E-06. Badanie oddziaływania magnetycznego dwóch przewodników z prądem

Cel eksperymentu

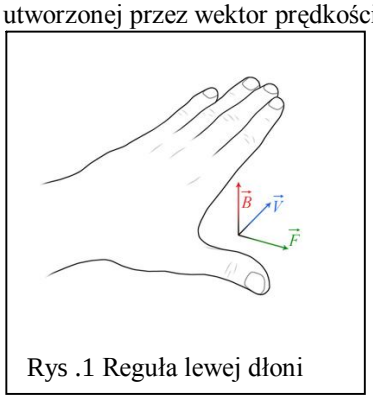
- ✓ *Sprawdzenie doświadczalne wzoru na siłę oddziaływania F między dwoma przewodami w funkcji płynącego przez nich prądu I i odległości d między nimi*
- ✓ *Wyznaczenie przenikalności magnetycznej próżni μ_0*

1. Wiadomości teoretyczne

Na ładunek elektryczny q poruszający się z prędkością $\boldsymbol{v}$ w polu elektromagnetycznym działa siła wypadkowa $\boldsymbol{F}$,

$$\vec{F} = \vec{F}_{el} + \vec{F}_{mag} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} \ , \tag{1}$$

gdzie $\boldsymbol{F}_{el}$ i $\boldsymbol{F}_{mag}$ to siły, działające odpowiednio ze strony pola elektrycznego i magnetycznego ($\boldsymbol{F}_{mag}$ to siła Lorentza). Iloczyn wektorowy $q\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B}$ oznacza, że wektor siły $\boldsymbol{F}_{mag}$ jest prostopadły do płaszczyzny utworzonej przez wektor prędkości ładunku $\boldsymbol{v}$ i wektor indukcji pola magnetycznego $\boldsymbol{B}$.



Rys .1 Reguła lewej dłoni

Zwrot wektora siły wyznaczymy za pomocą reguły lewej dłoni (reguła Fleminga), która brzmi: *Jeżeli lewą dłoń ustawi się tak, aby linie pola magnetycznego zwrócone były prostopadle ku wewnętrznej powierzchni dłoni (aby wnikały w wewnętrzną stronę dłoni), a wszystkie palce, z wyjątkiem kciuka, wskazywały kierunek płynącego prądu dodatniego (poruszającej się cząsteczki dodatnie naładowanej), to odchylony kciuk wskaże kierunek i zwrot siły elektrodynamicznej działającej na ten dodatni ładunek elektryczny umieszczony w polu magnetycznym (dla ładunku ujemnego zwrot siły będzie przeciwny).*

Według prawa Ampere'a, każdy prąd elektryczny o wielkości I wytwarza wokół siebie pole magnetyczne o wielkości B, która jest zależna do odległości d między punktem pola a przewodnikiem z prądem,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \ , \tag{2}$$

gdzie μ_0 to wielkość stała, nazywana przenikalnością magnetyczną próżni.

Jeżeli w prostym przewodniku o długości L, umieszczonym równolegle do przewodnika wytwarzającego pole magnetyczne płynie również prąd I to zgodnie ze wzorami (1) i (2) oraz oczywistą równością $qv = I{\cdot}L$, siła magnetyczna $\boldsymbol{F}_{mag}$ działająca między przewodami wynosi,

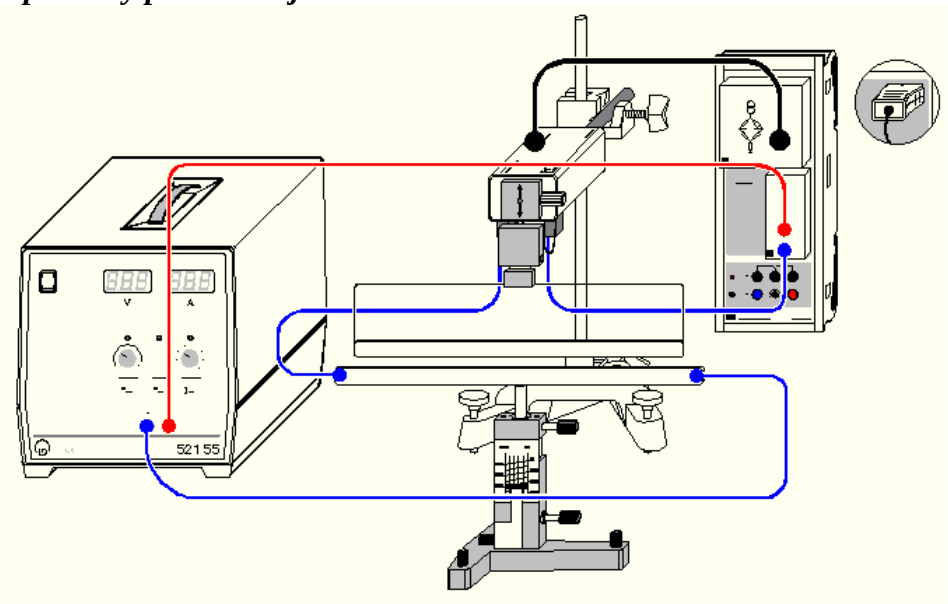
$$F = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I^2 L}{d} \tag{3}$$

gdzie d to odległość między przewodami, I - jednakowy prąd płynący przez przewody, L - długość przewodów.

Wzór (3) jest podstawą definicji prądu o wielkości 1A: *Jeden Amper to natężenie takiego prądu, który płynąc w dwóch nieskończenie cienkich, długich, równoległych, odległych od siebie o 1 metr i umieszczonych w próżni przewodnikach wywołuje oddziaływanie tych przewodników na siebie z siłą $F = 2{\cdot}10^{-7}$ N na każdy 1 metr długości przewodnika.*

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0}{2\pi}\frac{1^2[A]}{1[m]} = 2\cdot 10^{-7}\left[\frac{N}{m}\right] \tag{4}$$

2. Opis aparatury pomiarowej



Rys.2 Oddziaływanie przewodników z prądem – układ eksperymentalny.

Układ eksperymentalny przedstawiony jest na rysunku 2. Na stanowisku znajdują się dwie ramki z przewodnikami. Jedna z nich (górna) przymocowana jest do dynamometru. Kierunek dodatni pomiaru siły (+*F*) powinien być skierowany do góry. Dolna ramka z przewodnikiem zamocowana jest do uchwytu pozwalającego na jej regulację w pionie. Pokrętła zamocowane do podstawy uchwytu służą do wypoziomowania ramki. Dynamometr podłączony jest do Uniwersalnego Przyrządu Pomiarowego CASSY. Do ramek podłączony jest zasilacz o regulowanym prądzie. Elektroda ujemna zasilacza podłączona jest do jednego z końców ramki dolnej a elektroda dodatnia do jednego z końców ramki górnej. Drugie końce ramek są zwarte ze sobą trzecim przewodem. Zamieniając miejscami przewody podłączone do ramki dolnej można zmieniać kierunek prądu płynącego przez ramkę a co za tym idzie powodować by prąd płynął przez ramki współbieżnie lub przeciwbieżnie.

3. Wykonywanie pomiarów za pomocą programu CASSY LAB.

1. Uruchom program CASSY LAB, od tej chwili zerowanie przyrządu wykonywać należy jedynie z poziomu programu.
2. Kliknij na rysunek przyrządu
   a. Ustaw zakres pomiarowy odpowiednio do mierzonej wielkości
   b. Przełącz przyrząd na pomiar wartości chwilowej
3. Przejdź do okna „Parametry pomiaru” i ustaw:
   a. odstęp między próbkami na 1s
   b. ilość próbek na 30
4. Zamknij wszystkie niepotrzebne okna i uruchom pomiar przyciskiem start (ikona stopera)
5. Po zakończonym pomiarze wybierz narzędzie do wyznaczania wartości średniej (stojąc na polu wykresu naciśnij prawy przycisk myszy)
6. Mając przyciśnięty lewy przycisk myszy zaznacz punkty pomiarowe, po zwolnieniu lewego przycisku myszy, wartość średnia pomiaru oraz niepewność pomiaru wartości średniej pojawią się w lewym, dolnym rogu głównego okna programu

4. Przebieg eksperymentu

4.1 Pomiar siły F w funkcji prądu I dla różnych odległości d:

- Ustaw zadaną odległość między ramkami *d*
- Ustaw prąd *I* = 20 A na zasilaczu
- Zmierz siłę *F* za pomocą programu CASSY LAB, odczytaną wartość średnią siły oraz niepewność pomiarową wpisz do tabeli
- Powtórz pomiary z krokiem 1 A aż do wartości 10 A
- Wykonaj pomiary dla innych wartości odległości między ramkami *d*

Tabela 1. Zależności siły *F* w funkcji prądu *I* dla różnych odległości *d*

	d1=1mm		*d2=2mm*		*d3=3mm*		*d4=4mm*		*d5=5mm*		*d6=6mm*	
I [A]	$F_{śr}$ [mN]	ΔF [mN]	$F_{śr}$ [mN]	ΔF [mN]	$F_{śr}$ [mN]	ΔF [mN]	$F_{śr}$ [mN]	ΔF [mN]	$F_{śr}$ [mN]	ΔF [mN]	$F_{śr}$ [mN]	ΔF [mN]
20												
19												
18												
17												
16												
…												
-16												
-17												
-18												
-19												
-20												

5. Opracowanie wyników pomiarów

1. Na podstawie danych z tabeli wykonaj wykres zależności siły oddziaływania $F_{śr}$ w funkcji kwadratu prądu I^2 dla różnych wartości odległości między ramkami *d*. Na wykres nanieś wartości teoretyczne siły *F* oraz niepewności pomiaru siły, ΔF.
2. Metodą najmniejszych kwadratów wyznacz współczynnik nachylenia prostej powstałej z punktów $F_{śr}$,I^2 oraz odchylenie standardowe tego współczynnika - *k i Δk*
3. Wyznacz doświadczalną wartość współczynnika przenikalności magnetycznej μ_0 korzystając ze wzoru:

   $\mu_{0i} = 2\pi \cdot k_i \cdot d_i \cdot \frac{1}{L}$ gdzie k=F/I^2 jest parametrem wyznaczonym w pkt.2
4. Oszacuj niepewność pomiaru długości ramki ΔL i odległości między ramkami Δd. Wyznacz niepewność pomiaru współczynnika przenikalności magnetycznej dla każdej z odległości d, wykorzystując zależność:

   $$\frac{\Delta\mu}{\mu} = \sqrt{\left(\frac{\Delta k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(-\frac{\Delta L}{L}\right)^2}$$
5. Oceń wpływ niedokładności poszczególnych parametrów (*Δk*, ΔL, Δd) na niedokładność pomiaru przenikalności magnetycznej.
6. Porównaj uzyskaną wartość μ_0 z wartością katalogową.
7. Podobne rozważania przeprowadź dla I=20A i zależności: $\mu_0 = 2\pi \cdot a \cdot \frac{1}{L \cdot I^2}$ gdzie a=F/(1/d).
8. Przeanalizuj otrzymane wyniki badań i sformułuj odpowiednie wnioski.