

Wydział: Fizyki	Dzień: Poniedziałek 14-17 Data: 20.03.2017		Zespół: 8
Imiona i nazwiska: Marta Pogorzelska Paulina Marikin	Ocena z przygotowania:	Ocena ze sprawozdania:	Ocena końcowa:
Prowadzący:		Podpis:	

## Ćwiczenie 46:

### Wyznaczanie wartości poziomej pola magnetycznego Ziemi metodą busoli stycznych

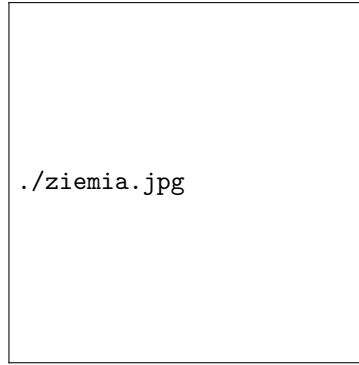
Ćwiczenie 46:  
Wyznaczanie wartości poziomej pola magnetycznego Ziemi metodą busoli stycznych

## 1 Cel badań

Celem doświadczenia było wyznaczenie wartości składowej poziomej natężenia pola magnetycznego Ziemi poprzez badanie zmian kąta wychylenia wektora wypadkowego pola ziemskiego i pola wytwarzanego przez zwojnicę busoli stycznych z prądem stałym.

## 2 Wstęp teoretyczny

Ziemskie pole magnetyczne odpowiada w przybliżeniu polu dipola magnetycznego znajdującego się w środku Ziemi. O właściwościach magnetycznych naszej planety decyduje będące w ciągłym ruchu płynne, przewodzące jądro Ziemi. Bieguny magnetyczne leżą przeciwległe do biegunów geograficznych, a ich położenie względem biegunów geograficznych trochę się różni. Linia łącząca bieguny magnetyczne tworzy wraz z osią obrotu Ziemi kąt (na stan obecny)  $11,5^\circ$ . Obszar, w którym występuje ziemskie pole magnetyczne nazywany jest ziemską magnetosferą i rozciąga się do kilkudziesięciu kilometrów nad powierzchnią Ziemi.



Rysunek 1: Rozkład linii pola magnetycznego Ziemi oraz położenie biegunów magnetycznych i geograficznych.

W dowolnym punkcie przestrzeni pole magnetyczne opisane jest wektorem natężenia  $\vec{H}$  tego pola. Jednostką natężenia jest Tesla [T]. Wektor natężenia można rozłożyć na 2 składowe: poziomą  $\vec{H}_g$  i pionową. Przy użyciu igły magnetycznej i obwodu kołowego można wyznaczyć kierunek oraz wartość składowej poziomej. Na umieszczoną w polu magnetycznym igłę działa moment siły  $\vec{M}$ , który ustawia ją równolegle do wektora  $\vec{H}$ . Jeśli umieścimy igłę w płaszczyźnie poziomej, to w wyniku tego w przeprowadzanym doświadczeniu można brać pod uwagę tylko składową poziomą. Jeśli następnie w obwodzie zostanie puszczony prąd o natężeniu I, wytworzone zostanie nowe pole magnetyczne o natężeniu  $\vec{H}_o$ :

$$H_o = \frac{NI}{2R} \quad (1)$$

,gdzie N - liczba zwojów w obwodzie, R - promień zwojnicy.

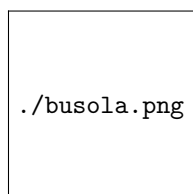
W celu wyznaczenia wartości  $H_g$  w doświadczeniu zostanie użyta busola stycznych. Jest to urządzenie do pomiaru natężeń stałych pól magnetycznych. Prąd stały o natężeniu I, płynący w zwojnicy, wytwarza pole magnetyczne, które nakłada się na składową poziomą pola magnetycznego Ziemi  $\vec{H}_g$ . Wektor wypadkowy  $\vec{H}_w$  obu natężeń jest sumą geometryczną pola  $\vec{H}_g$  i pola zwojnicy  $\vec{H}_o$ . Namagnesowana igła umieszczona w takim polu wychyli się o pewien kąt  $\varphi$  i ustawi w kierunku zgodnym z kierunkiem wektora  $\vec{H}_w$ . Między natężeniami zachodzi zależność:

$$\text{ctg}\varphi = \frac{H_g}{H_o} \quad (2)$$

,a po podstawieniu do wzoru (1):

$$H_g = \frac{NI \text{ctg}\varphi}{2R} \quad (3)$$

### 3 Opis układu i metody pomiarowej



Rysunek 2: Schemat busoli stycznych oraz wektory składowej poziomej natężenia ziemskiego  $H_g$  i natężenia obwodu  $H_o$ .

Najpierw należało uruchomić komputer i podłączyć zasilacz do amperomierza i busoli stycznych, w taki sposób aby liczba zwojów cewki busoli wynosiła 1. Następnie włączono specjalny program na komputerze, który pokazywał obraz z kamery umieszczonej bezpośrednio nad igłą magnetyczną. Wpierw poczekano aż igła będzie w stanie równowagi i ustawiono busolę tak, by linia  $0^\circ$  na kątomierzu pokrywała się z kierunkiem igły. Po ustabilizowaniu układu minimalnie podwyższono natężenie prądu w zasilaczu tak, by igła wychyliła się o pewien kąt  $\varphi$ . Odczytano i spisano kąt odchylenia do protokołu. Wykonano 12 pomiarów kątów wychyleń z przedziału od  $0^\circ - 90^\circ$  dla coraz to wyższych wartości prądu. Doświadczenie przeprowadzono analogicznie również dla 3 i 5 zwojów na cewce. W tym celu przełączono kabel między zasilaczem a cewką tak, by zwiększyć liczbę zwojów.

Użyte przyrządy i materiały:

- busola stycznych:
  - cewka pierścieniowa
  - tarcza wraz z kątomierzem
  - igła magnetyczna
  - kamerka podłączona do komputera
- komputer mierzący pomiary
- amperomierz METEX M-3650D klasy 2%
- zasilacz prądu stałego
- kable

## 4 Wyniki i analiza pomiarów

### 4.1 Dla $N = 1$

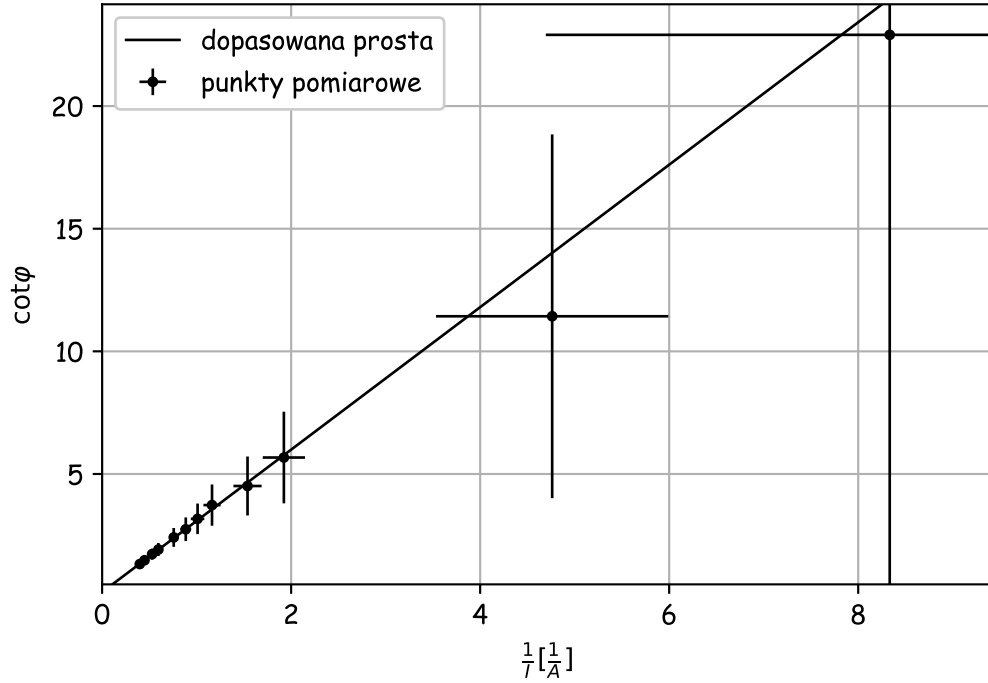
	$\varphi[^\circ]$	$\Delta\varphi[^\circ]$	$I[A]$	$\Delta I[A]$	$\frac{1}{I}$	$\Delta\frac{1}{I}$	$\cot\varphi$	$\Delta\cot\varphi$
0	2.5	3.227	0.12	0.052	8.333	3.639	22.904	29.606
1	5.0	3.227	0.21	0.054	4.762	1.229	11.430	7.416
2	10.0	3.227	0.52	0.060	1.923	0.223	5.671	1.868
11	12.5	3.227	0.65	0.063	1.538	0.149	4.511	1.202
3	15.0	3.227	0.86	0.067	1.163	0.091	3.732	0.841
10	17.5	3.227	0.99	0.070	1.010	0.071	3.172	0.623
4	20.0	3.227	1.13	0.073	0.885	0.057	2.747	0.482
9	22.5	3.227	1.32	0.076	0.758	0.044	2.414	0.385
8	27.5	3.227	1.68	0.084	0.595	0.030	1.921	0.264
5	30.0	3.227	1.89	0.088	0.529	0.025	1.732	0.225
7	34.0	3.227	2.23	0.095	0.448	0.019	1.483	0.180
6	37.0	3.227	2.51	0.100	0.398	0.016	1.327	0.156

Tabela nr 1: Pomiary kąta i natężenia prądu wraz z niepewnościami dla liczby zwojów  $N = 1$ .

Parametr kierunkowy prostej  $a_1$  został wyliczony, wraz z niepewnościami, przy użyciu funkcji *polyfit* pakietu *numpy* w Pythonie. Funkcja ta dopasowuje prostą przy użyciu metody najmniejszych kwadratów, przyjmując dla każdego punktu wagę  $\frac{1}{\Delta y}$ . Przekształcając wzór (3) dostajemy:

$$\cot\varphi = \frac{2RH_g}{N} \frac{1}{I} \quad (4)$$

,gdzie  $a_1 = \frac{2RH_g}{N}$ ,  $R = 0,149$  [m]



Wykres nr 3: Zależność ctg kąta  $\varphi$  od odwrotności natężenia prądu  $I$  dla jednego zwoju.

$$a_1 = 2.904(74)$$

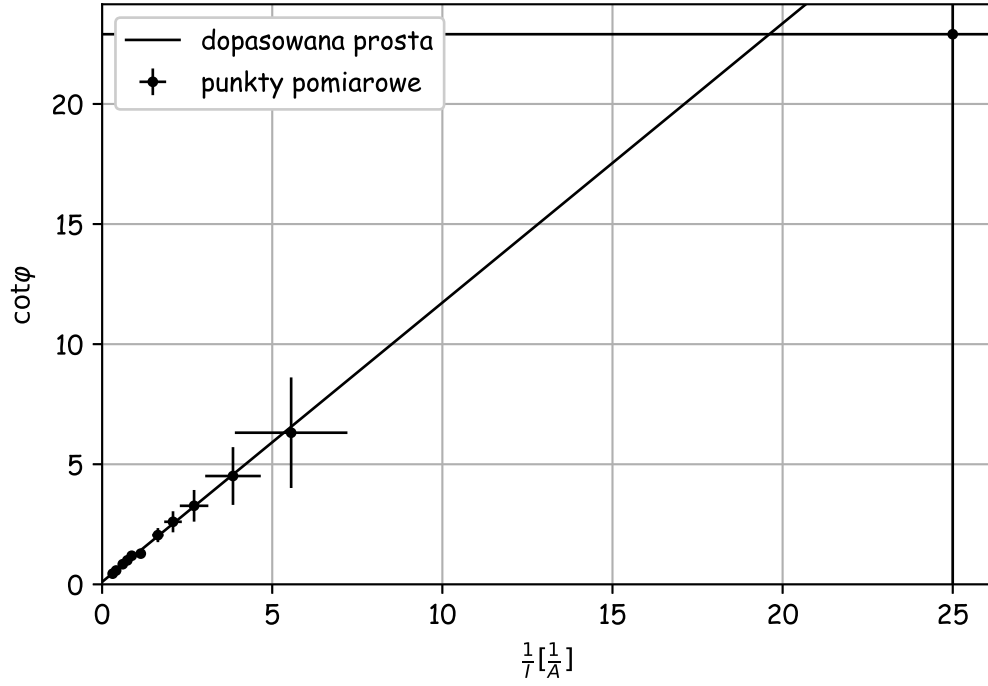
$$H_{g1} = 9.746(136)[T]$$

Dla pozostałych obliczeń z pomiarów dla liczby zwojów 3 i 5 postępujemy analogicznie.

## 4.2 Dla $N = 3$

	$\varphi[^\circ]$	$\Delta\varphi[^\circ]$	$I[A]$	$\Delta I[A]$	$\frac{1}{I}$	$\Delta\frac{1}{I}$	$\cot\varphi$	$\Delta\cot\varphi$
0	2.5	3.227	0.04	0.051	25.000	31.750	22.904	29.606
2	9.0	3.227	0.18	0.054	5.556	1.654	6.314	2.302
1	12.5	3.227	0.26	0.055	3.846	0.817	4.511	1.202
3	17.0	3.227	0.37	0.057	2.703	0.419	3.271	0.659
4	21.0	3.227	0.48	0.060	2.083	0.259	2.605	0.439
5	26.0	3.227	0.61	0.062	1.639	0.167	2.050	0.293
6	38.0	3.227	0.88	0.068	1.136	0.087	1.280	0.149
7	40.0	3.227	1.15	0.073	0.870	0.055	1.192	0.136
8	45.0	3.227	1.35	0.077	0.741	0.042	1.000	0.113
9	50.0	3.227	1.65	0.083	0.606	0.030	0.839	0.096
10	60.0	3.227	2.43	0.099	0.412	0.017	0.577	0.075
11	66.0	3.227	3.23	0.115	0.310	0.011	0.445	0.067

Tabela nr 2: Pomiary kąta i natężenia prądu wraz z niepewnościami dla liczby zwojów  $N = 3$ .



Wykres nr 4: Zależność ctg kąta  $\varphi$  od odwrotności natężenia prądu  $I$  dla trzech zwojów.

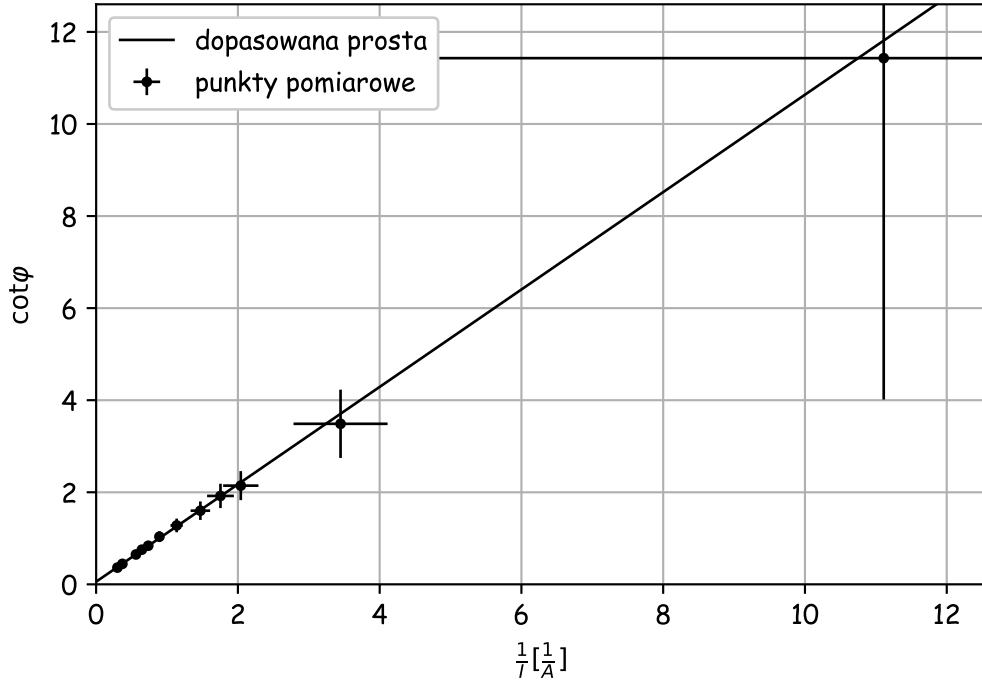
$$a_3 = 1.163(48)$$

$$H_{g3} = 11.705(153)[T]$$

### 4.3 Dla $N = 5$

	$\varphi[^\circ]$	$\Delta\varphi[^\circ]$	$I[A]$	$\Delta I[A]$	$\frac{1}{I}$	$\Delta\frac{1}{I}$	$\cot\varphi$	$\Delta\cot\varphi$
0	5.0	3.227	0.09	0.052	11.111	6.395	11.430	7.416
1	16.0	3.227	0.29	0.056	3.448	0.663	3.487	0.741
2	25.0	3.227	0.49	0.060	2.041	0.249	2.145	0.315
3	27.5	3.227	0.57	0.061	1.754	0.189	1.921	0.264
4	32.0	3.227	0.68	0.064	1.471	0.138	1.600	0.201
5	38.0	3.227	0.88	0.068	1.136	0.087	1.280	0.149
6	44.0	3.227	1.12	0.072	0.893	0.058	1.036	0.117
7	50.0	3.227	1.36	0.077	0.735	0.042	0.839	0.096
8	53.0	3.227	1.55	0.081	0.645	0.034	0.754	0.088
9	57.0	3.227	1.78	0.086	0.562	0.027	0.649	0.080
10	66.0	3.227	2.70	0.104	0.370	0.014	0.445	0.067
11	70.0	3.227	3.33	0.117	0.300	0.011	0.364	0.064

Tabela nr 3: Pomiary kąta i natężenia prądu wraz z niepewnościami dla liczby zwojów  $N = 5$ .



Wykres nr 5: Zależność ctg kąta  $\varphi$  od odwrotności natężenia prądu  $I$  dla pięciu zwojów.

$$a_5 = 1.058(17)$$

$$H_{g5} = 17.749(70)[T]$$

## 5 Analiza niepewności

Za niepewność pomiaru kąta przyjęto wartość daną wzorem:

$$\Delta\varphi = \sqrt{\left(\frac{\text{podziałka}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\text{eksperymentator}}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (5)$$

przysuwając podziałkę co  $5^\circ$ , i niepewność eksperymentatora równą połowie podziałki.

Niepewności dla pomiaru prądu:

$$\Delta I = I * 0.02 + 5dgt \quad (6)$$

Dla wartości potrzebnych do wyrysowania wykresów niepewności wyliczono metodą propagacji niepewności:

$$\Delta \frac{1}{I} = \Delta I * \frac{1}{I^2} \quad (7)$$

$$\Delta \cot \varphi = \Delta \varphi * \frac{1}{\sin^2 \varphi} \quad (8)$$

Niepewność dla  $a$  uzyskano pierwiastkując zwracaną przez funkcję *polyfit* kowariancję tegoż współczynnika. W celu wyznaczenia niepewności składowej pola magnetycznego użyto metody propagacji niepewności:

$$\Delta H_g = \Delta a * \frac{N}{2R} \quad (9)$$

## 6 Wnioski

Wykreślone, na podstawie uzyskanych w doświadczeniu pomiarów, wykresy zgadzają się z założeniami teoretycznymi. Zależność  $\text{ctg}$  kąta  $\varphi$  od odwrotności natężenia prądu  $I$  przedstawia zależność liniową. Nie mniej jednak wyliczona na tej podstawie wartość natężenia składowej poziomej pola magnetycznego Ziemi jest różna w zależności od liczby zwojów na cewce. Wraz ze wzrostem liczby zwojów wzrasta wartość natężenia:

$$\begin{aligned} H_{g1} &= 9.746(136)[\text{T}] \\ H_{g3} &= 11.705(153)[\text{T}] \\ H_{g5} &= 17.749(70)[\text{T}] \end{aligned}$$

Niepewności dla dużych kątów wychyleń (czyli dla małych wartości  $\text{ctg}$ ) są niewielkie, ale wzrastają i są duże dla małych kątów wychyleń (czyli dla dużych wartości  $\text{ctg}$ ).