

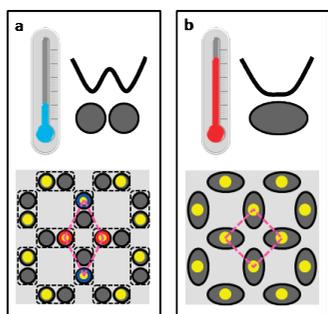
Provoquer le gel ou le dégel d'une glace magnétique en modifiant son degré de frustration

Octobre 2014

Des physiciens viennent d'observer expérimentalement les changements d'organisation d'un réseau de vortex magnétiques, provoqués par une modification du paysage d'énergie, induisant une frustration géométrique des interactions.

Dans un système de particules interagissant deux à deux, les contraintes géométriques peuvent rendre impossible la minimisation simultanée de toutes les interactions. On parle alors de système frustré. C'est par exemple le cas de la glace d'eau : alors que le motif d'énergie minimale pour quatre molécules d'eau est un tétraèdre régulier, il est impossible de remplir l'espace avec ce volume sans former des tétraèdres irréguliers dont l'énergie n'est pas minimale. Les systèmes permettant l'étude expérimentale des conséquences de la frustration sont rares et surtout leur géométrie est habituellement prédéterminée. Des physiciens de l'Unité Mixte de Physique CNRS/Thales à Palaiseau, du Laboratoire de Photonique et de Nanostructures - LPN (CNRS) à Marcoussis et du Laboratoire de Physique et d'Etude des Matériaux - LPEM (CNRS/ESPCI ParisTech/UPMC) viennent de mettre au point un système à deux dimensions dont il est possible de basculer le paysage d'énergie d'une configuration « frustrante » à une configuration « non frustrante ». Il s'agit d'un oxyde supraconducteur à haute température critique dont les propriétés sont modulées spatialement. On obtient ainsi un paysage d'énergie pour des vortex magnétiques dont la géométrie varie radicalement en fonction de la température. En chauffant ou refroidissant ce dispositif, les chercheurs ont activé ou désactivé la frustration géométrique, et ainsi observé et analysé le gel ou la fonte d'une glace magnétique. Ce travail est publié dans la revue *Nature Nanotechnology*.

Lorsque l'on place une couche peu épaisse de supraconducteur dans un champ magnétique, il se forme des tourbillons de courant, aussi dénommés vortex, au centre desquels passent les lignes de champ magnétique. Ces vortex de diamètre nanométrique, dont le flux magnétique est quantifié et égal au quantum élémentaire de flux, se comportent comme de petites particules se repoussant deux à deux. Ils s'organisent en formant un réseau élastique qui s'adapte au paysage d'énergie potentielle créé par les défauts du matériau. En combinant la nanolithographie électronique et l'irradiation ionique, les chercheurs ont mis au point une technique permettant de moduler spatialement les propriétés électroniques d'un oxyde



A basse température (a), les puits de potentiel (gris foncé) sont disposés d'une façon telle que les vortex (jaune) se voient forcés à adopter une configuration du type « glace » (la distance entre les vortex n'est pas constante). En revanche, à plus haute température (b), les puits de potentiel les plus proches coalescent, ce qui efface la frustration géométrique et permet aux vortex d'adopter une configuration périodique.

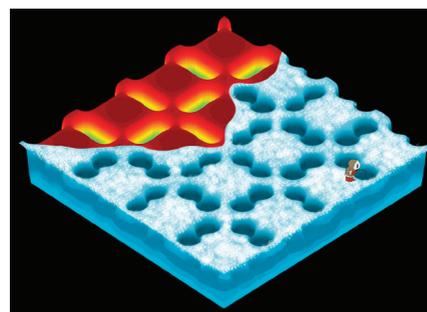


Image « artistique » de la fonte de la glace artificielle à base de vortex

supraconducteur à haute température critique et de la sorte contrôler le paysage d'énergie vu par les vortex. Lorsque la température est basse, chaque site du réseau présente deux minima d'énergie entre lesquels le vortex doit choisir, tandis que pour une température plus élevée, ces deux puits fusionnent en un seul. En mesurant la magnétorésistance des échantillons, directement liée à la mobilité des vortex, les chercheurs ont pu caractériser la transition entre un état de glace, dans le premier potentiel, à un cristal, dans le second.

Les résultats de cette étude, en particulier la possibilité de varier la géométrie via la température, ouvrent des nouvelles possibilités dans l'étude de la glace artificielle. Par exemple la possibilité d'introduire des défauts, zones cristallisées à l'intérieur d'un état de glace, dont la prépondérance peut être contrôlée via la température, ou d'étudier des phénomènes de relaxation après un changement abrupt de la géométrie. En dehors des systèmes frustrés, les résultats ouvrent des nouveaux horizons dans la « fluxtronique », dont l'objectif est d'obtenir des fonctionnalités, par exemple la rectification d'un signal électrique, via la manipulation des vortex. Ceci est fait en utilisant des paysages d'énergie d'une géométrie particulière. La possibilité de modifier la géométrie via la température permettrait donc de changer la fonctionnalité des dispositifs à l'aide de ce paramètre externe - ce qui n'était pas possible auparavant.

En savoir plus

Freezing and thawing of artificial ice by thermal switching of geometric frustration in magnetic flux lattices, J. Trastoy¹, M. Malnou², C. Ulysse³, R. Bernard¹, N. Bergeal², G. Faini³, J. Lesueur², J. Briatico¹ et Javier E. Villegas¹, *Nature Nanotechnology*, 2014

- Retrouvez l'article sur la **base d'archives ouvertes arXiv**

Contact chercheur

Javier Villegas, chargé de recherche CNRS

Informations complémentaires

¹ Unité Mixte de Physique CNRS/Thales

² Laboratoire de Physique et d'Etude des Matériaux (LPEM)

³ Laboratoire de Photonique et de Nanostructures (LPN)