Ćwiczenie 65

POMIAR TEMPERATURY CURIE FERROMAGNETYKÓW

65.1. Wiadomości ogólne

Pole magnetyczne można opisać za pomocą wektora indukcji magnetycznej $\vec{B}$ lub natężenia pola magnetycznego $\vec{H}$. W jednorodnym ośrodku obowiązuje następujący związek między tymi wektorami

$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} = \mu_r \vec{B}_0 , \qquad (65.1)$$

gdzie: μ_0 – przenikalność magnetyczna próżni,
μ_r – względna przenikalność magnetyczna ośrodka.

W zależności od siły oddziaływania z zewnętrznym polem magnetycznym materiały dzielimy na:

a) diamagnetyki, dla których μ_r jest nieco mniejsza od 1,
b) paramagnetyki, dla których μ_r jest nieco większa od 1,
c) ferromagnetyki, dla których μ_r osiąga wartości znacznie większe od 1.

Diamagnetyki są to ciała, których atomy nie mają własnego momentu magnetycznego. Po umieszczeniu diamagnetyka w zewnętrznym polu magnetycznym o indukcji $\vec{B}_0$, w jego wnętrzu powstaje pole o indukcji nieco mniejszej od $\vec{B}_0$ wartości. Jest to wynik powstania wewnątrz materiału indukowanego momentu magnetycznego o zwrocie przeciwnym do $\vec{B}_0$. To oddziaływanie jest przyczyną wypychania ciał diamagnetycznych z obszarów niejednorodnego pola magnetycznego.

Atomy w paramagnetykach mają własny moment magnetyczny. Przy braku zewnętrznego pola magnetycznego, z powodu chaotycznego (przypadkowego) ustawienia wektorów momentów magnetycznych, wypadkowy moment magnetyczny ciała jest równy zero. Zewnętrzne pole magnetyczne powoduje orientację (uporządkowanie) momentów

magnetycznych zgodnie ze zwrotem $\vec{B}_0$. W wyniku takiego procesu uporządkowania pole wewnątrz paramagnetyka jest większe od $\vec{B}_0$. Wzrost jest nieduży ze względu na niszczący uporządkowanie ruch cieplny
atomów. Ciało paramagnetyczne umieszczone w obszarze, gdzie występuje niejednorodne pole magnetyczne, będzie z niewielką siłą wciągane w obszar większego pola.

W ferromagnetykach atomy mają własny moment magnetyczny i – co więcej – oddziałują na siebie bardzo silnie. W efekcie wzajemnego oddziaływania momenty magnetyczne atomów spontanicznie ustawiają się w jednym kierunku. Obszar takiego jednakowego ustawienia nazywamy domeną magnetyczną. Każda z wielu domen posiada wypadkowy moment magnetyczny. Bez obecności pola magnetycznego, momenty magnetyczne domen ustawione są w przypadkowy sposób, dlatego we wnętrzu ferromagnetyków średnie pole magnetyczne jest równe zeru. W zewnętrznym polu magnetycznym domeny o momentach magnetycznych skierowanych zgodnie z $\vec{B}_0$ powiększają swą objętość kosztem domen o innej orientacji oraz następuje stopniowa zmiana orientacji całych domen w kierunku $\vec{B}_0$. W ferromagnetykach występuje, związane z tarciem przy zmianie orientacji domen, zjawisko histerezy magnetycznej oraz zjawisko utraty właściwości ferromagnetycznych w pewnej temperaturze zwanej temperaturą Curie. Powyżej tej temperatury następuje zniesienie oddziaływania między momentami magnetycznymi atomów, zniszczenie domen, a ferromagnetyk staje się paramagnetykiem. Ciało ferromagnetyczne znajdujące się w obszarze niejednorodnego pola magnetycznego jest silnie wciągane w obszar większego pola. Ta własność leży u podstaw zasady działania silników elektrycznych, elektromagnesów itp.

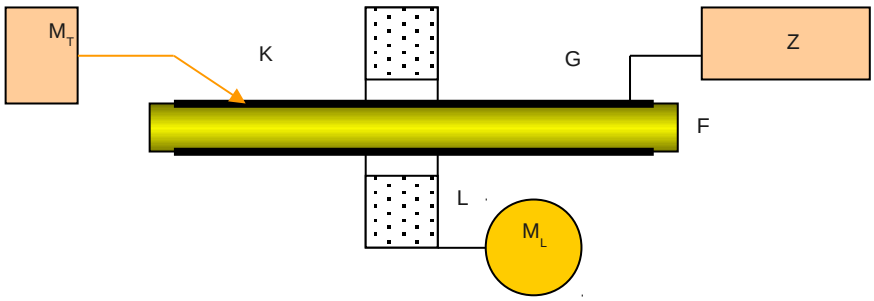
65.2. Zadania

65.2.1. Wyznaczyć temperaturę Curie ferromagnetyka oraz określić niepewność pomiaru.
65.2.2. Zastanowić się, jak oddziałują z polem magnetycznym otaczające nas materiały.

65.3. Zasada i przebieg pomiaru

Na badanym pręcie ferromagnetycznym F nawinięta jest grzałka G podłączona do zasilacza Z (rys. 15.1). Możliwość regulacji napięcia zasilania grzałki pozwala na kontrolowanie szybkości grzania i chłodzenia pręta. Temperaturę ferromagnetyka T mierzy się za pomocą miernika M_T wyposażonego w termoparę typu K (chromel-alumel). Wokół pręta ferrytowego nawinięta jest cewka. Jej indukcyjność L zależy m.in. od względnej przenikalności magnetycznej pręta. Mierząc miernikiem M_L indukcyjność cewki w funkcji temperatury rdzenia, otrzymamy informację o zmianach przenikalności magnetycznej ferrytowego rdzenia.

Pomiar należy przeprowadzić ogrzewając ferryt prądem o natężeniu 0,55 A (maksymalny prąd zasilacza) do temperatury ok. 175–180°C. Następnie, ograniczając prąd grzałki do wartości 0,5 A lub nieco mniejszej, powoli schłodzić do temperatury ok.120°C. Wykonać wykres L(T) wyników otrzymanych przy grzaniu i chłodzeniu oraz, na tej podstawie, wyznaczyć temperaturę Curie.

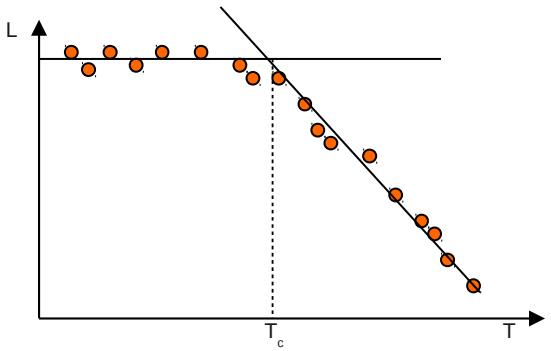


Rys. 15.1

65.4. Analiza niepewności pomiaru

Niepewność określenia temperatury Curie wynika z istnienia pewnej pojemności i skończonej przewodności cieplnej badanego pręta. Podczas grzania powierzchniowe warstwy osiągają temperaturę T_c szybciej niż wewnętrzne. Z tego powodu zmiana własności magnetycznych nie następuje w dokładnie określonej temperaturze, lecz w pewnym zakresie temperatur. W takim przypadku wartość T_c należy wyznaczyć, aproksymując liniami prostymi fragmenty funkcji L(T) dla $T < T_C$ oraz dla $T > T_C$ (rys. 65.2).

Innym problemem jest fakt pomiaru temperatury w miejscu oddalonym od obszaru cewki L. Podczas zmiany temperatury powstaje różnica między wskazaniami termopary, a rzeczywistą temperaturą rdzenia w obszarze cewki. Z tego powodu na wykresie L(T) obserwujemy pewną histerezę, czyli „przesunięcie” wykresów danych uzyskanych podczas grzania i chłodzenia pręta. W rezultacie otrzymujemy dwa wyniki T_{C1} i T_{C2}.
W przypadku, gdy szybkość grzania i chłodzenia jest podobna i stosunkowo mała, temperatura Curie badanego ferromagnetyka jest średnią arytmetyczną T_C wyników obu pomiarów. Niepewność takiego pomiaru można oszacować jako połowę różnicy wartości T_{C1} i T_{C2}.



Rys. 15.2

Zalecana literatura

[1] Szczeniowski Sz.: Fizyka doświadczalna, cz.I-cz.V. Warszawa: PWN 1972-1983.
[2] Resnick R., Halliday D.: Fizyka 1. I. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN 1994.
[3] Halliday D., Resnick R.: Fizyka 1. II. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN 1994.
[4] Sawieliew I. W.: Wykłady z fizyki 1.1-1.3. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN 1998.