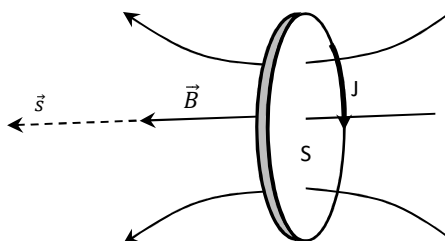


## Moment magnetyczny w polu magnetycznym

**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  $I$ , 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:

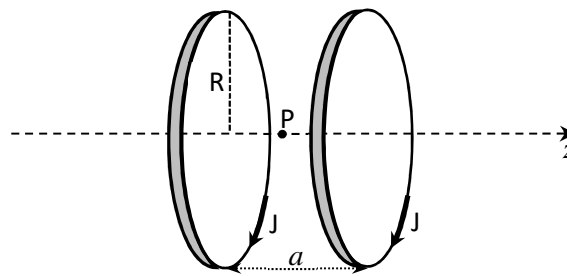
$$M = \mu \cdot B \cdot \sin\alpha, \quad (5)$$

gdzie  $\alpha$  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).

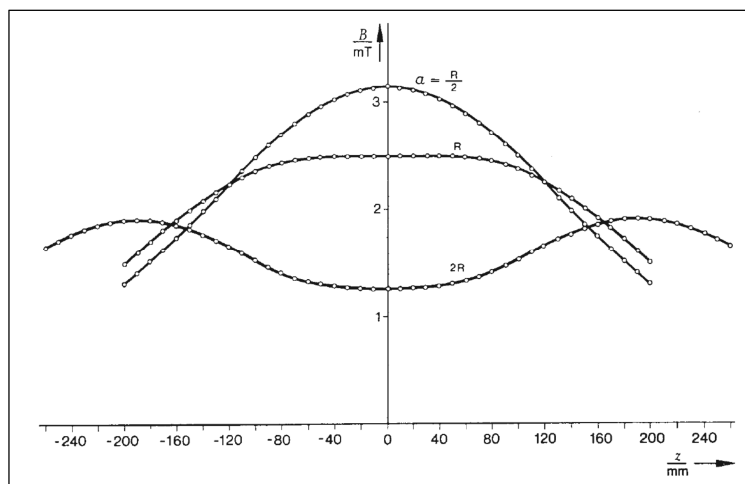


Rys.2. Układ cewek Helmholtza

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  $\mu_0$  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.