

A

CTUALITÉS

P.6 Échos des labos

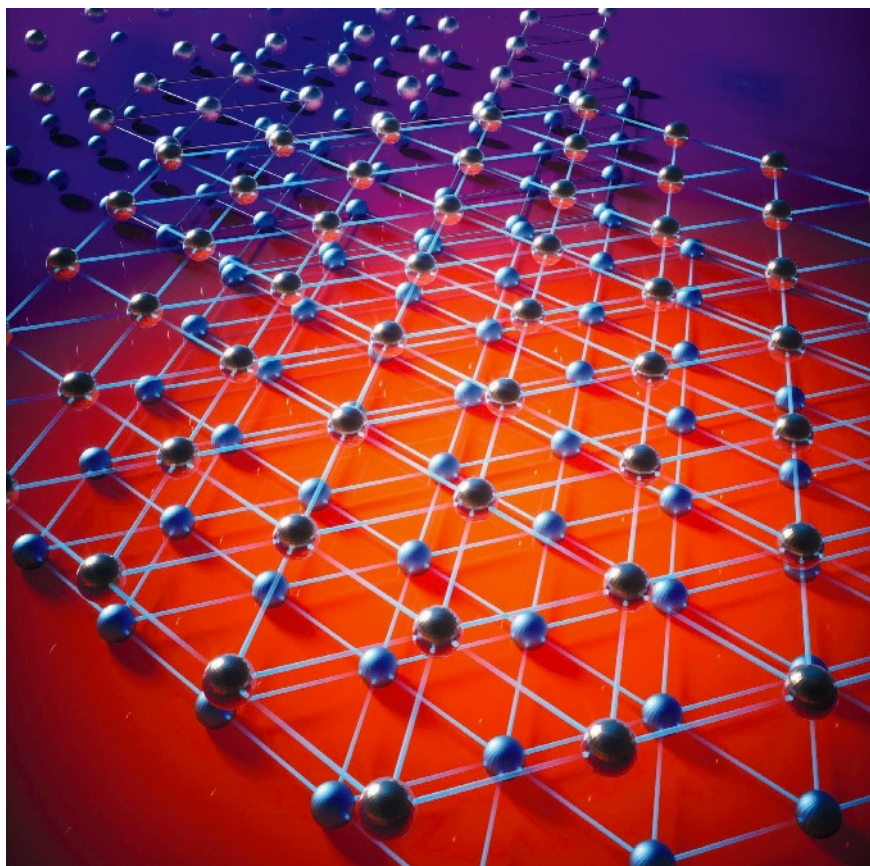
P.16 Livres du mois

P.18 Disputes environnementales

P.20 Les sciences à la loupe

PHYSIQUE

DES CRISTAUX DE WIGNER OBSERVÉS EN LABORATOIRE



Grâce aux progrès dans la synthèse de matériaux d'épaisseur monoatomique, des chercheurs ont formé des cristaux de Wigner, état de la matière où les électrons libres sont figés selon un motif régulier de maille triangulaire (ici, deux cristaux de Wigner sont représentés l'un au-dessus de l'autre).

Constitués d'électrons immobiles et répartis de façon régulière, des cristaux de Wigner ont été produits dans des matériaux d'épaisseur monoatomique.

Dans un matériau conducteur, les électrons libres se comportent comme un fluide et circulent à des vitesses de l'ordre de quelques milliers de kilomètres par seconde. Mais dans certaines conditions, les électrons se figent dans une configuration régulière qui rappelle celle d'un cristal. À cause de cet immobilisme, il n'est plus possible d'établir un courant dans le matériau: celui-ci se comporte comme un isolant. En 1934, le physicien hongrois Eugene Wigner a prédit l'existence de ce type de cristal qui porte aujourd'hui son nom. L'équipe de Hongkun

Park, à l'université Harvard, et celle d'Ataç Imamoğlu, à l'École polytechnique fédérale de Zurich, viennent d'observer de façon très nette ce phénomène et la transition de phase associée du cristal qui «fond».

Dans un matériau, ce cristal d'électrons se forme dans des conditions très particulières. «Le cristal de Wigner serait l'état naturel d'un ensemble d'électrons tels qu'on les rencontrerait dans les métaux s'il n'y avait pas de phénomènes quantiques», explique Mark Oliver Goerbig, du Laboratoire de physique des solides à Orsay. «En effet, les électrons se repoussent en raison de leurs interactions coulombiennes (ou

électrostatiques) tout en étant restreints au volume occupé par le métal. La formation d'un cristal minimiserait cette répulsion. Or les fluctuations thermiques et quantiques empêchent cette mise en ordre.» Il faut donc refroidir le matériau à quelques degrés au-dessus du zéro absolu pour limiter l'agitation thermique. Mais même au zéro absolu, les électrons bougent encore trop en raison de fluctuations quantiques. Afin de réduire l'importance relative de ces dernières, il faut diminuer la densité électronique. Dans ces conditions, la répulsion coulombienne entre les électrons domine et, dans un système bidimensionnel, les particules se disposent à la même distance les unes des autres selon un réseau triangulaire.

Depuis les travaux de Wigner, plusieurs expériences ont mis en évidence ce

cristal en utilisant un fort champ magnétique pour réduire les fluctuations quantiques. Or, ces dernières années, quelques équipes ont obtenu des indices de formation d'un cristal de Wigner sans l'assistance d'un champ magnétique. Mais une démonstration décisive manquait.

Les progrès dans la synthèse de matériaux constitués d'une unique couche atomique ont ouvert la voie à des systèmes prometteurs. Les équipes de Harvard et Zurich ont utilisé du diséléniure de molybdène (MoSe_2), qui a un double avantage: la masse effective des électrons y est importante (ils circulent plus lentement, ce qui réduit l'agitation quantique) et les interactions de ces particules sont plus intenses (la répulsion coulombienne y est moins perturbée – écrantée – que dans d'autres matériaux). Il est alors possible de réunir les conditions pour obtenir un cristal de Wigner sans l'aide d'un champ magnétique et avec une densité d'électrons assez élevée.

L'équipe d'Ataç Imamoğlu a utilisé une seule couche monoatomique de MoSe_2 . En appliquant une tension électrique sur la couche, les chercheurs ont réglé finement la densité électronique et formé un cristal de Wigner, les électrons se disposant selon un réseau triangulaire. L'équipe de Hongkun Park, elle, a utilisé deux couches monoatomiques de MoSe_2 superposées et séparées par un matériau isolant, chacune pouvant contenir un cristal de Wigner. À cause des forces coulombiennes agissant entre les couches, les structures cristallines ne se formaient que pour certains rapports entiers des densités électroniques dans les deux couches.

Grâce à ce dispositif performant, les physiciens ont étudié les transitions de phase du cristal de Wigner. Une première transition peut être obtenue en augmentant la température. Le cristal fond, à l'image d'un glaçon quand la température dépasse 0°C . L'agitation thermique reprend le dessus et les électrons redeviennent un fluide. Mais une autre transition, dite « quantique », est obtenue à température constante: en augmentant la densité électronique, l'agitation quantique s'accroît et déstabilise la structure, et les électrons retrouvent leur fluidité. ■

Sean Bailly

You Zhou et al., *Nature*, vol. 595, pp. 48-52, 2021;
T. Smoleński et al., *ibid.*, pp. 53-57

UNE GUÊPE PARASITE EN TOUTE IMPUNITÉ



Les figes, genre d'arbres auquel appartient le figuier, et les guêpes entretiennent d'étroites relations: les premiers offrent aux secondes un lieu pour pondre et, en échange, les guêpes pollinisent l'arbre... dans la plupart des cas.

L'association étroite entre les figes du Yunnan chinois et certaines guêpes est un jeu à somme positive, où chacun tire des bénéfices de la coopération et a intérêt à la perpétuer. Les insectes pollinisent les figes et s'invitent en échange à l'intérieur des inflorescences pour y pondre leurs œufs et favoriser le développement de leurs larves. La plupart des figes réagissent aux espèces qui se défausseraient de leur rôle pollinisateur: un mécanisme encore mal connu conduit la plante à laisser choir au sol les fruits qui contiennent leurs œufs. Les guêpes les moins pollinisatrices sont ainsi désavantagées dans leur reproduction. Mais Ting Zhang, du jardin botanique tropical de Xishuangbanna, en Chine, et ses collègues ont trouvé une curieuse exception.

Les fruits du fige ginseng servent de lieu de ponte à deux guêpes: *Eupristina verticillata* et une espèce très proche non encore nommée (*Eupristina sp.*). *Eupristina verticillata* porte sur ses pattes des cils accrochant facilement le pollen et permettant sa dispersion. Sa congénère *Eupristina sp.* a perdu ces cils au fil de l'évolution et ne pollinise presque jamais les figes. Mais les chercheurs n'ont remarqué aucune forme de sanction contre ces passagères clandestines. Au contraire: les œufs d'*Eupristina sp.* donnent naissance à 25% de larves en plus que ceux d'*Eupristina verticillata* et plus souvent à des femelles, un sérieux avantage pour la perpétuation de l'espèce.

La bonne élève n'a donc pas encore obtenu d'avantage évolutif, ni été remplacée par le parasite. Ce manège pourrait donc perdurer jusqu'à ce que la plante soit en mesure de différencier les deux espèces pour l'heure bien semblables, et que le parasite soit enfin sanctionné. ■

Valentin Rakovsky

T. Zhang et al., *PNAS*, vol. 118(32), article e2021148118, 2021