

## Ćwiczenie nr 7

### Temperaturowa zależność przenikalności magnetycznej przy przejściu fazowym ferro – paramagnetyk

#### A. Opis zagadnienia

Pomiędzy natężeniem pola magnetycznego  $H$  a wektorem indukcji magnetycznej  $B$  w ośrodku materialnym istnieje związek

$$B = \mu \mu_0 H \quad (1)$$

Gdzie:  $\mu_0$  – przenikalność magnetyczna próżni (stała uniwersalna),  $\mu$  – bezwymiarowy współczynnik zależny od własności magnetycznych ośrodka, zwany względną przenikalnością magnetyczną ośrodka.

Pomiar przenikalności magnetycznej  $\mu$  dostarcza istotnych informacji o budowie atomów danej substancji. Jeżeli suma momentów magnetycznych orbitalnych i spinowych atomów danej substancji jest równa zero, to wykazuje ona przenikalność magnetyczną  $\mu$  nieco mniejszą od jedności. Substancje takie nazywamy diamagnetykami. Jeśli atomy posiadają trwałe momenty magnetyczne, to przenikalność magnetyczna jest nieco większa od jedności, a substancje takie nazywamy paramagnetykami. W kryształach niektórych pierwiastków (np. żelaza, kobaltu, niklu, gadolinu) i związków chemicznych, obserwuje się sprzężenie momentów magnetycznych, przejawiające się w jednakowym ukierunkowaniu momentów magnetycznych sąsiednich atomów w dość dużych obszarach wewnątrz kryształu. Nazywamy je domenami magnetycznymi.

Względna przenikalność magnetyczna takich substancji, zwanych ferromagnetykami jest dużo większa od jedności i może nawet przekroczyć wartość rzędu  $10^4$ . Substancje takie są szeroko wykorzystywane w technice, od transformatorów począwszy a kończąc na pamięciach magnetycznych (taśmy audio i wideo, dyski twarde i dyski komputerów).

Bardzo ciekawą cechą ferromagnetyków jest to, że stan o dużej wartości  $\mu$  może istnieć jedynie poniżej pewnej temperatury, zwanej temperaturą Curie  $T_c$  powyżej której drgania cieplne niszczą strukturę domenową. Temperatury Curie dla różnych ferromagnetyków są różne. Powyżej  $T_c$  zachodzi gwałtowny spadek przenikalności magnetycznej  $\mu$  od dużej wartości typowej dla ferromagnetyków do wartości niewiele większej od jedności, charakterystycznej dla paramagnetyków.

Zmiany te w przedziale paramagnetycznym opisuje prawo Curie – Weissa (tj. w temperaturach wyższych od  $T_c$ ), które ma postać:

$$\mu - 1 = \frac{C}{T - T_c} \quad (2)$$

gdzie :

$C$  jest stałą materiałową zwaną stałą Curie,  $T$  i  $T_c$  - temperatury w skali Kelwina.

#### B. Zasada pomiaru i układ pomiarowy

##### I. Wprowadzenie

W tym ćwiczeniu wyznacza się względną przenikalność magnetyczną  $\mu$  gadolinu korzystając z faktu, że indukcyjność  $L$  cewki wypełnionej rdzeniem z badanego materiału jest  $\mu$  razy większa od indukcyjności  $L_0$  tej samej cewki bez rdzenia

$$L = \mu L_0 \quad (3)$$

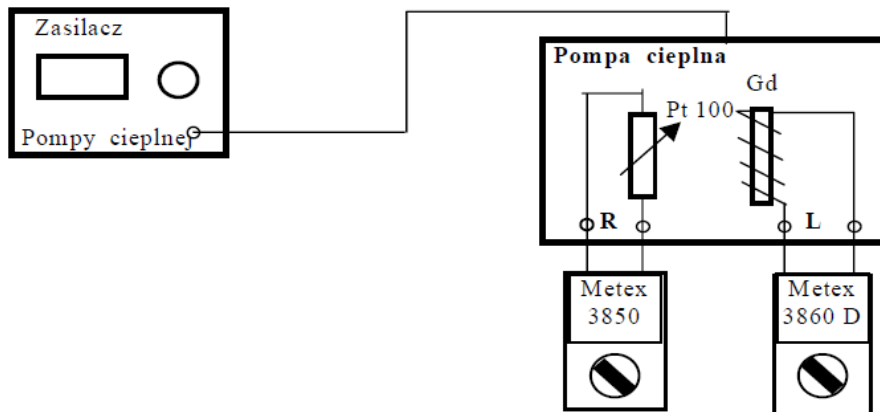
Prawo (2) można przepisać w postaci:

$$\frac{1}{\mu-1} = \frac{1}{\frac{L}{L_0}-1} = \frac{T-T_c}{C} \quad (4)$$

Widać, że wykresem zależności  $1/(L/L_0-1)$  od temperatury  $T$  (powyżej temperatury Curie  $T_c$ ) powinna być linia prosta typu  $y = ax + b$ , której współczynnik kierunkowy  $a = 1/C$  i która osiąga wartość zero dla  $T = T_c$ . To pozwala wyznaczyć temperaturę Curie  $T_c$  mierzonej próbki oraz stałą Curie  $C$ .

Urządzenie pomiarowe składa się ze zwojnicy nawiniętej na rdzeniu gadolinowym, umieszczonej w pojemniku, którego temperaturę można zmieniać za pomocą pompy cieplnej wykorzystując zjawisko Peltiera. Indukcyjność cewki mierzy się bezpośrednio za pomocą miernika indukcyjności. W pojemniku zamontowano także czujnik termometru oporowego typu Pt 100, który pozwala na pomiar temperatury próbki. Opór elektryczny czujnika mierzy omomierzem. Temperaturę próbki wyznaczamy wykorzystując wykres zależności oporu czujnika Pt 100 od temperatury.

$$T [^\circ\text{C}] = \frac{1}{0,00392} \left( \frac{R [\Omega]}{100} - 1 \right)$$



**II. Cel ćwiczenia:** Wyznaczenie zależności przenikalności magnetycznej gadolinu od temperatury przy przejściu fazowym ferro-paramagnetyk, wyznaczenie temperatury Curie i stałej Curie gadolinu.

### III. Zadania pomiarowe

1. Łączymy przewody od cewki indukcyjnej i od czujnika temperatury z odpowiednimi miernikami. Mierzmy wartość indukcyjności zwojnicy i oporu czujnika (w temperaturze pokojowej).
2. Włączamy zasilacz pompy cieplnej i ustawiamy wartość natężenia prądu zasilania na ok. 300 mA. Gdy chłodzenie zachodzi zbyt wolno, należy zwiększyć natężenie prądu płynącego przez moduł Peltiera (pompę cieplną). Maksymalny prąd to ok. 700 mA. Ponieważ czujnik Pt 100 umieszczony jest w chłodnym pojemniku w pewnej odległości od cewki indukcyjnej, proces chłodzenia musi być prowadzony stosunkowo wolno, tak aby przebiegał on poprzez stany równowagi termodynamicznej. W czasie ochładzania próbki notujemy wartości  $L$  po zmianie temperatury odpowiadającej zmianie  $R$  o  $0,1 \Omega$ .
3. Zasilacz pompy cieplnej wyłączamy, gdy temperatura spadnie do ok.  $10^\circ\text{C}$ . Pomiaru indukcyjności cewki kontynuujemy przy wzroście temperatury (przy wyłączonym zasilaniu pompy cieplnej).

#### IV. Opracowanie wyników

1. Korzystając z zależności oporu  $R$  czujnika Pt 100 od temperatury możemy wyznaczyć zależność

$$T \text{ [K]} = \frac{1}{0,00392} \left( \frac{R \text{ [\Omega]}}{100} - 1 \right) + 273,15,$$

i sporządzić wykresy przedstawiające zależność  $1/(L/L_0-1)$  od  $T$  (patrz równanie (4)) tak dla spadku jak i wzrostu temperatury.

Wartość  $L_0$  (zmierzona przed włożeniem rdzenia do zwojnicy) jest równa 42,5 mH.

2. Na podstawie wykresów wyznaczyć temperatury Curie  $T_c$  gadolinu, wartości stałych Curie  $C$  oraz ich niepewności tak dla spadku jak i wzrostu temperatury.

3. Należy zwrócić uwagę na wartość niepewności  $u(T_c)$ . Czy otrzymana wartość ma sens i czy nie popełniono błędu logicznego przy jej wyznaczaniu?

#### Literatura

[1] - „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki” część III „Elektryczność i magnetyzm” pod red. J. Szatkowskiego Oficyna Wyd. Pol. Wr 1997r - § 58.1

[2] - „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki” część II „Mechanika i termodynamika” pod red. S. Kuźmińskiego i R. Poprawskiego Oficyna Wyd. Pol. Wr 1997 –Wstęp W 2

[3] - Sawieliew I.W., Kurs fizyki t. 2 „Elektryczność, magnetyzm, fale, optyka”, PWN Warszawa 1989 r rozdz. VII Pole magnetyczne w materii.