

Des effets relativistes à la portée de tous (les atomes)

Une piste prometteuse pour réaliser des dispositifs électroniques novateurs à faible consommation d'énergie consiste à utiliser l'orientation du moment magnétique intrinsèque de l'électron (spin) en guise d'unité élémentaire d'information (bit), au lieu de manipuler des courants électriques, comme c'est le cas de la technologie actuelle, basée sur des transistors MOSFET. Cette technologie du futur est appelée spintronique. Le défi à relever pour réaliser un dispositif spintronique est le contrôle d'un état électronique selon l'orientation up ou down du spin, s. Au cours des dernières années, les chercheurs se sont intéressés aux effets relativistes dans les solides qui permettent de distinguer deux états électroniques avec spin opposés sous l'effet d'un champ électrique intense, E. Typiquement, cet effet (dit Rashba) est observé dans des solides contenant des atomes lourds, où la vitesse des électrons est relativiste (proche de la vitesse de la lumière). Pour cette raison, les études récentes en vue d'applications spintroniques se sont focalisées sur des matériaux contenant des atomes de numéro atomique élevé. Ce préjugé vient d'être brisé par une découverte des équipes Design et étude de nouveaux matériaux à propriétés remarquables (DEMARE) et Théorie quantique des matériaux (TQM) de l'IMPIC, en collaboration avec le Laboratoire de Physique des Solides de l'université Paris Sud et les synchrotrons ELETTRA et SOLEIL¹.

En effet, les chercheurs ont observé un effet relativiste Rashba inattendu dans un matériau, le sulfure de baryum et nickel BaNiS_2 , sans éléments lourds électroniquement actifs (Fig. a). Le baryum est bien un élément lourd mais il n'intervient pas directement dans les propriétés du composé tandis que le nickel est relativement léger. Une étude sur monocristaux par photoémission d'électrons résolue en angle a révélé une séparation Rashba très importante, $\Delta\varepsilon \sim 150$ meV, entre états électroniques ayant une combinaison différente des champ électrique, vitesse et orientation du spin (Fig. b,c). Des calculs par principes premiers de la structure électronique du BaNiS_2 expliquent complètement ce résultat par l'existence d'un champ électrique local (dit champ cristallin) dipolaire très intense agissant sur les électrons du Ni, créé par la coordinance pyramidale des ions Ni (Fig. a).

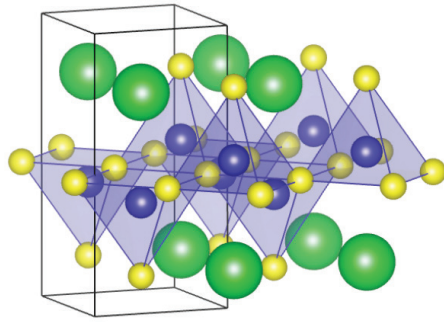


Figure a.

Structure cristalline du sulfure bidimensionnel BaNiS_2 . Les atomes de Ba, Ni et S sont indiqués respectivement en vert, bleu et jaune. La particularité de cette structure consiste en la coordinance pyramidale du Ni, avec orientation alternée vers le haut et vers le bas des pyramides. Le trait continu en noir indique la maille élémentaire.

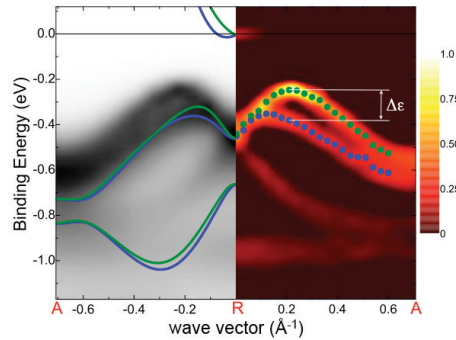


Figure b.

Détail de la structure des bandes mesurée par spectroscopie de photoélectrons résolue en angle sur un cristal de BaNiS_2 . À gauche les intensités brutes, à droite la dérivée des intensités par rapport à l'énergie. À noter la séparation de ~ 150 meV des niveaux par l'effet Rashba. Les traits continus indiquent les bandes calculées.

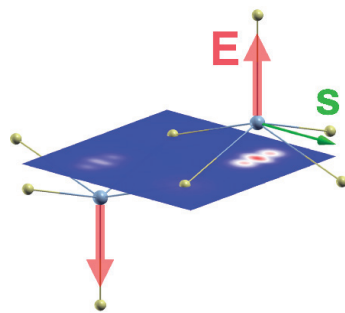


Figure c.

Densité de probabilité et orientation du spin s de l'électron localisé sur le site du Ni où la pyramide (et E) est orientée vers le haut, calculé pour la bande Rashba d'énergie supérieure de la figure b. Un spin opposé caractérise l'électron occupant la même bande mais localisé sur le site du Ni de la pyramide orientée vers le bas.

Ce résultat démontre que la symétrie locale du cristal joue un rôle primordial sur les effets relativistes, au même titre que le champ coulombien du noyau dans les atomes lourds. Cette découverte élargit considérablement la gamme des matériaux où les effets relativistes peuvent être exploités pour contrôler non seulement la charge mais aussi le spin de l'électron, en vue d'applications pour le traitement de l'information au niveau quantique.

Référence

"Rashba coupling amplification by a staggered crystal field"

David Santos-Cottin, Michele Casula, Gabriel Lantz, Yannick Klein, Luca Petaccia, Patrick Le Fèvre, François Bertran, Evangelos Papalazarou, Marino Marsi & Andrea Gauzzi

Nature Communications 7, 11258 (2016)

doi:10.1038/ncomms11258

Contact

Andrea Gauzzi : Andrea.Gauzzi@impmc.jussieu.fr