

ĆWICZENIE 6.

BADANIE POLA MAGNETYCZNEGO PRZEWODNIKÓW Z PRĄDEM.

Cel ćwiczenia: Badanie rozkładu pola magnetycznego przewodników z prądem.

Część teoretyczna: Pole magnetyczne, linie pola, wektor indukcji magnetycznej, prawo Ampère'a, prawo Biota-Savarta, indukcja pola magnetycznego przewodnika kołowego z prądem i solenoidu.

Aparatura: Cewki, zasilacz prądu stałego, sonda teslomierza, teslomierz, multimetr, miarka do pomiaru odległości położenia sondy.

Wstęp.

Magnetyki powszechnie stosowane są w przedmiotach codziennego użytku, takich jak zabawki, wieszaki, windy czy komputery. Badania nad magnetykami pokazują, że wszystkie posiadają dwa rodzaje biegunów, jeden nazywany północnym (N) i drugi południowym (S). Jednoimienne bieguny magnetyczne odpychają się wzajemnie, a różnoimienne przyciągają. Nie można wyizolować pojedynczych biegunów magnetycznych. Każdy kawałek magnetyka, obojętnie jak mały, jeżeli posiada biegun północny, musi także posiadać południowy. W zależności od wielkości i znaku tzw. podatności magnetycznej χ , dzielimy ciała na następujące trzy grupy: diamagnetyczne, paramagnetyczne, ferromagnetyczne.

W 1819 r. duński fizyk Hans Oersted podczas wykładu dla studentów zauważył, że igła kompasu poruszała się, ilekroć prąd płynął w znajdującym się niedaleko kompasu przewodniku. Wkrótce po tym badania Oersteda zostały powtórzone i rozwinięte przez innych naukowców. Wśród nich największy wkład w poznanie natury magnetyzmu wnieśli Jean-Baptiste Biot, Félix Savart oraz André-Marie Ampère.

Prawo Ampère'a umożliwia wyznaczenie wartości indukcji magnetycznej B w zadanej odległości r od nieskończenie długiego przewodnika, w którym płynie prąd o natężeniu I . Wartość wektora indukcji w odległości r od przewodnika wynosi:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Jednostką indukcji magnetycznej B jest tesla [T].

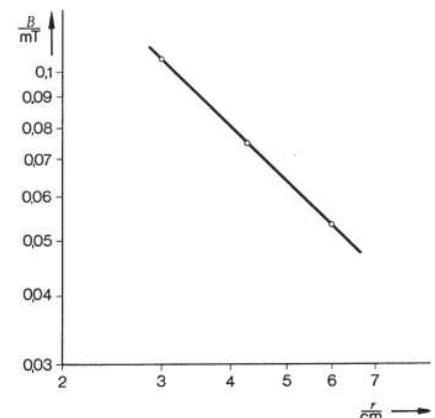
Do wyznaczenia indukcji magnetycznej na osi kołowych przewodników z prądem wykorzystujemy prawo Biota-Savarta. Wartość indukcji pola magnetycznego B , wytworzonego przez **kołowy przewodnik z prądem** o promieniu R , w jego środku jest równa:

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

Przykładowy wykres indukcji magnetycznej B w centrum przewodnika kołowego, jako funkcji promienia R znajduje się obok.

Występująca w równaniach stała μ_0 jest przenikalnością magnetyczną próżni. Jej wartość w układzie SI wynosi:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T m / A.}$$



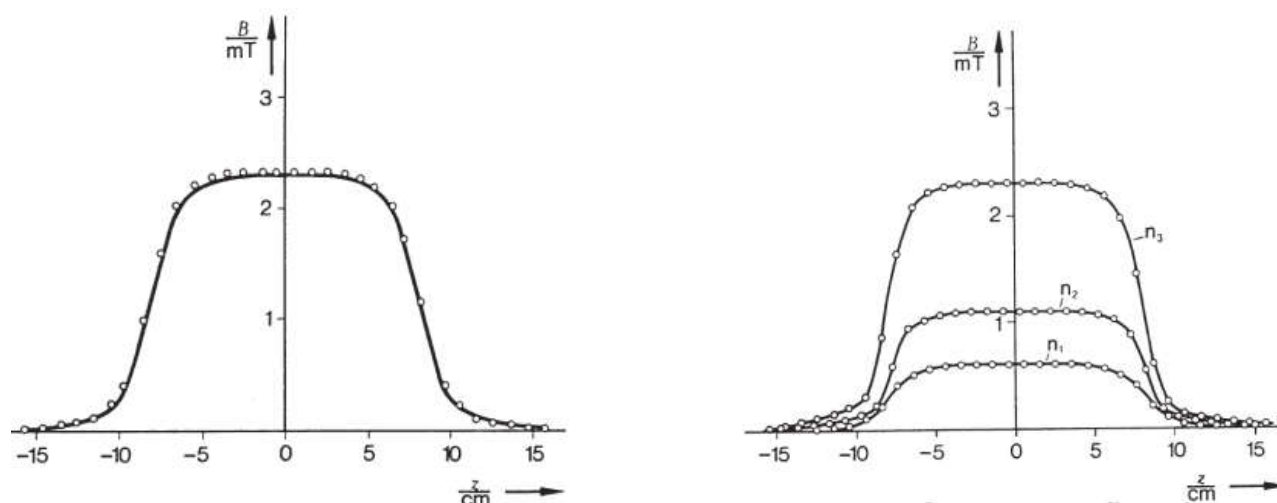
Ważnym zastosowaniem prawa Ampère'a jest wyznaczenie pola magnetycznego wewnątrz solenoidu, stanowiącego wiele zwojów przewodnika nawiniętych jeden obok drugiego w takiej liczbie, że jego długość L jest znacznie większa od jego średnicy d . Pole magnetyczne w całej przestrzeni wewnątrz solenoidu jest jednorodne, czyli takie samo co do wartości i kierunku. Przyjmując, że na jednostkę długości solenoidu przypada n zwojów, po całkowaniu wzdłuż solenoidu otrzymujemy wzór na wartość wektora indukcji magnetycznej wewnątrz solenoidu:

$$B = \frac{\mu_0 n I}{L} \quad \text{gdy } L \gg d$$

Indukcja magnetyczna B w środku cewki (solenoidu) z uwzględnieniem jej promienia i długości wynosi:

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2\sqrt{R^2 + \frac{L^2}{4}}}$$

Poniżej znajduje się przykładowy wykres indukcji magnetycznej B mierzonej wzdłuż osi cewki (zwojownicy) o długości $L = 162 \text{ mm}$, promieniu $R = 16 \text{ mm}$ i $n = 300$ zwojów oraz analiza porównawcza dla cewek 75, 150 i 300 zwojów.

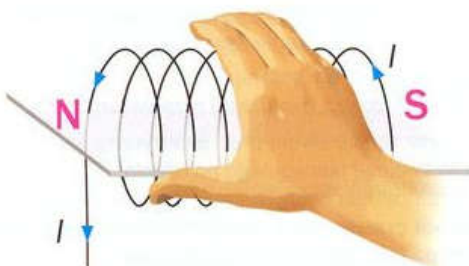


Jak widać na wykresach pole magnetyczne wewnątrz solenoidu może być traktowane jako jednorodne $B = \text{const}$.

Przenikalność magnetyczną próżni możemy obliczyć metodą najmniejszych kwadratów z wykresu $B(I)$.

$$B = \frac{\mu_0 n}{L} I \quad \text{gdy } \frac{\mu_0 n}{L} = \text{const}$$

Jak wyznaczyć bieguny magnetyczne zwojownicy?



Część praktyczna:

1. Uważaj aby mechanicznie nie uszkodzić sondy. Wykonaj testowe pomiary indukcji magnetycznej B magnesów trwałych oraz elektromagnesu. Zapoznaj się z zasadą działania teslomierza z sondą hallotronową. Użyj zmiany zakresu pomiarowego.
2. Umieść koniec sondy w środku przewodnika kołowego. Wykonaj pomiary indukcji magnetycznej dla przewodników kołowych o różnych promieniach R . Zapisz pomiary w tabeli.



$R[cm]$			
$B[mT]$			

3. Narysuj wykres $B(R)$ indukcji magnetycznej B w centrum przewodnika kołowego, jako funkcji promienia R .
4. Umieść koniec sondy w środku przewodnika kołowego. Wykonaj pomiary indukcji magnetycznej dla przewodników kołowych o różnych liczbach pętli. Zapisz pomiary w tabeli.

Liczba pętli n	1	2	3
$B[mT]$			

5. Narysuj wykres $B(n)$ indukcji magnetycznej B w centrum przewodnika kołowego, jako funkcji liczby pętli n .
6. Przygotuj zwojnicę do pomiaru. Zmierz jej długość przymiarem milimetrowym. Średnicę odczytaj z jej obudowy. Sprawdź na obudowie jaka jest dopuszczalna maksymalna wartość natężenia prądu w cewce.
7. Badaną cewkę połącz szeregowo z zasilaczem prądu stałego i amperomierzem za pomocą którego będziesz kontrolował(ła) natężenia prądu płynącego w obwodzie. Maksymalną wartość natężenia prądu nie może przekroczyć wskazań opisanych na obudowie.



8. Indukcję magnetyczną zmierz za pomocą teslomierza z sondą hallotronową umocowaną na statywie. Położenie sondy względem badanej cewki określ za pomocą miarki, wzdłuż której przesuwamy statyw z sondą teslomierza. Dla $z = 0$ koniec sondy znajduje się w środku zwojnicy.
9. Dla cewki o 75 zwojach, wykonaj pomiary rozkładu indukcji magnetycznej wzdłuż osi cewki $B(z)$.

$z[cm]$									-2	-1	0	1	2								
$B[mT]$																					

10. Dla cewki o 150 zwojach, wykonaj pomiary rozkładu indukcji magnetycznej wzdłuż osi cewki $B(z)$.

$z[cm]$									-2	-1	0	1	2								
$B[mT]$																					

11. Dokonaj analizy porównawczej obu pomiarów (patrz ostatnie wykresy w części teoretycznej).
12. Wykonaj pomiary indukcji magnetycznej w środku cewki 75 zw. w zależności od natężenia prądu. Sporządź wykresy $B(I)$ otrzymanych zależności. Powtórz pomiar dla cewki 150 zw.

$I[A]$	0,2										4
$B[mT]$											

13. Wykorzystując wykresy zależność indukcji magnetycznej w środku cewki od natężenia prądu płynącego w cewce wyznacz **przenikalność magnetyczną próżni** μ_0 (metodą najmniejszych kwadratów). Określ jej niepewność pomiarową. Porównaj otrzymaną wartość z wartością teoretyczną.

Przykładowe zadania na kolokwium.

1. Solenoid tworzy 300 zwojów przewodu nawiniętego wokół cylindra o średnicy 12mm i długości 14cm. Oblicz jaka jest wartość indukcji pola magnetycznego wewnątrz solenoidu w pobliżu jego środka? W uzwojeniu płynie prąd o natężeniu 0,41A.
2. Wartość indukcji pola magnetycznego w odległości 50cm od długiego, cienkiego, prostoliniowego przewodu wynosi 8 μ T. Oblicz jakie jest natężenie prądu płynącego przez przewód?
3. Indukcja pola magnetycznego w środku kołowej pętli, w której płynie prąd o natężeniu 6A, wynosi 0,2mT. Oblicz promień przewodnika kołowego.
4. Ile zwojów na centymetr długości należy nawinąć, aby tak wykonany solenoid wytwarzał w swoim wnętrzu pole magnetyczne o indukcji 2mT? Przyjmij, że natężenie prądu w uzwojeniu wynosi 2A.
5. Liczba zwojów na metr długości solenoidu wynosi 2000. Zakładając, że w uzwojeniu solenoidu płynie prąd o natężeniu 5,2A oblicz wartość indukcji pola magnetycznego w jego wnętrzu.

Bibliografia:

Podręcznik online - Fizyka dla szkół wyższych. <https://cnx.org/>

Henryk Szydłowski, Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa 2003

David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, Podstawy fizyki, t. 1-5, PWN, Warszawa 2003.