

El efecto Meissner y tipos de superconductores

The Meissner effect and types of superconductors

Cecilio Tapia-Ignacio^a, Yari Jaguey-Hernández^b

Abstract:

Superconductors have a large number of applications today; it is because of that we talk about the Meissner effect and the two types of superconductors that exist by way of disclosure. The Meissner effect is an intrinsic property of all superconducting material.

Keywords:

Meissner effect, superconductors

Resumen:

Los superconductores tienen un gran número de aplicaciones en la actualidad, es por ello que se habla a manera de divulgación lo que es el efecto Meissner y los dos tipos de superconductores que existen. El efecto Meissner es una propiedad intrínseca de todo material superconductor.

Palabras Clave:

Efecto Meissner, superconductores

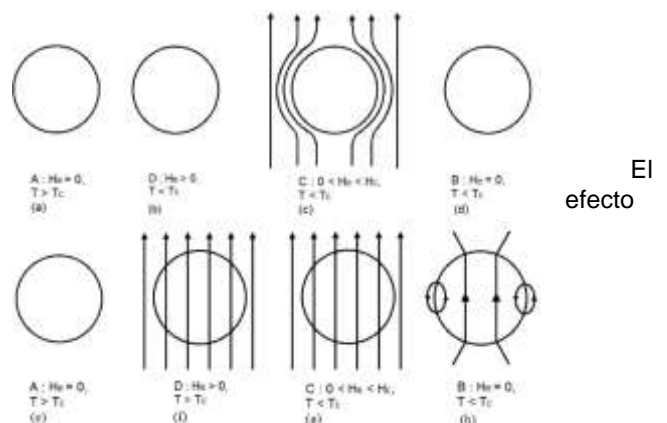
Introducción

El descubrimiento del fenómeno la superconductividad surge en 1911 cuando Kamerling Onnes realizaba mediciones de la resistencia eléctrica del mercurio en función de la temperatura T encontrándose un súbito descenso de R a la temperatura crítica $T_c = 4.2$ K.

En 1933 dos físicos alemanes, Walter Meissner y R. Ochsenfeld descubren que un superconductor (SC) es más que un conductor perfecto, ya que también tienen la propiedad de expulsar el campo magnético de su interior. La primera explicación teórica del comportamiento de un superconductor en un campo magnético se dio en Inglaterra en 1935 por dos físicos alemanes F. London y H. London.

El efecto Meissner, también denominado efecto Meissner-Ochsenfeld, consiste en la desaparición total del flujo del campo magnético en el interior de un material superconductor por debajo de su temperatura crítica [ver Fig. 1 (c)]. La temperatura crítica T_c , es la temperatura a la cual la temperatura a la cual la resistividad eléctrica del metal cae a cero.

El efecto Meissner puede ocurrir en dos situaciones: cuando un SC es enfriado en la presencia de un campo magnético por debajo de la T_c y cuando un SC es enfriado por debajo de su T_c y luego se le aplica un campo magnético. En ambos casos las líneas de inducción son expulsadas del volumen de la muestra, es decir, $B = 0$ dentro de la muestra.



^a Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-8660-4993>, Email: cecilio_tapia@uaeh.edu.mx

^b Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, <https://orcid.org/0000-0002-3381-0208>, Email: yari_jaguey@uaeh.edu.mx

Figura 1. Diferencia entre un superconductor y un conductor. Figura tomada de la Ref. [1].

Meissner se presenta en materiales superconductores. Un superconductor (SC) es un material que no opone resistencia al flujo de corriente eléctrica por él.

Diferencia entre un superconductor y un conductor

La Fig. 1 (a)-(d) muestra un SC en el estado "normal" y en la ausencia de un campo magnético externo (a), luego se enfría por debajo de su temperatura crítica (b), acto seguido se aplica un campo magnético externo (H_e) y el flujo magnético no penetra la muestra conductora (c), finalmente se apaga este campo externo provocando que el conductor perfecto vuelva al estado normal. Mientras que la Fig. 1 (e)-(h) muestra un conductor perfecto en su estado normal y en la ausencia de un campo magnético externo (a), luego aun estando en su estado normal se aplica un campo magnético externo, aquí las líneas de flujo magnético penetran al material conductor (b), posteriormente el material se enfría por debajo de la temperatura crítica mientras se mantiene el campo magnético externo

Observándose que las líneas de flujo magnético siguen penetrando al material conductor (c), acto seguido se apaga el campo magnético externo, cuando se apaga, el material presenta corrientes superficiales sobre su superficie, que no permiten la salida del flujo (d).

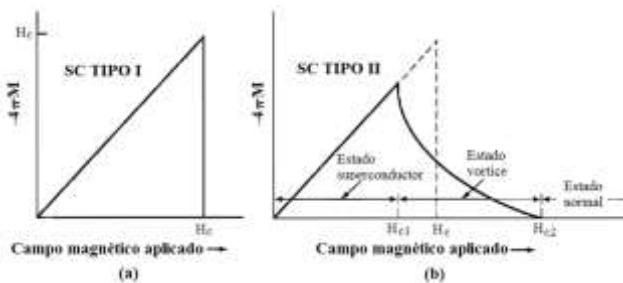


Figura 2. (a) Magnetización como función del campo magnético aplicado de un material superconductor que presenta el efecto Meissner (diamagnetismo perfecto). Un SC con este comportamiento es llamado superconductor tipo I. Nótese que el menos $4\pi M$ es graficado sobre la escala vertical: el valor negativo de M corresponde al diamagnetismo. (b) Gráfica de un superconductor tipo II. El flujo comienza a penetrar a la muestra a un campo H_{c1} el cual es inferior al campo crítico H_c . La muestra se encuentra en el estado mixto entre H_{c1} y H_{c2} y este tiene propiedades eléctricas superconductoras hasta H_{c2} , arriba de H_{c2} el material es un conductor normal en todos los aspectos, excepto tal vez por posibles efectos superficiales. Figura tomada de la Ref. [1].

Tipos de Superconductores

Para un material SC que muestra un comportamiento lineal desde el origen hasta un campo crítico H_c a partir del cual la magnetización se anula abruptamente se conoce como superconductor tipo I [ver Fig. 2 (a)], aquí el efecto Meissner se presenta desde el origen hasta antes de que el campo magnético tome el valor de H_c . En cambio los materiales que presentan un comportamiento lineal como en el caso anterior hasta un campo crítico H_{c1} (o H_c) a partir del cual la curva decae "suavemente" hasta alcanzar otro campo crítico H_{c2} , se conocen como superconductores tipo II [ver Fig. 2 (b)]. En los SC tipo II la región entre los campos críticos H_{c1} y H_{c2} se encuentra el así llamado estado mixto o estado vórtice el cual no es más que una región donde coexisten regiones normales penetradas por flujo magnético y regiones superconductoras, las regiones normales penetradas reciben el nombre de vórtices [2, 3]. Abrikosov demostró matemáticamente que la existencia de los vórtices tiene comportamiento periódico en una muestra superconductor ideal tipo II. Por último, la región por arriba del H_{c2} es el estado normal. La diferencia entre un SC tipo I y un SC tipo II es simple y clara: en un SC tipo I el diagrama de fase magnético únicamente presenta dos regiones, el estado completamente superconductor o estado Meissner y el estado normal, mientras que un SC tipo II presenta tres regiones el estado Meissner, el estado mixto y el estado normal.

Comentarios finales acerca de los SC de alta temperatura

En 1987 se anunció en el American Physical Society el descubrimiento de superconductores con temperaturas críticas superiores a los 90 K. Un material de este tipo es el $YBa_2Cu_3O_x$ conocido como 1-2-3 o simplemente YBCO el cual es ampliamente utilizado a la fecha. Después de este se han descubierto nuevos materiales basados en óxidos de cobre más complejos y con T_c más altas. Finalmente, en 1988 se descubre el primer superconductor de alta temperatura que no tiene tierras raras en su composición, el $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ con una $T_c=110$ K. El descubrimiento de los cupratos es relevante no sólo por ser los superconductores de más alta temperatura crítica, sino porque además la explicación del por qué la superconductividad surge en esos compuestos no se puede dar en términos de la teoría BCS. La comunidad científica internacional ha dedicado tiempo y esfuerzo en tratar de entender el mecanismo responsable del fenómeno en estos superconductores, pero hasta ahora sigue siendo un problema abierto que deberá resolverse por las generaciones venideras.

Referencias

- [1] Tapia-Ignacio, C. (2014). Superconductividad y paramagnetismo en el compuesto $\text{NdFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ [Tesis de Maestría, CINVESTAV-IPN].
- [2] Khurana, A. (1989). High-Temperature Supercurrents may not be forever. *Physics Today*, 42(3), 17.
- [3] Crabtree, G. W., & Nelson, D. R. (1997). Vortex physics in high-temperature superconductors. *Physics Today*, 50(4), 38-45.