

Laboratórna úloha č. 23

Meranie horizontálnej zložky magnetického poľa Zeme tangentovou buzolou

Úloha: Experimentálne určiť lokálnu veľkosť horizontálnej zložky vektora magnetickej indukcie a vektora intenzity magnetického poľa Zeme.

Teoretický úvod

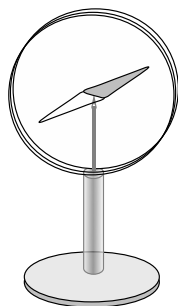
Voľne otáčavá magnetka, podopretá alebo zavesená vo svojom ťažisku, sa na rôznych miestach povrchu Zeme ustáli v smere sever – juh. Toto správanie sa magnetky je svedectvom existencie magnetického poľa Zeme. Naša Zem je v podstate magnet so severným a južným magnetickým pólom, pričom tieto póly nie sú totožné s geografickými pólmi. Magnetická os je od rotačnej osi odklonená, neprechádza stredom Zeme, pričom uhol odklonu sa pomaly mení. Počas dlhodobého vývoja Zeme – od jej vzniku, sa smer magnetického poľa už niekoľkokrát preklopil na opačný.

Magnetické pole na povrchu Zeme opisujeme obyčajne tromi parametrami. Sú to *veľkosť horizontálnej zložky* vektora magnetickej indukcie B_h , *deklinácia* ϑ (uhol medzi magnetickým a zemským poludníkom) a *inklinácia* i (uhol medzi vektorom magnetickej indukcie a lokálnou horizontálnou rovinou). Magnetická indukcia zemského poľa v okolí Bratislavy má v súčasnosti hodnotu $B \approx 50 \mu\text{T}$ (mikrotesla), je odklonený od horizontálnej roviny o uhol $i \approx 65^\circ$ a od geografického poludníka o uhol $\vartheta \approx 2^\circ$ smerom na východ. Veľkosť B vektora magnetickej indukcie a veľkosť B_h jeho horizontálnej zložky súvisia navzájom vzťahom $B_h = B \cos i$. U nás má veľkosť horizontálnej zložky hodnotu okolo $20 \mu\text{T}$. (Všetky uvedené údaje sú iba približné a s časom sa menia.)

Horizontálnu zložku magnetickej indukcie možno merať využitím prídavných známych magnetických polí, vytvorených permanentným magnetom alebo cievkou, ktorou prechádza elektrický prúd. Druhý prípad predstavuje meranie pomocou tangentovej buzoly.

Metóda merania

Tangentová buzola sa skladá z cievky s polomerom R s N závitmi, ktorej os je uložená horizontálne a v strede ktorej je umiestnená buzola. Ak cievkou neprechádza elektrický prúd, magnetka buzoly sa ustáli v smere magnetického poludníka Zeme. Pred meraním natočíme cievku tak, aby jej os bola kolmá na tento smer. Ak cievkou začne prechádzať prúd I , magnetka sa od pôvodného smeru odkloní o uhol φ , lebo okrem magnetického poľa Zeme na ňu pôsobí aj magnetické pole vytvorené cievkou. Vektor magnetickej indukcie poľa cievky má v jej strede smer osi cievky, teda smer kolmý na rovinu magnetického poludníka.



Obr. 1: Tangentová buzola.

Pri vhodnej konštrukcii cievky (závity navinuté tesne pri sebe) má vektor magnetickej indukcie v jej strede veľkosť

$$B_C = \frac{\mu_0 N I}{2R} \quad (1)$$

Výsledná magnetická indukcia v strede cievky sa rovná vektorovému súčtu indukcie zemského magnetického poľa a indukcie poľa cievky. Pohyb magnetky buzoly vzhľadom na jej konštrukciu ovplyvňuje iba horizontálna zložka \vec{B}_1 výsledného poľa. Tá je vektorovým súčtom horizontálnej zložky \vec{B}_h zemského poľa a vektora \vec{B}_C poľa vytvoreného cievkou:

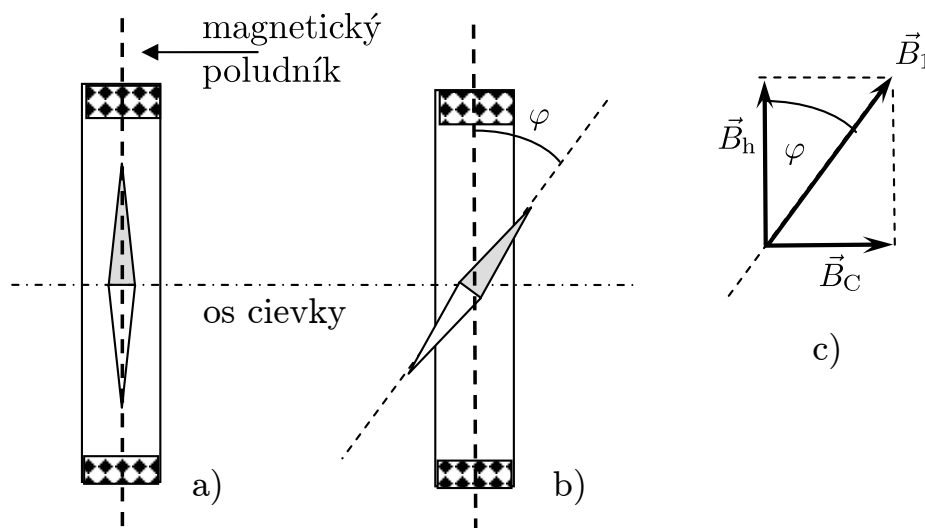
$$\vec{B}_1 = \vec{B}_h + \vec{B}_C \quad (2)$$

Magnetka sa ustáli v smere vektora \vec{B}_1 . Ako je zrejmé z obrázku 2, pre uhlovú odchýlku φ magnetky potom platí:

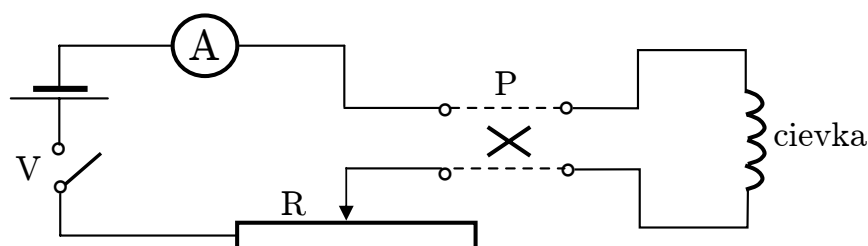
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{B_C}{B_h} = \frac{\mu_0 N I}{2R B_h} \quad (3)$$

Aparatúra a postup práce

Prístroje zapojíme podľa schémy na obr. 3. Odmeriame odchýlky φ magnetky pri rôz-



Obr. 2: Znázornenie princípu experimentu.



Obr. 3: Schéma zapojenia: V – vypínač, A – ampérmeter, R – reostat, P – komutačný prepínač

nych hodnotách elektrického prúdu prechádzajúceho cievkou tangentovej buzoly, vždy pri oboch smeroch prúdu. Namerané hodnoty zapisujeme do tabuľky v protokole. Odporúča sa merať pri 10 rôznych hodnotách prúdu tak, aby absolútna hodnota uhla φ nepresiahla 60° : $|\varphi| \leq 60^\circ$.

Merania vyhodnotíme s použitím vzťahu (3), podľa ktorého $\operatorname{tg} \varphi$ lineárne závisí od prúdu I prechádzajúceho cievkou. Túto lineárnu závislosť si overíme zostrojením grafu, do ktorého vynášame namerané body (I , $\operatorname{tg} \varphi$). Z grafu získame smernicu k lineárnej závislosti $\operatorname{tg} \varphi = kI$, pre ktorú zo vzťahu (3) vyplýva:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\mu_0 N I}{2R B_h} \equiv kI \quad (4)$$

kde

$$k = \frac{\mu_0 N}{2R B_h} \quad (5)$$

Odtiaľ pre veľkosť horizontálnej zložky vektora magnetickej indukcie dostaneme výsledný vzťah

$$B_h = \frac{\mu_0 N}{2Rk} \quad (6)$$

do ktorého okrem získanej smernice dosadíme aj počet závitov cievky N a jej polomer R . Permeabilita vákua $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$.

Veľkosť horizontálnej zložky vektora intenzity magnetického poľa Zeme získame využitím všeobecného vzťahu, ktorý platí medzi vektorom intenzity magnetického poľa a vektorom magnetickej indukcie (vo vákuu a prakticky aj vo vzduchu): $B = \mu_0 H$. Pre veľkosť horizontálnej zložky potom platí vzťah

$$H_h = \frac{B_h}{\mu_0} \quad (7)$$

Inštrukcie pre zostrojenie grafu

K protokolu pripojte graf závislosti $\operatorname{tg} \varphi$ od prúdu I . Graf nakreslite ručne na milimetrový papier. Namerané hodnoty zaznačte napr. krížikmi. Pravítkom preložte priamku tak, aby prechádzala počiatkom a pomedzi namerané body v súlade so smernicou k získanou z lineárnej regresie. Do grafu zapíšte modelovú rovnicu $\operatorname{tg} \varphi = kI$, ďalej hodnotu k (aj

s jednotkami a na aspoň 4 platné číslice) vypočítanú lineárnou regresiou a štvorec koeficientu¹ determinovanosti \mathcal{R}_{det} . Hodnotu $\mathcal{R}_{\text{det}}^2$ uvádzajte na toľko desatinných miest, aby posledné dve číslice boli odlišné od cifry 9.

Presnosť merania

Na výpočet horizontálnej zložky magnetickej indukcie zemského poľa pri meraní pomocou tangentovej buzoly sa používa vzťah (6), ktorý prepíšeme do tvaru

$$B_h = \frac{\mu_0 N}{2} \frac{1}{R} \frac{1}{k} \quad (8)$$

Smerodajné odchyľka výsledku merania teda závisí od neistoty ΔR určenia polomeru R závitov cievky a od neistoty stanovenia smernice k lineárnej závislosti $\text{tg } \varphi = kI$. Horizontálna zložka B_h je tu vyjadrená prostredníctvom súčinu $(1/R)(1/k)$. Z pravidla pre skladanie smerodajných odchyľok, resp. neistôt sa pre závislosť tohto typu dá odvodiť jednoduché vyjadrenie dávajúce do súvisu relatívne neistoty a odchyľky $\Delta R/R$, s_k/k a s_{B_h}/B_h :

$$\left(\frac{s_{B_h}}{B_h}\right)^2 = \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{s_k}{k}\right)^2 \quad (9)$$

Hodnotu ΔR odhadneme zohľadnením hrúbky drôtu a/alebo presnosti bežných meradiel. Tiež potrebujeme smerodajnú odchyľku s_k smernice k . Jej odhad získame napr. štandardným výpočtom podľa vzťahu uvedeného v samostatnom dokumente. Alternatívne môžeme postupovať podľa krokov uvedených nižšie. Potom pomocou známych hodnôt R , ΔR , k a s_k a vzťahu (9) vypočítame smerodajnú odchyľku s_{B_h} nášho hlavného výsledku.

Alternatívny odhad smerodajnej odchyľky smernice môžeme urobiť s využitím vyjadrenia $k = \text{tg } \varphi / I$, podľa ktorého s_k závisí od neistoty $\Delta \varphi$ odčítania uhla φ a od neistoty ΔI hodnoty prúdu I . Na určenie relatívnej smerodajnej odchyľky smernice teda použijeme vzťah

$$\left(\frac{s_k}{k}\right)^2 = \left(\frac{\Delta(\text{tg } \varphi)}{\text{tg } \varphi}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 \quad (10)$$

Hodnotu ΔI odhadneme z vlastností alebo údajov použitého prístroja. Hodnote funkcie $\text{tg } \varphi$ priradíme smerodajnú odchyľku $s_{\text{tg } \varphi}$, ktorú budeme používať v zmysle odhadu neistoty $\Delta(\text{tg } \varphi)$. Pri výpočte smerodajnej odchyľky hodnoty funkcie $\text{tg } \varphi$ najprv stanovíme, s akou neistotou $\Delta \varphi$ (v radiánoch) dokážeme odčítať uhol na stupnici buzoly. Na základe toho určíme relatívnu smerodajnú odchyľku $s_{\text{tg } \varphi} / \text{tg } \varphi$ týmto postupom: ak $y = \text{tg } \varphi$, potom

$$\frac{dy}{d\varphi} = \frac{1}{\cos^2 \varphi} \quad \implies \quad s_{\text{tg } \varphi} = \frac{\Delta \varphi}{\cos^2 \varphi} \quad (11)$$

teda

$$\frac{s_{\text{tg } \varphi}}{\text{tg } \varphi} = \frac{\Delta \varphi}{\cos^2 \varphi \text{tg } \varphi} = \frac{2\Delta \varphi}{\sin 2\varphi} \approx \frac{\Delta(\text{tg } \varphi)}{\text{tg } \varphi} \quad (12)$$

Za uhol φ môžeme dosadiť strednú hodnotu z intervalu nameraných hodnôt (cca $\pi/6$) a výsledky postupne dosadíme do vzťahov (10) a (9).

¹Symbol \mathcal{R} v rukopise zodpovedá veľkému písanému R.

Meno:

Kružok:

Dátum merania:

Protokol laboratórnej úlohy č. 23

Meranie horizontálnej zložky magnetického poľa Zeme tangentsovou buzou

Stručný opis metódy merania

Vzťahy, ktoré sa používajú pri meraní

Prístroje a pomôcky

Záznam merania, výpočty a výsledky

Počet závitov cievky	$N =$
Polomer cievky	$R =$
Neistota hodnoty polomeru	$\Delta R =$
Neistota hodnôt prúdu	$\Delta I =$
Neistota hodnôt uhla	$\Delta\varphi =$

j	I (mA)	φ_-	φ_+	$\varphi = \frac{\varphi_- + \varphi_+}{2}$	$\text{tg } \varphi$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Výpočet indukcie B_h s uvedením hodnôt a rozmerov veličín, bez zaokrúhlenia:

$$B_h = \frac{\mu_0 N}{2Rk} =$$

Výpočet intenzity H_h s uvedením hodnôt a rozmerov veličín, bez zaokrúhlenia:

$$H_h = \frac{B_h}{\mu_0} = \frac{N}{2Rk} =$$

Prehľad hlavných výsledkov po zaokrúhlení:

Smernica závislosti $\text{tg } \varphi$ od I	$k =$
Smerodajná odchýlka smernice	$s_k =$
Zistená hodnota magnetickej indukcie	$B_h =$
Smerodajná odchýlka výsledku	$s_{B_h} =$
Intenzita	$H_h =$

Prílohy

- graf závislosti tangensu výchylky magnetky od prúdu prechádzajúceho cievkou

Zhodnotenie výsledkov

Dátum odovzdania protokolu:

Podpis študenta:

Hodnotenie a podpis učiteľa: