

# DETERMINAREA PUNCTULUI CURIE LA FERITE

## 1. Scopul lucrării

Peste o anumită temperatură, substanțele ferimagnetice - care prezintă o magnetizare spontană - devin paramagnetice, adică ordinea magnetică dispare. Scopul acestei lucrări reprezintă determinarea acestei temperaturi, numită temperatura Curie ferimagnetică.

## 2. Teoria lucrării

În cazul materialelor magnetice, există două tipuri de magnetizații: magnetizație permanentă, dacă materialul este magnetizat intrinsec, indiferent de prezența unui câmp magnetic extern și magnetizație temporară, dacă materialul capătă proprietăți magnetice sub acțiunea câmpului magnetic extern. După forma legii de magnetizație temporară  $\vec{M}_t = \chi_m \vec{H}$  există două tipuri de materiale magnetice:

**a) Materiale magnetice liniare**, pentru care  $\vec{M}_t = \chi_m \vec{H}$ , unde  $\chi_m$  este o constantă de material adimensională, numită susceptibilitate magnetică. Din această categorie fac parte:

**a1) materialele diamagnetice**, care au susceptibilitatea magnetică foarte mică, negativă și practic independentă de temperatură. Aceste substanțe sunt slab respinse de un magnet permanent sau sunt deplasate spre regiunile cu câmp mai slab într-un câmp magnetic neuniform. Majoritatea compușilor anorganici și practic toți compușii organici sunt diamagnetici. Diamagnetismul este o proprietate a fiecărui atom sau molecule. Când este observată o altă comportare a unei anumite substanțe, acest lucru apare deoarece diamagnetismul este întrecut de un efect diferit și mai puternic decât el.

**a2) materialele paramagnetice**, care au  $\chi_m > 0$ , dar cu valori destul de mici. Acestea sunt substanțe la care atomii au momente magnetice nenule, care în mod natural sunt orientate haotic, datorită agitației termice. Un câmp magnetic extern le poate orienta parțial în sensul lui, corpul magnetizându-se, însă foarte slab. La temperaturi înalte și pentru câmpuri de intensitate mică, susceptibilitatea magnetică satisface legea lui Curie:

$$\chi_m = \frac{\text{const.}}{T}. \quad (1)$$

**b) Materiale magnetice neliniare**, pentru care susceptibilitatea magnetică depinde de intensitatea câmpului magnetic aplicat. Din această categorie fac parte materialele feromagnetice, ferimagnetice și antiferomagnetice.

**b1) Materialele feromagnetice** sunt caracterizate de o susceptibilitate magnetică pozitivă foarte mare, dependentă de câmpul magnetic aplicat. Curba de magnetizare  $\vec{M} = f(\vec{H})$  se numește în acest caz **curbă (ciclu) de histerezis** (fig. 1) și este caracterizată de următoarele mărimi:  $H_c$  - câmp coercitiv;  $B_r$  - inducție remanentă;  $B_s$  - inducție de saturație.

Teoria lui Weiss explică feromagnetismul prin existența unor interacții de natură cuantică (forțe de schimb) între momentele magnetice de spin ale atomilor, interacțiuni care

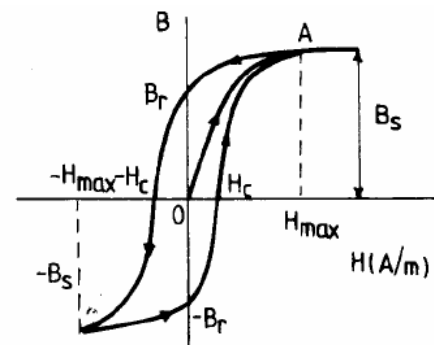


Fig. 1 - Ciclu de histerezis al unei substanțe feromagnetice

conduc la apariția unor regiuni de magnetizare spontană, numite domenii de magnetizare sau domenii Weiss, care poate conține un număr de  $10^{15}$  atomi. În interiorul unui astfel de domeniu, momentele magnetice atomice sunt orientate paralel (fig. 2), dar magnetizarea spontană este orientată diferit de la un domeniu la altul, așa încât momentul magnetic rezultat este nul. Când materialul feromagnetic este plasat într-un câmp magnetic, se reduce volumul domeniilor cu magnetizarea orientată antiparalel cu câmpul aplicat și crește volumul domeniilor cu magnetizarea orientată aproape paralel cu acesta.

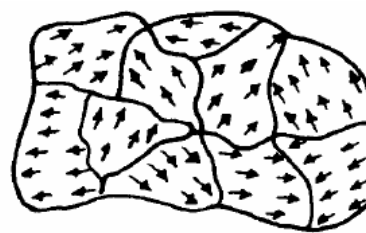


Fig. 2 - Domeniile Weiss într-un cristal feromagnetic

Vibrațiile termice ale atomilor se opun acțiunii de orientare și peste o anumită temperatură, caracteristică fiecărei substanțe, domeniile de magnetizare spontană dispar, corpul transformându-se din feromagnet în paramagnet. Această temperatură se numește **temperatură Curie** și este de  $770^{\circ}\text{C}$  pentru fier,  $1115^{\circ}\text{C}$  pentru cobalt și  $358^{\circ}\text{C}$  pentru nichel. Pentru substanțele feromagnetice, dependența susceptivității de temperatură în domeniul paramagnetic este dată de legea Curie-Weiss:

$$\chi_m = \frac{C}{T - T_c}, \quad (2)$$

unde constanta Curie  $C$  și temperatura Curie  $T_c$ , sunt constante de material.

**b2) Ferimagnetismul** se aseamănă cu feromagnetismul și este caracteristic substanțelor numite **ferite**, a căror formulă generală este  $\text{MeOFe}_2\text{O}_3$ , unde Me este un ion bivalent al unui metal de tranziție din grupa fierului:  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ . Într-un cristal microscopic ferimagnetic ionii metalului bivalent și cei ai fierului sunt distribuiți pe două subrețele. Într-un domeniu de magnetizare spontană, cele două subrețele au momentele magnetice orientate antiparalel (fig. 3); momentele magnetice ale celor două subrețele nu sunt egale, astfel încât rezultanta lor este diferită de zero.

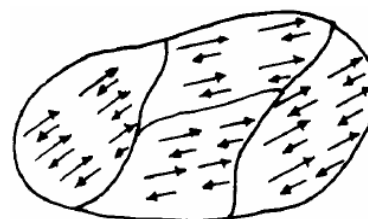


Fig. 3 - Domeniile Weiss într-un cristal ferimagnetic

Ca și la substanțele feromagnetice, peste o anumită temperatură caracteristică fiecărei ferite și numită punctul Curie ferimagnetic (temperatura Néel), corpul se transformă din ferimagnet în paramagnet. Feritele au, în general, punctul Curie mai scăzut decât substanțele feromagnetice ( $300^{\circ}\text{C}$  pentru  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ ,  $520^{\circ}\text{C}$  pentru  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ,  $440^{\circ}\text{C}$  pentru  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$ ).

Feritele au un ciclu de histerezis aproape dreptunghiular și o rezistență electrică foarte mare care le micșorează pierderile prin curenți turbionari - chiar la frecvențe relativ ridicate. Aceste caracteristici au condus la folosirea lor pentru realizarea memoriilor magnetice.

Trecerea unei substanțe din starea feromagnetică sau ferimagnetică în starea paramagnetică reprezintă o tranziție de fază de speța a II-a.

### 3. Dispozitivul experimental

Pentru determinarea punctului Curie se utilizează un transformator cu o înfășurare primară P și două înfășurări secundare  $S_1$ ,  $S_2$  concentrice cu cea primară.

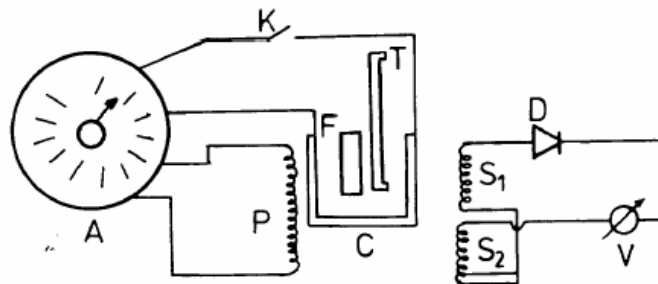


Fig. 4 - Montajul experimental pentru determinarea temperaturii Curie.

Înfășurarea primară este alimentată printr-un autotransformator A. Valoarea aproximativă a tensiunii primare poate fi citată cu ajutorul cursorului autotransformatorului. Înfășurările secundare sunt legate în opoziție, iar în serie cu ele se află milivoltmetrul de curent continuu, mV, și dioda cu germaniu D, care are rol de redresare.

Cele două înfășurări  $S_1$ ,  $S_2$  sunt practic identice astfel că în galvanometru nu circulă nici un curent. Dacă însă într-una din înfășurările secundare (în  $S_1$ ) se introduce o piesă de ferită F, simetria secundarului se strică, tensiunea indusă în înfășurarea  $S_1$  este mai mare decât cea din  $S_2$ , iar milivoltmetrul va indica o anumită tensiune,  $u$ . Deviația milivoltmetrului depinde de masa și de forma feritei, de permeabilitatea sa magnetică, precum și de tensiunea aplicată primarului, de geometria înfășurărilor  $S_1$  și  $S_2$  și de numerele lor de spire, de parametrii milivoltmetrului și diodei, etc.

Piesa de ferită F este introdusă într-un cuptoraș C alimentat în curent alternativ, tot de la autotransformatorul A, cu o tensiune constantă de 120 V. În circuitul cuptorașului se află și întrerupătorul K, care permite pornirea sau oprirea încălzirii acestuia. Temperatura este indicată de termometrul T.

Prin ridicarea treptată a temperaturii se va reduce permeabilitatea magnetică a feritei, scăzând în mod corespunzător și derivația milivoltmetrului, aceasta devenind practic nulă după atingerea punctului Curie.

### 4. Modul de lucru

Se face mai întâi recunoașterea aparatelor și verificarea montajului. Se pornește încălzirea cuptorului trecând întrerupătorul K pe poziția PORNIT și se notează deviația inițială.

Creșterea temperaturii din cuptoraș decurge relativ lent, astfel încât fiecare determinare se face în condiții cvasistaționare, nefiind necesară utilizarea unui termostat.

Se vor face determinări simultane ale temperaturii  $t$  indicată de termometru și ale tensiunii  $u$ , indicată de milivoltmetru.

Citirile se vor face din  $10^{\circ}\text{C}$  în  $10^{\circ}\text{C}$ , începând de la prima indicație de pe termometru care se află deasupra nivelului cuptorului. Peste temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  citirile se fac din  $5^{\circ}\text{C}$  în  $5^{\circ}\text{C}$ . Când la trei valori consecutive ale temperaturii (în pași de  $5^{\circ}\text{C}$ ) valoarea tensiunii indicate de milivoltmetru rămâne constantă (nu mai scade), se întrerupe curentul de

alimentare al cuptorului. **Nu se va depăși temperatura de 200°C!** Apoi, urmărind scăderea naturală a temperaturii, se repetă determinările în sens invers, pentru aceleași temperaturi ca la încălzire.

Când temperatura a scăzut sub 60-70°C, măsurătorile se consideră încheiate și se întrerupe alimentarea de la rețea.

Datele obținute se trec într-un tabel de forma:

$t$ (°C)	
$u$ (div) încălzire	
$u$ (div) răcire	

## 5. Prelucrarea datelor experimentale

Cu ajutorul datelor din tabel, se reprezintă pe hârtie milimetrică dependența tensiunii în funcție de temperatură,  $u = f(t)$ . Dependențele la încălzire și răcire vor fi trasate cu simboluri distincte, pe același grafic. Curbele vor fi trasate printre puncte, cât mai aproape de acestea.

Se trasează apoi tangentele la fiecare curbă în punctele de inflexiune ale acestora. Tangentele se prelungesc până la intersecția cu axa abscisei, unde se citesc cele două valori obținute pentru temperatura Curie, iar apoi se determină valoarea medie a acestora.

## 6. Întrebări

1. Ce exemple de substanțe diamagnetice, paramagnetice, feromagnetice și ferimagnetice cunoașteți? Ce valori au susceptibilitățile lor magnetice?
2. Dați exemple de tranziții de fază de speța I și de speța a II-a. Prin ce se deosebesc cele două tipuri de tranziții?
3. Explicați de ce au fost folosite feritele pentru realizarea memoriilor magnetice.
4. Explicați de ce la creșterea temperaturii, scade indicația instrumentului de măsură aflat în secundar și apoi rămâne aproape constantă la valori foarte mici.