

Uniwersytet Rzeszowski
LABORATORIUM BIOFIZYKI

Ćwiczenie nr B03

Temat:

POMIARY POLA MAGNETYCZNEGO WYTWORZONEGO PRZEZ OBWODY Z PRĄDEM

LITERATURA:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki t. 3*, PWN, Warszawa 2005.
2. F. Jaroszyk (red.), *Biofizyka – podręcznik dla studentów*, PZWL, Warszawa 2001.

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:

1. A.Z. Hryniewicz., E. Rokita, *Fizyczne metody diagnostyki medycznej i terapii*, PWN, Warszawa 2013.
2. H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna wspomagana komputerem*, PWN, Warszawa 2003.

ZAGADNIENIA TEORETYCZNE:

1. Pole magnetyczne: indukcja pola, strumień indukcji magnetycznej, natężenie pola.
2. Prawo Biota-Savarta.
3. Prawo Ampère'a.
4. Obliczenie indukcji magnetycznej na osi kołowego przewodnika z prądem.
5. Indukcja magnetyczna na osi solenoidu o skończonej długości.

WPROWADZENIE DO ĆWICZENIA:

Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na organizm człowieka jest powszechnie wykorzystywane w ochronie zdrowia podczas diagnostyki lub terapii medycznej, m.in. w tomografach rezonansu magnetycznego (RM), fizykoterapeutycznych urządzeniach diatermicznych, urządzeniach elektrochirurgicznych, urządzeniach do magnetoterapii.

Źródłami sił magnetycznych są magnesy stałe, przewodniki, w których płynie prąd elektryczny oraz poruszające się ładunki elektryczne. Oddziaływanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem lub magnes trwały można sprowadzić do działania pola magnetycznego na poruszający się ładunek punktowy. Pole magnetyczne działa na poruszający się ładunek elektryczny siłą $\vec{F}$. Zmieniając prędkość $\vec{v}$ ładunku próbnego q_0 , niezależnie od kierunku jego prędkości, siła $\vec{F}$ jest zawsze do niej prostopadła, a wartość bezwzględna tej siły zależy od wartości i od kierunku prędkości. Zależność siły $\vec{F}$ od prędkości $\vec{v}$ dla ładunku q_0 można wyrazić wprowadzając wektor indukcji magnetycznej $\vec{B}$. Mówimy, że w przestrzeni istnieje pole magnetyczne o indukcji $\vec{B}$, jeżeli na ładunek elektryczny o wartości q_0 poruszający się w tej przestrzeni z prędkością $\vec{v}$ działa siła $\vec{F}$:

$$\vec{F} = q_0(\vec{v} \times \vec{B})$$

Zgodnie z definicją iloczynu wektorowego, wartość bezwzględna siły wyraża się wzorem:

$$F = q_0 v B \sin \alpha,$$

gdzie α to kąt pomiędzy wektorami $\vec{v}$ i $\vec{B}$. Jednostką indukcji magnetycznej $\vec{B}$ jest **tesla**; $[T] = \left[\frac{N}{C \cdot m/s} \right] = \left[\frac{N}{A \cdot m} \right]$.

Z wektorem indukcji magnetycznej związane jest pojęcie strumienia indukcji magnetycznej przez powierzchnię S określonego jako:

$$\Phi_{B,S} = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Jednostką strumienia indukcji magnetycznej jest Weber [Wb]=[T·m²].

Prawo Ampère'a umożliwia wyznaczenie wartości indukcji magnetycznej w zadanej odległości r od nieskończonego długiego przewodnika, w którym płynie prąd o natężeniu I . Wymaga to obliczenia całki po okręgu o promieniu r współśrodkowym z przewodnikiem. W przypadku $\vec{B} \perp d\vec{l}$ mamy:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \cdot \oint dl = B \cdot 2\pi r = \mu_0 \cdot I$$

Linie wektora indukcji są okręgami współśrodkowymi z przewodnikiem tak samo jak kontur, po którym wykonywane jest całkowanie. Wartość wektora indukcji w odległości r od przewodnika wynosi więc:

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

Ważnym zastosowaniem prawa Ampère'a jest wyznaczanie pola magnetycznego wewnątrz solenoidu, stanowiącego wiele zwojów przewodnika nawiniętych jeden obok drugiego w takiej liczbie, że jego długość jest znacznie większa od średnicy. 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:

$$B = \mu_0 \cdot I \cdot n$$

Pole magnetyczne wewnątrz solenoidu jest proporcjonalne do natężenia płynącego prądu i gęstości zwojów solenoidu. Wzór ten obowiązuje w przypadku solenoidu o niekończonej długości. W praktyce, przybliża on nieźle wartość indukcji pola magnetycznego w punktach, które znajdują się w środkowej części solenoidów o skończonych długościach.

Przygotowanie zestawu eksperymentalnego do pomiarów.

1. Sprawdzić układ pomiarowy zwracając szczególną uwagę na następujące elementy:
 - rejestrator ruchu ma być połączony z modulem bazowym (Basic-Unit) interfejsu Cobra 3. Nie należy zmieniać tych połączeń.
 - osiowa sonda Halla do pomiaru indukcji pola magnetycznego musi być połączona z interfejsem Cobra 3 Basic-Unit poprzez moduł pomiarowy teslomierza.
 - badany obwód (cewka) powinien być podłączony do wyjścia napięcia prądu stałego na zasilaczu (0...18 V-, 0...5A). W obwodzie powinien znajdować się włączony szeregowo czujnik prądu połączony z wejściem Analog In 2/S2 interfejsu Cobra 3.
 - Interfejs Cobra 3 powinien być połączony z komputerem. Do zasilania interfejsu Cobra 3 jest przewidziany specjalny zasilacz 12 V.
2. Włączyć zasilacz (przełącznik na tylnej ścianie) i komputer. Kliknąć dwukrotnie ikonę „Measure” na pulpicie. Kiedy ukaże się okno „News about measure 4.2” kliknąć OK. Kliknąć na czerwoną kropkę pod paskiem „Phywe measure 4”. Powinno ukazać się okno startowe „Cobra 3 Force/Tesla”.

Wykonanie pomiarów.

1. Zmierzyć rozkład indukcji magnetycznej B na osi z cylindrycznej cewki, w której płynie prąd elektryczny:
 - w oknie startowym „Cobra 3 Force/Tesla” w pozycji „Channels” zaznaczyć „Flux density B”, „Flux density B1”, „Current I”. W pozycji X data zaznaczyć „Distance”. Wybrać „Normal measurement”. Kliknąć „Continue”;
 - manipulując pokrętkami do regulacji natężenia i napięcia w gnieździe wyjściowym zasilacza ustalić i odnotować wartość natężenia prądu płynącego przez cewkę;

Uwaga: nie można przekraczać maksymalnego dopuszczalnego natężenia prądu podanego dla danej cewki. Należy ustawić natężenie prądu o ok. 20 % niższe;

 - zadbać o to, aby nie być połączona ze statywem, do którego połączona jest sonda, była nawinięta na zewnętrzną (większą) obręcz czujnika pomiaru odległości;
 - przesunąć sondę tak, aby jej koniec znajdował się przy wlocie cewki. Po ustaleniu się wartości indukcji B na ekranie kliknąć klawiszem „Enter” aby uzyskać pierwszy punkt pomiarowy. Następnie przesuwając sondę **co 5 mm** wzdłuż osi cewki, aż do jej wylotu, otrzymujemy w analogiczny sposób kilkanaście dalszych punktów pomiarowych. Należy przy tym zadbać o to aby między innymi zmierzyć indukcję B w połowie długości (B_p);
 - w oknie „Cobra 3-measuring” kliknąć „Save value” i „Close”. Na ekranie powinien ukazać się wykres $B=f(z)$. Aby uwidocznić punkty pomiarowe na wykresie należy kliknąć prawym przyciskiem myszy. W oknie „Display options” kliknąć „Channels” a następnie „none”. Wybrać oznaczenie punktów pomiarowych (np.: czarny kwadracik). Kliknąć „OK.”.
2. Zmierzyć długość l cewki. Odnotować jej promień R (UWAGA – na cewce naniesiona jest wartość średnicy jej zwojów) oraz ilość jej zwojów n .
3. Obliczyć wartość indukcji w środku cewki B_S ze wzoru:

$$B_S = \frac{\mu_0 n I}{\sqrt{4R^2 + l^2}} \quad (1)$$

gdzie: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N / A}^2$ – przenikalność magnetyczna próżni, n - liczba zwojów cewki, l - długość cewki, R - promień cewki, I - natężenie prądu płynącego przez cewkę (nie mylić z wartością maksymalną natężenia prądu oznaczoną na cewce).

Wynik obliczeń porównać z wartością eksperymentalną B_p wyznaczoną dla środka cewki.

4. Pomiary i obliczenia wykonane w punktach 1 i 3 powtórzyć dla kilku cewek o różnej geometrii. Wyniki pomiarów i obliczeń teoretycznych B_S zestawić w tabeli.

INFORMACJE DODATKOWE:

1. Na podstawie danych zebranych w programie *Cobra 3* proszę sporządzić wykresy zależności $B = f(z)$ np. w programie MS-EXCEL. Przydatne będzie dodanie linii trendu (wielomianowa o stopniu wielomianu dopasowanym do kształtu wykresu).
2. Jako niepewności pomiarowe (słupki błędów) należy przyjąć: $\Delta z = 1mm$, $\Delta B = \Delta B_p = 0.1mT$.
3. W przypadku obliczeń analitycznych za niepewność pomiarową ΔB_S przyjąć:

$$\Delta B_S = \frac{\mu_0 n}{\sqrt{4R^2 + l^2}} \left[\Delta l + \frac{I \cdot l}{4R^2 + l^2} \Delta l \right],$$

gdzie: $\Delta l = 1mm$, $\Delta I = 2\%rdg + 5dgt^*$.

4. Porównując wartości B_S oraz B_p odczytaną z wykresu (dla połowy długości cewki) należy skorzystać z relacji:
 $|B_p - B_S| \leq \Delta B_p + \Delta B_S$; gdy powyższa relacja jest spełniona to otrzymane wyniki są zgodne.

*Ze względu na to, że pomiary natężenia prądu dokonane były miernikiem cyfrowym, niepewności pomiarowe odczytu natężenia prądu obliczamy zgodnie ze wzorem podanym w instrukcji miernika, tzn.:
 $\Delta I = 2\%rdg + 5dgt$, gdzie *rdg* oznacza wartość odczytu natomiast *dgt* to jednostka ostatniego pola odczytu;
np. gdy wskazanie miernika wynosi $I = 0.79A$ to $\Delta I = 2 \cdot 0.01 \cdot 0.79A + 5 \cdot 0.01A \approx 0.066A$.