

Ćwiczenie E7

BADANIE POLA DIPOLA MAGNETYCZNEGO

1. Cel ćwiczenia

Pomiar indukcji pola magnetycznego wokół magnesu stałego.

2. Zagadnienia do przygotowania

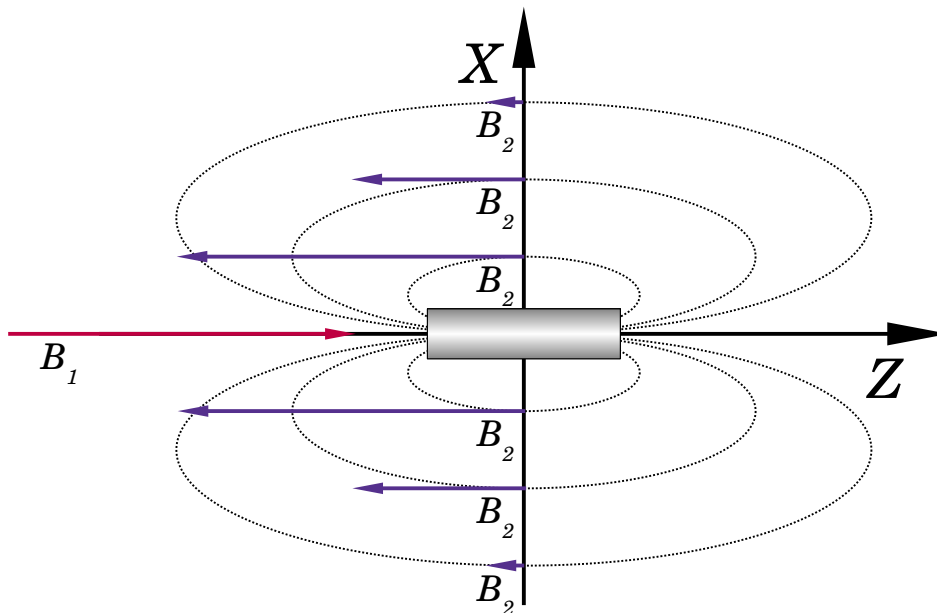
Zagadnienia do opracowania i nauczania się (**przed przystąpieniem** do wykonywania ćwiczenia):

- właściwości magnetyczne ciał,
- pole magnetyczne, linie sił, natężenie i indukcja pola magnetycznego,
- dipol magnetyczny, pole dipola,
- indukcja pola magnetycznego wewnątrz długiej cewki z prądem.

Część teoretyczna sprawozdania (opracowana **przed przystąpieniem** do części praktycznej):

- właściwości dia-, para- i ferromagnetyczne ciał.

3. Przyrządy pomiarowe, opis i schemat aparatury, przyjęte oznaczenia



Rysunek 1: Schemat linii pola magnetycznego wokół magnesu walcowego. Proporcje długości \vec{B} nie są zachowane.

Pole magnetyczne na zewnątrz magnesu w kształcie walca ma symetrię obrotową względem jego osi Z . Wektory indukcji pola w punktach na osiach X oraz Z mają kierunki pokazane na Rysunku 1. Wartości indukcji pola magnetycznego w tych punktach są odpowiednio dane wzorami:

$$B_1(z) = \frac{\mu_0 a_1}{4\pi z^3}, \quad (1)$$

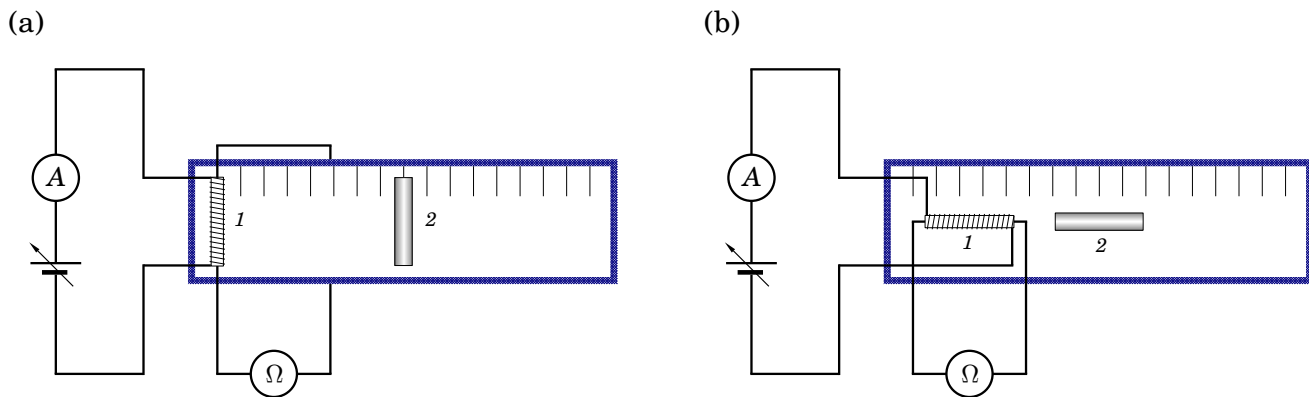
$$B_2(x) = \frac{\mu_0 a_2}{4\pi x^3}, \quad (2)$$

gdzie: z i x to odległości od środka magnesu, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T}\cdot\text{m}}{\text{A}}$, a a_1 i a_2 to pewne stałe.

Indukcję pola magnetycznego można wyznaczyć za pomocą kontaktronu (patrz: ramka poniżej). Schemat proponowanego układu doświadczalnego do pomiaru pól na osiach X i Z jest pokazany odpowiednio na Rysunkach 2a i b.

Kontaktron jest to przełącznik elektryczny, sterowany polem magnetycznym. Składa się z hermetycznej bańki szklanej, w której zatopione są styki z materiału ferromagnetycznego. Przykładając pole magnetyczne skierowane równoległe do osi kontaktronu, można doprowadzić do zwarcia styków.

Uwaga! Kontaktron (wraz z przylutowanymi do niego przewodami) jest delikatnym urządzeniem! Nie należy ścisnąć jego bańki oraz zginać przewodów z niej wystających, gdyż może to spowodować uszkodzenie kontaktronu. Prąd przepływający przez styki kontaktronu **nie powinien przekroczyć 10 mA**.



Rysunek 2: Zasada pomiaru pól: (a) na osi X i (b) osi Z . Kontaktron (1), magnes (2)

Na kontaktronie jest nawinięta cewka o znanej liczbie zwojów. Do jej końców szeregowo podłączamy zasilacz prądu stałego i amperomierz (**zakres 20 A!**). Moment zwierania styków kontaktronu mierzymy przy użyciu omomierza. Indukcja pola magnetycznego wzdłuż osi kontaktronu B będzie równa sumie $B_m + B_c$, gdzie B_m to indukcja pola magnesu, a B_c to indukcja pola wytworzonego przez prąd w cewce, która jest równa:

$$B_c = \mu_0 n I, \quad (3)$$

gdzie: I to płynący przez cewkę prąd (wskazanie amperomierza), a n to liczba zwojów cewki na jednostkę długości.

Oznaczmy przez B_{kryt} indukcję pola magnetycznego, która powoduje zwarcie styków kontaktronu. Wówczas jej wartość możemy wyznaczyć mierząc prąd I_{kryt} , który jest niezbędny do zwarcia styków przy nieobecności magnesu. Wówczas:

$$B_{\text{kryt}} = \mu_0 n I_{\text{kryt}}, \quad (4)$$

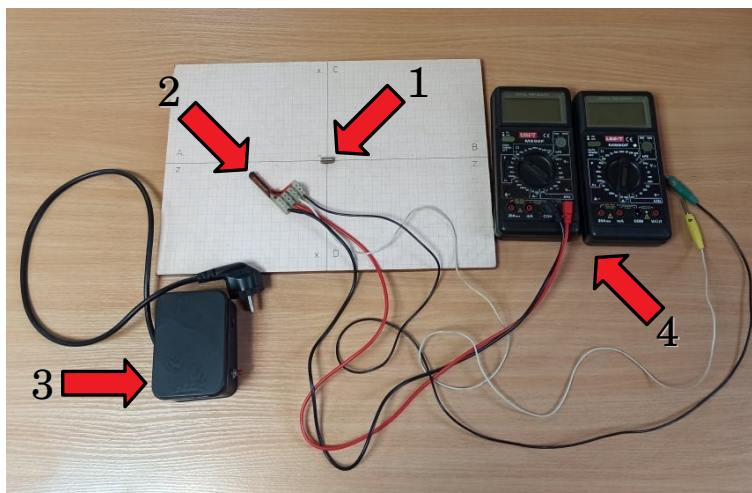
Pomiar indukcji pola magnetycznego wytwarzanego przez magnes opiera się na wyznaczeniu prądu $I(r)$ niezbędnego do zwarcia styków kontaktronu dla różnych odległości r środka magnesu od kontaktronu mierzonej wzdłuż osi X lub Z . Wtedy:

$$\mu_0 n I_{\text{kryt}} = B_{\text{kryt}} = \mu_0 n I(r) + B_m(r), \quad (5)$$

gdzie $B_m(r)$ to składowa pola magnetycznego magnesu wzdłuż osi kontaktronu. Po prostym przekształceniu otrzymujemy:

$$B_m(r) = \mu_0 n \left(I_{\text{kryt}} - I(r) \right) = \frac{\mu_0 a_i}{4\pi r^3}, \quad (6)$$

gdzie $i = 1, 2$ odpowiada dwóm konfiguracjom położenia magnesu względem kontaktronu.



Rysunek 3: Aparatura pomiarowa: magnes neodymowy (1) w kształcie walca, umieszczony na papierze milimetrowym, kontaktron (2) z nawiniętą cewką wraz z przewodami o końcówkach umożliwiającymi zestawienie układu pomiarowego, demagnetyzator (3), mierniki uniwersalne (4). Dodatkowo: zasilacz prądu stałego o regulowanym natężeniu 0 – 3 A

4. Przebieg ćwiczenia (pomiarów)

- Zmierzyć prąd I_{kryt} niezbędny do zwarcia styków przy nieobecności magnesu. Aby zwiększyć dokładność wyniku, jego wartość mierzymy wielokrotnie (co najmniej dziesięciokrotnie).
- Następnie, dla każdej konfiguracji położenia magnesu i kontaktronu należy wykonać pomiary prądu zwierającego styki w zależności od odległości od magnesu. Notujemy prąd zwierania (**nie rozwierania!**) styków.

Kontaktron umieszczamy tak, aby składowa pola cewki miała taki sam kierunek i zwrot jak pole magnesu. Można to stwierdzić badając, czy prąd potrzebny do zwarcia styków w obecności magnesu jest większy bądź mniejszy od I_{kryt} . Odległość magnesu od kontaktronu przyjmując jako odległość środka magnesu od środka kontaktronu. Pomiary wykonujemy co 2 mm począwszy od punktu, w którym tylko pole badanego magnesu powoduje zwarcie kontaktronu.

Aby zmniejszyć wpływ histerezy ferromagnetycznych styków, każdorazowo przed pomiarem prądu $I(r)$ przeprowadzać rozmagnesowanie kontaktronu. W tym celu należy:

- wyłączyć prąd płynący przez cewkę,
- umieścić kontaktron w komorze demagnetyzatora,
- przy włączonym demagnetyzatorze **powoli** wyciągnąć kontaktron z komory.

5. Tabele pomiarowe i opracowanie wyników

(a) Przygotowano dwa kontaktrony: na jednym nawinięto cewkę o 84 zwojach, na drugim cewkę o 70 zwojach. Dane wybranego kontaktronu:

długość cewki =

liczba zwojów =

liczba zwojów na jednostkę długości n =

$\mu_0 n$ =

(b) Pomiar I_{kryt} :

Lp.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I_{kryt} [A]															

Średni $I_{kryt} = \dots\dots\dots$ A

(c) Pomiar $I(r)$ i obliczenie $B_m(r)$

Przygotuj 4 tabele odpowiednio dla kierunków A i B (oś Z) oraz C i D (oś X):

Tablica 1: Pomiar $I(r)$, kierunek

Lp.	r [.....]	$I(r)$ [.....]	r^{-3} [.....]	$B_m = \mu_0 n (I_{kryt} - I(r))$ [.....]
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Uzupełnij Tabele 2 – 5 obliczeniami r^{-3} i B_m .

Wyniki przedstawić na wykresach zależności B_m od r^{-3} . Wykonując wykresy zależności B_m od r^{-3} sprawdzić, czy dla obu konfiguracji są spełnione wzory (1) i (2). Z wykresów wyznaczyć również wartości współczynników a_1 i a_2 dopasowując do danych doświadczalnych odpowiednie proste.

6. Ocena wyników pomiarów

Dokonać analizy dokładności pomiarów I_{kryt} . Obliczyć błąd maksymalny metodą Studenta-Fishera. Porównać wynik z rozstępem serii. Wykorzystać wynik do zaznaczenia błędów pomiarów prądu na wykresach. Dokładność określenia położenia kontaktronu przyjąć równą ± 1 mm.

7. Literatura

- *Podstawy fizyki*, Halliday D., Resnick R., Walker J., dowolne wydanie.