

Superconductividad

Oscar Adrián Ramírez Kantun

8 de junio de 2018

La superconductividad es un fenómeno donde ciertos materiales pierden su resistencia eléctrica a una cierta temperatura, esto permite la libre conducción de electrones en el material. La primera observación que se hizo fue en 1911 con mercurio, por el físico holandés Heike Kamerlingh Onnes, el noto que al poner este metal por debajo de $4K$, este perdía su resistividad eléctrica. En general, semiconductores altamente dopados como germanio o silicio pueden convertirse en superconductores, otros metales como oro, cobre, plata, litio, sodio potasio, etc. no presentan la superconductividad al menos para temperaturas del orden de milikelvins. Un superconductor se encuentra caracterizado por una temperatura crítica en la cual existe este cambio de fase, T_c , además estos reaccionan ante intensidades de campos magnéticos externos (pues producen desplazamientos de cargas), que pueden cambiar de un estado de superconductividad al estado normal del material, dependientes de la temperatura, $H_c(T)$. La temperatura crítica usual en un superconductor es baja siendo la más alta del orden de $23K$ para el Nb_3Ge .

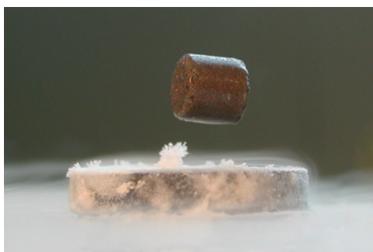


Figura 1: Fotografía de levitación de imanes debida al efecto Meissner, gracias a la superconductividad. [3]

Los superconductores presentan efectos secundarios como el llamado efecto Meissner que es cuando un material al estar en un estado superconductor anula el flujo de campo magnético dentro de este, es decir $\vec{B}_{int} = 0$ y este resultado no puede ser caracterizado por medio de una teoría de conductividad con resistividad 0, por tanto se abordaron dos principales teorías la de London en 1935 a partir de las ecuaciones de Maxwell y la segunda ley de Newton y Pippard en 1953. Un fenómeno visto gracias a esto es la levitación de imanes ya que las líneas del campo que deberían atravesar el material son expulsadas durante la transición de fase, este hecho nos permite concluir que un superconductor funciona como un diamagneto (pues repele el campo magnético) y además se ha visto que es un diamagneto perfecto.

La forma de clasificar un superconductor depende de que característica tomemos, si lo analizamos desde el punto de vista de la intensidad del campo magnético crítico, podemos tomar dos clasificaciones como superconductores del tipo I y tipo II, cuyas diferencias más notables es que los del tipo

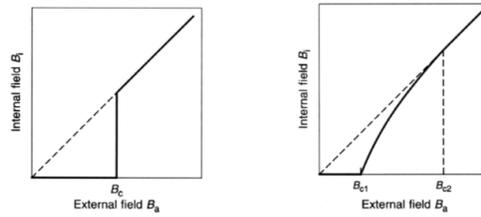


Figura 2: Gráfica de superconductores para los campos \vec{H} internos al material y los aplicados en el estado superconductor; en la izquierda un superconductor del tipo I con cambios de fase abruptos y a la derecha uno del tipo II con dos campos críticos que definen un estado mixto y dan un cambio menos abrupto . [2]

I tiene una única temperatura crítica y una intensidad de campo, que representan un cambio abrupto entre un estado normal a uno superconductor, y el de tipo II que tiene 2 temperaturas críticas y dos intensidades de campos que definen un estado mixto entre el estado superconductor y el normal, y por tanto una transición no tan abrupta. La otra forma de clasificar a los superconductores es por medio de la forma de describirlos físicamente, tenemos los superconductores convencionales y los no convencionales. Por un lado los no convencionales no pueden ser descritos con la teoría BCS, estos tienen temperaturas críticas mayores al orden de $77K$, una de las razones de esto, es que la teoría BCS es para emparejamientos débiles, estos a su vez se subdividen en superconductores de fermiones pesados y de alta temperatura. Los convencionales se describen a partir de la teoría BCS (Bardeen-Cooper-Schrieffer theory). La teoría BCS fue propuesta en 1957 y es la primera teoría microscópica para la superconductividad, los autores Bardeen, Cooper y Schrieffer recibieron el premio Nobel en 1972, gracias a esta teoría, en ella proponen la formación de los llamados pares de Cooper que son estados ligados de electrones que aunque en vacío estos tiendan a tener una repulsión coulombiana, bajo ciertas condiciones como las de una red cristalina estos tienden a atraerse en pares que son los que definen a los pares de Cooper, además los electrones tienen una naturaleza fermiónica vista en su espín semientera, $S = 1/2$, por otro lado una partícula con espín entero como por ejemplo $S = 1$ es considerada una partícula bosónica, que cumplen con el principio de exclusión de Pauli que para fermiones nos dice que dos partículas no pueden ocupar los mismos números cuánticos y en contraste los bosones no tienen límite en la ocupación. Los pares de Cooper, tienen asociados orbitales \vec{k} y de espín, entonces dado \vec{k} entonces en superconductores convencionales debido a una simetría de interacción entre los electrones de la red, el otro electrón tiene asociado $-\vec{k}$ y podemos tomar dos proyecciones de espín $+1/2$ y $-1/2$, y dada la simetría espacial de los pares, debemos pedir antisimetría en los espines (un singlete). Ahora con un espín entero, los pares de electrones tienen propiedades de partículas bosónicas. Los superconductores no convencionales, no tienen simetría asociada con la interacción entre electrones por ello además de los orbitales anteriores poseen los estados triplete (espines paralelos) pues tienen una asimetría espacial debido a la red. Y con esto la suma de momento angular nos da un momento angular orbital total es $S_T = 0, 1$ para ambos casos. Con este espín entero, para superconductores convencionales los pares de Cooper tienen atributos de bosones. Estas características de bosones permiten la formación de un estado cuántico colectivo como la capacidad de condensar, es decir cada par tienen el mismo momento, con la misma fase (números cuánticos iguales) y permiten una conducción sin resistividad. La teoría BCS actualmente describe perfectamente a los superconductores convencionales, pues predice cantidades importantes como las temperaturas críticas y por tanto la energía de la brecha para romper los pares de Cooper.

Aunque en este trabajo no se mencionaron las matemáticas involucradas en la superconductividad, al menos cualitativamente se mencionaron conceptos importantes que vimos en clase, como singletes, tripletes en los espines, simetrizar las funciones de onda, las brechas de conductividad, y propiedades magnéticas de los materiales, con estos conceptos es posible describir la superconductividad físicamente.

REFERENCIAS

- [1] R. Baquero, Departamento de física, Julio 2005 *Brief Introduction to superconductivity*
- [2] <http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/f/f00-892/pres/super.pdf> *Superconductividad*
- [3] <https://www.unocero.com/noticias/ciencia/una-ley-universal-de-la-superconductividad/>
- [4] <https://sydney.edu.au/science/physics/pdfs/foundation/STW2008/khachan1.pdf>