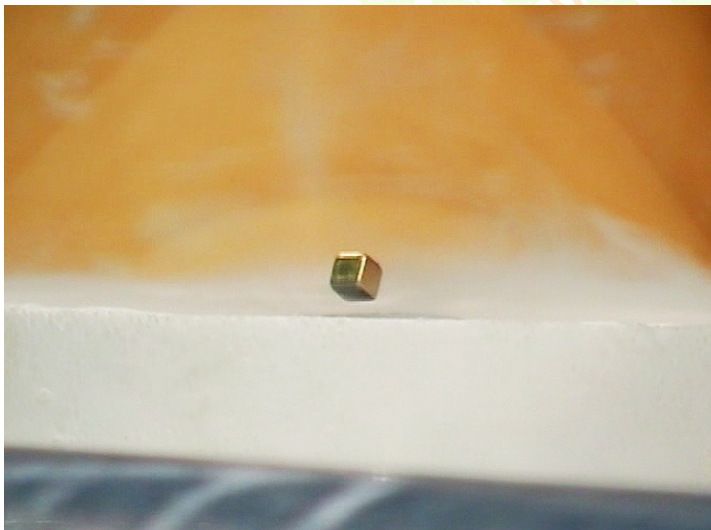


Una mirada a la superconductividad

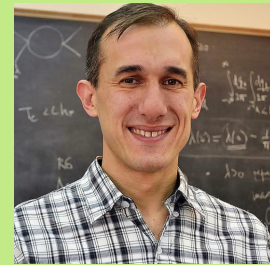
Los materiales superconductores se utilizan en muchísimas áreas, y se han transformado en objeto de una tecnología fundamental, sobre todo en la construcción de electroimanes poderosos necesarios en medicina, informática y en algunos supercolisionadores¹. Están asociados a ideas que hasta hace poco eran ciencia ficción, como la levitación², líneas eléctricas sin pérdidas de energía o potentes gases refrigeradores para alcanzar temperaturas extremadamente bajas. Entonces nos preguntamos ¿qué son los superconductores, cómo podemos entenderlos y para qué nos sirven?



Magneto levitando arriba de un superconductor enfriado a bajas temperaturas. (Gentileza: Dr. Mario Guimpel, Laboratorio de Bajas Temperaturas, Centro Atómico Bariloche – CNEA)

Descubriendo la superconductividad

Sabemos que un *conductor* es un material (por ejemplo, un metal) que permite el paso de electricidad, y que la *electricidad* es una corriente de cargas producidas por el movimiento coordinado de *electrones*. Sin embargo, hay una cierta resistencia al transporte de dichas cargas, y para vencer esta resistencia es necesario aplicar un impulso (voltaje). Microscópicamente, esto se debe a que los electrones chocan contra los átomos que forman el material del conductor, transformándose parte de su energía en calor y perdiendo velocidad. Debido a ello, el transporte de electricidad consume mucha energía, y es sabido que la transmisión a través



Autor

Gonzalo Torroba

Licenciado en Física (IB)

Doctor en Física (Rutgers University - EE.UU.)

Investigador del CONICET en CAB / CNEA

Docente del IB

Investiga en física teórica, física de partículas y materia condensada

Ha sido premiado por Fundación Bunge-Born y la ANCEFN por sus trabajos

de las líneas de alta, media y baja tensión genera grandes pérdidas energéticas y económicas al sistema. Ya en 1911, el físico holandés Kammerlingh-Onnes descubrió que al enfriar el mercurio a bajísima temperatura (alrededor de 269 grados bajo cero en la escala Celsius, que usamos diariamente), se anulaba esa resistencia y el material adquiría *conductividad infinita*. Por ese descubrimiento recibió un premio Nobel en 1913. Se daba así inicio a la realización del sueño de la conductividad perfecta y se la llamó *superconductividad*. A partir de ese descubrimiento, los científicos imaginaron la posibilidad de tener un conductor capaz de transportar electricidad sin resistencia. Elaborar un material de estas características sería revolucionario por sus aplicaciones. Para lograrlo, comenzaron a investigar enfriando los metales con los que contaban, a temperaturas cada vez más bajas, y construyendo nuevos dispositivos para lograrlo. En los siguientes años se comprobó el mismo sorprendente fenómeno en otros metales, también a temperaturas extremadamente bajas. De hecho, estas temperaturas eran cercanas al cero absoluto en la escala Kelvin (-273 °C). Este estado térmico lo puede llegar a lograr un científico en un laboratorio, pero para llegar a concretarse aplicaciones tecnológicas útiles a la sociedad, es necesario construir superconductores que funcionen a temperaturas no tan bajas. De allí el interés de la ciencia de estudiar el fenómeno físico que origina la superconductividad.

¿Por qué se produce la superconductividad?

La superconductividad es un sorprendente fenómeno colectivo que obedece las leyes de la *mecánica cuántica*³. Expliquemos algunos aspectos del mundo cuántico que necesitamos conocer para continuar con nuestra historia. A distancias muy pequeñas comparables al tamaño de un átomo, las partículas no se comportan como objetos rígidos, sino como pequeñas *ondas*. Como sucede con las vibraciones de la cuerda de una guitarra, cuando estas ondas están confinadas en una región del espacio (como un átomo), sólo pueden vibrar con determinadas frecuencias. Esto hace que a este nivel, el intercambio de energía se realice por paquetes o *cuantos*, no en forma continua. Aquí encontramos otro aspecto cuántico crucial: las partículas solo pueden comportarse de dos maneras diferentes, como *fermiones* o como *bosones*. Los fermiones son partículas que se repelen cuánticamente entre sí, y no pueden siquiera ocupar un nivel de energía que ya está ocupado por otro fermión. Los bosones, por el contrario, pueden superponerse sin restricciones. Esta naturaleza cuántica de las partículas determina la estructura de toda la materia que conocemos. Los constituyentes de los átomos (protones, neutrones y electrones) son todos fermiones; su repulsión cuántica permite entender por qué los átomos son estables, constituyendo los diferentes elementos químicos de la tabla periódica. En este contexto cuántico aparece el fenómeno de la superconductividad de la mano de un nuevo tipo de partícula, llamada *par de Cooper*⁴, que surge cuando dos electrones se ligan entre sí, en lugar de rechazarse por poseer la misma carga eléctrica. Pequeñas vibraciones de la estructura del material conductor hace que los electrones se atraigan. Los pares de Cooper terminan siendo bosones, que superpuestos todos en el mismo nivel de energía (la más baja posible) forman una especie de *estado colectivo coherente*, donde los electrones se desplazan sin resistencia, dando lugar a la superconductividad. Este entendimiento teórico, al que contribuyeron físicos como Bardeen, Cooper y Schrieffer, revela que la clave para la superconductividad reside en la atracción entre electrones, que da lugar a los pares de Cooper, y por ello estos físicos merecieron

otro premio Nobel. Sin pares de Cooper, no habría conductividad perfecta, ni aún a bajísimas temperaturas.

Presente y futuro

Armados con este entendimiento cuántico de la superconductividad, finalicemos con una mirada sobre su presente y futuro. Una nueva revolución se inició a partir de 1986, con el desarrollo de nuevos materiales sintéticos, que son superconductores a temperaturas mucho más altas⁵ que las del inicio del descubrimiento. Desde ese entonces, gracias a las investigaciones, nuestra capacidad para sintetizar mejores superconductores ha ido aumentando año tras año. Desde un punto de vista teórico, la ingeniería de estos materiales da lugar a atracciones cada vez más fuertes entre electrones, facilitando así la formación de pares de Cooper. Parece ahora factible lograr la superconductividad a temperaturas cotidianas, lo que tendría aplicaciones tecnológicas increíbles. En centros de investigación como el Centro Atómico Bariloche y el Instituto Balseiro, a los cuales pertenezco, los progresos en esta área se dan en base a trabajos interdisciplinarios. La superconductividad es un área fascinante, que combina *física experimental* con *física teórica* de la materia condensada⁶ y que sin duda, en los próximos años seguirá brindándonos una ventana al sorprendente mundo cuántico y sus aplicaciones.

REFERENCIAS

- 1 Son aceleradores de partículas de grandes dimensiones. Los superconductores se usan específicamente en los supercolisionadores que trabajan con física de alta energía.
- 2 Cuando un cuerpo está suspendido (flota) en forma estable en el espacio.
- 3 Es la rama de la física que estudia los sistemas atómicos y subatómicos.
- 4 Cooper es el nombre del científico que descubrió este fenómeno.
- 5 En los últimos días se anunció que hay nuevos materiales que se comportan como superconductores a 15°C, aplicando presiones muy altas.
- 6 Es la rama de la física que estudia las características físicas macroscópicas de la materia, y busca hacer relaciones entre estas propiedades y el comportamiento de sus átomos, para comprender mejor las propiedades de los materiales.

ABREVIATURAS

ANCEFN: Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
CAB: Centro Atómico Bariloche
CNEA: Comisión Nacional de Energía Atómica
CONICET: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina
IB: Instituto Balseiro (CNEA – Universidad Nacional de Cuyo)



Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable
Comisión Nacional de Energía Atómica

Tel: 011-4704-1485 www.cnea.gov.ar/ieds

Av. del Libertador 8250 (C1429BNP) C. A. de Buenos Aires - República Argentina

Año de edición: 2020/3º ISBN: 978-987-1323-12-8