Institut de physique

Actualités scientifiques

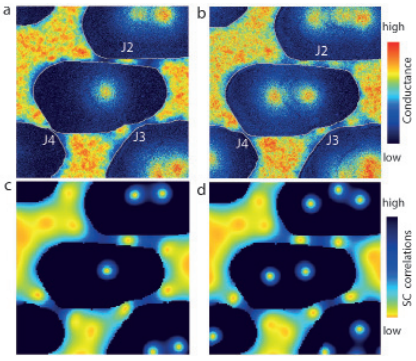
Quand l'observation donne chair aux vortex Josephson

Mars 2015

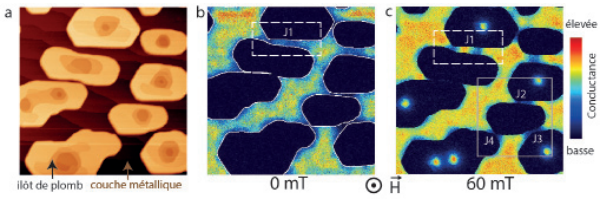
Des physicien·ne·s viennent pour la première fois d'observer des vortex Josephson, une entité considérée pendant cinquante ans uniquement comme un artifice théorique. Ces résultats permettent d'interpréter les oscillations du courant dans les jonctions Josephson lorsque l'on augmente le champ magnétique.

Un courant supraconducteur peut traverser un petit espace qui sépare deux matériaux supraconducteurs, c'est l'effet Josephson. Ce courant a comme propriété de dépendre de manière périodique du champ magnétique auquel est soumis le circuit supraconducteur. Cet effet est souvent interprété comme résultant de la présence simultanée en divers endroits de la jonction de courants microscopiques allant dans un sens ou dans l'autre et produisant des interférences. À cette interprétation est associée l'image physique de tourbillons de courant, les « vortex Josephson » pénétrant au cœur de la jonction lors des variations de champ magnétique. Alors que ces tourbillons n'étaient considérés jusqu'à présent que comme artifice utile pour les calculs, des physiciens d'une équipe commune à l'Institut des nanosciences de Paris - INSP (CNRS/UPMC) et au Laboratoire de physique et d'étude des Matériaux - LPEM (CNRS/ESPCI ParisTech/UPMC) viennent de démontrer leur réalité en les observant grâce à un microscope à effet tunnel. Ce travail, mené en collaboration avec des théoriciens de l'Université Autonome de Madrid, de l'Université Fédérale du Ceará et de l'Université d'Anvers, vient d'être publié dans *Nature Physics*.

Pour réaliser ce travail, les physiciens ont tout d'abord élaboré des jonctions Josephson se prêtant à l'observation. Comme les microscopes à effet tunnel accèdent à la surface des échantillons, il a été nécessaire d'utiliser des jonctions fabriquées in situ sous ultravide pour éviter toute contamination à l'air. Les physiciens ont ainsi choisi d'élaborer ces jonctions par une méthode de croissance auto-organisée d'îlots supraconducteurs de plomb déposés sur une surface isolante de silicium. Les îlots de plomb étaient connectés entre eux par une pellicule de plomb d'épaisseur atomique et de structure amorphe, non supraconductrice. La distance entre les supraconducteurs était choisie supérieure à 30 nanomètres afin de ne pas entraver la pointe du microscope et inférieure à la centaine de nanomètres pour que le couplage Josephson reste mesurable. La largeur des jonctions devait elle aussi atteindre plusieurs centaines de nanomètres pour pouvoir y faire rentrer des vortex Josephson. Grâce au microscope à effet tunnel, les physiciens ont un accès direct à la nature de l'état électronique local, supraconducteur ou normal : lorsque la pointe



a) Zoom sur des jonctions (J2-J3-J4) de la figure 1 montrant l'apparition de vortex Josephson en J2 et J3 pour un champ magnétique de 120mT. b) Pour un champ plus élevé (180mT), de nouveaux vortex pénètrent dans les jonctions. c-d) Simulations numériques sans paramètre ajustable qui reproduisent fidèlement les structures observées à 120mT et 180mT.
© Equipe SNEQ, INSP



a) Image de microscopie à effet tunnel montrant des îlots de plomb supraconducteurs (en clair) sur un substrat de silicium. Une monocouche de plomb (en foncé) recouvre le silicium et crée des ponts métalliques entre les îlots. b) Carte des propriétés électroniques locales mesurées par spectroscopie tunnel à 300 mK montrant en bleu foncé les zones supraconductrices et en jaune-rouge les régions non-supraconductrices. Dans la jonction Josephson J1 (encadré), on voit que le métal entre les îlots apparaît en bleu, il a acquis des propriétés supraconductrices par effet de proximité. c) Quand un champ magnétique de 60mT est appliqué la jonction, J1 évolue et une zone rouge apparaît au centre. Il s'agit du cœur d'un vortex Josephson. Pour comparaison on observe des vortex d'Abrikosov ordinaires dans les îlots supraconducteurs (disques clairs).
© Equipe SNEQ, INSP

se trouve en face d'un métal normal le courant tunnel est proportionnel à la tension appliquée, tandis que lorsqu'il se trouve en face d'un supraconducteur, il faut appliquer une tension minimale pour obtenir un courant, car il faut alors casser les paires de Cooper. En étudiant ces jonctions Josephson à très basse température, les chercheurs ont alors observé au sein des jonctions, un état supraconducteur parsemé d'une deux ou trois petites régions en forme de disque de conducteur dans son état normal. Ces régions, analogues aux cœurs de cyclones sont la signature de la présence de tourbillons de courants : les insaisissables vortex Josephson pris sur le vif. Quand le champ magnétique augmente le nombre de vortex dans les jonctions Josephson augmente et, de manière surprenante, ceux-ci s'assemblent en file indienne alors que les vortex dans les supraconducteurs forment des réseaux hexagonaux. Ce phénomène s'explique par un effet de cisaillement de la phase de la fonction d'onde supraconductrice à la périphérie des jonctions Josephson. La découverte de cet effet, qui peut être induit par le passage d'un courant dans les électrodes supraconductrices, sans besoin d'appliquer un quelconque champ magnétique a permis aux chercheurs de proposer un design de dispositif quantique permettant de générer et de manipuler des vortex Josephson par une méthode purement électrique, sans besoin d'un champ magnétique.

En savoir plus

Direct observation of Josephson vortex cores, D. Roditchev[1,2], C. Brun[1], L. Serrier-Garcia[1], J. Carlos Cuevas[3], V. H. Loiola Bessa[4], M. Vlado Milosevic[4,5], F. Debontridder[1], V. Stolyarov[1] et T. Cren[1], *Nature Physics* (2015)

Contact chercheur

Tristan Cren, chargé de recherche CNRS

- Site web de l'équipe de l'INSP / Site web de l'équipe du LPEM

Informations complémentaires

[1] **Institut des nanosciences de Paris** (INSP)

[2] **Laboratoire de physique et d'étude des Matériaux** (LPEM)

[3] **Departamento de Física Teórica de la Materia Condensada and Condensed Matter Physics Center** (IFIMAC), Universidad Autónoma de Madrid

[4] **Departamento de Física,** Universidade Federal do Ceará, Brésil

[5] **Departement Fysica**, Universiteit Antwerpen, Belgique

www.cnrs.fr

Institut de Physique
CNRS - Campus Gérard Mégie
3 rue Michel-Ange, 75794 Paris Cedex 16
T 01 44 96 42 53
inp-communication@cnrs-dir.fr
www.cnrs.fr/inp

Illustration du bandeau : © CNRS Photothèque / Kaksonen