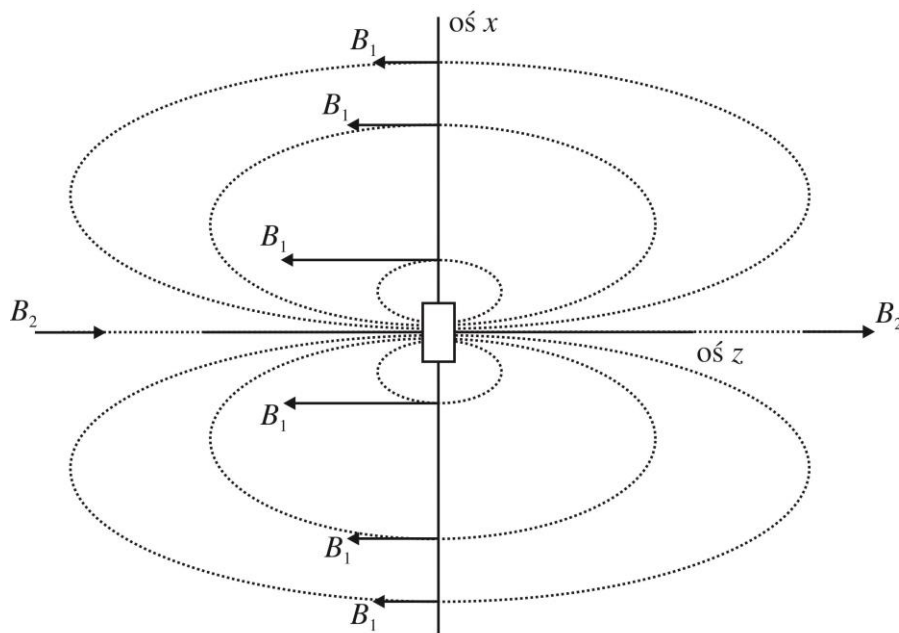


LXIII Olimpiada Fizyczna (2013/2014), stopień II, zad. doświadczalne
Wyznaczanie stosunków momentów magnetycznych magnesów neodymowych

Masz do dyspozycji:

- kartkę papieru milimetrowego,
- trzy walcowe magnesy.

W dostatecznie dużej odległości od magnesu pole magnetyczne każdego z tych magnesów możemy traktować jako pole dipola magnetycznego. Ma ono symetrię obrotową względem osi walca z, wektory indukcji pola magnetycznego mają zaś kierunki przedstawione na rysunku.



Wartość indukcji w punktach leżących na osi x wynosi

$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{r^3},$$

a w punktach leżących na osi z wynosi

$$B_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2m}{r^3},$$

gdzie m to moment magnetyczny magnesu. Dwa z trzech magnesów są identyczne i mają moment magnetyczny m_a , a trzeci ma moment magnetyczny m_b . Wyznacz wartość ilorazu m_a/m_b .

Uwaga 1: Energia potencjalna dipola magnetycznego o momencie magnetycznym \vec{m} znajdującego się w polu magnetycznym o indukcji \vec{B} jest dana wzorem $E_p = -\vec{m} \cdot \vec{B}$.

Uwaga 2: Zachowaj ostrożność przy przemieszczaniu magnesów, gdyż siła wzajemnego przyciągania magnesów jest bardzo duża i są one kruche. Upewnij się, że własności magnetyczne stołu, na którym wykonujesz doświadczenie, nie zakłóca doświadczenia.

Część teoretyczna

Energia potencjalna wzajemnego oddziaływania dwóch magnesów o momentach magnetycznych \vec{m}_a i \vec{m}_b leżących od siebie w odległości d dana jest następującym wzorem:

$$E_p = -\frac{\mu_0 \vec{m}_1 \cdot \vec{m}_2}{4\pi d^3} \quad (1)$$

Zauważmy, że dla $\vec{m}_a \cdot \vec{m}_b > 0$ energia potencjalna rośnie wraz ze zbliżaniem magnesów (czyli z malejącym d), podczas gdy dla $\vec{m}_a \cdot \vec{m}_b < 0$ zmniejszanie d wiąże się ze spadkiem energii potencjalnej E_p . Zatem wzór (1) wyraża dobrze znany fakt odpychania (przyciągania) się magnesów o tym samym (przeciwnym) zwrocie wektorów momentu magnetycznego.

Fakt odpychania się magnesów można wykorzystać do wyznaczenia szukanego stosunku momentów magnetycznych. Jeżeli dwa magnesy o jednakowych zwrotach wektorów ich momentów magnetycznych zbliżymy na odległość d , a następnie puścimy jeden z nich, to odepchną się one na odległość D . Różnica energii potencjalnych wzajemnego oddziaływania magnesów w punkcie początkowym i końcowym równa jest pracy wykonywanej przeciw siłom tarcia o papier przy przesuwaniu się magnesów:

$$E_p(d) - E_p(D) = (D - d)fQ, \quad (2)$$

gdzie Q to ciężar ruchomego magnesu, a f to współczynnik tarcia tego magnesu o podłoże. Wzór (2) można przekształcić do następującej postaci:

$$\frac{\mu_0 m_i m_j}{4\pi} \cdot R_{ij} = fQ, \quad R_{ij} = \frac{D^2 + Dd + d^2}{D^3 d^3}. \quad (3)$$

Jeśli wykonamy powyższy eksperyment dla pary magnesów identycznych ($i = a, j = a$) i pary magnesów różnych ($i = a, j = b$) – przy czym za każdym razem magnes ruchomy musi być ten sam – to pozwoli nam to wyznaczyć szukany stosunek momentów magnetycznych magnesów:

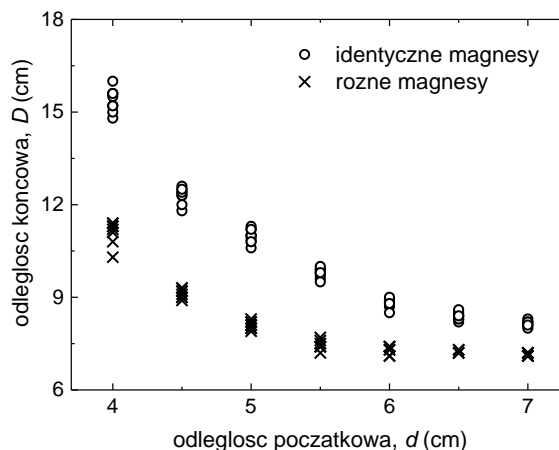
$$\frac{m_a}{m_b} = \frac{R_{ba}}{R_{aa}}. \quad (4)$$

W celu uzyskania lepszej dokładności dobrze jest przeprowadzić ten eksperyment dla różnych odległości początkowych d . Należy zaznaczyć, że choć możliwe jest wyznaczenie stosunku m_a/m_b w eksperymencie z przyciągającymi się magnesami, to jest to metoda zdecydowanie mniej dokładna, gdyż dla danej pary magnesów dostarcza tylko jednej wartości odległości, tzn. minimalnej odległości, z której te magnesy przyciągną się.

Część doświadczalna

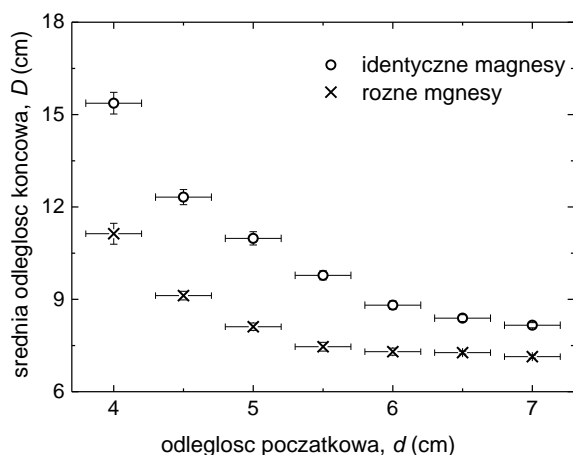
Zgodnie z treścią zadania dwa z trzech magnesów są identyczne. Oznacza to m.in., że mają one identyczny kształt. Można zatem zasadnie przyjąć, że dwa większe magnesy mają moment magnetyczny m_a , natomiast mniejszy magnes – moment magnetyczny m_b .

Jeden z dwóch magnesów o momencie magnetycznym m_a kładziemy na brzegu kartki papieru milimetrowego i przytrzymujemy go ręką, dbając o to, aby podczas całego eksperymentu znajdował się w tym samym miejscu. Drugi z identycznych magnesów kładziemy na papierze w różnej odległości d , puszczaamy i mierzymy odległość D , na jaką został odepchnięty. Dla każdej odległości d wykonano dziesięć pomiarów odległości D . Cały eksperyment powtarzamy, tym razem przytrzymując na brzegu kartki magnes o momencie m_b . Wyniki pomiarów zostały zebrane na Rys. 1. Przy wykonywaniu obu serii pomiarów należy zadbać o to, aby zawsze ten sam magnes był odpychany od pozostałych dwóch, gdyż pozwala to ograniczyć wpływ różnic ciężaru i jakości powierzchni magnesów na wartość siły tarcia. Ponadto – dla małych wartości odległości d – należy zapobiegać odpychaniu przytrzymywanego magnesu. Podczas całego eksperymentu należy unikać dotykania powierzchni papieru milimetrowego oraz okrągłych powierzchni magnesów, aby nie doprowadzić do ich zabrudzenia, co mogłoby wpłynąć na wynik pomiaru.

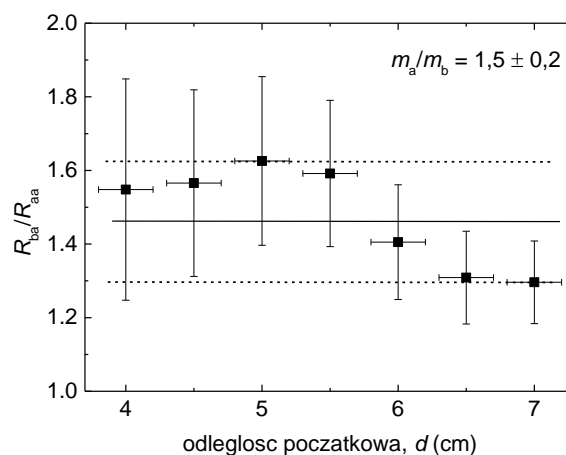


Rys. 1. Wyniki pomiarów.

Uśrednione dane z Rys. 1 przedstawiono na Rys. 2. Następnie, zgodnie ze wzorami (3) i (4),



Rys. 2. Uśrednione wyniki pomiarów.



Rys. 3. Wyznaczenie stosunku momentów magnetycznych.

dla każdej odległości początkowej d wyznaczono wartość $\frac{R_{ba}}{R_{aa}}$, co przedstawia Rys. 3. Ostatecznie na podstawie danych z Rys. 3 wyznaczoną wspólną wartość ilorazu m_a/m_b , która wyniosła $1,5 \pm 0,2$.

Punktacja:

1. Pomysł na metodę pomiaru: 4 pkt
2. Wzór (1) lub równoważny: 2 pkt
3. Wzór (2) lub równoważny: 2 pkt
4. Wzór (4) lub równoważny: 2 pkt
5. Poprawne i staranne zestawienie układu pomiarowego: 2 pkt
6. Wykonanie przynajmniej 4 pomiarów odległości końcowej dla przynajmniej 3 różnych odległości początkowych dla danej pary magnesów: 6 pkt
7. Wyznaczenie wartości m_a/m_b i jej niepewności pomiarowej: 2 pkt