

Wydział WFilS	Imię i nazwisko 1.Mateusz Kulig 2.Przemysław Ryś		Rok 2021	Grupa 1	Zespół 3
PRACOWNIA FIZYCZNA WFilS AGH	Temat: Busola stycznych				Nr ćwiczenia 41
Data wykonania 14.11.2021	Data oddania	Zwrot do popr.	Data oddania	Data zaliczenia	OCENA

W sprawozdaniu opisaliśmy pomiar poziomej składowej indukcji ziemskiego pola magnetycznego, za pomocą busoli stycznych. Eksperyment wykonaliśmy dla 5-ciu różnych uzwojeń cewki, za każdym razem 3-krotnie zmieniając natężenie prądu i jego kierunek. Następnie korzystając z odpowiedniej zależności pomiędzy wartością indukcji pola magnetycznego wytworzoną przez prąd w cewce, ziemskiego pola magnetycznego oraz kąta o jaki wychyliła się igła kompasu wyznaczyliśmy szukaną wartość. Okazała się ona zgodna z wartością tablicową.

1. Wstęp teoretyczny

Gdy w przewodniku płynie prąd tworzy on dookoła tego przewodnika pole magnetyczne. Element przewodnika o długości dl tworzy pole magnetyczne o indukcji $d\mathbf{B}$. Związek pomiędzy dl i $d\mathbf{B}$ przedstawia wzór

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\mathbf{l} \times d\mathbf{r}}{r^3}, \quad (1)$$

gdzie μ_0 to stała magnetyczna, I to natężenie prądu płynącego przez przewodnik, \mathbf{r} to wektor łączący element dl i punkt, w którym obliczamy pole. Wielkość r występująca w mianowniku jest długością wektora \mathbf{r} .

Wzór (1) nosi nazwę prawa Biota-Savarta. Można go użyć do wyznaczenia indukcji magnetycznej wytwarzanej w środku przewodnika kołowego. W tym przypadku wektory dl i \mathbf{r} są do siebie prostopadłe, a więc ich iloczyn wektorowy zapisać możemy jako

$$d\mathbf{l} \times d\mathbf{r} = r dl. \quad (2)$$

Zatem dla przewodnika kołowego prawo Biota-Savarta możemy przedstawić jako

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl}{r^2} \quad (3)$$

Następnie należy scałkować wyrażenie (3) obustronnie. Możemy zauważyć że całka z dl jest po prostu obwodem naszego przewodnika kołowego. Otrzymujemy więc formułę

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}, \quad (4)$$

w której R oznacza promień przewodnika kołowego. W przypadku, gdy mamy odczynienia z cewką złożoną z N ciasno nawiniętych okrągłych zwojów, wartość indukcji wewnątrz tej cewki otrzymamy, mnożąc wartość B pochodzącą od jednej pętli

$$B = \frac{\mu_0 IN}{2R}. \quad (5)$$

Znając wartość indukcji pola magnetycznego wytworzonego przez cewkę możemy obliczyć poziomą składową ziemskiego pola magnetycznego. Do tego celu używa się przyrządu o nazwie busoli stycznych. Igła kompasu kieruje się równolegle do linii ziemskiego pola magnetycznego. Kiedy jednak znajdzie się w polu wytworzonym przez cewkę, która otacza kompas, igła odchyli się o pewien kąt α . Wektor poziomej składowej ziemskiego pola magnetycznego B_0 , wektor pola wytwarzanego przez cewkę B oraz wektor indukcji wypadkowej B_w tworzą trójkąt prostokątny. Łatwo zauważyć że B i B_0 powiązane są wzorem

$$B_0 = \frac{B}{\operatorname{tg}(\alpha)}. \quad (6)$$

Ostatecznie podstawiając do wzoru (6), wartość indukcji pola wytworzonego przez cewkę przedstawioną we wzorze (5), otrzymamy formułę na poziomą składową ziemskiego pola magnetycznego

$$B_0 = \frac{\mu_0 IN}{2R \operatorname{tg}(\alpha)}. \quad (7)$$

2. Aparatura

W celu wyznaczenia wartości pionowej składowej indukcji ziemskiego pola magnetycznego wykorzystaliśmy następujące przyrządy:

- busola stycznych – Busola składała się z cewki, w której mogliśmy wybierać liczbę zwojów za pomocą odpowiedniego przełączenia, oraz igły kompasu zamontowanej na podziałce, z której mogliśmy odczytać o ile stopni wychyliła się igła. Dokładność podziałki wynosiła 1° . Średnica użytej cewki wynosiła 260 [mm] z dokładnością 3 [mm].
- amperomierz – Za pomocą amperomierza odczytywaliśmy natężenie prądu płynącego w obwodzie. Miał on zakres 750 miliamperów, a klasę 0,5.
- zasilacz napięcia stałego
- opornica suwakowa
- przełącznik kierunku prądu
- poziomica

3. Metodyka doświadczenia

Doświadczenie rozpoczęliśmy od odpowiedniego wyregulowania nóżek podstawki busoli stycznych. Przy pomocy poziomiccy ustawiliśmy je tak by igła kompasu miała

pełną swobodę ruchu. Następnie za pomocą przewodów połączyliśmy wszystkie elementy obwodu. Pomiaru wychylenia igły dokonaliśmy dla pięciu różnych ilości zwojów w cewce, a dla każdego uzwojenia stosowaliśmy trzy różne natężenia prądu. Ponad to dla ustalonego uzwojenia oraz natężenia prądu dokonywaliśmy dwóch pomiarów, ponieważ zmienialiśmy kierunek przepływu kierunku prądu za pomocą przełącznika. Powodowało to że igła wychylała się najpierw w lewą, a następnie w prawą stronę. Kompensowało to ewentualne niedokładne ustawienie podziałki, na której sprawdzaliśmy wychylenie igły w stopniach, względem cewki.

4. Analiza danych

Każdy z pomiarów został przeprowadzony jednokrotnie dla różnych wartości N i I . Zgromadzone wyniki zestawione zostały w poniższej tabeli **Tab. 1.**

Tab. 1. Tabela zestawiająca ze sobą wyniki wyznaczonej indukcji magnetycznej B_0 obliczonej za pomocą wzoru **X** w zależności od liczby zwojów N , prądu I oraz kąta o jaki odchyliła się igła, gdzie α_L to kąt w przypadku prądu płynącego w lewo, zaś α_P w prawo, natomiast $\bar{\alpha}$ oznacza średni kąt.

Lp.	N	I [mA]	α_L [°]	α_P [°]	$\bar{\alpha}$ [°]	B_0 [μT]
1.	12	210	30	27	28,5	22,43
2.		250	34	33	33,5	21,91
3.		300	38	37	37,5	22,68
4.	16	200	36	34	35	22,08
5.		250	42	42	42	21,47
6.		300	48	47,5	47,75	21,07
7.	24	150	41	41	41	20,02
8.		200	48,5	49	48,75	20,35
9.		250	54	55	54,5	20,69
10.	36	60	29	28	28,5	19,23
11.		100	42	40	41	20,02
12.		150	51	52	51,5	20,76
13.	40	50	28	26	27	18,97
14.		90	42	42	42	19,32
15.		130	50	52	51	20,35

Jako wartość składowej poziomej indukcji ziemskiego pola magnetycznego przyjmujemy średnią z otrzymanych przez nas wyników, wynosi ona $B_0 = 20,76$ [μT].

Miarą niepewności pomiaru indukcji przyjmujemy niepewność związaną z pomiarem kąta o jaki odchyliła się igła, obliczamy ją jako niepewność typu A w zwykły sposób jako odchylenie standardowe średniej za pomocą wbudowanej funkcji w programie Excel „ODCH.STANDARD.PRÓBK” i dzielimy przez pierwiastek z liczby pomiarów, otrzymując w ten sposób odchylenie standardowe średniej. Wynosi ona

$$u_A(B_0) = 1,17 \text{ [μT]}.$$

Zatem niepewność względna otrzymanego wyniku wynosi

$$\frac{u_A(B_0)}{B_0} = 0,56 [\%].$$

Niepewność systematyczną amperomierza obliczyć możemy z jego klasy i dokładności, podstawiając dane otrzymujemy

$$\Delta I = 0,0038 [\text{A}].$$

Licząc następnie niepewność standardową otrzymujemy

$$u_B(I) = \frac{\Delta I}{\sqrt{3}} = 0,0022 [\text{A}].$$

Ponieważ każdy z pomiarów był prowadzony na ogół dla różnych wartości prądu i jego różnych zakresów, to przy obliczaniu niepewności względnej dla prądu za jego wartość przyjmujemy w dalszych obliczeniach połowę zakresu, czyli $I_0 = 0,375 [\text{A}]$, który z kolei wybieramy o wartości $0,75 [\text{A}]$. Wtedy niepewność względna wynosi

$$\frac{u_B(I)}{I_0} = 0,58 [\%].$$

Drugim źródłem błędu systematycznego jest pomiar średnicy, uwzględniający również odchyłki od idealnej geometrii. Za niepewność tego pomiaru z uwagi na wartość średnicy, równą $0,26 [\text{m}]$, przyjmujemy $u_B(d) = 0,003 [\text{m}]$. Zatem niepewność względna pomiaru tej wielkości jest równa

$$\frac{u_B(d)}{d} = 1,15 [\%].$$

Przy zastosowaniu prawa przenoszenia niepewności względnej otrzymujemy następujący wzór

$$\frac{u(B_0)}{B_0} = \sqrt{\left[\frac{u_A(B_0)}{B_0}\right]^2 + \left[\frac{u_B(I)}{I_0}\right]^2 + \left[\frac{u_B(d)}{d}\right]^2}$$

Niepewność związana z pomiarem o jaki kąt odchyliła się igła kompasu zawarta jest w niepewności $u_A(B_0)$.

Po podstawieniu do niego odpowiednich wartości otrzymujemy względną niepewność pomiaru poziomej składowej indukcji ziemskiego pola magnetycznego z uwzględnieniem czynników mających największy wpływ na przeprowadzony pomiar, otrzymujemy

$$\frac{u(B_0)}{B_0} = 5,79 [\%].$$

Mnożąc powyższą równość przez B_0 otrzymujemy niepewność pomiaru szukanej wielkości, a więc wynosi ona

$$u(B_0) = 1,2 \text{ } [\mu\text{T}].$$

Ostatecznie wynik jaki otrzymaliśmy w wyniku przeprowadzonego eksperymentu przy uwzględnieniu niepewności rozszerzonej o czynnik skalujący $k = 2$ wynosi

$$B_0 = (20,8 \pm 2,4) [\mu\text{T}].$$

Porównując otrzymany wynik z wartością tablicową dla Krakowa, gdzie $B_{Cracow} = 21 \text{ } [\mu\text{T}]$ [1], otrzymujemy zgodność już przy dokładności 1σ .

5. Podsumowanie

W wyniku zastosowania metody busoli stycznych, która polegała na mierzeniu poziomej składowej ziemskiego pola magnetycznego, wynik jaki otrzymaliśmy wynosi $B_0 = 20,8 \text{ } [\mu\text{T}]$, o niepewności rozszerzonej równej $B_0 = 2,4 \text{ } [\mu\text{T}]$. Wynik ten jest zgodny z wartością tablicową dla Krakowa już z dokładnością do 1σ .

6. Literatura

[1] http://www.fis.agh.edu.pl/~pracownia_fizyczna/cwiczenia/41_opis.pdf - 14.11.2021.