99 € en version numérique
optimisée pour tablette : lecture intuitive, sommaire interactif,
contenus enrichis, feuilletage hors connexion, etc.



Découvrez aussi l'application « Cerveau & Psycho » pour retrouver
le magazine *Cerveau & Psycho* et son hors-série *L'Essentiel Cerveau & Psycho*

Métaux étranges et théorie des cordes

Subir Sachdev

Certains états de la matière récemment identifiés ont pour origine des phénomènes quantiques que les théoriciens ont du mal à étudier avec les outils usuels. Un domaine inattendu vient à leur rescousse : la théorie des cordes.



CET AIMANT est mis en lévitation par un supraconducteur, dans lequel sa myriade d'électrons forme un vaste état quantique cohérent. Pour certains matériaux et certaines situations, il existe un lien mathématique entre l'état quantique des électrons et la description des trous noirs par la théorie des cordes.

L'ESSENTIEL

■ Certains états particuliers de la matière, découverts récemment, sont dus au comportement quantique des électrons du matériau.

■ Ces états de la matière émergent d'un tissu d'intrications entre les électrons, intrications dont la description théorique est difficile.

■ Des outils de la théorie des cordes, mettant en œuvre des dimensions spatiales supplémentaires et une notion de dualité, permettent de traiter ces questions.

Il y a quelques années, je me suis rendu à une conférence sur la théorie des cordes.

Je n'aurais jamais pensé me trouver dans un tel endroit. Je travaille aussi en physique, mais dans un tout autre domaine, celui de la matière condensée. Les théoriciens des cordes cherchent à décrire l'Univers à des énergies bien supérieures à tout ce qui se rencontre en laboratoire. En revanche, mes collègues et moi étudions des matériaux que nous refroidissons à des températures proches du zéro absolu. Les spécialistes des cordes explorent la physique qui gouverne les trous noirs et les dimensions supplémentaires que l'espace-temps comporterait. Nous nous intéressons aux semi-conducteurs, aux supraconducteurs et à toutes les formes et phases exotiques que présentent parfois les matériaux.

Au collège et au lycée, les élèves font connaissance de trois phases de la matière : solide, liquide et gaz. La distinction entre ces états est assez intuitive, mais ce n'est qu'au début du XX^e siècle qu'a émergé une compréhension complète de ces phases. Les atomes sont disposés de façon régulière et rigide dans les solides cristallins, alors qu'ils sont mobiles dans les liquides et les gaz. Ces trois phases ne sont que le début d'une longue liste d'états possibles. Un cristal solide, par exemple, n'est pas juste un réseau bien agencé d'atomes, il abrite aussi un essaim d'électrons dont le comportement influe sur les propriétés du solide et définit de nouvelles phases de la matière.

Une multitude d'électrons intriqués

Je me suis intéressé à un état de la matière très particulier que les spécialistes n'avaient pas même anticipé. Pour comprendre le phénomène qui s'y déroule, il faut mentionner un article écrit en 1935 par Albert Einstein, Boris Podolsky et Nathan Rosen. Ces physiciens attiraient l'attention sur le fait que la théorie quantique implique une connexion « fantomatique » entre des particules, un phénomène nommé intrication. Sans que l'on sache comment, les propriétés des particules intriquées se coordonnent instantanément, quelle que soit la distance qui les sépare. Einstein et ses coauteurs s'intéressaient au cas d'une paire d'électrons. Les métaux et les supraconducteurs mettent en jeu un très grand nombre d'électrons, de l'ordre de 10^{23} pour un échantillon typique. Et, dans certaines

conditions, le phénomène d'intrication semble s'établir au sein de cette multitude d'électrons. L'étude de ces matériaux devient alors si complexe que les outils mathématiques que nous utilisons sont insuffisants. Comprendre ces matériaux est pourtant un enjeu important : ils ont des propriétés, de conductivité en particulier, intéressantes pour des applications.

Comment étudier les propriétés de ces matériaux ? C'est cette question qui m'a conduit à franchir le fossé culturel qui sépare le domaine de la matière condensée de la théorie des cordes. Les physiciens des cordes ont une réputation impressionnante : ils ont développé des outils mathématiques d'une grande puissance et d'une complexité extrême. Cette expertise pouvait-elle m'aider à expliquer les phénomènes observés dans les matériaux ? Je l'espérais et je suis donc allé à une conférence sur ce sujet.

Mes collègues et moi nous sommes rendu compte que la théorie des cordes permettait d'aborder ces problèmes sous un angle totalement inattendu. En cherchant à unifier la théorie des particules élémentaires et la théorie de la gravitation d'Einstein, les théoriciens des cordes ont envisagé l'existence de davantage de dimensions d'espace que les trois que nous percevons au quotidien. Ces dimensions supplémentaires seraient enroulées sur elles-mêmes, imperceptibles à nos sens.

Ces chercheurs ont aussi découvert le principe de « dualité ». Cette notion permet de relier des théories des cordes qui semblent différentes. Un phénomène peut s'interpréter dans une théorie ou dans une autre, et un catalogue d'outils permet de traduire les aspects d'une théorie pour les interpréter dans l'autre. Par exemple, en 1997, Juan Maldacena, alors à l'Université Harvard, a mis en évidence une dualité entre des théories fonctionnant là où les effets quantiques sont faibles mais la gravité forte, et des théories utilisées quand les effets quantiques sont importants, mais la gravité faible.

En effet, les dualités et les dimensions supplémentaires nous ont permis de mieux comprendre la matière et l'intrication entre 10^{23} électrons. Mais avant de voir comment ces concepts nous ont aidés, commençons par décrire certaines phases que nous avons comprises grâce à la mécanique quantique.

Dans ces états de la matière, les éléments essentiels sont les électrons. Ceux-ci sont fournis par les atomes qui, par exemple, forment un réseau cristallin dans un solide.

Zachary Závisták