



Un nuevo superconductor unidimensional

En un avance significativo en el campo de la superconductividad, investigadores de la Universidad de Manchester, en colaboración con el ICFO, han logrado una superconductividad robusta en campos magnéticos elevados utilizando un sistema unidimensional (1D) recientemente creado. Este avance ofrece un camino prometedor para lograr la superconductividad en el régimen de Hall cuántico, un desafío que lleva largo tiempo instaurado en la física de la materia condensada.

April 24, 2024

La superconductividad, la capacidad de ciertos materiales para conducir electricidad con resistencia cero, tiene un gran potencial para los avances de las tecnologías cuánticas. Se utiliza, por ejemplo, en elementos clave de los futuros ordenadores cuánticos. En particular, se propuso que una superconductividad robusta bajo fuertes campos magnéticos podría permitir la creación de bits cuánticos tolerantes a fallos. Sin embargo, lograr la superconductividad bajo estas condiciones (en el llamado régimen de Hall cuántico) ha

resultado ser un gran desafío.

La investigación, publicada en Nature, detalla el extenso trabajo para lograr la superconductividad en el régimen de Hall cuántico que ha liderado un equipo de la Universidad de Manchester, siendo el recientemente nombrado investigador del ICFO, el **Dr. Julien Barrier**, su correspondiente primer autor, en colaboración con el investigador del ICFO **Dr. Roshan Krishna Kumar** y el **profesor ICREA Frank Koppens** y otras instituciones internacionales (Kyung Hee University, University of Lancaster, National Institute of Materials Science y Yale University). Informan sobre un método novedoso en el que la superconductividad surge a partir de estados unidimensionales.

Superconductividad con electrones unidimensionales

Los esfuerzos iniciales de los investigadores para inducir superconductividad en campos magnéticos elevados siguieron la ruta convencional en esta comunidad. En el efecto de proximidad, un superconductor puede inducir sus propiedades a un metal normal puesto en contacto con él. Su intención era acoplar electrones que se propagaban a lo largo de los bordes del dispositivo. Con este fin, el equipo comenzó utilizando una sola capa de grafeno, cortada por la mitad y manteniendo ambas secciones a solamente unos 10 nanómetros de distancia. Se esperaba que las corrientes de los bordes se acoplaran a distancias estrechas, pero el experimento demostró lo contrario: la distancia entre los electrones todavía era demasiado grande.

El equipo aprovechó los conocimientos adquiridos y siguió con dos capas de grafeno, una encima de otra, desalineadas en un ángulo muy pequeño (alrededor de $0,1^\circ$). En esta situación, la estructura de las láminas se reorganiza debido a tensiones importantes, lo que da como resultado una configuración muy diferente donde se forman dominios de escala micrométrica. Estas múltiples regiones están separadas por paredes de dominio estrechas las cuales se emplearon en el presente estudio. A lo largo de estas paredes, los investigadores demostraron que los electrones sí que pueden propagarse

Explotando esta técnica, "fabricamos uniones superconductoras y observamos un supercorriente notablemente fuerte a temperaturas relativamente "templadas" (hasta unos Kelvin) en cada uno de los dispositivos", explica el Dr. Barrier. ¿Esto fue muy alentador, pero no sabemos la cantidad de paredes de dominio ni donde estaban ubicadas. Probablemente, este fue el mayor desafío que tuvimos que superar. Afortunadamente, en ese momento, el Dr. Roshan Krishna Kumar y el Prof. Frank Koppens del ICFO acababan de lanzar una técnica para observar las paredes de dominio en dispositivos encapsulados. Después de discutir con el Dr. Krishna Kumar y el Prof. Koppens, elegimos algunos dispositivos al ICFO para que tomaran imágenes, lo que nos permitió seleccionar aquellos en los que teníamos la certeza de que solo había uno o dos muros de dominio, recuerda

Barrier. Gracias a estos dispositivos seleccionados, el equipo pudo demostrar que las p

redes de dominio transportaban supercorrientes de un unico modo, es decir, estados electronicos estrictamente 1D. Con el estudio de dispositivos que incorporan una sola pared de dominio, el equipo de investigacion pudo demostrar que su interpretacion original de los estados de borde de Hall cuanticos que se forman a cada lado de la pared de dominio y se acoplan para inducir la superconductividad no podia ser correcta. **Las paredes del dominio transportan sus propios electrones unidimensionales, que soportan supercorrientes mas robustas en campos magneticos elevados que los estados de borde de Hall cuanticos tradicionales.** El equipo de Manchester tambien demostro que estos estados podrian manipularse utilizando voltajes de puerta y que sus propiedades superconductoras podrian verse influenciadas por el numero de paredes en un unico dispositivo.

En general, la **tecnica de toma de imagenes del ICFO** fue crucial para demostrar que la superconductividad observada fue causada por estados puramente unidimensionales, lo que permite una **superconductividad asi de efectiva en el regimen de Hall cuantico.**

Abriendo la puerta a nuevos descubrimientos fisicos

El descubrimiento de la superconductividad 1D de un solo modo muestra interesantes vias para futuras investigaciones. Estos canales de electrones unidimensionales podrian utilizarse en investigaciones mas alla del campo de la superconductividad. Es raro lograr altas movilidades de electrones como las reportadas en este experimento, porque los defectos en el material tienden a interrumpir su movimiento. La capacidad de mantener altas velocidades es extremadamente deseable, ya que puede reducir la disipacion de calor de los dispositivos electronicos y, lo mas importante, es un requisito previo para inducir nueva fisica. Por ejemplo, la alta movilidad en sistemas 2D permitio observar fenomenos fascinantes como el efecto Hall cuantico entero y fraccionario (premios Nobel en 1985 y 1998, respectivamente). El Dr. Barrier concluye: *¿Nuestro sistema introduce una plataforma novedosa para explorar fisica en una dimension. Si bien demostramos su aplicacion en superconductividad, este sistema 1D promete una amplia gama de avances tecnologicos e investigaciones fundamentales. Su potencial continua totalmente abierto?*

Referencia bibliografica

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