



Un nou superconductor unidimensional

En un avenc significatiu en el camp de la superconductivitat, investigadors de la Universitat de Manchester, en col·laboració amb l'ICFO, han aconseguit una superconductivitat robusta en camps magnètics elevats utilitzant un sistema unidimensional (1D) creat recentment. Aquest avenc ofereix un camí prometedori per aconseguir la superconductivitat en el règim de Hall quàntic, un desafiament que fa molt de temps que està instaurat en la física de la matèria condensada.

April 24, 2024

La superconductivitat, la capacitat de certs materials per conduir electricitat amb resistència zero, té un gran potencial per als avenços de les tecnologies quàntiques. S'utilitza, per exemple, en elements clau dels futurs ordinadors quàntics. En particular, es va proposar que una superconductivitat robusta sota forts camps magnètics podria permetre la creació de bits quàntics tolerants a errades. Tanmateix, aconseguir la superconductivitat sota aquestes condicions (en l'anomenat règim de Hall quàntic) ha resultat un gran desafiament.

La investigació, publicada a Nature, detalla l'extens treball per aconseguir la superconductivitat en el regim de Hall quantic liderat per un equip de la Universitat de Manchester, amb el recentment nomenat investigador de l'ICFO, el **Dr. Julien Barrier**, com al seu corresponent primer autor, en col·laboració amb l'investigador de l'ICFO **Dr. Roshan Krishna Kumar** i el **professor ICREA Frank Koppens** i altres institucions internacionals (Kyung Hee University, University of Lancaster, National Institute of Materials Science y Yale University). Informen sobre un nou mètode en que la superconductivitat sorgeix a partir d'estats unidimensionals.

Superconductivitat amb electrons unidimensionals

Els esforços inicials dels investigadors per induir superconductivitat en camps magnètics elevats van seguir la ruta convencional en aquesta comunitat. Gràcies a l'efecte de proximitat, un superconductor pot induir les seves propietats a un metall normal posat en contacte amb ell. La seva intenció era acoblar electrons que es propagaven al llarg de les vores d'un dispositiu. Amb aquesta idea en ment, l'equip va començar utilitzant una sola capa de grafe, tallada per la meitat i mantenint ambdues seccions a només uns 10 nanòmetres de distància. S'esperava que els corrents de les vores s'acoblessin a distàncies estretes, però l'experiment va demostrar el contrari: la distància entre els electrons encara era massa gran. L'equip va aprofitar els coneixements adquirits i va seguir amb dues capes de grafe, una a sobre de l'altra, desalineades en un angle molt petit (al voltant de $0,1^\circ$). En aquesta situació l'estructura de les lamines es reorganitza a causa de tensions importants, cosa que dona com a resultat una configuració molt diferent on es formen dominis d'escala micromètrica. Aquestes múltiples regions estan separades per parets de domini estretes, les quals es van emprar en aquest estudi. Al llarg d'aquestes parets, els investigadors van demostrar que els electrons sí que es poden propagar.

Explotant aquesta tècnica, "vam fabricar unions superconductores i observarem un supercorrent notablement fort a temperatures relativament "temperades" (fins a un Kelvin) en cadascun dels dispositius", explica el Dr. Barrier. "Això va ser molt encoratjador, però no sabem la quantitat de parets de domini ni on estaven ubicades. Probablement, aquest va ser el desafiament més gran que vam haver de superar."

Afortunadament, en aquell moment, el Dr. Roshan Krishna Kumar i el Prof. Frank Koppens de l'ICFO acabaven de descobrir una tècnica per observar les parets de domini en dispositius encapsulats. Després de discutir amb el Dr. Krishna Kumar i el Prof. Koppens, vam enviar alguns dispositius a l'ICFO perquè en prenguessin imatges, cosa que ens va permetre seleccionar aquells en que teníem la certesa de que només hi havia un o dos ous de domini. Rememora

Barrier. Gràcies a aquests dispositius seleccionats, l'equip va poder demostrar que les parets de domini transportaven supercorrents d'un sol mode, és a dir, estats electrònics estictament 1D. Amb l'estudi de dispositius que incorporen tan sols una paret de domini, l

equip de recerca va poder demostrar que la seva interpretació original dels estats de vora de Hall quàntics que es formen a cada costat de la paret de domini i s'acoblen per induir la superconductivitat no podia ser correcta. **Les parets de domini transporten els seus propis electrons unidimensionals, que suporten supercorrents més robustes en camps magnètics elevats que els estats de vora de Hall quàntics tradicionals.** L'equip de Manchester també va demostrar que aquests estats podrien manipular-se utilitzant voltatges de porta i que les seves propietats superconductores es podrien veure influenciades pel nombre de parets en un únic dispositiu.

En general, la **tecnica de presa d'imatges de l'ICFO** va ser crucial per demostrar que la superconductivitat observada estava causada per estats purament unidimensionals, cosa que permet **una superconductivitat així d'efectiva en el règim de Hall quàntic.**

Obrint la porta a nous descobriments físics

El descobriment de la superconductivitat 1D d'un sol mode mostra interessants vies per a futures investigacions. Aquests canals d'electrons unidimensionals es podrien fer servir en investigacions més enllà del camp de la superconductivitat. És estrany aconseguir altes mobilitats d'electrons com les reportades en aquest experiment perquè els defectes en el material tendeixen a interrompre el seu moviment. La capacitat de mantenir altes velocitats és extremadament desitjable, ja que pot reduir la dissipació de calor dels dispositius electrònics i, el que és més important, és un requisit previ per induir nova física. Per exemple, l'alta mobilitat en sistemes 2D va permetre observar fenòmens fascinants com l'efecte Hall quàntic enter i fraccionari (premis Nobel el 1985 i el 1998, respectivament).

El Dr. Barrier conclou: *El nostre sistema introdueix una nova plataforma per explorar física en una dimensió. Tot i que demostrem la seva aplicació en superconductivitat, aquest sistema 1D promet una àmplia gamma d'avencos tecnològics i investigacions fonamentals. El seu potencial continua totalment obert?*

Referència bibliogràfica

Barrier et al., *One-dimensional proximity superconductivity in the quantum Hall regime*, Nature number 628 issue 8009, (2024).