E-03. Badanie właściwości magnetycznych solenoidu

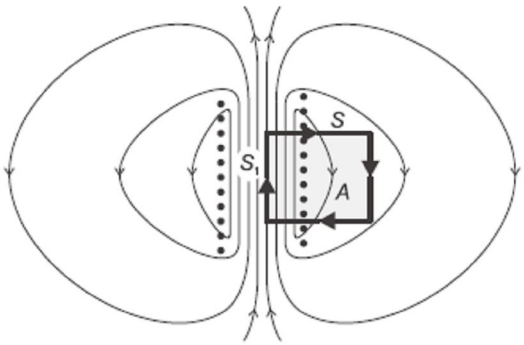
Cel eksperymentu

- ✓ *Sprawdzenie zależności teoretycznej indukcji magnetycznej solenoidu B w funkcji prądu I*
- ✓ *Sprawdzenie zależności teoretycznej indukcji magnetycznej solenoidu B w funkcji gęstości liniowej zwojów solenoidu n*
- ✓ *Wyznaczenie przenikalności magnetycznej próżni* μ_0

1. Wiadomości teoretyczne

Zgodnie z prawem Biota-Savarta, wektor pola magnetycznego B w punkcie P, generowanego przez przewodnik, z płynącym prądem I, podaje się w postaci sumy (całki) odpowiednich udziałów cząstkowych dB, pochodzących od odcinków przewodnika o długości wektorowej ds.

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I}{r^2} ds \times r \tag{1}$$



Rys.1 Linie pola magnetycznego cewki długiej

gdzie $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$ jest przenikalnością magnetyczną próżni, a r to długość wektora **r** skierowanego od danego elementu **ds** przewodnika do punktu P. Obliczenie całkowitej wartości pola magnetycznego wymaga całkowania zależności (1). W wielu przypadkach obliczanie takiej całki jest bardzo skomplikowane i tylko dla cewek o prostych kształtach wyznaczane są postaci analityczne wzorów. W niektórych sytuacjach np., kiedy jest obliczane pole magnetyczne cewki długiej (solenoidu) lepiej jest zastosować prawo Ampera, które może być otrzymane z prawa Maxwella.

$$\oint_S Bds = \mu_0 \oint_A jdA = \mu_0 I_A \tag{2}$$

gdzie j- gęstość prądu, I_A – prąd płynący przez powierzchnię A która jest ograniczona zamkniętą krzywą S.

Aby policzyć pole magnetyczne cewki długiej wybrano powierzchnię A i krzywą S jak na rysunku 1. Cewka jest na tyle długa, że wektor pola magnetycznego B wewnątrz jest równoległy do osi cewki a na zewnątrz cewki wartość wektora B jest znikoma. To oznacza, że tylko w części S_1 o długości L krzywej całkowania S wartość odpowiedniej całki (2) nie będzie równa zeru.

$$\oint_S Bds = \oint_{S_1} Bds = B \cdot L = \mu_0 \cdot I_A \tag{3}$$

Wewnątrz krzywej całkowania S jest N zwojów cewki, a więc prąd I_A płynący przez powierzchnię A ograniczoną krzywą S równy jest:

$$I_A = N \cdot I \tag{4}$$

Ostatecznie indukcja pola magnetycznego wewnątrz solenoidu wynosi:

$$B = \mu_0 \cdot I \frac{N}{L} = \mu_0 In \tag{5}$$

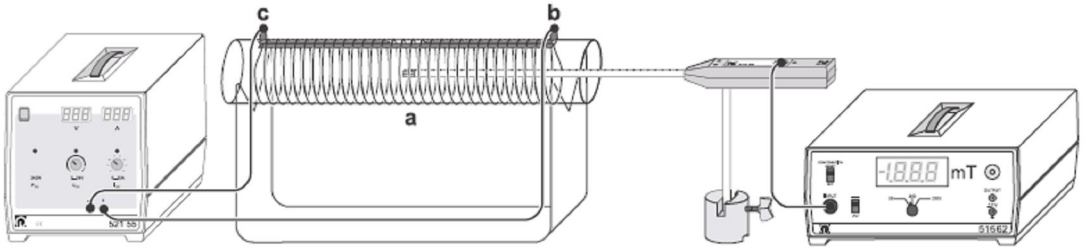
gdzie I to prąd płynący przez cewkę a n to gęstość liniowa zwojów na jednostkę długości solenoidu (N/L).

W czasie eksperymentów będzie mierzone pole magnetyczne solenoidu B. Do tego celu zastosowany zostanie detektor indukcji magnetycznej, umieszczony w osi solenoidu. Detektor zbudowany jest na bazie czujnika Halla, czułego na pole magnetyczne, wektor którego jest skierowany wzdłuż osi detektora.

2. Opis aparatury pomiarowej

2.1 Uwagi wstępne

Na stanowisku znajduje się solenoid o zmiennej długości L i stałej liczbie zwojów N, podłączony do zasilacza. W środku solenoidu umieszczony jest czujnik miernika indukcji pola magnetycznego B. Czujnik podłączony jest do teslomierza (nazwa pochodzi od jednostki pomiaru indukcji pola magnetycznego w układzie SI).



Rys.2 Układ eksperymentalny pomiaru indukcji magnetycznej solenoidu.

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 uśrednionej
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 indukcji magnetycznej B jako funkcji prądu I, płynącego przez cewkę dla różnych długości cewki:

- Ustaw prąd I = 20A na zasilaczu
- Zmierz wielkość indukcji magnetycznej B za pomocą programu CASSY LAB, odczytaną wartość średnią oraz niepewność pomiarową wpisz do tabeli
- Powtórz pomiary z krokiem 2A aż do wartości -20A
- Wykonaj pomiary dla innych długości cewki L

Tabela 1. Indukcja magnetyczna B cewki w funkcji prądu I dla różnych długości solenoidu L

	L1=12,5cm		*L2=15cm*		*L3=17,5cm*		*L4=20cm*		*L5=22,5cm*		*L6=25cm*	
I [A]	$B_{śr}$ [mT]	ΔB [mT]	$B_{śr}$ [mT]	ΔB [mT]	$B_{śr}$ [mT]	ΔB [mT]	$B_{śr}$ [mT]	ΔB [mT]	$B_{śr}$ [mT]	ΔB [mT]	$B_{śr}$ [mT]	ΔB [mT]
20												
18												
16												
14												
12												
…												
-12												
-14												
-16												
-18												
-20												

5. Opracowanie wyników pomiarów

1. Na podstawie danych z tabeli wykonaj wykres zależności indukcji magnetycznej B od prądu I dla różnych długości solenoidu L. Na wykres nanieś wartości teoretyczne indukcji magnetycznej oraz niepewności pomiaru indukcji magnetycznej ΔB.
2. Metodą najmniejszych kwadratów wyznacz współczynnik nachylenia prostej powstałej z punktów $B_{śr}$,I oraz odchylenie standardowe tego współczynnika - *k i Δk*
3. Wyznacz doświadczalną wartość współczynnika przenikalności magnetycznej μ_0 korzystając ze wzoru:

   $\mu_{0i} = \frac{L}{N} \cdot k_i$ gdzie k=B/I jest parametrem wyznaczonym w pkt.2
4. Oszacuj niepewność pomiaru długości solenoidu ΔL i ilości zwojów ΔN. Wyznacz niepewność pomiaru współczynnika przenikalności magnetycznej dla każdej z odległości d, wykorzystując zależność:

$$\frac{\Delta\mu}{\mu} = \sqrt{\left(\frac{\Delta k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(-\frac{\Delta N}{N}\right)^2}$$

5. Oceń wpływ niedokładności poszczególnych parametrów (*Δk,* ΔL, ΔN) na niedokładność pomiaru przenikalności magnetycznej.
6. Porównaj uzyskaną wartość μ_0 z wartością katalogową.
7. Podobne rozważania przeprowadź dla I=20A i zależności:

   $$\mu_0 = \frac{a}{N \cdot I}$$ gdzie a=B/(1/L).
8. Przeanalizuj otrzymane wyniki badań i sformułuj odpowiednie wnioski.