

I-ET-DI

27.11.2018

Laboratorium z fizyki

Ćw. 32 Badanie pola magnetycznego solenoidu

1. Wstęp teoretyczny:

a) Wielkości charakteryzujące pole magnetyczne

Przestrzeń wokół magnesu lub przewodnika z prądem nazywana jest polem magnetycznym. Podstawową wielkością opisującą pole magnetyczne jest wektor indukcji magnetycznej \vec{B} , reprezentowany przez linie indukcji. Styczna do linii indukcji w dowolnym punkcie wyznacza kierunek wektora indukcji, reguła śruby prawoskrętnej wyznacza zwrot wektora indukcji \vec{B} . Indukcję B definiuje się poprzez siłę F działającą na ładunek dodatni q poruszający się w polu magnetycznym z prędkością v .

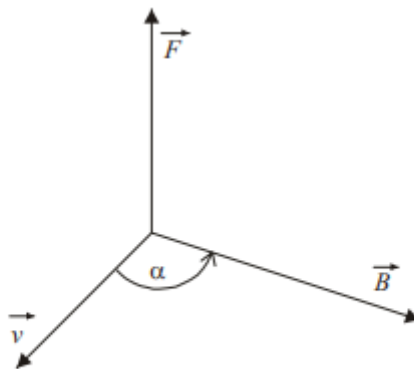
Jeżeli na dodatni ładunek q poruszający się z prędkością v działa siła odchyłająca F to w danym punkcie istnieje pole magnetyczne o indukcji B , spełniające warunek:

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$$

Wartość siły działającej na ładunek wynikająca z powyższego wzoru wynosi:

$$F = q v B \sin \alpha$$

gdzie: α - kąt między wektorem prędkości v i wektorem indukcji B



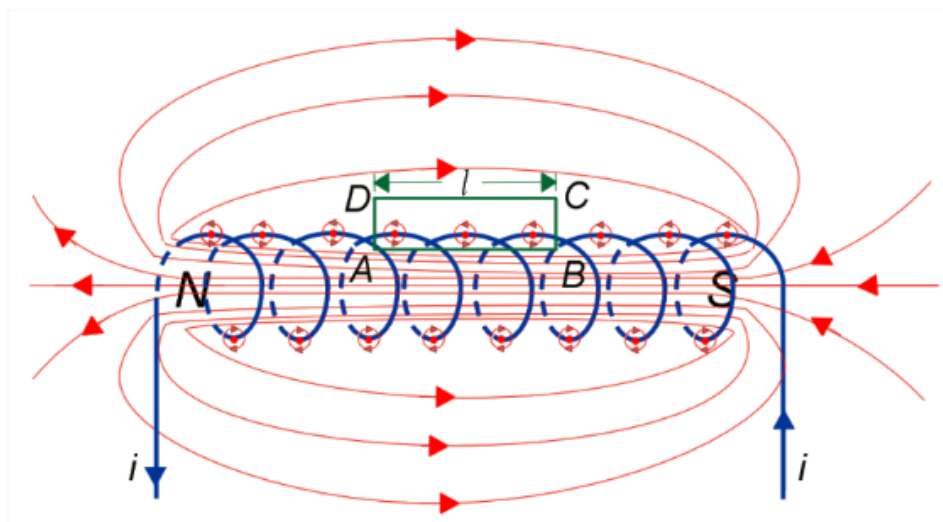
Rys. 1. Kierunek siły Lorentza

W celu wyznaczenia pola magnetycznego solenoidu założymy, że pole magnetyczne występuje tylko wewnątrz długiego solenoidu, a na zewnątrz jest równe zero. Teoretyczne uzasadnienie tego zjawiska znajdziemy w tym rozdziale (to przybliżenie jest tym dokładniejsze, im długość solenoidu jest większa w porównaniu z jego średnicą).

Wykorzystamy prawo Ampère'a. Obierzmy drogę cyrkulacji wektora \vec{B} w postaci prostokąta $ABCD$, jak na il. 3.30. Cyrkulacja wektora \vec{B} po tej drodze wyniesie Bl , ponieważ tylko na odcinku AB iloczyn skalarny $\vec{B} \cdot \Delta \vec{l}$ nie znika. Przez powierzchnię rozpiętą na prostokącie $ABCD$ przepływa prąd o całkowitym natężeniu NI (N – liczba zwojów na odcinku l), więc zgodnie z prawem Ampère'a $Bl = \mu_0 NI$. Stąd wzór na indukcję magnetyczną solenoidu:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} = \mu_0 n I$$

gdzie $n = \frac{N}{l}$ jest liniową gęstością zwojów w solenoidzie.



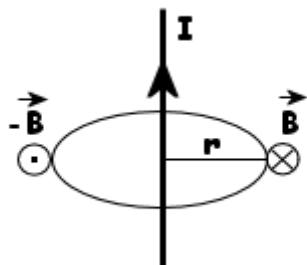
b) Prawo Ampere'a oraz prawo Biota-Savarta

Prawo Ampere'a – prawo wiążące indukcję magnetyczną wokół przewodnika z prądem z natężeniem prądu elektrycznego przepływającego w tym przewodniku. Prawo to wynika z matematycznego twierdzenia Stokesa.

W wersji rozszerzonej przez J.C. Maxwella prawo to opisuje powstawanie pola magnetycznego w wyniku ruchu ładunku lub zmiany natężenia pola elektrycznego.

Prawo Biota-Savarta - prawo stosowane w elektromagnetyzmie i dynamice płynów. Pozwala określić w dowolnym punkcie przestrzeni indukcję pola magnetycznego, której źródłem jest element przewodnika, przez który płynie prąd elektryczny. Oryginalna wersja została sformułowana dla pola magnetycznego.

c) Pole magnetyczne wokół przewodnika prostoliniowego i solenoidu



Wielkościami informującymi o tym jak silne jest pole magnetyczne są: natężenie pola H i indukcja magnetyczna B . Na podstawie reagowania igły magnetycznej stwierdzimy, że natężenie pola magnetycznego przewodnika jest tym większe, im większe jest natężenie prądu w przewodniku i im mniejsza jest odległość punktu pola do przewodnika. Zatem:

$$H \sim \frac{I}{r}$$

Aby napisać równość wprowadzimy współczynnik proporcjonalności, który dla przewodnika nieskończenie długiego wynosi $1/2\pi$. Tak więc natężenie pola magnetycznego wokół tego przewodnika ma wartość:

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

Z tego wzoru możemy wyznaczyć jednostkę natężenia pola magnetycznego:

$$[H] = 1 \frac{A}{m}$$

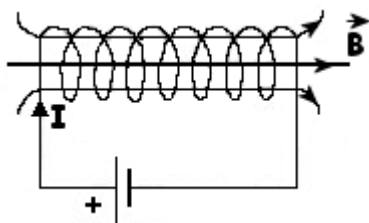
Indukcja magnetyczna:

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

Natężenie pola magnetycznego i indukcja są to wektory styczne do linii pola. Kształt linii pola zbadamy za pomocą opiłków żelaza posypanych na płytkę prostopadłą do przewodnika. Opiłki te utworzą okręgi współśrodkowe. Zwrot linii określamy za pomocą reguły śruby prawoskrętnej. Gdy w sąsiedztwie znajduje się kilka przewodników z prądem, zachodzi **superpozycja pól**. Natężenie pola i indukcja magnetyczna są wypadkowymi poszczególnych pól składowych.

Pole magnetyczne solenoidu

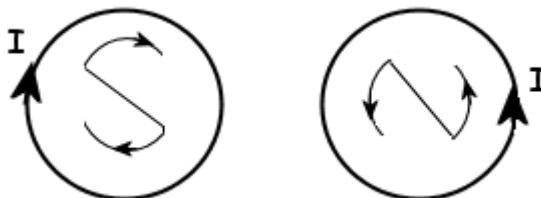
Solenoid jest zwojnicą składającą się z przewodników kołowych połączonych szeregowo. Zajmować się będziemy solenoidem długim i składającym się ze zwojów nawiniętych jednowarstwowo i gęsto.



Za pomocą igły magnetycznej wykazujemy istnienie pola magnetycznego wokół solenoidu. Za pomocą opiłków żelaza badamy kształt linii pola magnetycznego. Regułą zwiniętej prawej dłoni wyznaczamy zwrot linii pola.

Pole magnetyczne wewnątrz solenoidu uznajemy za jednorodne, zaś na zewnątrz podobne jest ono do pola wokół magnesu sztabkowego, dlatego polu solenoidu przypisujemy dwa bieguny.

Zasadę oznaczania biegunów w solenoidzie przedstawia mam nadzieję w sposób jasny rysunek obok. Strzałki, które tworzą litery biegunów, muszą zmierzać ku końcom tych liter zgodnie z kierunkiem prądu.



Natężenie wewnątrz solenoidu jest wprost proporcjonalne do natężenia prądu I i ilości zwojów n , a odwrotnie proporcjonalne do długości solenoidu l :

$$H \sim \frac{nI}{l}$$

Współczynnik proporcjonalności wynosi 1, więc natężenie wewnątrz solenoidu wynosi:

$$H = \frac{nI}{l}$$

2. Metodologia wykonania pomiarów

1. Ustawić wskazany przez prowadzącego solenoid na stoliku pomiarowym.
2. Połączyć układ pomiarowy według schematu.
3. Włączyć teslomierz, ustawić zakres 200 mT i wyzerować wskazania.
4. Umieścić sondę w osi cewki.
5. Włączyć zasilacz, ustawić wartość natężenia prądu i_1 (nie przekraczać wartości 1A).
6. Zmierzyć rozkład indukcji magnetycznej wzdłuż osi cewki $B = f(x)$ zmieniając położenie sondy
co 1cm dla stałej wartości prądu aż do osiągnięcia wartości $B = 0$.
7. Ustawić sondę w środku cewki i zbadać zależność $B = f(i)$ indukcji magnetycznej od natężenia prądu zmieniając prąd co 0,1A.
8. Ustawić na stoliku cewkę zawierającą różne ilości zwojów. Umieścić sondę w środku cewki i wyznaczyć zależność indukcji magnetycznej od ilości zwojów cewki $B = f(z)$. Pomiary wykonać dla ustalonej wartości natężenia prądu i_2 .

3. Pomiary

I_1	x	$B(x)$	I_2	$B(I)$	z	$B(z)$
[A]	[cm]	[mT]	[A]	[mT]	[-]	[mT]
1	-16	0,06	0	0,11	20	0,13
	-15	0,09	0,1	1,68	30	0,23
	-14	0,13	0,2	3,51	60	0,53
	-13	0,17	0,3	5,25	150	1,46
	-12	0,25	0,4	7,05		
	-11	0,34	0,5	8,89		
	-10	0,47	0,6	10,67		
	-9	0,66	0,7	12,38		
	-8	0,97	0,8	14,18		
	-7	1,47	0,9	16,06		
	-6	2,36	1	17,62		
	-5	3,9				
	-4	6,63				
	-3	10,58				
	-2	14,35				
	-1	16,65				
	0	17,52				
	1	17,04				
	2	15,07				
	3	11,52				
	4	7,38				
	5	4,37				
	6	2,59				
	7	1,62				
	8	1,06				
	9	0,73				
	10	0,51				
	11	0,37				
	12	0,28				
	13	0,21				
	14	0,15				
	15	0,11				
	16	0,07				

4. Obliczenia:

Niepewności pomiarowe:

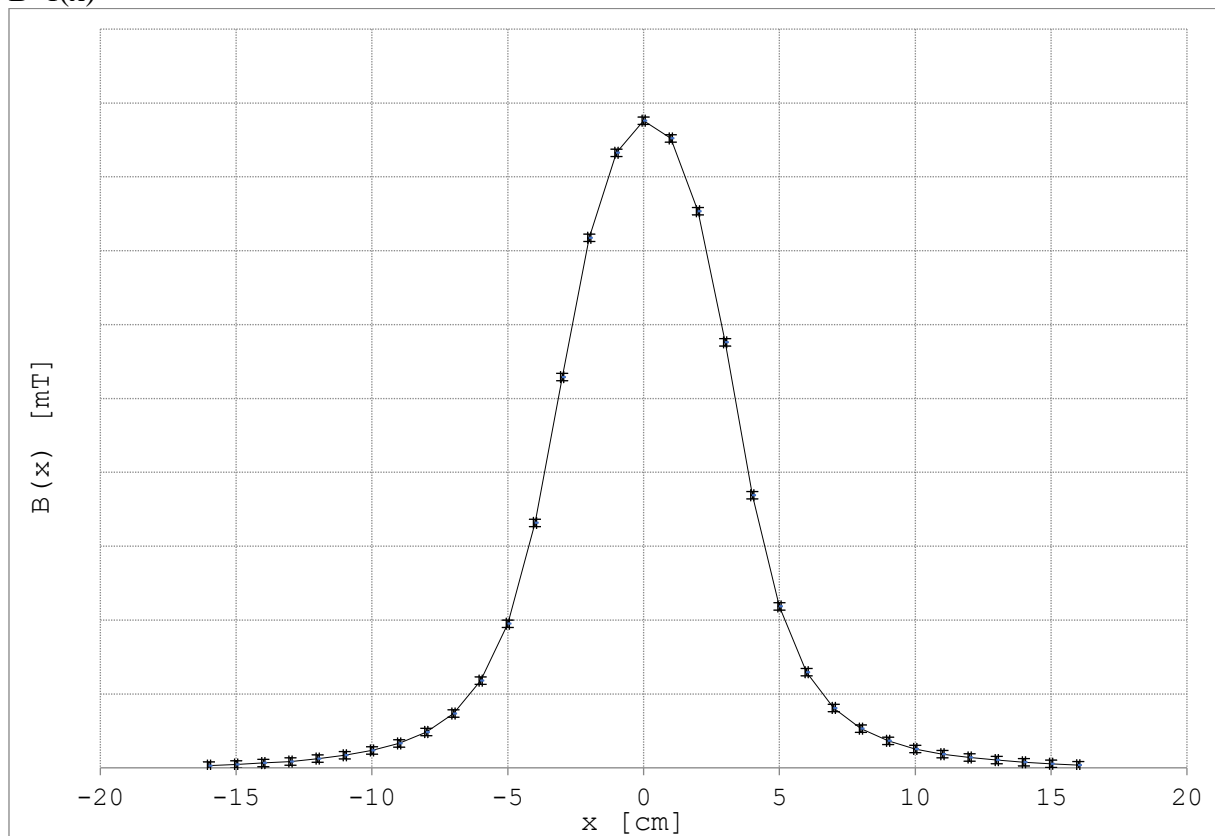
$$u(B) = \frac{0,02 \text{ mT}}{\sqrt{3}} = 0,011 \text{ mT}$$

$$u(i) = \frac{0,2 \text{ A}}{\sqrt{3}} = 0,11 \text{ A}$$

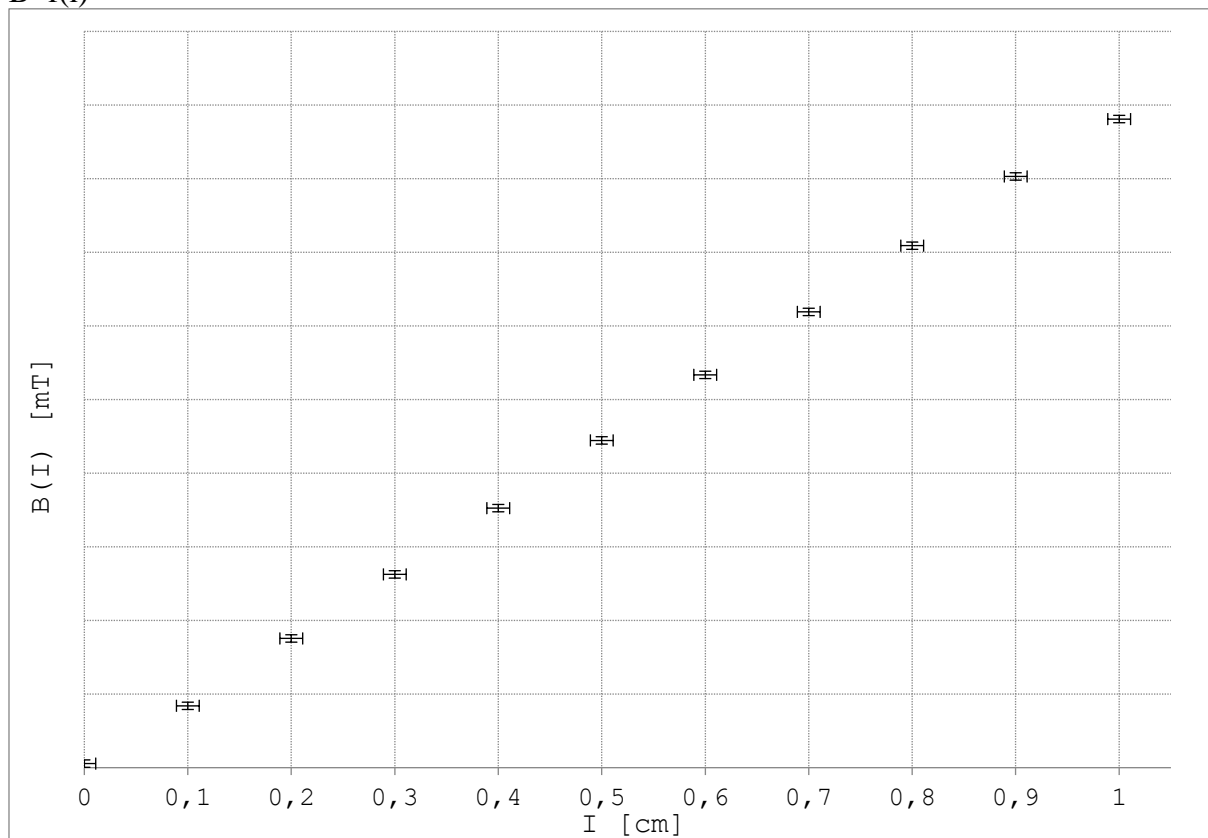
$$u(x) = \frac{0,1 \text{ cm}}{\sqrt{3}} = 0,057 \text{ cm}$$

5. Wykresy

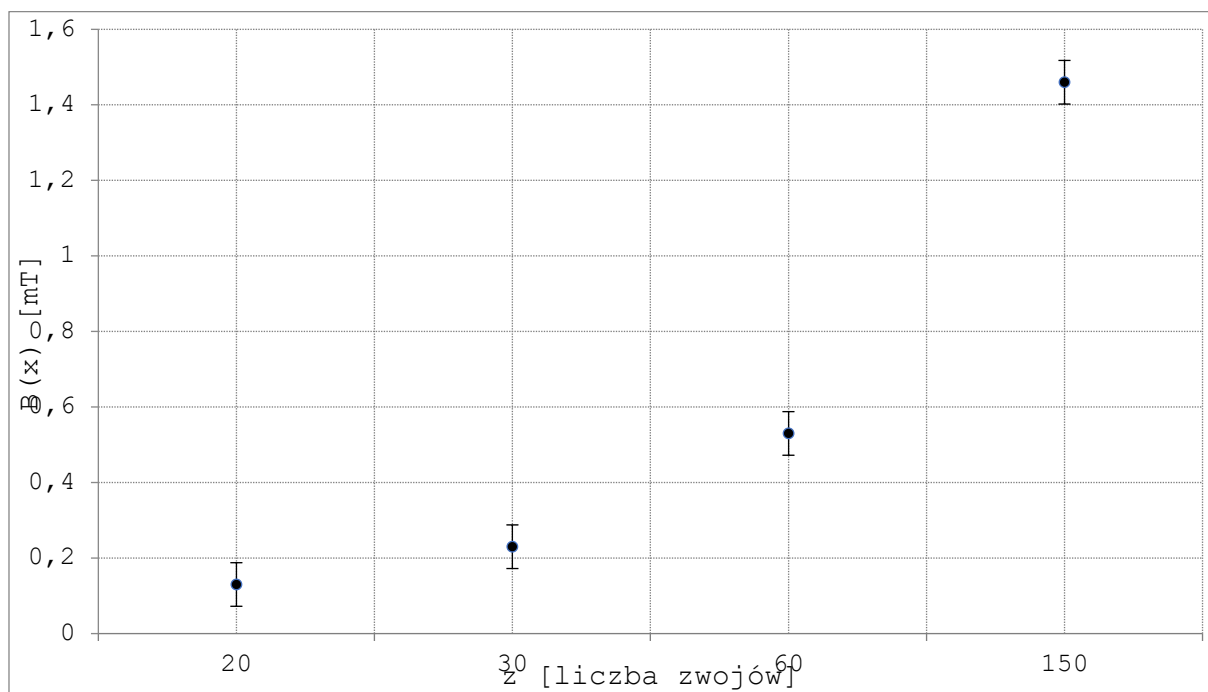
$B=f(x)$



$B=f(i)$



$B=f(z)$



6. Wnioski:

W wykonywanym ćwiczeniu zajmowaliśmy się polem magnetycznym cewki.

Wykonywaliśmy trzy ćwiczenia zmieniając kolejno punkt w którym mierzyliśmy indukcję magnetyczną, natężenie prądu płynącego przez cewkę i liczbę zwoi.

Dla odległości wartość indukcji pola magnetycznego zmieniała się niemal wykładniczo, zaś w pozostałych dwóch zadaniach wartość indukcji rosła liniowo.

Zauważyliśmy iż w pewnym momencie indukcja pola magnetycznego emitowanego przez solenoid jest maksymalna, zaś w miarę przybliżania bądź oddalania maleje w proporcjonalnych wartościach.

Błędy pomiarowe wynikają z braku dokładności urządzeń pomiarowych i dokładnego ustawienia i wycentrowania obiektu badanego.

Doświadczenie przebiegło pomyślnie.