

DETERMINAREA TEMPERATURII CURIE A MATERIALELOR FEROMAGNETICE

Scopul lucrării: determinarea temperaturii Curie la care are loc tranziția din faza feromagnetică în cea paramagnetică.

I. Considerații teoretice

Orice substanță introdusă într-un câmp magnetic neomogen e atrasă sau respinsă de zona cu câmpul mai mare. Substanțele ce sunt respinse sunt *diamagnetice*, iar cele care sunt atrase sunt fie *paramagnetice*, fie substanțe ce sunt *ordonate magnetic: feromagnetice, ferimagnetice sau antiferomagnetice*.

La baza explicării fenomenelor magnetice din materiale este noțiunea de *moment magnetic* (dipolar) \vec{m} , definită pentru un curent electric i care circulă în jurul unei suprafețe de arie S (curent circular) ca:

$$\vec{m} = i \cdot S \cdot \vec{n}, \quad [m]_{SI} = A \cdot m^2 = J/T \quad (1)$$

unde \vec{n} este versorul (vectorul unitate) normal la suprafață.

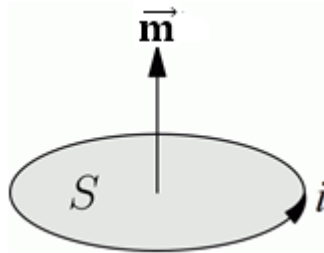


Fig. 1. Momentul magnetic creat de un curent electric.

Un câmp magnetic \vec{B} (inducția magnetică, măsurată în Tesla) perpendicular pe \vec{m} va genera un cuplu de forțe $\vec{\tau}$ (moment al forței, N·m) asupra buclei de curent dat de produsul vectorial:

$$\vec{\tau} = \vec{m} \times \vec{B} \quad (2)$$

care va orienta momentul magnetic de-a lungul liniei de câmp, când cuplul se anulează.

Energia potențială asociată procesului este:

$$U = -\vec{m} \cdot \vec{B} \quad (3)$$

ce ne spune că-și atinge minimumul când $\vec{m} \parallel \vec{B}$ și că poate exista o forță netă (nu doar cuplu) când \vec{B} este neuniform (are gradient).

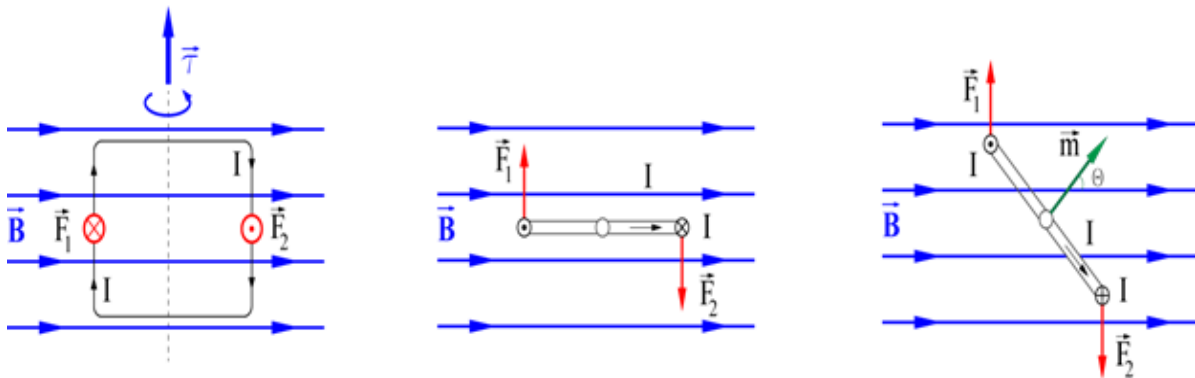


Fig. 2. Cuplul de forțe care orientează momentul magnetic paralel cu câmpul magnetic.

Microscopic, momentele magnetice sunt generate în principal de mișcarea electronilor, mai ales de mișcarea de rotație în jurul axei proprii (în engleză *spin*), momentul magnetic asociat acestei mișcări fiind:

$$m = g\mu_B S/\hbar \approx \mu_B \quad (4)$$

unde *magnetonul Bohr* $\mu_B = e\hbar/(2m) = 9,27 \cdot 10^{-24}$ J/T, momentul cinetic propriu (de spin) al electronului $s = \hbar/2$, factorul $g \approx 2$, e și m , sarcina și masa electronului și $\hbar = h/(2\pi)$ constanta lui Planck raționalizată.

Magnetizarea substanței, \vec{M} , este suma vectorială a tuturor momentelor magnetice elementare din unitatea de volum:

$$\vec{M} = \sum \vec{\mu}/V, \quad [M]_{SI} = J/(T \cdot m^3) = A/m \quad (5)$$

Proprietățile magnetice macroscopice ale substanțelor sunt descrise de susceptibilitatea magnetică, χ , definită ca raport între magnetizarea M și intensitatea câmpului magnetic \vec{H} :

$$\chi = \vec{M}/\vec{H}, \quad [\chi]_{SI} = \text{adimensional} \quad (6)$$

Substanțele la care din cauza aranjamentului electronilor pe nivelele energetice momentul magnetic este nul, sunt respinse în câmp magnetic, sunt **diamagnetice**. Cauza este **momentul magnetic indus** de câmpul extern la nivelul orbitei electronilor care este opus ca sens câmpului extern. Susceptibilitatea lor magnetică este negativă, mică și nu depinde de temperatură.

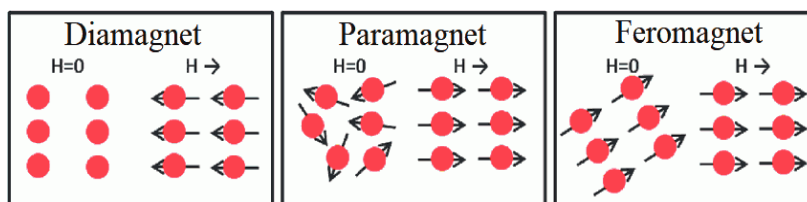


Fig. 3. Ordonarea momentelor magnetice atomice în câmp extern.

Substanțele ce au moment magnetic atomic și în absența unui câmp magnetic extern sunt atrase în câmp magnetic intens, sunt **paramagnetice**. Cauza este tendința momentelor magnetice elementare de-a se alinia cu câmpul magnetic extern, fiindcă așa energia lor potențială este minimă. Acestui fenomen i se opune agitația termică și din acest motiv susceptibilitatea lor magnetică este pozitivă și dependentă de temperatură conform legii lui Curie:

$$\chi_{\text{param.}} = \text{const.}/T \quad (7)$$

Momentele magnetice elementare interacționează între ele în interiorul materiei solide prin intermediul interacțiunii de schimb (un efect cuantic). Când interacțiunea este suficient de puternică, comparativ cu energia termică, atunci se produce o *ordonare spontană* a momentelor magnetice, adică materialul are o *magnetizare spontană* fără a fi necesar un câmp magnetic extern. Se spune că materialul este **ferromagnetic**.

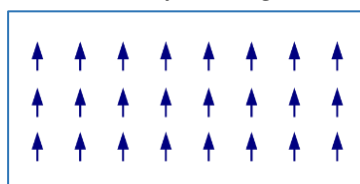


Fig. 4. Ordonare feromagnetică a momentelor magnetice (*spinilor*)

Temperatura la care se produce ordonarea magnetică spontană se numește temperatură Curie (dupa numele fizicianului ce s-a ocupat de problemă) și e notată cu T_C . La temperaturi mai mari decât T_C materialul este paramagnetic (neordonat magnetic) și susceptibilitatea lui magnetică variază după legea Curie-Weiss:

$$\chi_{\text{param.}} = \text{const.}/(T - \theta_p) \quad (8)$$

unde θ_p este temperature Curie paramagnetică.

La temperaturi mai mici decât T_C materialul este feromagnetic (ordonat magnetic). Magnetizarea substanțelor feromagnetice e determinată doar de momentele magnetice de spin (asociate cu mișcarea de rotație a electronului în jurul axei proprii) care se orientează paralel între ele doar în interiorul unei zone numite *domeniu de magnetizare*. Divizarea în domenii de magnetizare face ca macroscopic materialul să nu se comporte ca un magnet fiindcă magnetizarea domeniilor adiacente se compensează așa cum alăturând doi magneți aceștia au tendința să-și închidă liniile de câmp magnetic reciproc (polii Nord și Sud se atrag).

Magnetizarea substanței înainte de introducerea ei în câmp este egală zero. În câmp magnetic orientarea momentelor se face rapid fiind facilitată de aranjarea lor în domenii, magnetizarea crescând rapid cu câmpul magnetic, substanța devine astfel intens magnetizată și puternic atrasă în câmp. La îndepărtarea câmpului magnetic rămâne o anumită **magnetizare remanentă**, care poate fi mare pentru *materialele feromagnetice dure*, din care se fac magneți permanenți, dar care se dorește sa fie cât mai mică pentru *materialele feromagnetice moi*, din care se fac miezurile transformatoarelor.

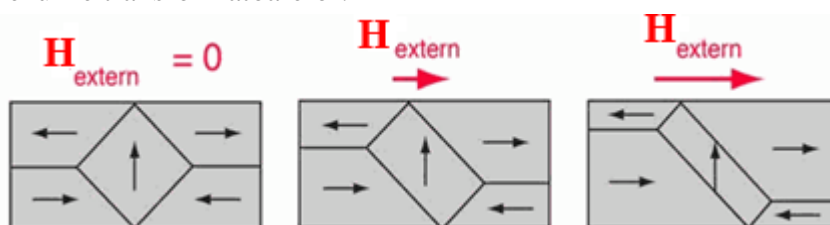


Fig. 5. Domenii magnetice.

II. Metoda experimentală

Dispozitivul experimental constă dintr-un cuptor bobinat cu aliaj rezistiv (kantal), alimentat în curent alternativ de la un autotransformator și este și bobina primar în transformatorul care are ca miez proba feromagnetică. Secundarul este realizat din sârmă din cupru și are un număr mare de spire.

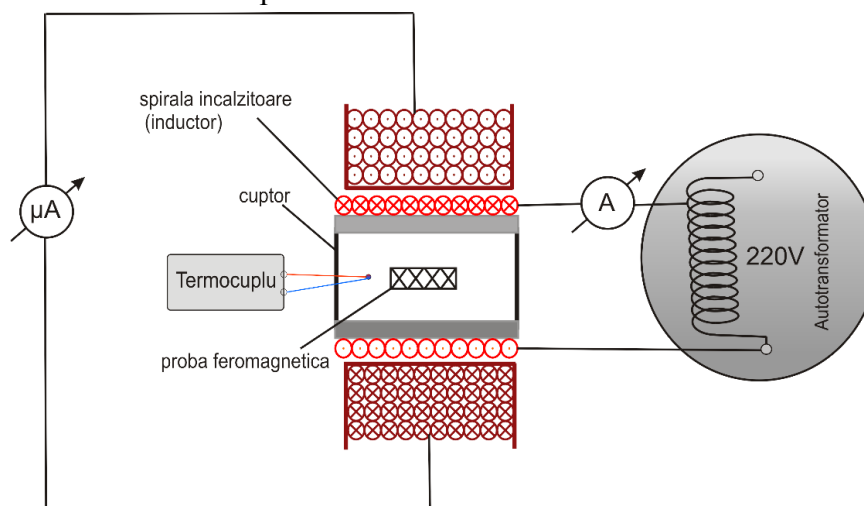


Fig. 6. Dispozitivul experimental.

La trecerea curentului prin spirala încălzitoare, ia naștere un câmp magnetic de inducție \vec{B} , dependent de magnetizarea \vec{M} a substanței introduse în interiorul bobinei:

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0(1 + \chi)\vec{H} = \mu\vec{H} \quad (9)$$

unde $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m este permeabilitatea magnetică a vidului, iar $\mu_r = 1 + \chi$ este permeabilitatea magnetică relativă a substanței introduse în interiorul bobinei. Intensitatea câmpului magnetic \vec{H} este direct proporțională cu numărul de spire N_1 din primar și cu intensitatea curentului. Fluxul Φ al câmpului magnetic B prin cele N_2 spire ale secundarului va depinde de \vec{H} dar și de μ permeabilitatea magnetică a probei studiate. Tensiunea indusă în secundarul va fi:

$$U_2 = d\Phi/dt \sim \mu \quad (10)$$

La atingerea temperaturii Curie magnetizarea și permeabilitatea scad brusc și vor determina o scădere bruscă a curentului indus care s-a menținut constant până la temperatura Curie. Curentul indus în secundar se citește pe un microampermetru în funcție de temperatura măsurată cu termocuplul cromel-alumel.

III. Modul de lucru

1. Se plasează proba de studiat în centrul cuptorului.
2. Se fixează intensitatea curentului de încălzire a cuptorului la o valoare ce rămâne constantă în timpul măsurătorii.
3. Se citesc simultan valorile temperaturii și ale curentului indus până la scăderea bruscă a acestuia din urmă. Datele se trec în tabelul pentru date experimentale.
4. Se aduce la zero valoarea curentului de încălzire și după răcirea cuptorului se repetă măsurătorile pentru cea de-a doua probă.

IV. Prelucrarea datelor experimentale

Se reprezintă grafic intensitatea curentului indus în funcție de temperatură. Din grafic se determină temperatura Curie ca fiind temperatura la care intensitatea curentului scade brusc, punctul de inflexiune al curbei.

Tabel pentru date experimentale

I (μ A)	
T ($^{\circ}$ C)	

Tabel pentru date experimentale

I (μ A)	
T ($^{\circ}$ C)	