

TEMPERATUROWA ZALEŻNOŚĆ PRZENIKALNOŚCI 40

MAGNETYCZNEJ μ GADOLINU PRZY PRZEJŚCIU FAZOWYM FERRO – PARAMAGNETYK

Właściwości magnetyczne substancji charakteryzuje współczynnik przenikalności magnetycznej μ , zwany względną przenikalnością magnetyczną, lub krócej, przenikalnością magnetyczną. Dla próżni ten współczynnik jest równy 1. Pomiar przenikalności magnetycznej μ danej substancji dostarcza istotnych informacji o jej budowie atomowej. Jeżeli suma momentów magnetycznych orbitalnych i spinowych atomów danej substancji jest równa zero, to wykazuje ona przenikalność magnetyczną μ nieco mniejszą od jedności. Takie substancje nazywamy diamagnetykami. Zewnętrzne pole magnetyczne indukuje w atomach tych substancji momenty magnetyczne, których kierunek, zgodnie z tzw. regułą Lenza jest przeciwny do pola indukującego. To powoduje, że w niejednorodnym polu magnetycznym są one wypychane poza obszar pola. Jeśli atomy posiadają trwały moment magnetyczny, to przenikalność magnetyczna jest nieco większa od jedności, a substancje takie nazywamy paramagnetykami. Pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego momenty magnetyczne atomów paramagnetyków ustawiają się zgodnie z kierunkiem pola, podobnie do igły kompasu w ziemskim polu magnetycznym. W kryształach niektórych pierwiastków (np. żelaza, kobaltu, niklu, gadolinu) i związków chemicznych obserwuje się sprzężenie momentów magnetycznych sąsiednich atomów, przejawiające się w jednakowym ukierunkowaniu momentów magnetycznych w dość dużych obszarach wewnątrz kryształu. Takie obszary nazywamy domenami magnetycznymi. Przenikalność magnetyczna takich substancji, zwanych ferromagnetykami jest znacznie większa od jedności i może nawet osiągnąć wartość rzędu 10^6 . Ferromagnetyki są szeroko wykorzystywane w technice, od transformatorów począwszy a na pamięciach magnetycznych (taśmy audio i wideo, dyski twarde i dyskietki komputerów) kończąc. Warto dodać, że pierwszym znanym ferromagnetykiem była ruda żelaza, magnetyt, stosowana dawno temu w charakterze kompasu.

Bardzo istotną cechą ferromagnetyków jest to, że stan o dużej wartości μ może istnieć jedynie w kryształach, i to tylko poniżej pewnej temperatury, zwanej temperaturą Curie T_C . Świadczy to o tym, że właściwości ferromagnetyczne są związane ze strukturą krystaliczną, a nie zależą od właściwości pojedynczych atomów. Temperatury Curie dla różnych znanych ferromagnetyków są różne i zmieniają się w przedziale od ok. 20 K dla erbu i holmu, do 1604 K dla kobaltu. Dla gadolinu $T_C = 289\text{K}$, a więc leży blisko temperatury pokojowej, co ułatwia przeprowadzenie pomiarów. Przy wzroście temperatury T powyżej T_C zachodzi gwałtowny spadek przenikalności magnetycznej μ , od dużej wartości typowej dla ferromagnetyków, do wartości bliskiej jedności, charakterystycznej dla paramagnetyków. Zmiany te w obszarze paramagnetycznym opisuje prawo Curie - Weissa, które ma postać:

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

gdzie C jest stałą materiałową, zwaną stałą Curie.

Aby wyznaczyć przenikalność magnetyczną μ dowolnej substancji, porównujemy wartości indukcyjności własnej (samoindukcji) L zwojnicy wypełnionej badaną substancją, z wartością samoindukcji L_0 tej samej zwojnicy umieszczonej w próżni:

$$\mu = \frac{L}{L_0} \quad (2)$$

W praktyce, nie udaje się całej zwojnicy „zanurzyć” w ośrodku o przenikalności μ , lecz wypełnia się ją rdzeniem z badanego materiału. Rdzeń musi tworzyć zamknięty obwód magnetyczny, aby uniknąć strat energii magnetycznej. Pomiar indukcyjności własnych L i L_0 polega na wyznaczeniu tzw. oporu indukcyjnego tych elementów $R_L = 2\pi fL$ dla prądu zmiennego, gdzie f jest częstotliwością prądu pomiarowego.

Celem niniejszego ćwiczenia jest wyznaczenie zależności przenikalności magnetycznej μ próbki gadolinowej od temperatury i sprawdzenie prawa Curie – Weissa (wzór (1)). Prawo to można przepisać w postaci:

$$\frac{1}{\mu - 1} = \frac{1}{\frac{L}{L_0} - 1} = \frac{T - T_c}{C} \quad (3)$$

Widać, że zależność $\frac{1}{\mu - 1}$ oraz $\frac{1}{\frac{L}{L_0} - 1}$ od temperatury T (powyżej temperatury Curie T_c), powinna być linią prostą¹, której współczynnik kierunkowy $a = 1/C$ i która osiąga wartość 0 dla $T = T_c$. To pozwala wyznaczyć temperaturę Curie mierzonej próbki oraz stałą Curie C . W literaturze przedmiotu można znaleźć wartości w granicach od 16 °C (289 K), do 20 °C (293 K). Wartości μ w pobliżu T_c mogą wynosić od kilku do kilkudziesięciu i przy obniżaniu temperatury zwiększają się. Wiele zależy od czystości chemicznej próbki i od jej struktury krystalicznej.

¹ Prawo Curie – Weissa obowiązuje tylko dla fazy paramagnetycznej. **Dlatego wykres jest prostą tylko powyżej T_c , a poniżej ulega zakrzywieniu. Należy ekstrapolować tę prostą, zaczynając od najwyższej temperatury!**