

58. ročník Fyzikálnej olympiády

v školskom roku 2016/2017

Kategória A – celoštátne kolo

Žilina – 8. 4. 2017

Riešenie experimentálnej úlohy

Riešenie:

Úloha 1

- a) Hmotnosť guľôčky $m = 0,486$ g a priemer $d = 4,95$ mm, $h = 0,67$ mm. Moment zotrvačnosti magnetky vzhľadom na os otáčania

$$J_m = 8 \left(\frac{1}{10} m d^2 \right) + 2 m d^2 \left[\left(\frac{1}{2} + \frac{h}{d} \right)^2 + \left(\frac{3}{2} + \frac{h}{d} \right)^2 + \left(\frac{5}{2} + \frac{h}{d} \right)^2 + \left(\frac{7}{2} + \frac{h}{d} \right)^2 \right]. \quad (\text{R1})$$

Pre dané hodnoty $J_m \approx 5,63 \times 10^{-7}$ kg·m².

- b) Tab.1 Meranie 20 T pre rôzne hodnoty a

a (mm)	20 T_{ij} (s)	20 T_{ij} (s)	20 T_{ij} (s)	20 T_{ij} (s)	20 T_{ij} (s)	T_i (s)	$1/T_i^2$ (s ⁻²)	$1/a^3$ (m ⁻³)
80	16,7	16,8	16,5	16,7	16,5	0,832	1,445	1953
85	17,7	17,7	17,5	17,8	17,8	0,885	1,277	1628
90	18,9	18,9	19,0	18,7	18,7	0,942	1,127	1372
95	19,8	19,8	19,9	20,1	20,0	0,996	1,008	1166
100	20,3	20,5	20,5	20,8	20,9	1,030	0,943	1100
$\rightarrow \infty$	29,8	29,9	30,0	30,1	30,1	1,499	0,445	0

- c) Vzťah pre periódu T vyjadríme v tvare

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_m}{D_8}} = 2\pi \sqrt{\frac{J_m}{\left(k_8 \frac{\mu_0 p_g}{\pi a^3} + B_Z \right) 8 p_g}}. \quad (\text{R2})$$

Vzťah prepíšeme v tvare

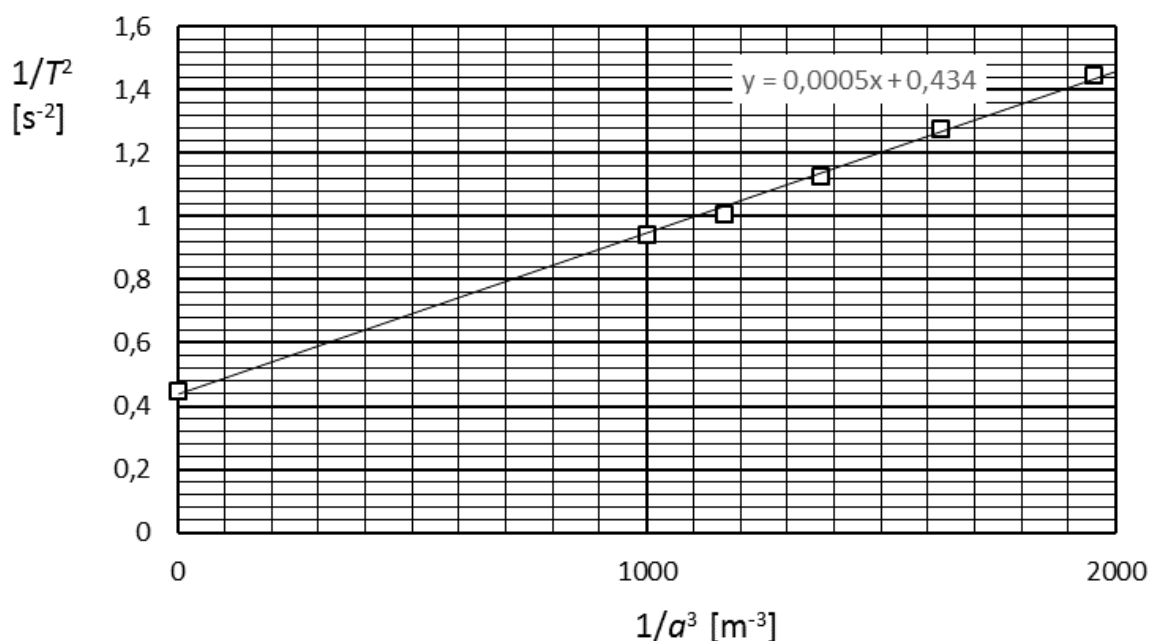
$$\frac{1}{T^2} = \frac{1}{4\pi^2} \left(k_8 \frac{\mu_0 p_g}{\pi a^3 J_m} \right) 8 p_g + \frac{1}{4\pi^2} \frac{8 p_g B_Z}{J_m} = K \frac{1}{a^3} + Q. \quad (\text{R3})$$

Ak zvolíme premenné na osiach grafu $x = 1/a^3$ a $y = 1/T^2$, dostávame lineárnu funkciu

$$y = Kx + Q, \text{ kde } K = k_8 \frac{2\mu_0 p_g^2}{\pi^3 J_m} \text{ a } Q \approx \frac{1}{4\pi^2} \frac{8 p_g B_Z}{J_m}, \quad (\text{R4})$$

ktorej grafom je priamka.

Graf podľa hodnôt z Tab.1.



Z grafu vidno, že funkcia $1/T^2 = f(1/a^3)$ je s vysokou mierou presnosti lineárna. V grafe je znázornená najpravdepodobnejšia priamka.

Jej smernica získaná z grafu $K \approx \frac{1,45 - 0,44}{2000} = 5,05 \times 10^{-4} m^3 \cdot s^{-2}$ a $Q \approx 0,45 s^{-2}$.

d) Zo vzťahu pre K (R4) máme

$$p_g = \sqrt{K \frac{\pi^3 J_m}{2k_g \mu_0}},$$

po dosadení pre dané a vypočítané hodnoty dostaneme $p_g \approx 56,2 \text{ mA} \cdot \text{m}^2$.

$$B_g = \frac{p_g}{V_g} = \frac{6\mu_0 p_g}{\pi d^3}. \text{ Pre dané hodnoty } B_g \approx 1,11 \text{ T}.$$

Úloha 2

a) S použitím hodnoty Q určenej z grafu alebo výpočtom z periódy pre $1/a = 0$ určíme horizontálnu zložku indukcie

$$B_{zh} = Q \frac{\pi^2 J_m}{2 p_g}. \text{ Pre dané hodnoty } B_{zh} \approx 22 \mu\text{T}.$$

b) Magnetka sa na niti natočí vždy do smeru priemetu magnetického poľa Zeme B_Z do roviny kolmej na niť (os otáčania).

Ak je niť vodorovná a má smer J – S, do roviny otáčania sa premieta iba vertikálna zložka B_{Zv} a magnetka teda zaujme zvislú polohu.

Ak je niť vodorovná a kolmá na smer J – S, premieta sa do roviny otáčania celý vektor B_Z a magnetka teda zaujme smer tohto vektora. Voči vodorovnej rovine zaujme uhol

sklonu ϑ . Keďže meranie uhla je pomerne nepresné, získame presnejší výsledok meraním periódy kmitov magnetky.

Nastavíme držiak tak, aby mala niť smer J – S a magnetka zaujala zvislý smer. Namerané hodnoty doby kmitu magnetky sú v Tab. 2

Tab. 2 Kmity okolo vodorovnej osi

20 T_{v_i} (s)					20 T_v (s)	T_v (s)
18,8	18,1	18,4	18,4	18,7	18,48	0,924

Pozn.: Pri otáčaní držiaka možno pozorovať zmenu smeru magnetky.

c) Podľa R3 pre kmity okolo zvislej a vodorovnej osi J – S máme

$$B_{Zh} = \frac{\pi^2 J_m}{2 p_g T_h^2} \quad \text{a} \quad B_{Zv} = \frac{\pi^2 J_m}{2 p_g T_v^2}.$$

Odtiaľ $B_{Zv} = B_{Zh} \frac{T_h^2}{T_v^2}$.

T_h je perióda určená v 6. riadku Tab. 1, tzn. $T_h \approx 1,499$ s.

Pre namerané a vypočítané hodnoty $B_{Zv} \approx 58 \mu\text{T}$.

Inklinácia $\vartheta = \arctan \frac{-B_{Zv}}{B_{Zh}} \approx -69^\circ$.

Zo smeru vychýľovania magnetky vidno, že pri natočení nite do vodorovnej polohy sa magnetka vychýľuje smerom nadol, tzn. inklinácia je záporná (vektor \mathbf{B}_Z smeruje k severu a pod povrch Zeme), ako vidno na obrázku v zadání úlohy 2.

Pozn.: Na adrese www.ngdc.noaa.gov je kalkulátor zemského magnetického poľa. Pre Žilinu získame hodnoty $\vartheta = -65,4^\circ$, $B_{Zh} = 20,4 \mu\text{T}$, $B_{Zv} = 44,6 \mu\text{T}$. Získané výsledky veľmi dobre zodpovedajú týmto hodnotám. V železobetónovej budove je magnetické pole deformované a líši sa od zemského magnetického poľa v priestore mimo železné konštrukcie.

58. ročník Fyzikálnej olympiády – Experimentálna úloha celoštátneho kola kategórie A

Autor návrhu: Eubomír Konrád
 Spracovanie návrhu: Ivo Čáp
 Recenzia a úprava: Daniel Klivanec, Eubomír Mucha
 Preklad textov do maďarčiny: Aba Teleki
 Redakcia: Ivo Čáp

Vydal: Slovenská komisia fyzikálnej olympiády
 IUVENTA – Slovenský inštitút mládeže, Bratislava 2017