

Ziemskie pole magnetyczne

Cel ćwiczenia.

- ✓ Wyznaczenie indukcji magnetycznej ziemskiego pola magnetycznego i porównanie jej z wartością katalogową.

Zagadnienia teoretyczne:

1. Pole magnetyczne ziemskie. Deklinacja i inklinacja.
2. Indukcja magnetyczna.
3. Cewki Helmholtza.

Wprowadzenie.

Zagadnienia elementarne.

Indukcję magnetyczną pary cewek Helmholtza wyznacza się sporządzając jej wykres w funkcji natężenia prądu elektrycznego I_H przepływającego przez nie.

$$B_H^h = f(I_H) = k I_H \quad (1)$$

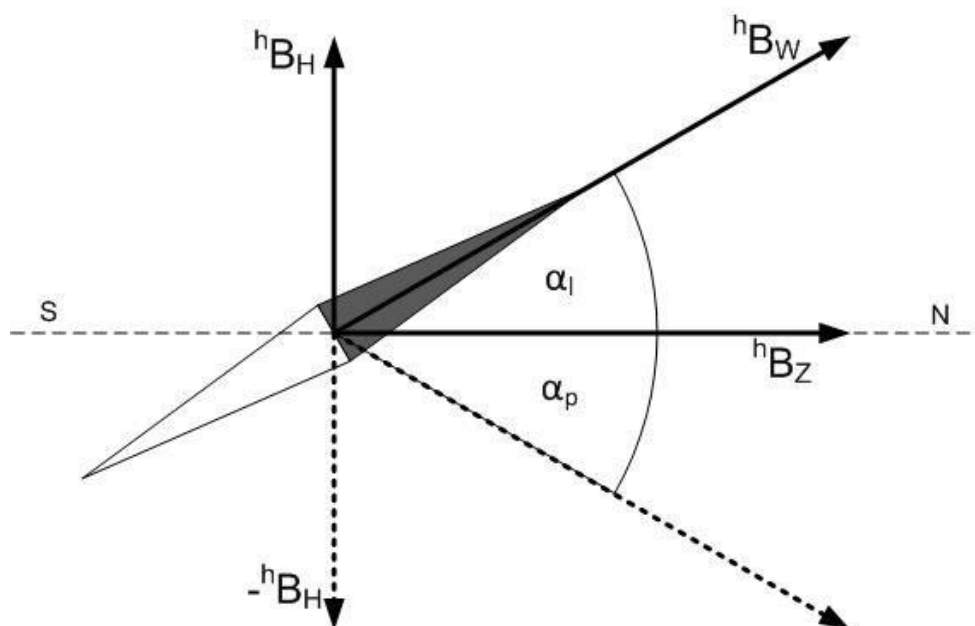
gdzie k jest współczynnikiem kalibracji.

Dla k wzór (1) przyjmuje więc postać:

$$k = \frac{B_H^{(h)}}{I_H} \quad (2)$$

Gdy przez cewki nie przepływa prąd, igła magnetyczna kieruje się zgodnie z poziomą składową B_Z^h (kierunek północ-południe) ziemskiego pola magnetycznego.

Jeśli na tę składową nałożymy, przy pomocy cewek Helmholtz'a dodatkowe pole magnetyczne B_H^h , to igła obróci się o kąt α i będzie wskazywać kierunek wypadkowego pola magnetycznego B_W^h .

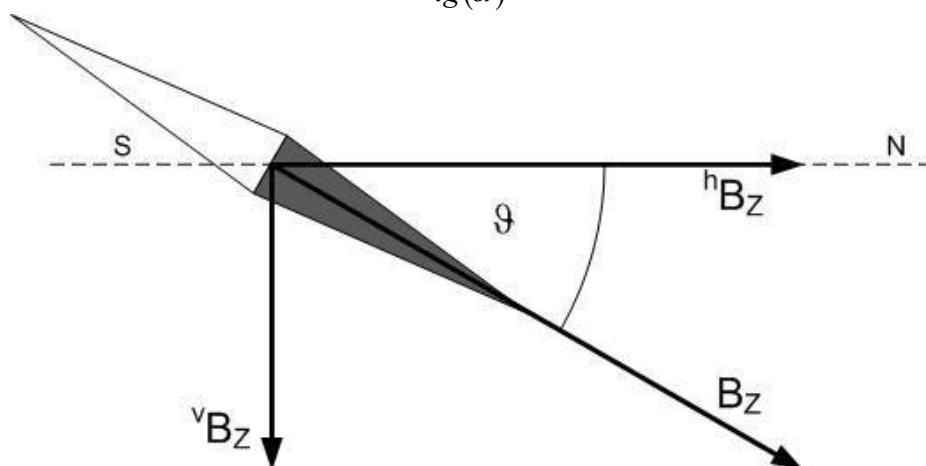


W szczególnym przypadku, gdy oś cewek jest prostopadłą do kierunku północ-południe, otrzymujemy zależność:

$$\frac{B_H^h}{B_Z^h} = \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

lub

$$B_Z^h = \frac{B_H^h}{\operatorname{tg}(\alpha)} \quad (4)$$



Zmierzony kąt inklinacji

$$\vartheta = \frac{1}{2} (\vartheta_1 + \vartheta_2)$$

wstawiamy do związku:

$$\frac{B_Z^v}{B_Z^h} = \tan \vartheta \quad \Rightarrow \quad B_Z^v = B_Z^h \cdot \tan \vartheta \quad (5)$$

Pełna indukcja magnetyczna B_Z wynosi:

$$B_Z = \sqrt{(B_Z^v)^2 + (B_Z^h)^2} = \frac{B_Z^h}{\cos(\vartheta)} \quad (6)$$

Niepewność względna wyznaczenia indukcji pola magnetycznego Ziemi należy obliczyć według wzoru: $\frac{\Delta B_Z}{B_Z} = \frac{\Delta B_Z^{(h)}}{B_Z^{(h)}} + \operatorname{tg} \vartheta \cdot \Delta \vartheta$, gdzie niepewność bezwzględna $\Delta \vartheta$ wyznaczenia kąta ϑ należy podstawiać w radianach.

Przebieg ćwiczenia

Wypożyczenie potrzebne do przeprowadzenia ćwiczenia:

- para cewek Helmholtza
- zasilacz uniwersalny, opornica suwakowa 100Ω ; 1,8A
- teslomierz cyfrowy z sondą Halla
- multimetr cyfrowy
- igła magnetyczna deklinacyjno-inklinacyjna

Cewki Helmholtza połączone są szeregowo i przez opornicę podłączone są do zasilacza prądu stałego oraz uniwersalnego multimetru cyfrowego.

Sondę Halla umieszczamy w osi cewek, tak aby jej koniec znajdował się pośrodku układu Helmholtza. Zmieniając wartość prądu I_H w zakresie $0,15 \div 1,35\text{A}$ z krokiem $\sim 0,15\text{A}$ zmierzyc indukcję B_H^h (mT). Pomiary zapisać w Tabeli 1.

Tabela 1. Indukcja pola magnetycznego cewki Helmholtza $B_H^{(h)}$ w zależności od prądu cewki I_H

I_H / A	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20	1,35
$B_H^{(h)} / \text{mT}$									
k / mTA^{-1}									
$k_{\text{sr}} / \text{mTA}^{-1}$									
$\Delta k / \text{mTA}^{-1}$									
$\Delta k / k_{\text{sr}}$									

2.

W tej części wyznaczamy zależność kąta odchylenia α igły magnetycznej od kierunku północ-południe w funkcji natężenia prądu płynącego przez cewki Helmholtza.

Usuujemy sondę Halla, a w jej miejsce wstawiamy igłę magnetyczną, tak zmieniając położenie pary cewek, aby ich oś była dokładnie prostopadłą do kierunku północ-południe (oczywiście $I_H = 0$).

Następnie ustawiamy prąd I_H na poziomie $\sim 30\text{mA}$ (Regulacja $U \approx 1\text{V}$, regulacja $I \approx 0,5\text{A}$) zmieniając w odpowiedni sposób położenie suwaka opornicy.

Wychylenie igły magnetycznej przy zmianie kierunku prądu powinno być jednakowe ($\alpha_1 = \alpha_p$). Jeśli tak nie jest, lekko zmienić położenie układu Helmholtza.

Zmieniając natężenie prądu w zakresie $10 \div 60$ mA z krokiem ~ 5 mA zmierzyć odchylenie igły magnetycznej α . Wyniki zapisać w Tabeli 2. i uzupełnić o stosowne obliczenia.

Tabela 2. Kąt wychylenia α strzałki magnetycznej i składowa horyzontalna indukcji pola magnetycznego Ziemi $B_Z^{(h)}$ w zależności od prądu cewki I_H

I_H /mA	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
kI_H / μ T											
α /stopni											
$\text{tg}\alpha$											
$B_Z^{(h)}$ / μ T											
$B_{Z_{sr}}^{(h)}$ / μ T											
$\Delta B_Z^{(h)}$ / μ T											
$\Delta B_Z^{(h)} / B_{Z_{sr}}^{(h)}$											

3.

Wartość składowej pionowej indukcji $B_Z^{(v)}$ wyznaczamy podczas gdy przez cewki nie płynie prąd. Kiedy igła magnetyczna wskazuje kierunek N-S należy obrócić ją do płaszczyzny pionowej tak, aby wskazywała teraz kąt inklinacji ϑ_1 . Aby otrzymać ϑ_2 , należy magnetometr obrócić o 180° wokół pionu.

Tabela 3. Składowa pionowa $B_Z^{(v)}$ i indukcja całkowita pola magnetycznego Ziemi B_Z

ϑ /stopni			
$B_Z^{(v)}$ / μ T			
B_Z / μ T			
$B_{Z_{sr}}$ / μ T			
ΔB_Z / μ T			
$\Delta B_Z / B_{Z_{sr}}$			

Opracowanie wyników

1. Na podstawie Tabeli 1 wykonaj wykres zależności $B_H^h = f(I_H)$.
2. Oblicz współczynnik kalibracyjny k (wzór 2) dla każdego z pomiarów oraz jego wartość średnią k_{sr} , niepewność pomiaru Δk_{sr} i niepewność względną pomiaru $\Delta k_{sr} / k_{sr}$.
3. Na podstawie Tabeli 2 wykonaj wykres zależności $\text{tg}\alpha = f(I_H)$.
4. Na podstawie Tabeli 2 i wzoru (4) wyznacz składową poziomą indukcji magnetycznej B_Z^h ziemskiego pola magnetycznego oraz jego wartość średnią $B_{Z_{sr}}^h$, niepewność pomiaru $\Delta B_{Z_{sr}}^h$ i niepewność względną pomiaru $\Delta B_{Z_{sr}}^h / B_{Z_{sr}}^h$.
5. Ze wzoru (5) wyznacz składową B_Z^v .
6. Ostatecznie ze wzoru (6) oblicz całkowitą indukcję B_Z ziemskiego pola magnetycznego.
7. Porównaj uzyskane wyniki z wartością rzeczywistą. Informację o wartości rzeczywistej można znaleźć na stronie np.: <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>. Na podanej stronie należy najpierw w polu „GET LOCATION” wybrać kraj i miasto (Poland, Koszalin), a następnie kliknąć na przycisk ”Compute Magnetic Field Values”.

Protokół pomiarowy

	Laboratorium z fizyki		
Rok akadem:	<i>Temat:</i> Pomiar natężenia pola magnetycznego ziemskiego		
Kierunek:	Imię i Nazwisko:		
Grupa:			
	Ocena	Data Zaliczenia	Podpis
L			
S			
K			

Tabela 1. Indukcja pola magnetycznego cewki Helmholtza $B_H^{(h)}$ w zależności od prądu cewki I_H

I_H / A	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20	1,35
$B_H^{(h)} / \text{mT}$									
k / mTA^{-1}									
$k_{\text{sr}} / \text{mTA}^{-1}$									
$\Delta k / \text{mTA}^{-1}$									
$\Delta k / k_{\text{sr}}$									

Tabela 2. Kąt wychylenia α strzałki magnetycznej i składowa horyzontalna indukcji pola magnetycznego Ziemi $B_Z^{(h)}$ w zależności od prądu cewki I_H

I_H / mA	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$k I_H / \mu\text{T}$											
α / stopni											
$\text{tg}\alpha$											
$B_Z^{(h)} / \mu\text{T}$											
$B_Z^{(h)} / \mu\text{T}$											
$\Delta B_Z^{(h)} / \mu\text{T}$											
$\Delta B_Z^{(h)} / B_Z^{(h)} / \mu\text{T}$											

Tabela 3. Składowa pionowa $B_Z^{(v)}$ i indukcja całkowita pola magnetycznego Ziemi B_Z

$\vartheta / \text{stopni}$			
$B_Z^{(v)} / \mu\text{T}$			
$B_Z / \mu\text{T}$			
$B_{Z\text{sr}} / \mu\text{T}$			
$\Delta B_Z / \mu\text{T}$			
$\Delta B_Z / B_{Z\text{sr}}$			