

Fyzikální praktikum 4

Magnetizační křivka

Cíle úlohy

Měření magnetizační křivky několika vzorků různých materiálů pomocí vibračního magnetometru.

Teorie

Vztah mezi magnetickou intenzitou \mathbf{H} a magnetickou indukcí \mathbf{B} je dán vztahem

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}), \quad (1)$$

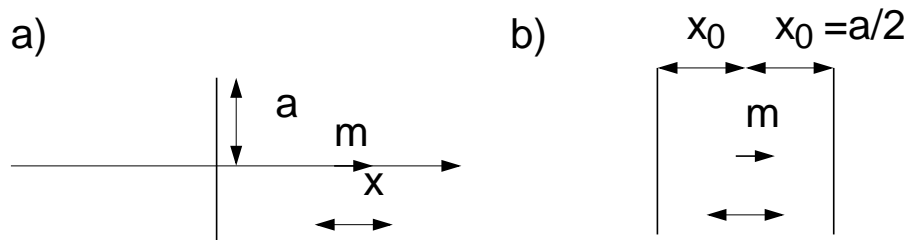
kde \mathbf{M} je vektor magnetizace, který udává objemovou hustotu magnetického momentu. Magnetický moment je potom objem vzorku násobený magnetizací

$$\mathbf{m} = V \mathbf{M}. \quad (2)$$

Při známé hustotě vzorku a jeho hmotnosti můžeme potom snadno přepočítat celkový magnetický moment příslušející na jeden atom.

Vibrující magnetizovaný vzorek v blízkosti cívky mění tok magnetického pole, který indukuje v cívkě elektromotorické napětí podle Maxwellových rovnic

$$U = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (3)$$



Obrázek 1: Schematický náčrt vzájemné polohy vzorku jako magnetického dipólu a detekční cívky.

Jednoduchý kvantitativní popis našeho experimentu je možný v přiblížení, kdy permanentní magnet nahradíme magnetickým dipólem a cívku kruhovým závitem. Dále budeme pohyb magnetu v těsné blízkosti cívky aproximovat harmonickým kmitavým pohybem po ose cívky

$$x(t) = x_0 + A \cos(\omega t) \quad (4)$$

s amplitudou A se střední polohou x_0 . Zjednodušená situace je znázorněná na obrázku 1a. Magnetické pole magnetického dipólu je dáno vztahem [1, 2]

$$\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} \left[\frac{3(\mathbf{r} \cdot \mathbf{m})\mathbf{r}}{r^2} - \mathbf{m} \right], \quad (5)$$

kde \mathbf{r} je polohový vektor vztážený na magnetický dipól, \mathbf{m} magnetický dipólový moment a μ_0 je permeabilita vakua. Snadným výpočtem lze ověřit, že magnetický indukční tok pole magnetického dipólu orientovaného ve směru osy x plochou kruhového závitu je roven

$$\Phi(x) = \frac{\mu_0 m}{2} \frac{a^2}{(a^2 + x^2)^{3/2}}, \quad (6)$$

kde a je poloměr kruhového závitu, do jehož středu umístíme počátek osy x .

K určení napětí indukovaného v závitu při pohybu magnetu uijeme Faradayův zákon (3). Provedeme-li za tohoto předpokladu časovou derivaci magnetického indukčního toku (6), získáme pro napětí indukované v cívce s N závity:

$$U(t) = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{3N\mu_0 m A \omega}{2a^2} \frac{x_0/a}{[1 + (x_0/a)^2]^{5/2}} \sin(\omega t), \quad (7)$$

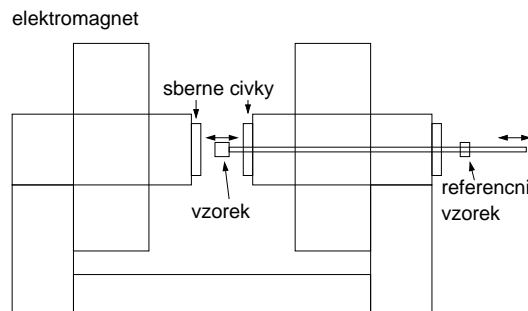
kde jsme zanedbali amplitudu kmitů vzhledem k vzdálenosti x_0 .

Ve skutečnosti se lepších výsledků dosahuje použitím dvojice detekčních cívek v obrázku 1b. Cívky jsou zapojeny v opačném smyslu, takže případné změny vnějšího magnetického pole se odečtou, zatímco signál od vzorku se zdvojnásobí. Maximální citlivosti se dosahuje, pokud je vzdálenost detekčních cívek (pick-up coils) rovna jejich poloměru a vzorek je umístěn ve středu mezi cívkami. Potom je indukované napětí rovno

$$U(t) = -\frac{48}{25\sqrt{5}} \frac{N\mu_0 m A \omega}{a^2} \sin(\omega t), \quad (8)$$

kde amplituda napětí je úměrná frekvenci kmitů, amplitudě kmitů a zejména pak magnetickému momentu vzorku. Změnou většího magnetického pole magnetu můžeme potom naměřit magnetizační křivku vzorku.

Schéma použitého magnetometru je na obrázku 2.



Obrázek 2: Spektrum rtg záření jako součet spojitého a charakteristického spektra.

K potlačení šumu obvodu používáme takzvaný lock-in zesilovač. Toto zařízení zesiluje střídavou složku měřeného signálu, které má stejnou frekvenci jako referenční signál a velmi efektivně potlačuje elektromagnetický šum na jiných frekvencích než má měřená složka. Takto můžeme měřit střídavá napětí ve zlomcích mikrovoltu. Zdrojem referenčního signálu je malý permanentní magnet umístěný na vibrující tyči vně magnetu a referenční cívka v jeho blízkosti. Je vhodné používat experimentální frekvenci odlišnou od možných zdrojů rušení; zejména je dobré se vyhnout násobkům síťové frekvence 50 Hz a podobně.

Postup měření

Měříme závislost magnetizace na velikosti a orientaci většího pole.

Experimentální vybavení

Vibrační magnetometr, teslametr, vzorky.

Doporučený postup a úkoly pro měření

Student má tři týdny na provedení měření. Doporučený postup:

- První týden – seznámení s magnetometrem; kalibrace magnetometru pomocí referenčního vzorku (permanentního magnetu).
- Druhý a třetí týden – měření magnetizační křivky pro několik různých vzorků.

Výstupem praktika budou prezentovány vyučujícímu naměřené závislosti ve formě grafů a naměřené hodnoty, včetně odhadu nejistot, pokud je to možné a vhodné.

Literatura:

- [1] D. Griffith, *Introduction to electrodynamics*, Prentice-Hall (1999).
- [2] J.D. Jackson: *Classical electrodynamics*, Willey (1999).