

Úloha III.E . . . magneticky přitažlivá 12 bodů; průměr 9,92; řešilo 36 studentů

Společně se zadáním této série jsme vám rozeslali poštou plošný magnet (magnetickou fólii). Tento magnet je trochu jiný než tyčové magnety – v ploše se střídavě střídají severní a jižní pól. Díky tomu se při přiblížení k feromagnetickému povrchu uzavře skrz kov „magnetický obvod“ a magnet drží (např. na ledničce) a unese na sobě třeba i obrázek. Vašimi úkoly jsou:

- Změřit plochu a tloušťku fólie, kterou využijete k experimentům.
- Změřit střední vzdálenost mezi dvěma nejbližšími stejnými magnetickými póly (dvojnásobek opačných).
- Změřit maximální užitečnou hmotnost (tedy hmotnost bez hmotnosti magnetu), kterou unese 1 cm^2 magnetu, je-li zatížení magnetu rovnoměrné, pokud magnet přichytíte zespoda k vodorovně umístěnému cca. 1 mm tlustému plechu z magneticky měkké oceli.

Nezapomeňte určit i chyby měření. Fólie, kterou jsme vám dodali, může být samolepící (je přes ni bílá fólie a pod ní lepidlo). V tom případě bílou fólii nahraďte něčím, na co budete upevňovat užitečnou hmotnost.

Karel získal magnetickou fólii.

Teória

Na magnetickej fólii dochádza k striedaniu severného a južného pólu v pásach. Po priložení fólie k feromagnetickému povrchu dôjde k dočasnej magnetizácii materiálu. K odtrhnutiu fólie dôjde vtedy, keď tiažová sila pôsobiaca na jednotku plochy fólie (pri rovnomernom zaťažení) prekoná magnetickú silu, pôsobiacu medzi fóliou a feromagnetickým materiálom.

Postup pri experimente

Na to, aby sme zistili plochu a hrúbku fólie, ktorú budeme používať pri meraní, orežeme nepravidelnosti na okrajoch fólie a predelíme ju na polovicu. Následne pomocou posuvného meradla zmeriame rozmery jednej polovice fólie. Plochu určíme ako $S = a \cdot b$ a celkovú chybu bude tvoriť len systematická chyba merania

$$\sigma_1 = \sqrt{(a\Delta b)^2 + (b\Delta a)^2}.$$

Druhú polovicu fólie využijeme na zistenie strednej vzdialenosti medzi najbližšími súhlasnými magnetickými pólmi, kedy fólie priložíme k sebe a budeme ich po sebe posúvať. V jednom zo smerov pohybu bude dochádzať ku skokom pri posúvaní fólii po sebe. Z týchto skokov dokážeme určiť vzdialenosť medzi pólmi, pretože jeden skok znamená presun daného pólu z nesúhlasného pólu druhej fólie na ďalší nesúhlasný pól. Označme počet týchto skokov k . Počet súhlasných pólův n na povrchu fólie teda bude $n = k + 1$. Priemernú strednú vzdialenosť medzi pólmi vyjadríme ako $d = l/k$, kde l je veľkosť posunutia pri preskakovaní fólii po sebe. Celkovú odchýlku vyjadríme ako

$$\sigma_2 = \frac{1}{k} \Delta l.$$

Na to, aby sme určili maximálnu užitočnú hmotnosť, ktorú magnet unesie, prípevníme naň mikroténové vrečko, do ktorého budeme postupne pridávať závažie, napríklad kryštálový cukor. Vrečko upevníme tak, aby tiažová sila pôsobila rovnomerne po celej ploche fólie. Pred začiatkom merania zvážíme samotnú fóliu. Po odtrnutí fólie zvážíme hmotnosť vrečka spolu s fóliou.

Tab. 1: Nameraná maximálna hmotnosť

N	$\frac{m}{\text{g}}$	N	$\frac{m}{\text{g}}$	N	$\frac{m}{\text{g}}$
1	105,42	11	106,87	21	108,51
2	112,73	12	114,28	22	111,67
3	106,94	13	107,53	23	109,34
4	113,53	14	113,12	24	107,73
5	111,31	15	107,85	25	108,90
6	116,05	16	105,25	26	115,25
7	110,59	17	111,41	27	114,58
8	117,17	18	109,56	28	113,09
9	105,73	19	115,10	29	107,00
10	108,42	20	113,97	30	113,74

Meranie opakujeme N krát ($N = 30$). Zo všetkých hodnôt vypočítame priemernú hmotnosť cukru m a jej štandardnú štatistickú odchýlku podľa vzťahu

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (m_i - m)^2}{(N-1)N}}.$$

Systematickú chybu merania σ_B určíme ako nepresnosť použitej váhy. A teda celkovú chybu merania určíme pomocou vzťahu

$$\sigma_3 = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}.$$

Maximálnu užitočnú hmotnosť na jednotku plochy už ľahko dostaneme zo vzťahu $\rho = m/S$, pričom odchýlku merania dostaneme pomocou vzťahu

$$\sigma_4 = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial S} \sigma_1\right)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial m} \sigma_3\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\rho}{S} \sigma_1\right)^2 + \left(\frac{\rho}{m} \sigma_3\right)^2}.$$

Výsledky merania

Namerané rozmery fólie sú $a = (69 \pm 1)$ mm, $b = (31 \pm 1)$ mm, $h = (1,58 \pm 0,03)$ mm. Teda plocha fólie je $S = (21,4 \pm 0,8)$ cm². Počet skokov k pri posúvaní fólii po sebe na vzdialenosti $l = (29,9 \pm 0,3)$ mm bol $k = 6$, teda priemerná stredná vzdialenosť medzi pólmí je $d = (4,98 \pm 0,05)$ mm. Hmotnosť samotnej fólie je $m_0 = (10,79 \pm 0,01)$ g. Fólia bola pri realizácii experimentu prichytená k doske z magneticky mäkkej ocele o hrúbke $(1,50 \pm 0,03)$ mm. V tabulke 1 je uvedená hmotnosť cukru, pri ktorej sa fólia odtrhla. Nepresnosť merania je $\pm 0,01$ g.

Výsledná priemerná hmotnosť cukru je $m = (110,8 \pm 0,6)$ g. Z čoho dostávame pre maximálnu užitočnú hmotnosť na jednotku plochy hodnotu $\rho = (5,2 \pm 0,2)$ g·cm⁻².

Diskusia

Hmotnosť, pri ktorej sa magnetická fólia odtrhla, pomerne výrazne menila svoju hodnotu pri konkrétnom meraní, čo je spôsobené tým, že je obtiažne rovnomerne rozložiť hmotnosť pridávaného závažia. Kvôli tomu môže nastať stav, v ktorom je určitý úsek fólie zaťažený oveľa viac ako ostatné, čo spôsobí predčasné odtrhnutie fólie.

Tab. 2: Výsledky

h	$(1,58 \pm 0,03)$ mm
d	$(4,98 \pm 0,05)$ mm
S	$(21,4 \pm 0,8)$ cm ²
m	$(110,8 \pm 0,6)$ g
ρ	$(5,2 \pm 0,2)$ g·cm ⁻²

Taktiež nepresnosti merania rozmerov fólie sú spôsobené hlavne tým, že fólia nie je ideálne zastrihnutá na okrajoch. A ešte tým, že pri meraní rozmeru a a rozmeru b trochu pružila, čím sa jej rozmery deformovali.

Meranie nám taktiež ovplyvňuje aj to, ako veľmi sa zmagnetizuje feromagnetický materiál, keď naň priložíme magnetickú fóliu. To môže spôsobovať prípadné rozdiely v hodnotách ρ v závislosti od hrúbky materiálu a od jeho magnetickej tvrdosti. Na magneticky tvrdších materiáloch bude užitočná hmotnosť udržiavaná magnetom vyššia.

Záver

Zmerali sme rozmery magnetickej fólie a hmotnosť, ktorú unesie. Z týchto veličín sme potom spočítali plochu a užitočnú hmotnosť na jednotku plochy. Ďalej sme určili strednú vzdialenosť medzi súhlasnými magnetickými pólmí. Výsledné hodnoty sú zhrnuté v tabuľke 2.

Pavol Šimko

pavol.simko@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported. Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.