

# Spis treści

<b>1</b>	<b>Cel ćwiczenia</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Wstęp teoretyczny</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Układ pomiarowy</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Przebieg ćwiczenia</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Wyniki pomiarów</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Opracowanie wyników pomiarów</b>	<b>5</b>
6.1	Wartość składowej poziomej indukcji ziemskiego pola magnetycznego każdego z pomiarów . . . . .	5
6.2	Średni wynik wartości składowej poziomej indukcji ziemskiego pola magnetycznego	6
6.3	Obliczanie niepewności pomiaru składowej poziomej indukcji ziemskiego pola magnetycznego . . . . .	6
<b>7</b>	<b>Wnioski</b>	<b>7</b>

# 1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z budową i działaniem przyrządu zwanego busolą stycznych oraz wyznaczenie składowej poziomej ziemskiego pola magnetycznego.

## 2 Wstęp teoretyczny

**Indukcja magnetyczna** jest to fizyczna wartość wektorowa definiująca pole magnetyczne. Wyznacza się ją za pomocą siły Lorentza działającej na naładowany obiekt poruszający się polu magnetycznym. Do wyznaczania indukcji magnetycznej służy wzór:

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}),$$

gdzie  $\vec{B}$  to wektor indukcji magnetycznej,  $\vec{F}$  to wektor siły Lorentza,  $q$  to ładunek elektryczny, a  $\vec{v}$  to wektor prędkości obiektu naładowanego elektrycznie poruszającego się w polu elektrycznym.

**Prawo Biota-Savarta** służy do wyznaczania wartości indukcji pola magnetycznego  $d\vec{B}$  w określonym punkcie, powodowanej przez bardzo mały odcinek przewodnika  $d\vec{l}$ , przez który przepływa prąd o natężeniu  $I$ . Można je zapisać w postaci wzoru:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3},$$

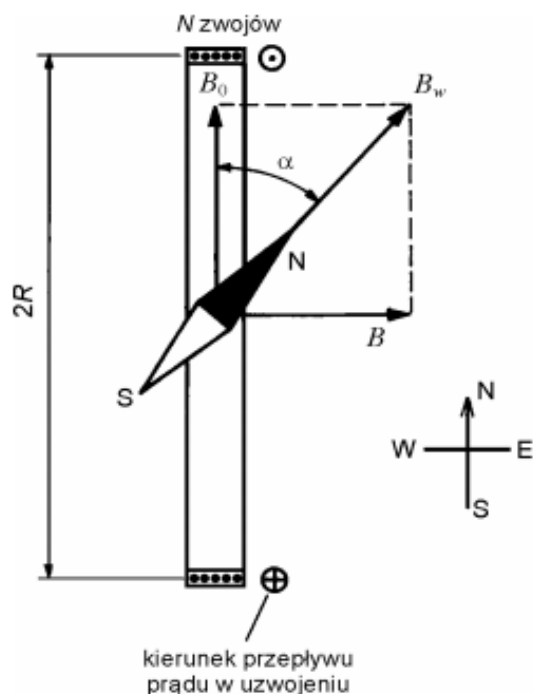
gdzie  $d\vec{B}$  to wektor indukcji magnetycznej powodowanej przez bardzo mały odcinek przewodnika  $d\vec{l}$ ,  $\mu_0$  to przenikalność magnetyczna próżni ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$ ),  $I$  to wektor natężenia prądu elektrycznego,  $d\vec{l}$  to wektor nieskończenie krótkiego odcinka przewodnika elektrycznego zaś  $\vec{r}$  to wektor odległości wychodzącej od bardzo małego przewodnika elektrycznego do punktu, w którym wyznaczana jest wartość indukcji magnetycznej.

Do obliczenia indukcji magnetycznej działającej na punkt będący w środku koła, którym jest przewodnik z prądem, możemy wykorzystać prawo Biota-Savarta. Dla środka cewki kołowej, lub bardzo krótkiej zwojnicy złożonej z  $N$  zwojów wartość indukcji pola magnetycznego wynosi :

$$B = \mu_0 \frac{NI}{2r},$$

Wiedza na temat wartości indukcji pola magnetycznego w środku cewki kołowej pozwala zbudować przyrząd do pomiaru składowej poziomej pola magnetycznego Ziemi, zwany busolą stycznych. W przyrządzie tym wykorzystano oddziaływanie pola magnetycznego wytworzonego przez cewkę z prądem, z igłą magnetyczną. Na cienką obręcz wykonaną z materiału nieferromagnetycznego (np. mosiądz lub aluminium) nawinięto uzwojenia cewki, najczęściej wykonane z miedzi. W środku obręczy znajduje się igła magnetyczna przytwierdzona w taki sposób, by mogła się obracać swobodnie w płaszczyźnie poziomej. Gdy w cewce nie płynie prąd igła magnetyczna ustawia się równolegle do składowej poziomej pola ziemskiego  $B_0$ . Busolę można tak ustawić, by kierunek wektora  $B_0$  znajdował się w płaszczyźnie zwojów. Oddziaływanie pola z momentem magnetycznym igły sprawia, że igła ustawia się zgodnie z wektorem poziomej składowej pola wypadkowego. Po włączeniu prądu powstaje pole  $B$  o kierunku prostopadłym do płaszczyzny zwojów, co indukuje ustawienie igły magnetycznej w kierunku wypadkowej obu pól. Wektory  $\vec{B}$ ,  $\vec{B}_0$  oraz  $\vec{B}_w$  tworzą trójkąt prostokątny (rysunek na kolejnej stronie), z którego widać zależność:

$$\frac{B}{B_0} = \tan \alpha \quad \Rightarrow \quad B_0 = \frac{B}{\tan \alpha} = \mu_0 \frac{NI}{2R \tan \alpha}$$



Jednostką indukcji magnetycznej jest tesla [T]. Wartość jednej tesli jest równa sile (Lorentza) jaka działa na ładunek 1C poruszający się z prędkością 1 metra na sekundę.

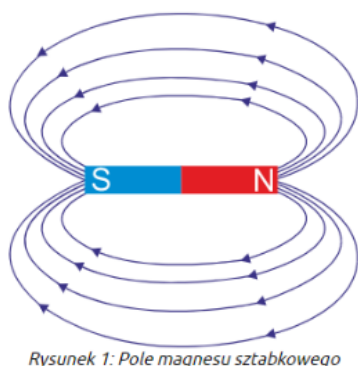
$$[T] = \left[ \frac{N}{Am} \right],$$

Natężenie pola magnetycznego to wielkość wektorowa, odpowiadająca sile działającej na jednostkowy ładunek elektryczny poruszający się z jednostkową prędkością w kierunku prostopadłym do tej wielkości wektorowej. Jednostką natężenia pola magnetycznego jest amper na metr ( $\left[ \frac{A}{m} \right]$ )

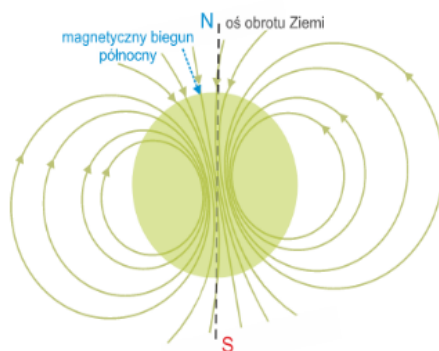
Amper to jednostka natężenia prądu elektrycznego. Jest jednostką podstawową w układzie SI. Jeśli przepływający przez dany przekrój prąd ma natężenie 1A, oznacza to, że w ciągu 1s przepływa 1C ładunku, czyli:

$$1A = \frac{1C}{1s},$$

Biegun magnetyczny to miejsce igły magnetycznej, magnesu trwałego lub elektromagnesu, w którym natężenie pola magnetycznego ma największą wartość. Pola magnesu sztabkowego i pole magnetyczne Ziemi:



Rysunek 1: Pole magnesu sztabkowego

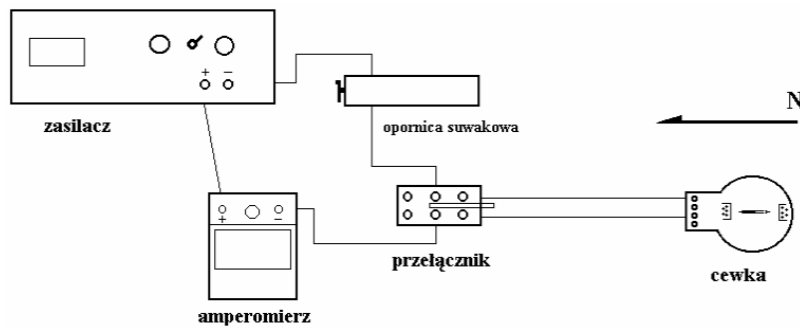


Rysunek 2: Pole magnetyczne Ziemi

### 3 Układ pomiarowy

Przyrządy potrzebne do wykonania doświadczenia (Rys. 4):

1. Busola stycznych
2. Zasilacz napięcia stałego
3. Amperomierz
4. Opornica suwakowa
5. Przełącznik kierunku prądu
6. Kalkulator



**Rys. 1:** Układ elektryczny busoli stycznych

## 4 Przebieg ćwiczenia

Doświadczenie zaczęliśmy od zapoznania się z elementami układu pomiarowego, odsunięcia busoli stycznych maksymalnie od zasilacza oraz wypoziomowania podstawy busoli. Po ustawieniu płaszczyzny zwojów w płaszczyźnie południka magnetycznego ziemskiego oraz konsultacji z prowadzącym zajęcia przygotowaliśmy się do pomiarów. Następnie dla różnej ilości zwojów  $N$  oraz różnego natężenia prądu  $I$  odczytywaliśmy kąt wychylenia igły  $\alpha$  dla obu kierunków przepływu prądu. Wyniki zestawiliśmy w tabeli.

## 5 Wyniki pomiarów

Lp	Liczba zwojów $N$	Prąd $I$ [mA]	Kąt wychylenia w lewo $\alpha$ [°]	Kąt wychylenia w prawo $\alpha$ [°]	Średni kąt wychylenia $\bar{\alpha}$ [°]	$B_0$ [ $\mu$ T]
1	12	300	58	56	57	11.30
2	12	400	64	63	64	11.32
3	12	500	68	68	68	11.72
4	16	300	63	63	63	11.82
5	16	400	70	68	69	11.87
6	16	500	74	72	73	11.82
7	24	300	74	72	73	10.64
8	24	400	78	76	77	10.71
9	24	500	80	78	79	11.27
10	36	100	59	57	58	10.87
11	36	200	73	71	72	11.31
12	36	300	79	76	78	11.10
13	40	100	62	60	61	10.72
14	40	200	75	72	74	11.09
15	40	300	80	77	79	11.27

**Tab. 1:** Tabela z wynikami pomiarów

Klasa amperomierza - 0.5

Średnica cewki - 260 mm

Niepewność pomiaru średnicy cewki - 3 mm

## 6 Opracowanie wyników pomiarów

### 6.1 Wartość składowej poziomej indukcji ziemskiego pola magnetycznego każdego z pomiarów

Korzystając z wyników pierwszego pomiaru oraz wzoru:

$$B_0 = \mu_0 \frac{NI}{2R \operatorname{tg} \alpha} = 4\pi * 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \frac{12 * 300mA}{0.26m * \operatorname{tg}(57^\circ)} = 11.30 \mu T$$

Dla reszty pomiarów wykonaliśmy analogiczne obliczenia.

## 6.2 Średni wynik wartości składowej poziomej indukcji ziemskiego pola magnetycznego

Jako średni wynik wartości składowej poziomej indukcji ziemskiego pola magnetycznego przyjęliśmy średnią arytmetyczną z wszystkich wartości  $B_0$  obliczonych oraz wpisanych do tabeli dla każdego z pomiarów:

$$\bar{B} = 11.26 \mu T$$

## 6.3 Obliczanie niepewności pomiaru składowej poziomej indukcji ziemskiego pola magnetycznego

Obliczając wartość składowej poziomej indukcji ziemskiego pola magnetycznego posługujemy się wzorem:

$$B_0 = \mu_0 \frac{NI}{2R \operatorname{tg} \alpha}.$$

(a) Błąd przypadkowy

W związku z tym, że wartości  $\mu_0$  oraz  $N$  znamy bezbłędnie, głównym źródłem błędu przypadkowego jest pomiar kąta  $\alpha$ . Miarą tego błędu jest niepewność pomiaru typu A:

$$u_A(B_0) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{15} (B_i - \bar{B})^2}{15 * 14}} \mu T = 0.11 \mu T$$

Zaś niepewność względna:

$$\frac{u_A(B_0)}{B_0} * 100\% = 0.98\%$$

(b) Błąd systematyczny 1

Pierwszym źródłem błędu systematycznego jest amperomierz. Jego niepewność graniczna możemy obliczyć przy pomocy jego klasy dokładności wynosi:

$$\Delta I = \frac{\text{zakres} * \text{klasa}}{100} = \frac{0.5 * 750 mA}{100} = 3.8 mA$$

Jego niepewność standardowa wynosi:

$$u_B(I) = \frac{\Delta I}{\sqrt{3}} = \frac{3.8 mA}{\sqrt{3}} = 2.2 mA$$

Zatem jego niepewność względna:

$$\frac{u_B(I)}{I} = \frac{2.2 mA}{375 mA} * 100\% = 0.58\%$$

(c) Błąd systematyczny 2

Drugim źródłem błędu systematycznego jest błąd pomiaru promienia. Przyjmując  $u_B(R) = 3 \text{ mm}$  otrzymujemy niepewność względną:

$$\frac{u_B(R)}{R} = \frac{3 \text{ mm}}{260 \text{ mm}} * 100\% = 1.2\%$$

(d) Niepewność złożona  $u_C(B_0)$

Używając powyższych wyników jesteśmy w stanie obliczyć względną niepewność złożoną  $u_C(B_0)$ :

$$\frac{u_C(B_0)}{B_0} = \sqrt{\left(\frac{u_A(B_0)}{B_0}\right)^2 + \left(\frac{u_B(I)}{I}\right)^2 + \left(\frac{u_B(R)}{R}\right)^2} = \\ \sqrt{(0.0098)^2 + (0.0058)^2 + (0.012)^2} = 0.017 = 1.7\%$$

Stąd niepewność złożona  $u_C(B_0)$ :

$$u_C(B_0) = B_0 * \sqrt{\left(\frac{u_A(B_0)}{B_0}\right)^2 + \left(\frac{u_B(I)}{I}\right)^2 + \left(\frac{u_B(R)}{R}\right)^2} = 0.017 * 1.225 \mu T = \\ 0.19 \mu T$$

Zaś niepewność rozszerzona  $U_C(B_0)$ :

$$U_C(B_0) = k * u_C(B_0) = 0.38 \mu T$$

## 7 Wnioski

Zmierzona wartość składowej poziomej indukcji ziemskiego pola magnetycznego wynosi  $B_0 = 11.26 \mu T$ , zaś jej niepewność rozszerzona  $U_C(B_0) = 0.38 \mu T$ . Wartość tabelaryczna, jak podaje opis ćwiczenia, to  $21 \mu T$ . Otrzymany wynik znacznie różni się od wartości tabelarycznej, nawet po uwzględnieniu niepewności rozszerzonej. Najprawdopodobniej przyczyną tej niezgodności były błędy przypadkowe i systematyczne takie jak zły pomiar kąta  $\alpha$ , niedokładność amperomierza, zły pomiar promieniu, a także źle wypoziomowa lub odwrócona busola stycznych. Możliwą przyczyną była również obecność urządzeń elektronicznych w pobliżu busoli, zakłócających pole magnetyczne oraz wskazania igły magnetycznej.