



AGH

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Fizyka 2 - laboratorium 7

Busola stycznych

Ćwiczenie nr 41

12 listopada 2024

Aleksander Jóźwik

Adrian Krawczyk

Wydział WI	Imię i nazwisko 1. Aleksander Jóźwik 2. Adrian Krawczyk	Rok II	Grupa 3	Zespół 3
PRACOWNIA FIZYCZNA WFIS AGH	Temat: Busola stycznych			Nr ćwiczenia 41
Data wykonania 12.11.2024	Data oddania 23.11.2024	Zwrot do popr.	Data oddania	Data zaliczenia
				Ocena

1. Wprowadzenie

1.1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z budową i działaniem przyrządu nazwanego busolą stycznych. Wyznaczenie składowej poziomej ziemskiego pola magnetycznego.

1.2. Wstęp teoretyczny

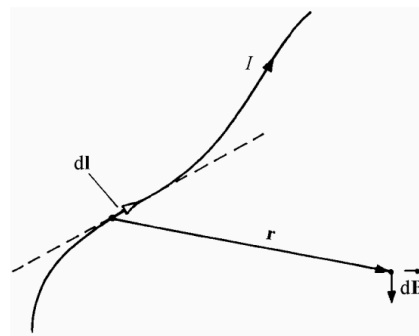
Prąd płynący przez przewodnik wytwarza wokół niego pole magnetyczne. Wektor indukcji tego pola w dowolnym punkcie można traktować jako superpozycję przyczynków $d\vec{B}$, które pochodzą od poszczególnych elementów $d\vec{l}$ długości przewodnika.

Wartość oraz kierunek $d\vec{B}$ określa wzór Biota-Savarta:

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

gdzie $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$ to stała magnetyczna, I to natężenie prądu, a \vec{r} jest wektorem łączącym element $d\vec{l}$ i punkt, w którym obliczamy pole.

Kierunek wektora $d\vec{B}$ jest prostopadły do płaszczyzny wektorów $d\vec{l}$ oraz \vec{r} (zgodnie z własnościami iloczynu wektorowego).



Rysunek 1: Ilustracja prawa Biota-Savarta [1]

Stosując prawo Biota-Savarta do obliczenia pola magnetycznego w środku przewodnika kołowego o promieniu R , można otrzymać wzór na wartość indukcji pola magnetycznego dla środka cewki kołowej, lub bardzo krótkiej zwojnicy złożonej z N zwojów:

$$B = \mu_0 \frac{NI}{2R}$$

Wykorzystując znajomość pola w środku cewki kołowej, można zbudować przyrząd służący do pomiaru poziomej składowej pola magnetycznego Ziemi - busolę stycznych. Busola wykorzystuje oddziaływanie pola magnetycznego, które jest generowane przez cewkę z prądem, na igłę magnetyczną. Uzwojenie cewki, zazwyczaj wykonane z miedzi, jest nawinięte na cienką obręcz z materiału nieferromagnetycznego, takiego jak mosiądz czy aluminium. Igła magnetyczna znajduje się w środku tej obręczy i jest zamocowana w sposób umożliwiający jej swobodny obrót w płaszczyźnie poziomej. Wokół igły znajduje się skala kątowna, na której można odczytać jej wychylenie. Oddziaływanie pola magnetycznego z momentem magnetycznym igły powoduje, że ustawia się ona równoległe do poziomej składowej pola wypadkowego. Gdy w cewce nie płynie prąd, igła magnetyczna ustawia się równoległe do poziomej składowej ziemskiego pola magnetycznego B_0 . Busolę można ustawić tak, aby kierunek B_0 znajdował się w płaszczyźnie zwojów.

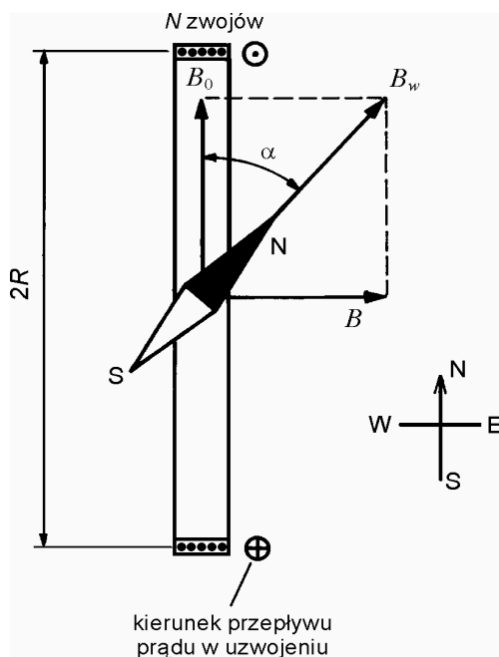
Gdy przez cewkę płynie prąd, generowane jest pole magnetyczne B , którego kierunek jest prostopadły do płaszczyzny zwojów. W wyniku tego igła magnetyczna ustawia się zgodnie z kierunkiem wypadkowego pola magnetycznego.

Wektory pola wypadkowego \vec{B}_w , pola ziemskiego \vec{B}_0 oraz pola cewki \vec{B} tworzą trójkąt prostokątny. Na podstawie tego można zauważyć, że:

$$\frac{B}{B_0} = \tan(\alpha)$$

$$B_0 = \frac{B}{\tan(\alpha)} = \mu_0 \frac{NI}{2R \tan(\alpha)}$$

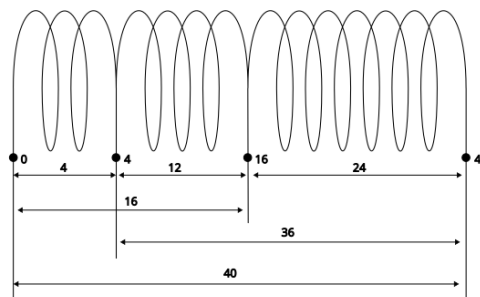
Poprzez pomiar kąta wychylenia igły oraz natężenia prądu można wyznaczyć składową poziomą indukcji ziemskiego pola magnetycznego.



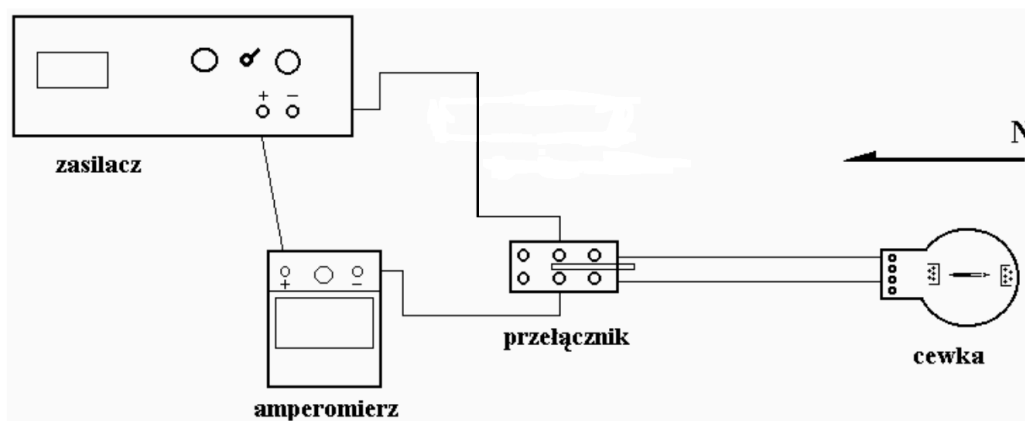
Rysunek 2: Schemat busoli stycznych. Oznaczenia wektorów: \vec{B}_0 - pole Ziemi, \vec{B} - pole wytwarzane przez cewkę i \vec{B}_w - pole wypadkowe [1].

2. Układ pomiarowy

1. **Busola stycznych** (składająca się ze zwojnicy z igłą magnetyczną w jej centrum oraz skali stopniowej do odmierzania kąta odchylenia)
2. **Zasilacz napięcia stałego**
3. **Amperomierz analogowy** (klasa 0.5)
4. **Przełącznik kierunku prądu**



Rysunek 3: Schemat uzwojeń busoli [2]



Rysunek 4: Układ elektryczny busoli stycznych [2]

Cewka busoli stycznych posiada wyprowadzenia, na których oznaczenia 4, 16 i 40 wskazują liczbę zwojów między danym zaciskiem a zaciskiem 0. Poprzez odpowiednie połączenie przewodów możliwe jest jednak uzyskanie innych liczby zwojów, takich jak 12, 16, 24, 36 i 40 (Rysunek 3).

3. Przebieg ćwiczenia

Przed rozpoczęciem pomiarów zapoznano się z budową busoli oraz elementami układu elektrycznego. Ustawiono płaszczyznę zwojów równoległą do płaszczyzny południka magnetycznego Ziemi (zgodnie z kierunkiem wskazania igły magnetycznej). W tej samej płaszczyźnie ustawiono główną oś kątomierza. Dla zadanej liczby zwojów dobrano natężenie prądu tak, aby kąt wychylenia igły busoli, po jej ustabilizowaniu, zawierał się w przedziale od około 25° do około 65° . Zmierzono i zanotowano wartość kąta wychylenia w lewo. Następnie zmieniono zwrot prądu w obwodzie i zmierzono kąt wychylenia w przeciwnym kierunku. Całą procedurę pomiarową powtórzono dla różnych wartości natężenia prądu oraz różnej liczby zwojów. Wyniki pomiarów zapisano w tabeli.

4. Analiza danych pomiarowych

Odczytano następujące dane:

klasa amperomierza = 0.5

Większość pomiarów została wykonana na ustawionym zakresie 750 mA.

Średnica cewki $d = 260$ mm

$u_B(d) = 3$ mm

Lp.	Liczba zwojów N	Prąd I [mA]	Kąt wychyle- nia w lewo α [°]	Kąt wychylenia w prawo α [°]	Średni kąt wychylenia $\bar{\alpha}$ [°]	B_0 [μT]	$(B_i - B_0)^2$ [(μT) ²]
1	16	100	22	20	21	20.1455	0.0951
2	16	150	30	28	29	20.9265	1.1866
3	16	175	34	33	33.5	20.4462	0.3709
4	16	225	40	38	39	21.4867	2.7210
5	16	400	57	55	56	20.8643	1.0551
6	16	500	62	61	61.5	20.9938	1.3378
7	12	200	30	29	29.5	20.5024	0.4426
8	12	250	37	34	35.5	20.3278	0.2407
9	12	300	42	39	40.5	20.3723	0.2864
10	12	350	45	43	44	21.0208	1.4010
11	12	400	50	47	48.5	20.5251	0.4733
12	12	500	56	54	55	20.3055	0.2194
13	24	100	33	32	32.5	18.2079	2.6544
14	24	200	53	50	51.5	18.4537	1.9140
15	24	300	62	59	60.5	19.6884	0.0221
16	24	250	55	58	56.5	19.1942	0.4133
17	24	150	44	43	43.5	18.3353	2.2554
18	24	350	65	63	64	19.8015	0.0013
19	40	100	47	46	46.5	18.3462	2.2229
20	40	150	58	56	57	18.8324	1.0096
21	40	200	65	63	64	18.8585	0.9577
22	40	50	33	29	31	16.0877	-
23	40	130	54	51	52.5	19.2850	0.3048
24	40	230	67	66	66.5	19.3342	0.2530

Tabela 1: Wyniki pomiarów, gdzie $B_0 = \mu_0 \frac{NI}{2R \tan(\alpha)}$.

$B_{0_{22}}$ (oznaczone na czerwono) wyraźnie różni się od pozostałych wyników i zostało pominięte w dalszych obliczeniach

Jako wartość składowej poziomej indukcji ziemskiego pola magnetycznego przyjęto średnią arytmetyczną z wielkości B_i :

$$B_0 = \bar{B} = 19.8371 \mu\text{T}$$

Następnie wyznaczono niepewność pomiarową.

$$u_A(B_0) = \sqrt{\frac{\sum (B_i - B_0)^2}{N \cdot (N - 1)}}$$

$$u_A(B_0) = 0.2077 \mu\text{T} \approx 0.21 \mu\text{T}$$

$$\frac{u_A(B_0)}{B_0} \cdot 100\% = \frac{0.21 \mu\text{T}}{19.8371 \mu\text{T}} \cdot 100\% \approx 1.06\%$$

Pomiar wykonywany był dla różnej wartości natężenia prądu. Dla uproszczenia przyjmijmy jeden wybrany zakres i wartość prądu równą połowie zakresu.

$$u_B(I) = \Delta I = \frac{\text{zakres} \cdot \text{klasa}}{100} = \frac{750 \text{ mA} \cdot 0.5}{100} = 3.75 \text{ mA} \approx 3.8 \text{ mA}$$

$$\frac{u_B(I)}{I} \cdot 100\% = \frac{3.8 \text{ mA}}{375 \text{ mA}} \cdot 100\% \approx 1.01\%$$

Następnym błędem systematycznym jest błąd pomiaru promienia. Ponieważ udostępniono nam jedynie błąd pomiaru średnicy, wykorzystamy go zamiennie. Wzór, na którym opieramy odpowiedź, zawiera promień w postaci $2R$, co odpowiada średnicy, dlatego takie podejście jest uzasadnione.

$$u_B(d) = 3 \text{ mm}$$

$$\frac{u_B(d)}{d} \cdot 100\% = \frac{3 \text{ mm}}{260 \text{ mm}} \cdot 100\% \approx 1.15\%$$

$$\frac{u_C(B_0)}{B_0} \cdot 100\% = \sqrt{\left[\frac{u_A(B_0)}{B_0} \cdot 100\%\right]^2 + \left[\frac{u_B(I)}{I} \cdot 100\%\right]^2 + \left[\frac{u_B(d)}{d} \cdot 100\%\right]^2}$$

$$\frac{u_C(B_0)}{B_0} \cdot 100\% = \sqrt{[1.06\%]^2 + [1.01\%]^2 + [1.15\%]^2} \approx 1.86\%$$

$$u_C(B_0) = B_0 \cdot \frac{u_C(B_0)}{B_0} = 19.8371 \mu\text{T} \cdot \frac{1.86\%}{100\%} = 0.369 \mu\text{T} \approx 0.37 \mu\text{T}$$

Przyjmując za $k = 2$, można obliczyć niepewność rozszerzoną.

$$U(B_0) = k \cdot u_C(B_0)$$

$$U(B_0) = 2 \cdot 0.37 \mu\text{T} = 0.74 \mu\text{T}$$

Wynik zaokrąglony do niepewności:

$$B_0 \approx 19.84 \mu\text{T}$$

$$B_0 = (19.84 \pm 0.74) \mu\text{T}$$

Wartość tabelaryczna dla Krakowa wynosi około $21 \mu\text{T}$.

$$|B_0 - B_{0_{\text{tab}}}| = |19.84 \mu\text{T} - 21 \mu\text{T}| = 1.16 \mu\text{T} > U(B_0)$$

Otrzymana wartość poziomej składowej ziemskiego pola magnetycznego nie jest zgodna z wartością tablicową w granicach niepewności.

5. Wnioski

W trakcie ćwiczenia otrzymano wartość poziomej składowej pola magnetycznego $B_0 = (19.84 \pm 0.74) \mu\text{T}$. Nie jest ona zgodna z wartością tabelaryczną dla Krakowa w granicach niepewności. Na dokładność pomiaru wpływ mogły mieć różne czynniki, takie jak jakość źródła prądu, konstrukcja busoli czy błąd ludzki obecny na różnych etapach pomiaru, od regulacji natężenia prądu na zasilaczu za pomocą pokrętki, po odczyt kąta na busoli. Istotnym czynnikiem mógł być również efekt paralaksy, który występuje podczas odczytu kąta, gdy patrzy się na skalę pod nieodpowiednim kątem, co prowadzi do błędnych wyników. Dodatkowo, otoczenie stanowiska pomiarowego mogło mieć właściwości magnetyczne, które mogło wpłynąć na ustawienie igły magnetycznej.

Bibliografia

- AGH WFiIS, „Opis ćwiczenia nr 41: Busola stycznych”. Dostęp: 22 listopad 2024. [Online].
[1] Dostępne na: https://pf.agh.edu.pl/home/wfiis/pracfiz/Opisy_cwiczen/41_opis.pdf
AGH WFiIS, „Instrukcja wykonania ćwiczenia nr 41: Busola stycznych”. Dostęp: 22 listopad 2024. [Online]. Dostępne na: https://pf.agh.edu.pl/home/wfiis/pracfiz/Opisy_cwiczen/41_wykon.pdf
[2] 41_wykon.pdf