

# SUPRACONDUCTIBILITATEA ELECTRICĂ

Angela NEAGA, Alexandru JALBĂ

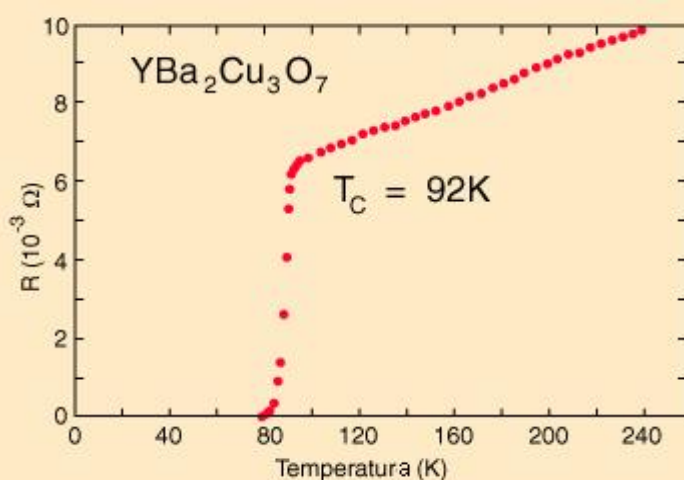
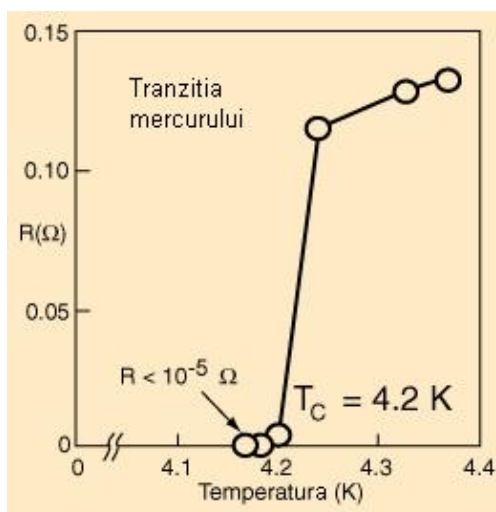
Universitatea Tehnica a Moldovei

**Rezumat:** Supraconductibilitatea este un fenomen în care rezistența electrică a unui material conductor devine zero, curentul electric în supraconductori nu este produs prin mișcarea unor electroni simpli ca în cazul normal, ci mișcarea unor perechi de electroni, numiți perechi Cooper. Unul dintre efectele complementare a fenomenului de supraconductibilitate este efectul Josephson care constă în trecerea perechilor Cooper printr-un izolator subțire dintr-un supraconductor în altul. Acest fenomen are un potențial foarte mare și este deja folosit la trenurile Maglev care levitează datorită câmpului magnetic puternic creat de supraconductor. În energetică tot mai mult se folosesc generatoarele electrice cu fire supraconductoare care sunt de zeci de ori mai eficiente decât cele prezente. Supraconductibilitatea este de asemenea folosită în militarie la crearea unor motoare mai ușoare și mai puternice decât celelalte, mai mult ca atât sunt create tehnologii pe baza acestui fenomen pentru distrugerea echipamentului electronic al inamicului.

**Cuvinte cheie:** supraconductor, perechi Cooper, efect Josephson, Maglev

## 1. Introducere

Supraconductibilitatea este un fenomen în care rezistența electrică a unui material conductor devine zero, dacă temperatura sa este mai mică decât o anumită valoare specifică materialului, numită temperatură critică. Fenomenul a fost observat pentru prima dată de către Heike Kamerlingh Onnes în 1911. Studiind dependența de temperatură a mercurului, el a observat că sub o anumită temperatură, apropiată de temperatura heliului lichid (4,2 K), rezistivitatea scade brusc către zero. Ulterior s-a putut determina o temperatură critică pentru diferite elemente chimice simple și compuse. Experimental supraconductibilitatea poate fi observată, dacă: 1) Conductorul se conectează într-un circuit electric, temperatura i se micșorează până la valoarea critică, în rezultat diferența de potențial la capetele lui se micșorează până la zero. 2) Un inel confecționat din substanță ce poate fi supraconductor se plasează în câmp magnetic cu inducția perpendiculară pe planul inelului, micșorând temperatura până la temperatura critică, se deconectează câmpul magnetic. În rezultat, în inel se induce un current care circulă prin inel un timp nelimitat(ani). Dacă un conductor este răcit până la temperatura critică, fiind totodată situat în câmp magnetic, atunci în momentul trecerii în stare de supraconductibilitate câmpul este expulzat din conductor. Se poate afirma că un supraconductor are permeabilitatea magnetică egală cu zero. S-a observat de asemenea că, dacă se aplică unui supraconductor un câmp magnetic, fenomenul de supraconductibilitate dispăre la o anumită intensitate a câmpului, numită intensitate (de câmp) critică. Aceasta depinde de asemenea de materialul supraconductorului și de temperatură. Dacă densitatea curentului prin supraconductor, depășește o anumită valoare critică, supraconductibilitatea dispăre



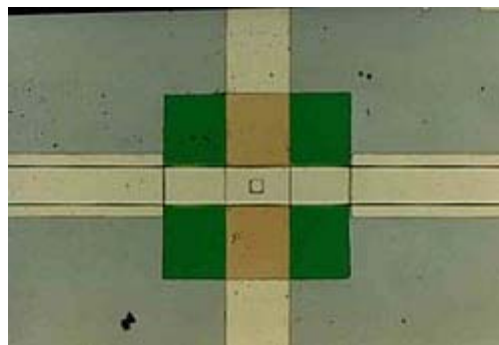
Material	Tip	Tc(k)
Zinc	metal	0.88
Aluminiu	metal	1.19
Mercur	metal	4.2
YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	Ceramică	92
(Hg <sub>0.8</sub> Ti <sub>0.2</sub> )Ba <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>8.33</sub>	Ceramică	138

## 2. Explicarea fenomenului de supraconductibilitate

Supraconductibilitatea este un fenomen cuantic, ce se manifestă la nivel macroscopic. Fie în conductorii în stare de supraconductibilitate între electronii liberi, apare o forță de atracție, ce predomină asupra respingerii electrostatice. În rezultat, electronii de conducție se cuplează, apar așa numitele cupluri Cooper, Electronii ce formează un cuplu au spinii (momente proprii ale impulsului) autiparaleli, spinul cuplului fiind egal cu zero. Astfel de particule posedă capacitatea de a ocupa nivelele energetice inferioare, din care este dificil să fie scoși. Apare o mișcare coordonată a cuplurilor, ceea ce și este curentul electric în supraconductor. Atunci când se aplică o diferență de potențial, electronii pereche se vor deplasa prin solidul supraconductor, toți cu aceeași viteză și fără rezistență. Apariția forțelor de atracție dintre electroni se explică prin polarizarea rețelei cristaline a conductorului sub acțiunea mișcării electronilor de conducție. Din punct de vedere cuantic atracția dintre electroni apare ca un rezultat al schimbului de fotoni între electroni: electronul în mișcare excită rețeaua, apare un fonon, care este absorbit de alt electron. Acest schimb de fononi provoacă atracția care, la temperaturi joase, este mai puternică decât respingerea electrostatică. Electronii ce fac acest schimb de fononi formează un cuplu, deși se pot afla la distanțe mari unul de altul.

## 3. Efecte complementare (efectul Josephson)

Efectul Josephson este un efect fizic care se manifestă prin apariția unui curent electric, prin efectul tunel, între doi supraconductori separați.



Curentul electric în supraconductori nu este produs prin mișcarea unor electroni simpli ca în cazul normal, ci mișcarea unor perechi de electroni, numiți perechi Cooper. Când cei doi supraconductori sunt separați printr-un strat din material izolant sau metal nesupraconductor de câțiva nanometri grosime, perechile Cooper pot traversa bariera prin efect tunel, un efect caracteristic al mecanicii cuantice. Chiar dacă perechile Cooper nu pot exista într-un izolator sau un metal nesupraconductor, când stratul ce separă cei doi supraconductori este suficient de subțire, ei îl pot traversa.

Ecuatiile de bază [3] care descriu dinamica efectului Josephson sunt:

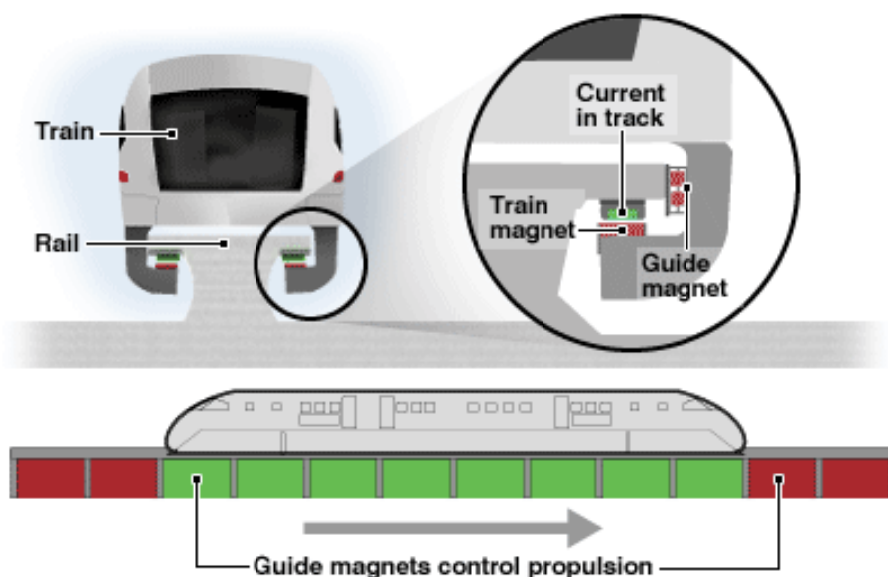
$$U(t) = \frac{\hbar}{2e} \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

$$I(t) = I_c \sin(\phi(t))$$

unde  $U(t)$  și  $I(t)$  sunt tensiunea și curentul unei joncțiuni Josephson, este diferența de fază dintre funcțiile de undă ale celor doi supraconductori ce formează joncțiunea, și  $I_c$  este o constantă, curentul critic al joncțiunii. Curentul critic este un parametru experimental important al dispozitivului, care poate varia atât cu temperatura cât și cu câmpul magnetic aplicat. Constanta fizică,  $\frac{h}{2e}$  este o cuantă de flux magnetic, iar inversul ei este constanta lui Josephson. Se pot distinge două tipuri de efecte Josephson, efectul Josephson în curent continuu (în engleză D.C. Josephson effect) și efectul Josephson în curent alternativ (în engleză A.C. Josephson effect).

#### 4. Aplicațiile fenomenului de supraconductibilitate

1) Levitația magnetică este o aplicație în care supraconductorii se comportă extrem de bine. Vehiculele de transport, precum trenurile, pot fi făcute să “plutească” pe magneți supraconductori puternici, eliminând aproape total frecarea dintre tren și șinele sale. Electromagnetii convenționali ar risipi o mare parte din energia electrică sub formă de căldură, și ar trebui să fie din punct de vedere al dimensiunilor mult mai mari decât magneții supraconductori. Un progres foarte important în utilizarea comercială a tehnologiei Maglev (Magnetic Levitation= levitație magnetică) s-a produs în 1990 când a câștigat statutul de proiect finanțat național în Japonia. Ministerul Transportului a autorizat construirea Liniei de Testare Maglev yamanashi, care s-a deschis pe 3 aprilie 1997. În decembrie 2003, vehiculul de testare MLX01 a atins o viteză incredibilă de 581 km/h. Deși tehnologia și-a dovedit acum funcționalitatea, uzul pe scară mai largă al vehiculelor Maglev a fost constrâns de îngrijorări politice și ecologice (câmpurile magnetice puternice pot crea hazarduri biologice). Primul tren Maglev din lume care a fost adoptat în serviciul public, în Birmingham, Marea Britanie, a fost închis în 1997 după ce a operat timp de 11 ani. Un maglev Sino-German operează la momentul de față pe o distanță de 30 km la Aeroportul Internațional Pudong în Shanghai, China.

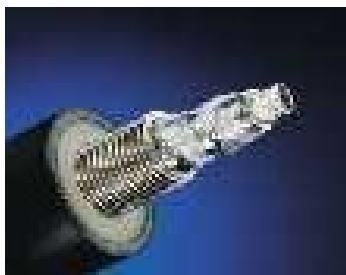


2) Generatoarele electrice cu fire supraconductoare sunt cu mult mai eficiente decât generatoarele tradiționale înfășurate cu sîrma din cupru. De fapt, eficiența lor este de peste 99% și dimensiunile lor sunt cam jumătate din cele ale generatoarelor convenționale. Aceste calități le fac foarte profitabile pentru utilitățile energetice. General Electric a estimat ca piața potențială pentru generatoare supraconductoare pe plan global în următorii 10 ani la aproximativ 20-30 miliarde de dolari. Alte proiecte energetice comerciale aflate în lucru care folosesc tehnologia supraconductoare includ depozitarea energiei pentru a mări stabilitatea energetică. American Superconductor Corporation a primit o comandă de la Aliant Energy în martie 2000 de a instala un Sistem Magnetic de Depozitare a Energiei (D-SMES) în Wisconsin. Doar una dintre aceste 6 unitati D-SMES are capacitatea de a conserva peste 3 milioane de W, care pot fi folosiți oricînd este nevoie de a stabiliiza voltajul în linii în cazul unei perturbări în sistemul național de alimentare cu energie.



The General Atomics/Intermagnetics General superconducting Fault Current Controller, employing HTS superconductors.

Grupul elvețian ABB a anunțat recent dezvoltarea unui limitator de curent anti-eroare de 6.4 Mega Volți Amper- cel mai puternic din lume. Statele Unite și Japonia au planuri de a înlocui cablurile de energie electrică subterane cu cabluri supraconductoare (BSCC) răcite cu azot lichid. Prin această măsură, mai mult curent poate fi direcționat prin tunelurile de cabluri existente. Într-o încercare, 113 kilograme de fire supraconductoare au înlocuit 8164 kilograme de fire de cupru, făcând sistemul astfel mai eficient cu 6900%.



3) Supraconductorii și-au găsit aplicații și în domeniul militar. SQUIDuri HTSC sunt folosite de marina Statelor Unite în detectarea minelor și submarinelor. Totodată, motoare semnificativ mai mici sunt construite pentru nave ale marinei utilizând benzi și fire supraconductoare. În iulie 2001, American Superconductor a dezvăluit un motor de 5000 de cai putere construit cu fire supraconductoare (imaginea de mai jos) și se așteaptă să livreze un motor și mai mare de navă de 36.5 MW HTS marinei americane până în septembrie 2006. Alte aplicații militare sunt în curs de dezvoltare, cum ar fi cabluri pentru demagnetizarea vaselor de război sau antene de detecție mai mici pentru submarine.



Cea mai puternică aplicație militară poate veni cu lansarea E-bombelor. Aceste dispozitive folosesc câmpuri magnetice foarte puternice derivate din supraconductori pentru a crea un puls magnetic rapid de intensitate mare (EMP) pentru a distruge echipamentul electronic al inamicului. Un astfel de dispozitiv a fost folosit pentru prima oară în 2003 când forțele americane au atacat o stație de transmisii din Irak.