

## Ćwiczenie 351. Wyznaczanie pola magnetycznego Ziemi

### I. Literatura

1. Sz.Szczeniowski, Fizyka dośw., cz. III, PWN, W-wa, rozdz. V.
2. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz II praca zbiorowa pod redakcją I. Kruk i J. Typka. Wydawnictwo Uczelniane PS. Szczecin 2007

### II. Problemy teoretyczne

1. Podstawowe wielkości charakteryzujące pole magnetyczne (wektor natężenia pola magnetycznego i indukcji magnetycznej, definicja tesli).
2. Stałe i zmienne pole magnetyczne Ziemi, inklinacja, deklinacja, składowa pozioma i pionowa pola magnetycznego Ziemi.

### III. Metoda pomiarowa

Wyznaczanie poziomej i pionowej składowej pola magnetycznego Ziemi poprzez porównanie jego wartości z polem magnetycznym wytworzonym przez cewki Helmholtza.

### IV. Zestaw pomiarowy

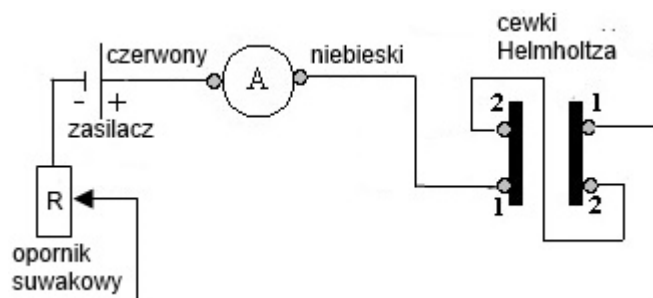
Przyrządy: cewki Helmholtza, zasilacz, regulowany opornik, amperomierz, magnetometr z czujnikiem, igła magnetyczna zamocowana w obrotowym kątomierzu.

**Uwaga: Z przestrzeni pomiarowej wokół cewek usunąć przedmioty ferromagnetyczne. Opornik regulowany R powinien stać na skraju stołu, jak najdalej od cewek Helmholtza.**

### V. Wykonanie ćwiczenia:

#### Zadanie I. Kalibracja cewek Helmholtza

- 1) Połączyć układ tak jak na rys. 1:
- 2) W amperomierzu wybrać gniazda „20A” i „COM” i dołączyć do nich będące na wyposażeniu miernika przewody: **czerwony i niebieski**.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego do wyznaczenia składowych pola magnetycznego Ziemi

- 3) Ustawić czujnik podłączony do magnetometru (Teslametru) na osi cewek tak, aby jego końcówka znajdowała się w pobliżu środka pomiędzy cewkami.
- 4) Włączyć magnetometr przyciskiem z tyłu przyrządu.
- 5) Ustawić przełącznik wartości mierzonego pola na 20 mT.
- 6) Ustawić przełącznik rodzaju pola na pozycję pole stałe (Direct Field).
- 7) Wyzerować przyrząd pokrętle pod gałką zakresów(zgrubnie) i pokrętle „0”(dokładnie).

- 8) Ustawić parametry zasilacza: pokrętko V na min, pokrętko A na max, zworka "Power" na 2.
- 9) Przełącznik amperomierza ustawić w pozycji 20 A (wtyczki w gniazdach „20A” i „com”).
- 10) Włączyć zasilanie (przycisk z tyłu zasilacza).
- 11) Włączyć amperomierz i przełącznikiem DC/AC wybrać pomiar prądu stałego (na wyświetlaczu nie ma liter AC).
- 12) Ustawić suwak opornika w pozycji minimum. Odłączyć na moment jeden koniec któregośkolwiek przewodu, sprawdzić czy teslametr po nagraniu nadal jest wyzerowany i ponownie podłączyć ten przewód.
- 13) Pokrętko V na zasilaczu ustalić natężenie prądu wskazywane przez amperomierz na  $I_H = 0,1A$  i zapisać wskazanie magnetometru  $B_H$ .
- 14) Pokrętko V zasilacza ustawić na maksimum, a suwakiem opornika zmieniać natężenie prądu  $I_H$  co  $0,1A$  aż do osiągnięcia wartości  $1,5A$ , notując za każdym razem wskazania magnetometru (wartość  $B_H$  w Tabeli 1).
- 15) Wyniki pomiarów i obliczeń wpisać do Tabeli 1.

Tabela 1.

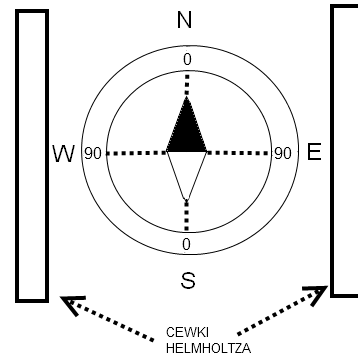
$I_H$ [A]	$B_H$ [mT]	$K = B_H / I_H$ [mT/A]
0,0		
0,1		
0,2		
0,3		
0,4		
0,5		
0,6		
0,7		
0,8		
0,9		
1,0		
1,1		
1,2		
1,3		
1,4		
1,5		

Niepewności maksymalne:  $\Delta I_H = \dots\dots\dots$ ;  $\Delta B_H = \dots\dots\dots$

**16) Wyłączyć wszystkie przyrządy i odstawić czujnik magnetometru!**

## Zadanie II. Wyznaczanie składowej poziomej pola magnetycznego Ziemi

- 1) Igłę magnetyczną ustawić pomiędzy cewkami tak, aby znajdowała się ona w ich centrum i na osi cewek. Igła powinna być w pozycji poziomej.
- 2) Obrócić stojak igły magnetycznej tak, aby końce igły pokrywały się z zerami na poziomej skali kątomierza.
- 3) Obrócić cewki tak, aby ich oś była prostopadła do kierunku N-S wskazanego przez igłę magnetyczną (rys.2)



Rys. 2

- 4) Ustawić pokrętko zasilacza V na minimum (0).
- 5) Przełącznik amperomierza ustawić w pozycji 200 mA, a wtyczki bananowe włączyć do gniazd „mA” i „COM”.
- 6) Suwak opornika ustawić w pozycji minimum.
- 7) Włączyć zasilacz i amperomierz.
- 8) Pokrętkiem V zasilacza ustawić wartość prądu na 5 mA i odczytać kąt  $\alpha$  wychylenia igły magnetycznej . Uwaga: jeśli igła nie odchyła się, co może się zdarzyć przy małych wartościach prądu, należy lekko puknąć palcem w obudowę igły.
- 9) Przesuwając suwak opornika zwiększać natężenie prądu  $I_H$  co 5 mA w zakresie od 0÷60 mA) i odczytywać odpowiedni kąt  $\alpha$  (Tabela 2).
- 10) Zmierzyć maksymalny kąt odchylenia igły  $\varphi$  przy dużym prądzie  $I_H$  W tym celu wyjąć wtyczkę bananową z gniazda „mA” i włożyć do wtyczki tkwiącej w gnieździe „COM”. Pokrętki V i A zasilacza skrócić w prawo do oporu i odczytać kąt odchylenia igły  $\varphi$  .
- 11) Wyniki pomiarów i obliczeń wpisać do Tabeli 2:

Tabela 2.

$I_H$ [mA]	$\alpha$	$\varphi$	$\beta = \varphi - \alpha$	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$	$I_H \cdot K$ [ $\mu T$ ]	H [ $\mu T$ ]
0						
5						
10						
15						
20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						
60						

# 1) Wyłączyć wszystkie przyrządy!

## Zadanie III. Wyznaczanie składowej pionowej pola magnetycznego

- 1) Ustawić stojak igły magnetycznej na stole z dala od wszelkich metalowych przedmiotów.
- 2) Obrócić stojak igły magnetycznej tak, aby końce igły pokrywały się z zerami na poziomej skali kątomierza.
- 3) Obrócić kątomierz z igłą magnetyczną do pozycji pionowej.
- 4) Zmierzyć inklinację  $I_1$  (czyli kąt odchylenia igły magnetycznej od płaszczyzny poziomej).
- 5) Obrócić kątomierz o  $180^\circ$  (też do pozycji pionowej) i zmierzyć inklinację  $I_2$ .
- 6) Pomiar z punktów 2 i 3 powtórzyć trzykrotnie.

Wyniki pomiarów i obliczeń wpisać do Tabeli 3.

Tabela 3.

Nr pomiaru	$I_1$	$I_2$	$I = \frac{1}{2}(I_1 + I_2)$	$I_{\text{śr}}$	Z [ $\mu\text{T}$ ]	H [ $\mu\text{T}$ ]	F [ $\mu\text{T}$ ]
1							
2							
3							

$\Delta I = \dots\dots\dots$  -dokładność odczytu kąta ze skali

## VI. Opracowanie wyników pomiarów:

1. W oparciu o Tabelę 1 wykreślić zależność  $B_H$  (oś y) od  $I_H$  (oś x)
2. Metodą regresji liniowej znaleźć współczynnik kalibracji cewek Helmholtza  $K = B_H / I_H$ , który jest równy współczynnikowi kierunkowemu  $a$  prostej:

$$B_H = K \cdot I_H \text{ prosta w postaci:}$$

$$y = a \cdot x + b$$

3. Wyznaczyć niepewność wyznaczenia współczynnika K, ( $u(K)=u(a)$ ).
4. W Tabeli 2 uzupełnić kolumny  $\beta = \varphi - \alpha$ ,  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$  oraz  $I_H \cdot K$
5. Sporządzić wykres zależności  $I_H \cdot K$  (oś y) od  $\sin \alpha / \sin \beta$  (oś x).
6. Metodą regresji liniowej znaleźć wartość  $H$  składowej poziomej indukcji pola magnetycznego Ziemi, która jest równa współczynnikowi kierunkowemu  $a$  prostej:

$$I_H \cdot K = H \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \text{ prosta w postaci:}$$

$$y = a \cdot x + b$$

7. Wyznaczyć niepewność wyznaczenia składowej pola H. ( $u(H)=u(a)$ ).

8. Uzupełnić Tabelę 3 obliczając średnią wartość inklinacji  $I_{sr}$ .
9. Obliczyć składową pionową pola magnetycznego Ziemi  $Z = H \cdot \operatorname{tg} I_{sr}$  oraz jej niepewność pomiarową  $u(Z)$ :

**UWAGA:** Zarówno inklinację  $I$  jak jej niepewności maksymalną  $\Delta I$  i standardową  $u(I)$  należy wyrazić w radianach.

$$u(Z) = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial H}\right)^2 \cdot u^2(H) + \left(\frac{\partial Z}{\partial I_{sr}}\right)^2 \cdot u^2(I_{sr})} = Z \cdot \sqrt{\frac{u^2(H)}{H^2} + \frac{u^2(I_{sr})}{\sin^2 I_{sr} \cdot \cos^2 I_{sr}}}$$

gdzie  $u(I_{sr}) = \sqrt{u_A^2(I_{sr}) + u_B^2(I_{sr})}$ ;  $u_A(I_{sr}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (I_{sr} - I_i)^2}{3 \cdot 2}}$ ;  $u_B(I_{sr}) = \frac{\Delta I}{\sqrt{3}}$

10. Obliczyć wartość wektora indukcji magnetycznej Ziemi  $F$ :

$$F = \sqrt{H^2 + Z^2}$$

oraz jej niepewność:

$$u(F) = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial H}\right)^2 \cdot u^2(H) + \left(\frac{\partial F}{\partial Z}\right)^2 \cdot u^2(Z)} = \frac{1}{F} \cdot \sqrt{H^2 \cdot u^2(H) + Z^2 \cdot u^2(Z)}$$

11. Sprawdzić w Internecie np. na stronie:

<http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>

aktualne wartości pola magnetycznego w Szczecinie i porównać je z danymi otrzymanymi z własnych pomiarów. Na podanej stronie należy najpierw w ramce „Lookup location” wybrać kraj i miasto (Poland, Szczecin), a następnie kliknąć na przyciski „Get Location”, oraz „Calculate”.

Uwaga: wartości podane w tabeli na tej stronie wyrażone są w nT, ale należy zwrócić uwagę, że zapis np. 33,885.3 nT oznacza 33885,3 nT = 33,885  $\mu$ T - przecinek i kropka mają inne znaczenie niż w stosowanym u nas zazwyczaj zapisie.