Università degli Studi di Cagliari

Progetto Lauree Scientifiche Scienza dei Materiali
Attività Laboratori regionali

Progetto Lauree Scientifiche

Superconduttività

Levitazione e sospensione magnetica

Responsabile
Dr. Fabio Bernardini – fabio.bernardini@dsf.unica.it

Durata
1:30 – 2:00 ore

Breve descrizione degli scopi dell'esperimento
Nel 1986 una nuova classe di materiali superconduttori, detti superconduttori ad alta temperatura, viene scoperta. Come già indicato dal nome, in questi materiali lo stato superconduttore, in cui si assiste a conduzione di corrente senza alcuna resistenza apparente, appare a temperature superiori di quella dell'azoto liquido. Tale caratteristica ha suscitato un notevole interesse in questi composti per le potenziali ricadute tecnologiche, visto che i normali materiali superconduttori diventano tali a temperature intorno alla decine di gradi kelvin.
Gli studenti potranno apprezzare gli effetti associati alla superconduttività verificando gli effetti magnetici nei campioni di YBCO e BSSCO (due materiali superconduttori ad alta temperatura).
Il Kkit utilizzato è stato prodotto dall'Apogeo Ambiente srl (Roma).

Fasi
1) Descrizione della superconduttività ad alta temperatura
2) Descrizione dei materiali superconduttori e delle loro proprietà magnetiche
3) Effetto Meissner
4) Sospensione magnetica

Tutore: Amerigo Rigoldi -

La superconduttività ad alta temperatura

Introduzione e background

Raffreddati con l'azoto liquido, i nuovi superconduttori permettono alla corrente elettrica di scorrere senza attrito e impediscono al campo magnetico di entrare nel loro volume, aprendo la strada a nuove tecnologie e contribuendo al risparmio energetico.
La scoperta della superconduttività è dovuta a H. K. Onnes (1911), il quale osservò la perdita totale di resistenza elettrica nel mercurio raffreddato alla bassissima temperatura di 4.2 K (1 K corrispondente a –273 °C).
Un superconduttore può trasportare grandi quantità di corrente elettrica senza dissipare energia sotto forma di calore e una corrente elettrica immessa in un anello superconduttore può circolare per molti anni senza alcuna misurabile dissipazione.
Un grande impulso allo studio della superconduttività è stato dato dalla scoperta dei superconduttori ad alta temperatura critica (vedi Fig. 1), dovuta a J.G. Bednorz e K.A. Muller dei laboratori IBM di Zurigo nel 1986. I due ricercatori rilevarono superconduttività a 35 K in una ceramica di lantanio, bario, rame e ossigeno. Un grande entusiasmo fu suscitato nel 1987, dalla realizzazione di una ceramica a base di ittrio in grado di supercondurre a 90 °K. A tali temperature diviene possibile usare come refrigerante l'azoto liquido (punto di liquefazione a 77 K), invece del più costoso elio. Attualmente la più alta temperatura critica, 133 K, è stata raggiunta da un materiale ceramico a base di mercurio.
Un'altra particolarità dei materiali superconduttori è il cosiddetto effetto Meissner, scoperto nel 1933 da K. W. Meissner e R. Ochsenfeld e che sarà oggetto di una delle nostre esperienze. Tale effetto consiste nella capacità di un superconduttore di espellere dal suo volume un campo magnetico esterno, provocando, tra le altre cose, la levitazione magnetica.

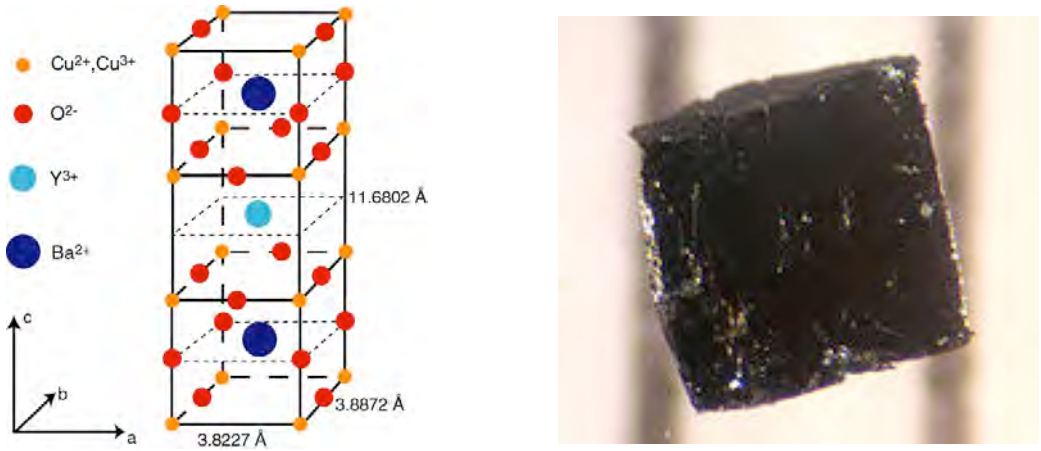

Figura 1. Struttura atomica e parametri strutturali di YBCO (@Department of Applied Physics, Helsinki University of Technology), una ceramica superconduttrice (a sinistra) e campione di un superconduttore di tipo BSCCO (a destra)(@ Superconductivity News Update).

Una delle applicazioni più affascinanti e interessanti per l'industria è la possibilità di trasportare tramite cavi superconduttori energia elettrica ad altissima intensità di corrente (sino a 10 mila Ampere, 100 milioni di Watt di potenza). Dato il necessario raffreddamento con azoto liquido, i cavi superconduttori hanno un costo molto più elevato dei convenzionali cavi di rame; in compenso

non si ha dissipazione di energia elettrica sotto forma di calore, con un evidente positivo impatto sul problema del risparmio energetico. A metà degli anni Novanta la Pirelli, in collaborazione con l'Electric Power Research Institute e l'American Superconductor Corporation, ha realizzato la costruzione di un cavo superconduttore flessibile lungo 50 metri, funzionante alla temperatura dell'azoto liquido, conseguendo un record mondiale. Pur essendo questo cavo tutt'altro che ottimizzato sotto il profilo delle prestazioni elettriche, ha consentito di trasportare una densità di corrente di un ordine di grandezza superiore a quella massima ottenibile con i conduttori tradizionali di rame. Allo studio c'è anche la possibilità di immagazzinare in anelli superconduttori l'energia elettrica prodotta in eccesso dalle centrali di notte per far fronte ai picchi diurni di assorbimento. Altre possibili ricadute dei materiali superconduttori comprendono la risonanza magnetica per la ricerca e la diagnostica medica, magneti per curvare i fasci di particelle cariche nei grandi acceleratori di particelle, levitazione magnetica per i treni MAGLEV che possono raggiungere i 500 Km/h.

Lavoro Sperimentale

Materiale e strumenti

- 1 superconduttore BSCCO (Bismuth strontium calcium copper oxide) Ø 2,5 cm;
- 1 superconduttore YBCO (Yttrium barium copper oxide) Ø 2,2 cm;
- 1 superconduttore YBCO per levitazione Ø 1,5 cm;
- 1 sostegno per magnete;
- 1 pinzetta;
- 1 magnete cilindrico
- 1 magnete cubico
- 1 capsula di vetro

Esperienza 1: Effetto Meissner

Materiale impiegato:
- 1 superconduttore YBCO (Ø 2,2 cm) o BSCCO (Ø 2,5 cm);
- 1 pinzetta;
- 1 magnete cubico
- 1 capsula di vetro

Introduzione:
Nell'effetto Meissner un superconduttore sottoposto a un debole campo magnetico e raffreddato al di sotto della sua temperatura critica, espelle dal suo volume il campo magnetico indotto dall'esterno. In altre parole, il superconduttore si oppone alla crescita del campo magnetico al suo interno e si comporta come un perfetto diamagnete. Questa capacità si mantiene fino a un certo campo magnetico critico $\mathbf{B_c}$, oltre il quale il superconduttore perde in ogni caso le sue due proprietà fondamentali: resistenza nulla e diamagnetismo "perfetto". Per tutti i superconduttori esiste, quindi, una regione di temperature critiche e campi magnetici critici all'interno della quale superconducono.

Esecuzione:
1. Mettere la capsula di vetro su una superficie isolante (ad esempio, una tavoletta di polistirolo; porre al centro il superconduttore con sopra il magnete cubico. Notare che l'unica differenza sostanziale fra i due superconduttori, YBCO e BSCCO, riguarda la loro temperatura critica: 90 K per YBCO, 110 K per BSCCO.

2. Versare un po' di azoto liquido nel contenitore e attendere il raffreddamento del sistema, per il quale può essere necessario aggiungere altro azoto. Al di sotto della temperatura critica il magnete si solleverà di qualche millimetro a causa dell'espulsione del campo magnetico da parte del superconduttore. **ATTENZIONE:** nel versare l'azoto stare attenti agli eventuali schizzi negli occhi, possono essere pericolosi!
3. Il magnete rimane bloccato rispetto al superconduttore, com'è possibile osservare muovendo quest'ultimo con la pinzetta. L'unico movimento ammesso è la rotazione attorno all'asse magnetico, com'è possibile dimostrare colpendo leggermente uno spigolo del magnete con la pinzetta.
4. Lasciando evaporare l'azoto, la temperatura del superconduttore si innalza al di sopra della temperatura critica e il magnete si poserà nuovamente.
5. Raffreddando il sistema nuovamente è possibile riprodurre l'effetto.

Esperienza 2: Sospensione magnetica

Materiale impiegato:
- 1 superconduttore YBCO (Ø 1,5 cm);
- 1 pinzetta;
- 1 magnete cilindrico
- 1 capsula di vetro

Introduzione:
Questo esperimento è volto a mostrare un comportamento previsto dal fisico russo Alexei A. Abrikosov (vincitore del Premio Nobel nel 2003) e che differenzia i superconduttori di tipo I e di tipo II. I superconduttori di tipo I tendono ad essere superconduttori in condizioni di bassa temperatura e debole campo magnetico. Se il campo magnetico raggiunge l'intensità critica, che dipende dal materiale, esso entra nel materiale distruggendo lo stato di superconduzione. I superconduttori di tipo II sono molto più utili: essi rimangono nello stato di superconduzione anche dopo la penetrazione del campo magnetico. I superconduttori di tipo II possono sopportare campi molto forti e quindi trasportare correnti più intense. In questi superconduttori il campo magnetico può penetrare in alcuni punti, in corrispondenza di impurità, dove rimane ancorato (in inglese si usa il termine pinning).

Esecuzione:
1. Far aderire il magnete a un'estremità del sostegno.
2. Posare la capsula di vetro su una superficie isolante (ad esempio una tavoletta di polistirolo); mettere al centro il superconduttore YBCO. **ATTENZIONE:** il superconduttore va maneggiato con delicatezza, perché in questo caso è particolarmente fragile a causa delle impurezze introdotte nel campione per aumentare l'effetto di pinning.
3. Raffreddare il superconduttore versando nel contenitore azoto liquido.
4. Avvicinare lentamente il magnete al superconduttore: questo si allontanerà qualunque sia la polarità del campo. Bloccando il superconduttore con la pinzetta si può avere un'idea dell'intensità della repulsione.
5. Tenendo fermo il superconduttore con le pinzette (può essere necessario toglierlo per qualche secondo dal bagno d'azoto), forzare il magnete ad avvicinarsi dall'alto al campione. In questo modo si può creare il fenomeno del pinning del campo magnetico: qualora l'operazione sia riuscita, sollevando il magnete si solleverà anche il superconduttore. **ATTENZIONE:** il campione di superconduttore può rimanere solo pochi secondi fuori dal bagno di azoto, senza perdere le sue proprietà superconduttive e cadere.

Link:
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Flyingsuperconductor.ogg
http://www.metacafe.com/watch/55826/who_can_explain_this/
http://www.iitap.iastate.edu/htcu/othersites.html