

Ćwiczenie E7 - Badanie rozkładu pola magnetycznego przewodników z prądem (Zwrot 1)

Mikołaj Suszek

Grudzień 2025

1 Cel ćwiczenia

Ćwiczenie polega na mierzeniu indukcji magnetycznej w przewodnikach prostych i kołowych. Celem ćwiczenia jest znalezienie zależności indukcji magnetycznej od natężenia prądu bądź odległości od przewodu oraz wyznaczenie stałej przenikalności magnetycznej próżni μ_0 .

2 Wstęp teoretyczny

Podstawą do zrozumienia ćwiczenia jest prawo Biota- Savarta- Laplac'a

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

Na jego podstawie będziemy wyznaczać zależność indukcji magnetycznej dla różnych układów geometrycznych.

3 Metody badań

3.1 Przewodnik prosty

Aparatura składa się z dużej prostokątnej ramki, która będzie służyła jako przewodnik prosty. Do wyznaczania indukcji magnetycznej posłuży teslomierz na szynie, który w pierwszej kolejności będzie oddalony od krawędzi ramki o 1cm, następnie będzie przesuwany poziomo, równolegle do górnej boku ramki.

Wzór zależności to:

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

3.2 Przewodnik kołowy

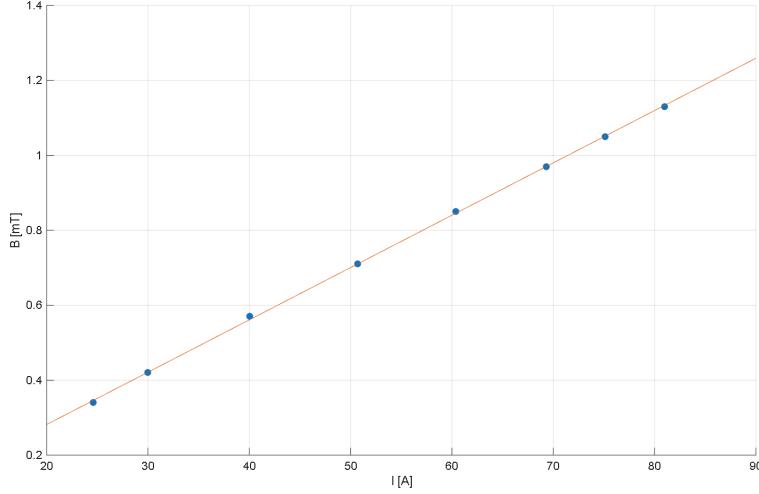
W przypadku cewki teslomierz będzie umieszczony w środku cewki, a następnie będzie on przesuwany wzdłuż środkowej osi cewki.

Wzór zależności:

$$B = \frac{\mu_0 I n}{2l} \left(\frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}} - \frac{b}{\sqrt{R^2 + b^2}} \right) \quad (3)$$

4 Wyniki i dyskusja

W przypadku prostoliniowego przewodnika wyniki dla sondy umieszczonej 1cm od przewodnika przy zmiennym napięciu wyglądają następująco:



Rysunek 1: Zależność indukcji magnetycznej od natężenia prądu w przewodniku prostym

Wyliczona stała przenikalności magnetycznej wynosi:

$$\mu_0 = (8.77 \pm 0.93) \times 10^{-7} \frac{N}{A^2} \quad (4)$$

Ze wzoru:

$$a = \frac{\mu_0}{2\pi r} \quad (5)$$

Gdzie a zostało wyliczone:

$$a = \frac{N \sum(BI) - \sum(B) \cdot \sum(I)}{N \sum(I^2) - (\sum(I))^2} \quad (6)$$

$$b = \frac{\sum(I^2) \sum(B) - \sum(I) \sum(BI)}{N \sum(I^2) - (\sum(I))^2} \quad (7)$$

(b w idealnym przypadku równa się 0)

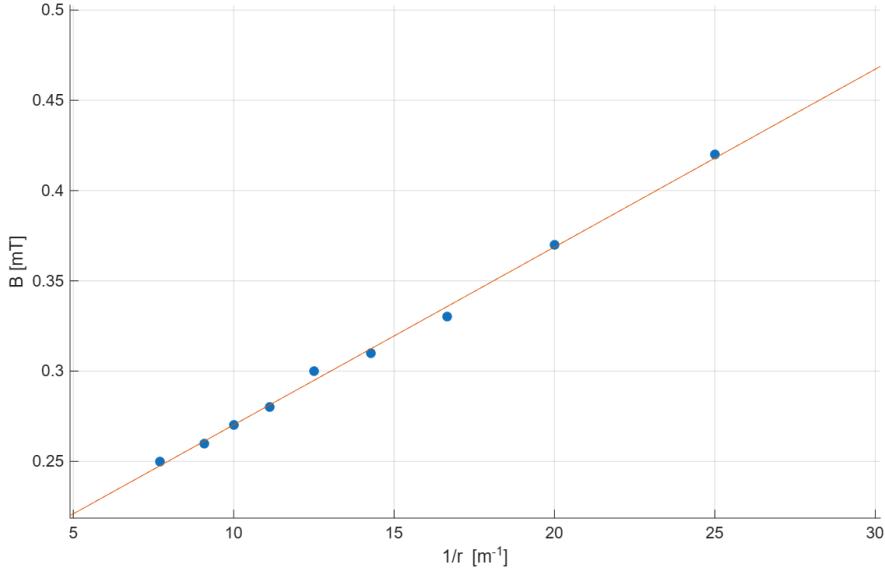
Niepewność została wyliczona ze wzoru:

$$u(a) = \sqrt{\frac{N}{N-2} \frac{\sum[\ln(B) - (aI + b)]^2}{N \sum(I^2) - (\sum(I))^2}} \quad (8)$$

Natomiast niepewność μ_0 to:

$$\left| \frac{\Delta \mu_0}{\mu_0} \right| = \left| \frac{u(a)}{a} \right| + \left| \frac{\Delta r}{r} \right| \quad (9)$$

Wyniki dla zmiennej odległości od przewodnika prostego wyglądają następująco:



Rysunek 2: Zależność indukcji magnetycznej od odległości dla przewodnika prostego

wyliczona wartość stałej przenikalności magnetycznej:

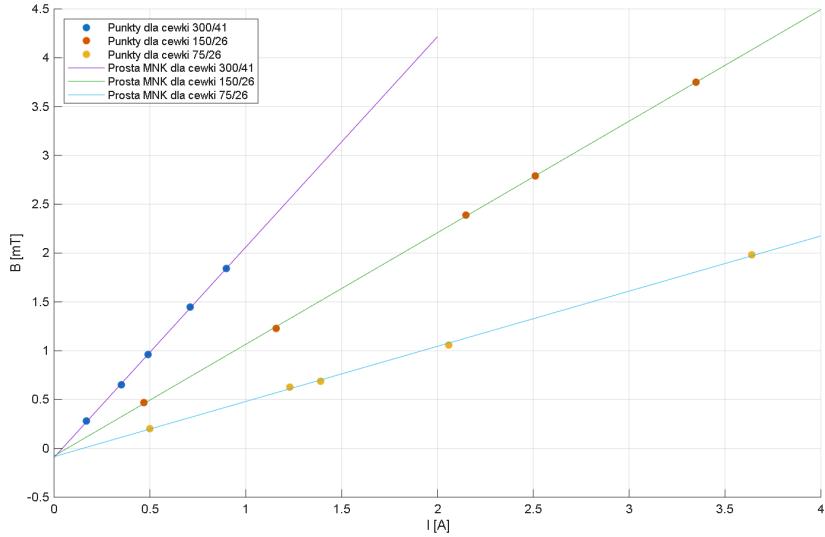
$$\mu_0 = (7.51 \pm 0.17) \times 10^{-7} \frac{N}{A^2} \quad (10)$$

gdzie w tym przypadku równanie na niepewność przyjmuje postać:

$$\left| \frac{\Delta \mu_0}{\mu_0} \right| = \left| \frac{u(a)}{a} \right| + \left| \frac{\Delta I}{I} \right| \quad (11)$$

Warto wspomnieć, że do tego wykresu należało usunąć część pomiarów, gdyż były niezgodne z teorią fizyczną i nie produkowały poprawnych wartości μ_0 .

Dla cewek zależność indukcji magnetycznej od natężenia prądu to:



Rysunek 3: Wykres zależności indukcji magnetycznej od natężenia prądu dla różnych cewek

Zależność między współczynnikiem a, a μ_0 to:

$$a = \frac{\mu_0 n}{2\sqrt{R^2 + l^2/4}} \quad (12)$$

A więc:

$$\mu_0 = \frac{2a\sqrt{R^2 + l^2/4}}{n} \quad (13)$$

Wyliczone wartości μ_0 dla 1, 2 i 3 cewki:

$$\mu_{01} = (11.86 \pm 0.69) \times 10^{-7} \quad (14)$$

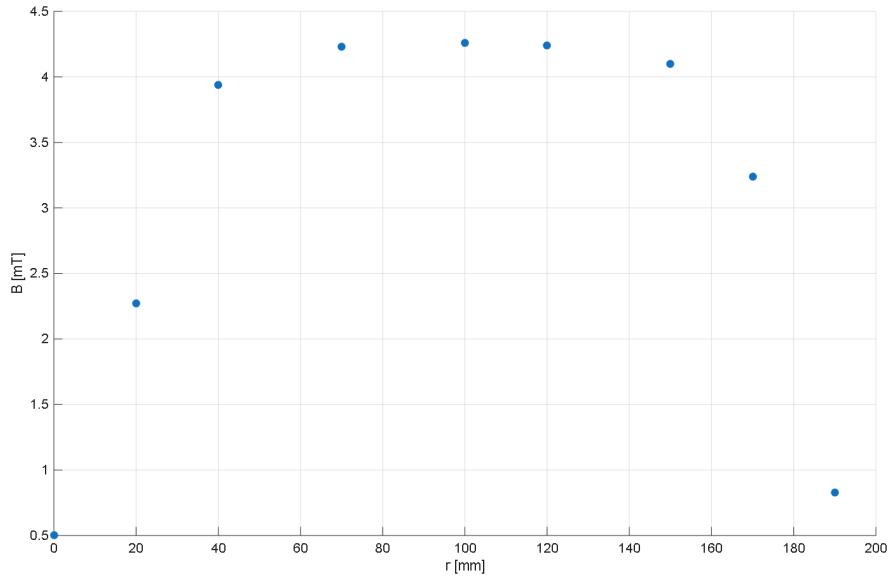
$$\mu_{02} = (12.35 \pm 0.75) \times 10^{-7} \quad (15)$$

$$\mu_{03} = (12.21 \pm 0.75) \times 10^{-7} \quad (16)$$

Gdzie niepewność została wyliczona w następujący sposób:

$$u(\mu_0) = \frac{a\sqrt{4R^2 + l^2}}{n} \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{4R \cdot u(R)}{4R^2 + l^2}\right)^2 + \left(\frac{l \cdot u(l)}{4R^2 + l^2}\right)^2} \quad (17)$$

Natomiast wykres dla zmiennej odległości w cewce to: Gdzie 0 to początek cewki.



Rysunek 4: Wykres zależności indukcji magnetycznej od pozycji

5 Podsumowanie wyników

Otrzymane doświadczalnie wartości stałej przenikalności magnetycznej próżni:

Tabela 1: Porównanie wyników otrzymanych doświadczalnie

	Przewodnik prosty (zmienne natężenie)	Przewodnik prosty (zmienna odległość)		
$\mu_0 \left[\frac{N}{A^2} \times 10^{-7} \right]$	8.77 ± 0.93	7.51 ± 0.17		
	Cewka 300/41	Cewka 150/26	Cewka 75/26	Wartość teoretyczna
$\mu_0 \left[\frac{N}{A^2} \times 10^{-7} \right]$	11.86 ± 0.69	12.35 ± 0.75	12.21 ± 0.75	12.57 [1]

W porównaniu z wartością teoretyczną łatwo zauważycy odstający wynik dla zmiennej odległości w przewodniku prostym. Jest to spowodowane naturą aparatury badawczej. Wzór którym się posługiwałyśmy jest prawdziwy tylko dla nieskończoność długiego przewodu prostego w próżni. Co za tym idzie nasz przewodnik, nie dość że był zauważalnie skończenie długie, to był w polu magnetycznym innych boków ramki na której prowadzono badanie. To samo może tyczyć się pomiarów zmiennego natężenia prądu, gdyż, mimo że sonda była blisko przewodu, mogła zajść interferencja pól od innych boków ramki. Przechodząc do pomiarów dla cewek wyniki są bardziej zadowalające, ponieważ wszystkie są zbliżone do wartości teoretycznej stałej przenikalności magnetycznej próżni. Najlepiej wypadły wyniki dla cewek 150/26 oraz 75/26, gdyż te wartości mieszczą się niepewnościami.

Literatura

- [1] CRC Handbook of Chemistry and Physics, David R. Lide Former Director, Standard Reference Data National Institute of Standards and Technology

6 Poprawki

- Poprawiono wykres tak, aby ukazywał wyłącznie wartości w przybliżeniu zgodne z teorią fizyczną.
- Wyliczono na nowo współczynnik nachylenia oraz wartość μ_0