

14. Meranie horizontálnej zložky magnetického poľa Zeme tangentovou buzolou

Autor pôvodného textu: **Drahošlav Barančok**

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

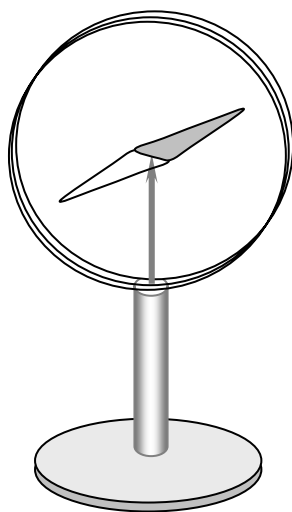
Teoretický úvod

Voľne otáčavá magnetka, podopretá alebo zavesená v jej 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.

Na povrchu Zeme magnetické pole 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 , čo je uhol medzi vektorom magnetickej indukcie a lokálnou horizontálnou rovinou. Vektor magnetickej indukcie zemského poľa v okolí Bratislavy má v súčasnosti hodnotu približujúcu sa k $B \cong 50 \mu\text{T}$ (mikrotesla), je odklonený od horizontálnej roviny o uhol $i \cong 65^\circ$ a od geografického poludníka o $\vartheta \cong 2^\circ$ smerom na východ. Veľkosť B vektora magnetickej indukcie a veľkosť B_h jeho horizontálnej zložky súvisia navzájom vzťahom $B_h = B \cos i$. Veľkosť horizontálnej zložky u nás má hodnotu okolo $20 \mu\text{T}$ (všetky uvedené údaje sú iba približné, navyše s časom sa menia).

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

Metóda merania



Tangentová buzola sa skladá z cievky s polomerom R , vo všeobecnosti 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 (obr. 14.1 a). 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 vytvoreného cievkou má v strede cievky smer jej osi, teda smer kolmý na rovinu magnetického poludníka. Pri vhodnej konštrukcii cievky (závity navinuté tesne pri sebe) má vektor magnetickej indukcie v strede cievky veľkosť

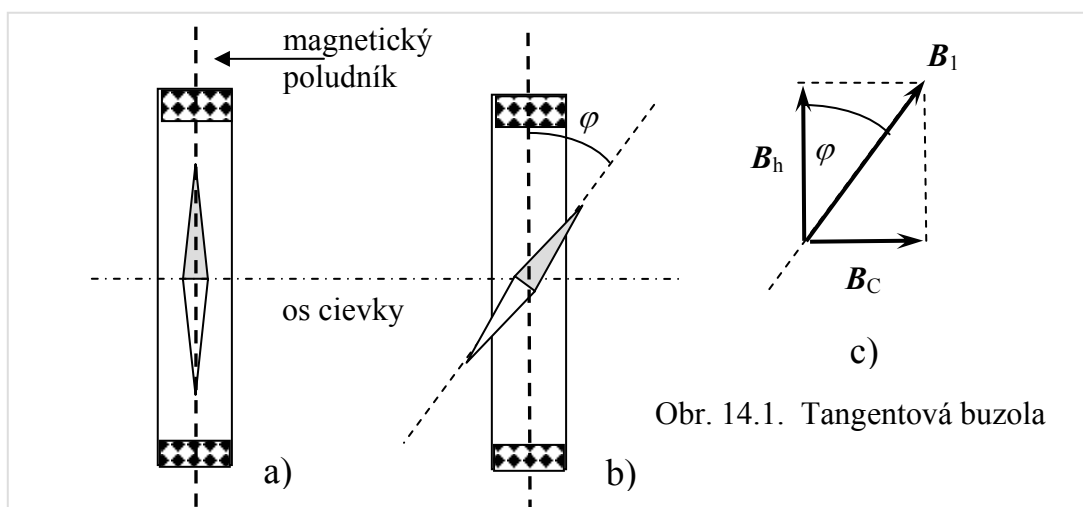
$$B_C = \frac{\mu_0 NI}{2R}. \quad (14.1)$$

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 B_1 výsledného poľa. Tá je vektorovým súčtom horizontálnej zložky B_h zemského poľa a vektora B_C poľa vytvoreného cievkou:

$$B_1 = B_h + B_C . \quad (14.2)$$

Magnetka sa ustáli v smere vektora B_1 . Ako je zrejmé z obrázku 14.1c, pre uhlovú odchýlku φ magnetky potom platí:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{B_C}{B_h} = \frac{\mu_0 N I}{2 R B_h} . \quad (14.3)$$



Obr. 14.1. Tangentová buzola

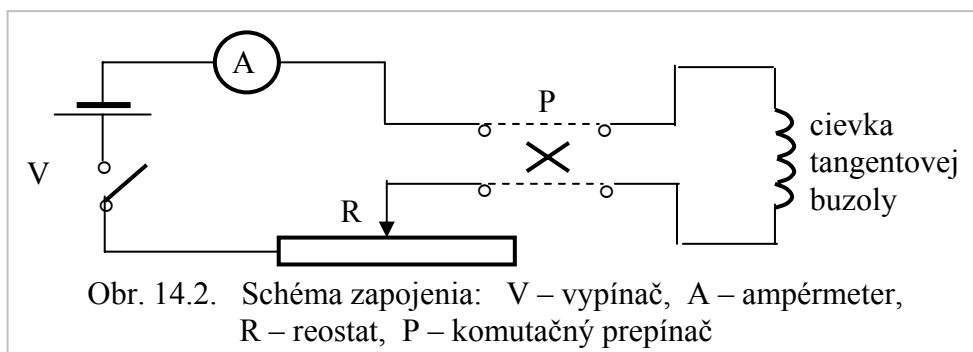
Zo vzťahu bezprostredne vyplýva, že ak cievkou prechádza prúd I takej veľkosti, že uhol φ dosiahne hodnotu 45° , potom platí $B_h = B_C$.

Opis aparatúry a postup práce

a) Prístroje a pomôcky: tangentová buzola, ampérmeter, regulovateľný zdroj elektrického prúdu, reostat, komutačný prepínač, vypínač.

b) Postup práce

Prístroje zapojíte podľa schémy na obr. 14.2.



Obr. 14.2. Schéma zapojenia: V – vypínač, A – ampérmeter, R – reostat, P – komutačný prepínač

Odmeriate odchýlky φ magnetky pri rôznych hodnotách elektrického prúdu prechádzajúceho cievkou tangentovej buzoly, vždy pri oboch smeroch prúdu. Namerané hodnoty zapisujete do tabuľky (tab. 14.1). Odporúča sa merať pri 10 rôznych hodnotách prúdu tak, aby absolútna hodnota uhla φ nepresiahla 60° : $|\varphi| \leq 60^\circ$.

Tabuľka 14.1

i	I (mA)	φ_-	φ_+	$\varphi = \frac{\varphi_- + \varphi_+}{2}$	$\text{tg } \varphi$
1					

Merania vyhodnotíte s použitím vzťahu (14.3), podľa ktorého $\text{tg } \varphi$ lineárne závisí od prúdu I prechádzajúceho cievkou. Túto lineárnu závislosť si overíte zostrojením grafu, do ktorého vynášate namerané body $(I, \text{tg } \varphi)$. Na zostrojenie grafu použijete milimetrový papier, ale vhodné je použiť aj vhodný program (Excell, Origin a pod.). Z grafu sa získa smernica k lineárnej závislosti $\text{tg } \varphi = kI$, pre ktorú zo vzťahu (14.3) vyplýva:

$$\text{tg } \varphi = \frac{\mu_0 N I}{2 R B_h} = k I, \Rightarrow k = \frac{\mu_0 N}{2 R B_h}. \quad (14.4)$$

Odtiaľ pre veľkosť horizontálnej zložky vektora magnetickej indukcie dostaneme výsledný vzťah

$$B_h = \frac{\mu_0 N}{2 R k}, \quad (14.5)$$

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

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

$$H_h = \frac{B_h}{\mu_0}. \quad (14.6)$$

Poznámka

Treba dbať na to, aby meranie nebolo ovplyvnené rušivými magnetickými poľami (napríklad poľom magnetu ampérmetra), alebo predmetmi z feromagnetického materiálu (vreckový nožík).

Otázky a problémy

1. Vypočítajte magneticú indukciu a intenzitu magnetického poľa v strede kruhového závitú pomocou Biotovho-Savartovho-Laplaceovho vzťahu.
2. Čo musí platiť o rozmeroch cievky, aby bolo možné použiť vzťah (14.1)?
3. Prečo nie je vhodné merať závislosť $\text{tg } \varphi$ od I pri väčších uhloch?

Výpočet neistoty merania zložky B_h magnetického poľa Zeme

Na výpočet horizontálnej zložky magnetickej indukcie zemského poľa, pri meraní pomocou tangentovej buzoly, sa používa vzťah (14.5)

$$B_h = \frac{\mu_0 N}{2} \frac{1}{R} \frac{1}{k}.$$

Presnosť výsledku merania závisí od presnosti určenia polomeru R závitov cievky a od presnosti stanovenia smernice k priamkovej závislosti $\operatorname{tg} \varphi = k I$. Horizontálna zložka B_h je tu vyjadrená prostredníctvom súčinu $(1/R)(1/k)$, takže jej relatívna smerodajná odchýlka (s_B/B) sa vyjadří vzťahom

$$\left(\frac{s_B}{B}\right)^2 = \left(\frac{s_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{s_k}{k}\right)^2. \quad (14.7)$$

Relatívnu smerodajnú odchýlku (s_R/R) polomeru R odhadneme, pričom zohľadňujeme hrúbku drôtu a rozmery cievky. Presnosť určenia smernice $k = (\operatorname{tg} \varphi) / I$ závisí od presnosti odčítania uhla φ a prúdu I , takže na určenie jej relatívnej smerodajnej odchýlky použijeme analogický vzťah:

$$\left(\frac{s_k}{k}\right)^2 = \left(\frac{s_{\operatorname{tg} \varphi}}{\operatorname{tg} \varphi}\right)^2 + \left(\frac{s_I}{I}\right)^2. \quad (14.8)$$

Za relatívnu smerodajnú odchýlku prúdu I považujeme údaj o presnosti meracieho prístroja, ktorý sa na prístroji zvyčajne uvádza v percentách. Pri výpočte smerodajnej odchýlky funkcie $\operatorname{tg} \varphi$ najprv stanovíme, s akou presnosťou $\Delta \varphi$ dokážeme odčítať uhol na stupnici buzoly (určiť treba v radiánoch). Na základe toho určíme smerodajnú odchýlku $\Delta(\operatorname{tg} \varphi) / \operatorname{tg} \varphi$ týmto postupom: ak $y = \operatorname{tg} \varphi$, potom

$$\frac{d y}{d \varphi} = \frac{d(\operatorname{tg} \varphi)}{d \varphi} = \frac{1}{\cos^2 \varphi} \Rightarrow \Delta(\operatorname{tg} \varphi) = \frac{\Delta \varphi}{\cos^2 \varphi} \Rightarrow \frac{s_{\operatorname{tg} \varphi}}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{\Delta(\operatorname{tg} \varphi)}{\operatorname{tg} \varphi} = \frac{\Delta \varphi}{\cos^2 \varphi \operatorname{tg} \varphi} = \frac{2 \Delta \varphi}{\sin 2 \varphi}. \quad (14.9)$$

Za uhol φ môžeme dosadiť strednú hodnotu z intervalu nameraných hodnôt (cca $\pi/6$) a výsledky postupne dosadíme do vzťahov (14.8) a (14.7).

Meno:

Kružok:

Dátum merania:

Protokol laboratórnej úlohy 14.
Meranie horizontálnej zložky magnetického poľa Zeme

Stručný opis metódy merania:**Vzťahy ktoré sa používajú pri meraní:****Schéma zapojenia:****Prístroje a pomôcky:****Tabuľka 14.1**

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

VýpočtyPočet závitov cievky $N =$ Polomer cievky $R =$ **Tu vpíšte konkrétny výpočet s uvedením hodnôt a rozmerov veličín:** $B_h =$ $H_h =$

Smernica závislosti $\operatorname{tg} \varphi = k I$	$k =$
Horizontálna zložka indukcie $B_h = \frac{\mu_0 N}{2 R k}$	$B_h =$
Horizontálna zložka intenzity $H_h = B_h / \mu_0$	$H_h =$
Odhadnutá smerodajná odchýlka aritmetického priemeru magnetickej indukcie	$\sigma =$
Výsledok merania, spolu s neistotou merania	$B_h =$

Odhad relatívnej smerodajnej odchýlky polomeru závitov	$s_R/R =$ $(s_R/R)^2 =$
Relatívna smerodajná odchýlka prúdu I	$s_I/I =$ $(s_I/I)^2 =$
Relatívna smerodajná odchýlka funkcie $\operatorname{tg} \varphi$	$(s_{\operatorname{tg} \varphi} / \operatorname{tg} \varphi) =$ $(s_{\operatorname{tg} \varphi} / \operatorname{tg} \varphi)^2 =$
Štvorec relatívnej smerodajnej odchýlky smernice	$(s_k / k)^2 =$
Relatívna smerodajná odchýlka zložky B_h	$(s_B / B) =$

K protokolu treba pripojiť graf závislosti tangensu výchylky magnetky od prúdu prechádzajúceho cievkou : $\operatorname{tg}(\varphi) = f(I)$.**Slovné zhodnotenie výsledkov merania:****Dátum odovzdania protokolu:****Podpis študenta:****Podpis učiteľa:**