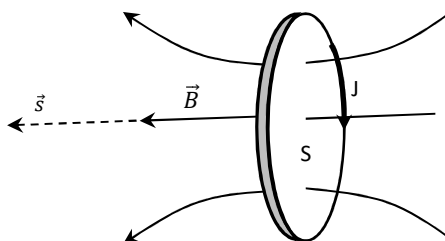


Moment magnetyczny w polu magnetycznym

Uwaga! Jest to tylko zarys teorii wymaganej w celu przeprowadzenia ćwiczenia.

Materiał teoretyczny można odnaleźć w przytoczonej bibliografii.

Przewodnik tworzący zamknięty obwód, w którym płynie prąd elektryczny o natężeniu J , jest źródłem pola magnetycznego o indukcji \vec{B} . Zwrot wektora \vec{B} zależy od kierunku przepływu prądu w obwodzie.



Rys.1. Kształt i zwrot linii indukcji pola magnetycznego
wytworzonego przez zamknięty obwód z prądem

Do scharakteryzowania pola magnetycznego, którego źródłem jest zamknięty obwód powszechnie stosuje się parametr nazywany momentem magnetycznym $\vec{\mu}$ obwodu. Moment magnetyczny takiego obwodu definiuje się jako iloczyn natężenia I prądu płynącego w tym obwodzie i pola powierzchni S , które jest reprezentowane przez wektor \vec{s} , normalny do tej powierzchni:

$$\vec{\mu} = I\vec{s} \quad (1)$$

Dla pojedynczego zwoju obwodu w kształcie okręgu o promieniu R , wartość momentu magnetycznego można obliczyć na podstawie wzoru (1):

$$\mu = I \cdot \pi R^2 = \frac{\pi}{4} I d^2, \quad (2)$$

gdzie d oznacza średnicę okręgu. W przypadku, w którym pętla przewodnika składa się z kilku (n) zwojów wzór (2) przyjmuje postać:

$$\mu = n \cdot I \cdot \pi R^2 = n \cdot \frac{\pi}{4} I d^2 \quad (3)$$

Jeżeli zamknięty obwód z płynącym prądem elektrycznym zostanie umieszczony w zewnętrznym jednorodnym polu magnetycznym o indukcji \vec{B} , to na ten obwód będzie działać moment \vec{M} siły skręcającej zdefiniowany w następujący sposób:

$$\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B}, \quad (4)$$

gdzie symbol „ \times ” oznacza iloczyn wektorowy. Na podstawie własności iloczynu wektorowego wartość momentu siły można obliczyć z zależności:

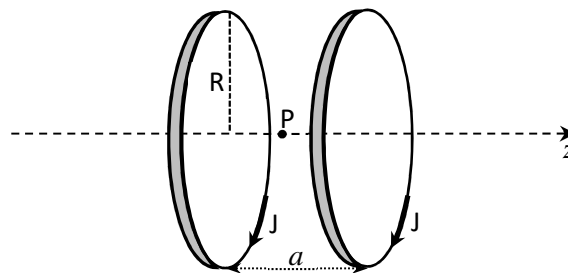
$$M = \mu \cdot B \cdot \sin\alpha, \quad (5)$$

gdzie α jest kątem zawartym między wektorami $\vec{\mu}$ i \vec{B} .

Wartość momentu siły można wyrazić także przez natężenie J prądu płynącego w obwodzie, który umieszczony jest w jednorodnym polu magnetycznym o wartości indukcji równej B . Łącząc wzory (3) i (5) otrzymuje się wyrażenie:

$$M(I) = \frac{n\pi B d^2}{4} I \quad \text{dla } \alpha = 90^\circ \rightarrow \sin\alpha = 1 \quad (6)$$

Źródłem zewnętrznego jednorodnego pola magnetycznego w doświadczeniu jest układ cewek Helmholtza (Rys.2).

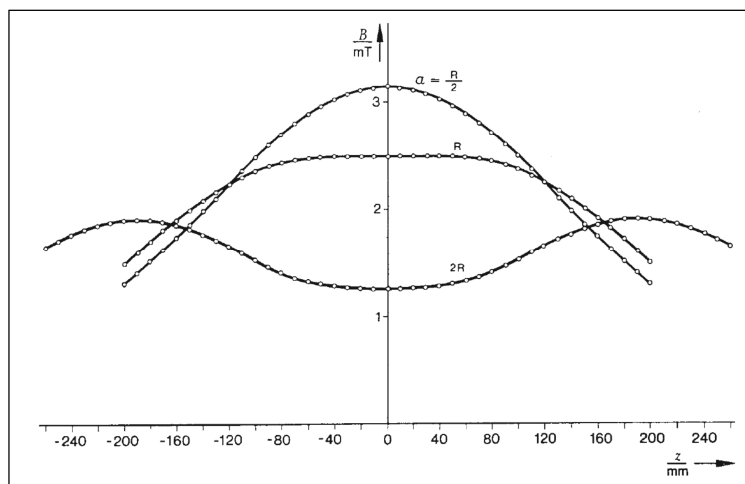


Rys.2. Układ cewek Helmholtza

Na podstawie prawa Biota-Savarta można otrzymać wzór do obliczenia wartości indukcji pola magnetycznego na osi z cewek Helmholtza, w szczególności dla punktu P położonego w odległości $a/2$ od płaszczyzny każdej z cewek:

$$B_z = \frac{\mu_0 n I R^2}{2} \left\{ \left[R^2 + \left(z - \frac{a}{2} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} + \left[R^2 + \left(z + \frac{a}{2} \right)^2 \right]^{-\frac{3}{2}} \right\} \quad (7)$$

W powyższym wzorze μ_0 oznacza przenikalnością magnetyczną próżni, n - liczbę zwojów w układzie cewek, I - natężenie płynącego prądu, R - promień cewek oraz a oznacza odległość między cewkami. Do obliczeń wygodnie jest przyjąć, że współrzędna z dla punktu P $z = 0$. Wyniki obliczeń dowodzą, że najbardziej jednorodne pole między cewkami Helmholtza występuje dla przypadku, gdy $a = R$ (rys.3.).



Rys.2. Wykresy zależności indukcji pola magnetycznego B na osi z między cewkami Helmholtza, od odległości, dla trzech wartości parametru a .

Dla $a = R$ oraz $z = 0$ wzór (7) można przekształcić do prostszej postaci:

$$B_z = 0,7155\mu_0 \frac{nI}{R} \quad (8)$$

Wymagane wiadomości teoretyczne

1. Źródła pola magnetycznego. Natężenie (H) i indukcja pola magnetycznego (B) - jednostki. Przenikalność magnetyczna. Jednorodne pole magnetyczne.
2. Siła działająca na ładunek elektryczny poruszający się w jednorodnym polu magnetycznym.
3. Siła działająca na przewodnik z prądem umieszczony w jednorodnym polu magnetycznym. Para sił działających na prostokątną ramkę z prądem umieszczoną w jednorodnym polu magnetycznym.
4. Moment siły. Moment magnetyczny (jednostki). Moment magnetyczny obwodu w kształcie okręgu, w którym płynie prąd o natężeniu I .
5. Obliczenie momentu siły działającej na obwód z prądem w kształcie okręgu umieszczony w jednorodnym polu magnetycznym.
6. Budowa układu do badania sił działających na obwód z prądem umieszczony w jednorodnym polu magnetycznym pomiędzy cewkami Helmholtza.
7. Spin i moment magnetyczny jąder atomowych – przykłady paramagnetycznych jąder atomowych.
8. Zjawisko jądrowego rezonansu magnetycznego i jego zastosowanie w diagnostyce obrazowej (tomografia jądrowego rezonansu magnetycznego) i w badaniach spektroskopowych w chemii, biologii i medycynie.

Literatura

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker: „Podstawy fizyki”, t. 3, PWN, Warszawa 2015.
2. Cz. Bobrowski: „Fizyka – krótki kurs”, WNT 2012.
3. S. Mięksisz, A. Hendrich, „Wybrane zagadnienia z biofizyki”, Volumes, Wrocław 1998.
4. A.Z. Hrynkiewicz, E. Rokita, „Fizyczne metody badań w biologii, medycynie i ochronie środowiska”, PWN, Warszawa 2013.
5. A.Z. Hrynkiewicz, E. Rokita, „Fizyczne metody diagnostyki medycznej i terapii”, PWN, Warszawa 2000.