

# STANOVENÍ CURIEOVY TEPLoty FERIMAGNETICKÉ LÁTKY

## Pracovní úkoly:

1. Změřte teplotní závislost sekundárního elektrického proudu transformátoru s feritovým jádrem v rozsahu teplot od 20°C do 250°C.
2. Ze změřené teplotní závislosti stanovte Curieovu teplotu fázového přechodu pro daný ferimagnetický materiál.

**Pomůcky:** přípravek pro měření, vzorek ferimagnetické látky, ampérmetr, mikroampérmetr, autotransformátor, transformátor pro transformaci dolů, vodiče

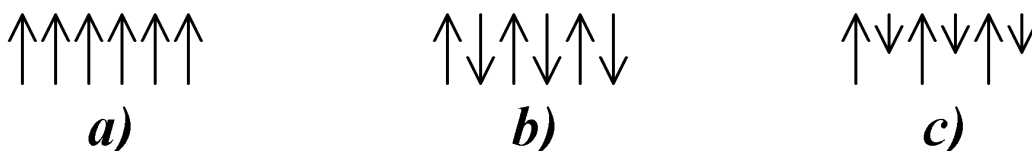
## Teorie:

Jednu z významných oblastí zkoumání ve fyzice pevných látek tvoří magneticky uspořádané materiály. K dispozici je celá řada experimentů umožňujících studium magnetického uspořádání i magnetizačních procesů a doménové struktury. Na základě poznání fyzikálních principů je možné připravovat speciální materiály dle požadavků technické praxe (např. silnější magnety, magnety s větším teplotním rozsahem atd.) V technické praxi mají magnetické materiály velký význam např. v oblasti záznamu dat.

Magneticky uspořádané látky mají mezi magnetiky zvláštní význam, protože i slabým magnetickým polem je v nich možno vybudit velmi silnou magnetizaci. Tuto magnetizaci si udržují i po zániku vnějšího magnetického pole a vznikají tak permanentní magnety. Hodnota jejich relativní permeability  $\mu_r$  je velmi vysoká a činí řádově  $10^3$  až  $10^6$ . Feromagnetické vlastnosti projevují prvky Co, Fe, Ni, Gd a jejich slitiny, Heuslerovy slitiny a ferity (sloučeniny železa a kyslíku nebo i jiných prvků např. prvků tzv. vzácných zemin).

Fyzikální podstatou silného magnetismu je spontánní uspořádání magnetických momentů atomů, kdy nejsou magnetické momenty vzájemně vykompenzovány. Existuje několik základních struktur magnetického uspořádání. Na obrázku 1 jsou zakresleny tři nejznámější typy uspořádání. Uspořádání typu se nazývají:

- a) FEROMAGNETISMUS
- b) ANTIFEROMAGNETISMUS
- c) FERIMAGNETISMUS



Obrázek č. 1: základní typy magnetického uspořádání



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

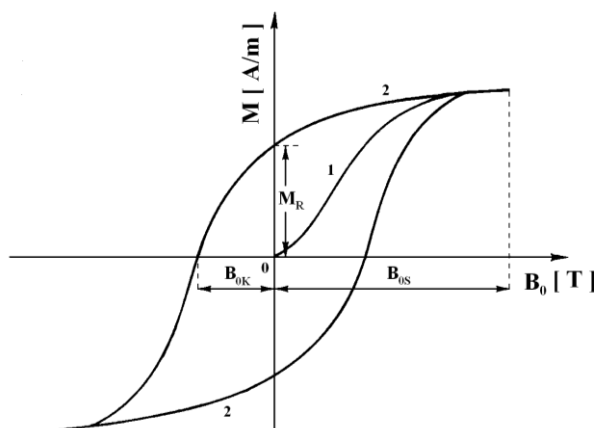
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Výše zmíněné uspořádání existuje vždy při teplotách nižších než je tzv. kritická teplota. Tato teplota se pro feromagnetika a ferimagnetika nazývá teplotou Curieovou, pro antiferomagnetika teplotou Néelovou. Nad kritickou teplotou fero-, feri- i antifomagnetické látky přecházejí do paramagnetické fáze a jejich magnetická susceptibilita  $\chi_m$  s teplotou klesá.

Paramagnetické chování látek nad Curieovou teplotou lze popsat Curie-Weissovým zákonem:

$$\chi_m = 1 - \mu_r = \frac{C'}{T - \Theta}, \quad (1)$$

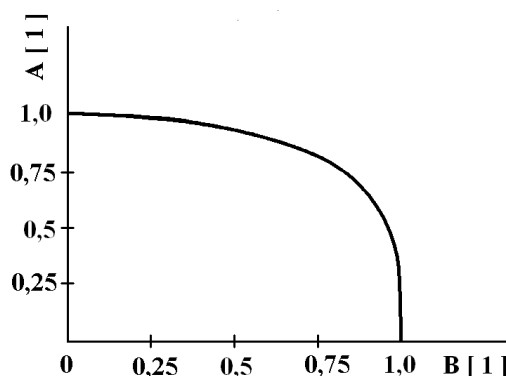
kde  $T$  je termodynamická teplota feromagnetika,  $\Theta$  má rozměr teploty a v případě feromagnetik se příliš neliší od Curieovy teploty  $T_C$  a  $C'$  konstanta charakteristická pro daný materiál. Typickým rysem feromagnetického uspořádání je existence nenulového makroskopického magnetického momentu. Pro látky je charakteristické hysterezní chování ve vnějším magnetickém poli. Graficky hysterezní chování znázorňuje hysterezní smyčka na obrázku 2 (podrobnosti viz. [i]).



Obrázek č. 2: Hysterezní smyčka feromagnetika

Jedním ze základních parametrů feromagnetika (ferimagnetika nebo antiferomagnetika) je spontánní magnetizace  $M_s$ , která popisuje stav magnetického uspořádání látky. Spontánní magnetizace klesá s rostoucí teplotou, při Curieově teplotě dosahuje hodnoty nula. Charakteristický průběh této teplotní závislosti ukazuje obrázek 3. Závislost je znázorněna ve tvaru  $A=f(B)$ , kde  $A = \frac{M_s(T)}{M_s(0)}$  a

$$B = \frac{T}{T_C}.$$



Obrázek č. 3: Závislost spontánní magnetizace na teplotě



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

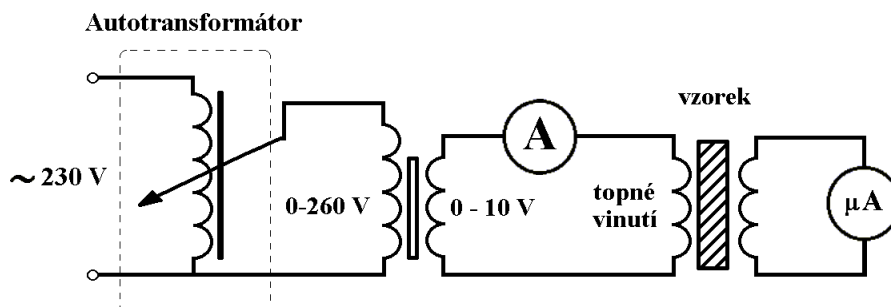


OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Princip měření:**

Curieovu teplotu feromagnetické látky stanovíme experimentálně tak, že vzorek (ferit) vložíme do pívky napájené střídavým proudem konstantní hodnoty. Topné vinutí tvoří zároveň primární vinutí transformátoru, jehož jádrem je měřený vzorek feritu. Výchylka mikroampérmetru zapojeného v sekundárním obvodu je úměrná indukovanému elektrickému napětí a proto i permeabilitě  $\mu_r$  měřeného materiálu jádra transformátoru.



Obrázek č. 4: Schéma zapojení přípravku pro stanovení Curieovy teploty materiálu

Prudký pokles permeability při dosažení Curieovy teploty se projeví poklesem hodnoty indukovaného proudu. Fyzikálně hovoříme o fázovém přechodu, kdy materiál mění fázi z feromagnetické na paramagnetickou. V paramagnetické fázi se materiál nachází při teplotách vyšších než je Curieova teplota. K poklesu sekundárního proudu nedochází okamžitě, protože materiál se prohřívá postupně v celém objemu. Část vzorku během ohřevu v okolí Curieovy teploty je již v paramagnetické fázi, zbytek zůstává ještě ve fázi feromagnetické. Nakonec dojde k prohřátí celého vzorku a jeho přechodu do paramagnetické fáze.

Měřený elektrický proud v sekundárním obvodu nepoklesne úplně na nulu, protože magnetické pole generované primární cívkou proniká do sekundární cívky, i když je permeabilita jádra vloženého do cívky malá.

Curieovu teplotu lze určit z bodu inflexe naměřené křivky (závislost proudu sekundárním obvodem  $I$  na teplotě vzorku  $T$ ) např. pomocí grafické derivace (podrobnosti viz. [i]). Dále se použije je extrapolace závěrečné části závislosti elektrického proudu v sekundárním obvodu na nulovou hodnotu. Pro extrapolaci lze použít například metodu sečen, kdy výsledný vzorec bude mít tvar:

$$\Theta = \frac{T_1 \cdot I_2 - T_2 \cdot I_1}{I_2 - I_1} \quad (2)$$

$I_1$  a  $I_2$  jsou proudy tekoucí sekundárním obvodem při teplotách vzorku  $T_1$  a  $T_2$ . Proud  $I_1$  a  $I_2$  je třeba vybrat z klesající části závislosti před inflexním bodem.

**Literatura:**

- [i] Kolektiv autorů, *Úvod do fyzikálních měření*, Liberec: TUL, 2012, ISBN 978-80-7372-819-9  
 [ii] Sedlák, B., Štoll, I., *Elektrina a magnetismus*. Praha: Academia, 1993, 2002.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ