

Teoría y práctica de la Superconductividad

Jesús Ruiz Felipe jesusruiz@sociedadelainformacion.com

Profesor de Física y Química del IES Cristóbal Pérez Pastor de Tobarra (Albacete)

1. FUNDAMENTOS DE LA SUPERCONDUCTIVIDAD:

La superconductividad es el fenómeno que se produce en algunas sustancias (ciertos metales y cerámicas) en las que desaparece su resistividad eléctrica cuando la temperatura se reduce por debajo de una temperatura crítica, T_c . Este fenómeno sorprendente fue observado por primera vez por el holandés Onnes en 1911. Los primeros superconductores descubiertos en 1911 eran metales simples como el mercurio y el plomo. Eran conductores ordinarios a temperatura ambiente, pero se convertían en superconductores cuando la temperatura caía hasta unos pocos grados (3°K) sobre el cero absoluto. Estos superconductores eran demasiado fríos para muchas aplicaciones prácticas. Desde entonces los investigadores han estado intentando averiguar como hacer sustancias superconductoras a temperatura ambiente (aproximadamente 273°K). Los superconductores de alta temperatura operan alrededor de los 100 a 150°K .

La segunda característica de los superconductores es que tienen propiedades magnéticas asombrosas. El campo magnético dentro de un superconductor es nulo. La inducción magnética es expulsada del interior. Es el llamado efecto Meissner y se comprueba haciendo levitar un imán sobre el superconductor sumergido en Nitrógeno líquido.

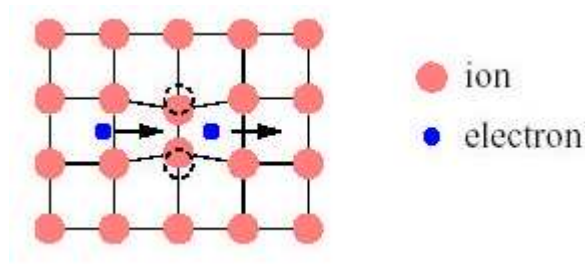
Teoría que explica la superconductividad.

En una red los iones no están fijos en sus posiciones, sino que vibran alrededor de ellas. Es válido imaginarlos como pequeñas bolitas enganchadas a sus vecinas mediante muelles. Las fuerzas elásticas que crean los resortes sobre un ión cuando este se desplaza un poco de su posición de equilibrio hacen que vibre y que esta vibración se propague por todo el cristal como una onda. La física cuántica afirma que estas ondas no pueden tener una energía cualquiera. La energía está cuantizada en paquetes llamados fonones.

Los físicos Bardeen, Cooper y Schrieffer (BCS) descubrieron que si un electrón se mueve por la red, atrae hacia sí a los núcleos iónicos positivos de manera que la región de la red por donde circula el electrón tendrá una densidad de carga positiva mayor que la normal. Otro electrón que pasa por esa

SUPERCONDUCTIVIDAD

zona notará ese exceso de carga positiva y se ve atraído por ella. En conjunto es como si el segundo electrón fuese atraído por el primero: Los dos electrones se conectan para formar un par, llamado *par de Cooper*.



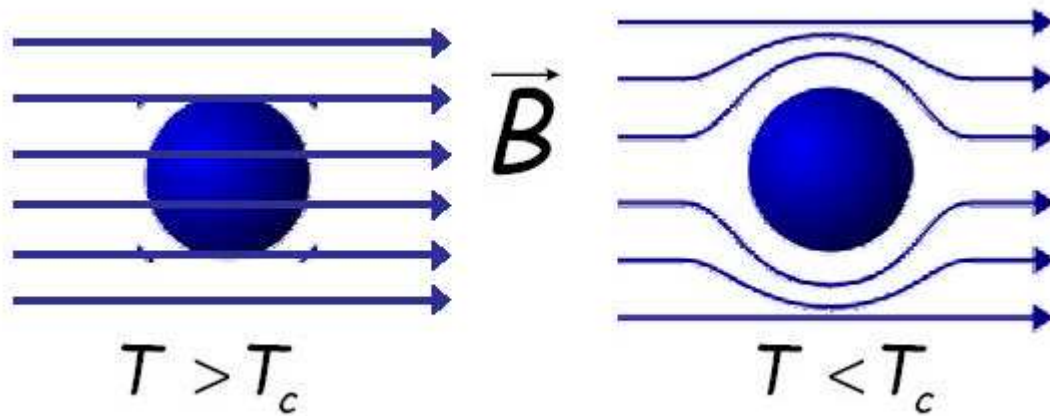
Aparece una interacción atractiva entre dos electrones que vence la repulsión coulombiana entre ellos. Para que esto ocurra las condiciones son las siguientes:

- La T^a tiene que ser lo suficientemente baja, para que las vibraciones aleatorias del cristal no destruyan los fonones. Las vibraciones de la red están relacionadas directamente con la temperatura. El Cero Absoluto es el punto al cual desaparecen todas las vibraciones. Es imposible entonces, alcanzar una temperatura más baja. A medida que sube la temperatura las vibraciones aumentan. La temperatura que tiene un material es justamente una medida del movimiento de sus átomos.
- La interacción del electrón con la red es fuerte, de modo que la sustancia que tenga una resistencia relativamente baja a temperatura ambiente, porque sus electrones de conducción interactúan débilmente con las vibraciones térmicas de la red, no será un posible superconductor a bajas temperaturas.
- La superconductividad depende de las características de la red cristalina, y no de las propiedades atómicas.

EFECTO MEISSNER

En 1933, Meissner encontró que los materiales superconductores poseen propiedades magnéticas extraordinarias; un superconductor en un campo magnético se comporta como un diamagnético perfecto, El efecto Meissner consiste en la expulsión de la inducción magnética del interior del superconductor al aplicar un campo magnético externo

SUPERCONDUCTIVIDAD



El diamagnetismo es una propiedad de los materiales que consiste en repeler los campos magnéticos. Este fenómeno fue descubierto en 1845 por Michael Faraday.

Una forma sencilla de explicar el diamagnetismo es decir que se trata de una propiedad de la materia resultado de aplicar la ley de Lenz a escala atómica. Según la teoría electromagnética, siempre que varía el flujo magnético se genera una corriente inducida y según la ley de Faraday-Lenz "el sentido de las corrientes inducidas es tal que con sus acciones electromagnéticas tienden a oponerse a la causa que las produce".

Todos los átomos contienen electrones que se mueven libremente y cuando se aplica un campo magnético exterior se induce una corriente superpuesta cuyo efecto magnético es opuesto al campo aplicado

El efecto Meissner no es una consecuencia directa de la resistividad nula, sino una propiedad adicional de los superconductores. El razonamiento que justifica esta afirmación es el siguiente:

La ley de Ohm ($\mathbf{V} = \mathbf{IR}$) predice que si el conductor es perfecto $\mathbf{R} \rightarrow 0$, el potencial eléctrico $\mathbf{V} \rightarrow 0$.

Por otra parte, la ley de Faraday ($\mathbf{V} = -d\mathbf{B}/dt$) predice que si $\mathbf{V} \rightarrow 0$, se tiene que cumplir que $d\mathbf{B}/dt = 0$. En un conductor perfecto el campo magnético no depende del tiempo, por tanto el flujo no puede cambiar.

London explicó el comportamiento de los superconductores restringiendo las soluciones de la ecuación de Faraday. Postuló que las corrientes y campos magnéticos en los superconductores sólo pueden existir dentro de una capa de pequeño espesor en la superficie. Por tanto en la ecuación $d\mathbf{B}/dt = 0$, no es suficiente que $\mathbf{B} = \text{cte}$ sino que la inducción debe ser nula. En un conductor perfecto el campo magnético siempre es constante y en el superconductor es además cero, que es un requerimiento mucho más fuerte.



Por el efecto Meissner sabemos que en la pastilla no existe resistencia al paso de la corriente eléctrica. Además los campos magnéticos no penetran en el superconductor.

Sin el efecto Meissner, no podemos asegurar que tenemos un superconductor. Cuando un material no tiene resistencia eléctrica recibe el nombre de conductor perfecto. Así, todo superconductor es un conductor perfecto. Pero no todo conductor perfecto es un superconductor. La diferencia consiste en el efecto Meissner.

Superconductor elaborado en IES Cristóbal Pérez Pastor de Tobarra en 2006

Para visualizar el archivo:

http://www.jccm.es/edu/ies/cperezpastor/dptos/fq/matcién/SUPERCONDUCTOR_archivos/superconductor.wmv

SOCIEDAD DE LA INFORMACION

www.sociedadelainformacion.com

Edita:



Director: José Ángel Ruiz Felipe
Jefe de publicaciones: Antero Soria
Luján

D.L.: AB 293-2001
ISSN: 1578-326x