

# XLIV OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP I

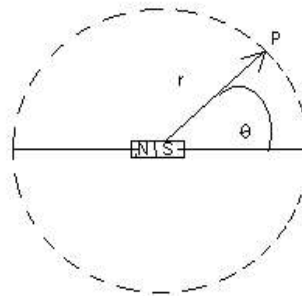
## Zadanie doświadczalne

### ZADANIE D1

Masz do dyspozycji:

- magnez sztabkowy,
- igłę magnetyczną podpartą na ostrzu w taki sposób, aby mogła swobodnie obracać się w poziomie,
- magnez służący do skompensowania składowej poziomej zewnętrznej pola magnetycznego w miejscu, w którym znajduje się igła magnetyczna,
- stoper lub zegarek z sekundnikiem,
- kątomierz.

Wyznacz względną wartość indukcji pola magnetycznego w punktach położonych na okręgu o promieniu  $r$ , którego środek pokrywa się ze środkiem magnesu sztabkowego. Odległość  $r$  jest znacznie większa od rozmiarów magnesu. Przedstaw otrzymane wyniki w zależności od kąta  $\Theta$  zdefiniowanego tak jak na rysunku 14.



RYS.14

Rozstrzygnij, która z poniższych zależności

a).  $\frac{B}{B_0} = \frac{1}{2} \sqrt{\cos^2 \Theta + 3}$

b).  $\frac{B}{B_0} = \frac{1}{2} \sqrt{3 \cos^2 \Theta + 1}$

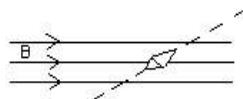
c).  $\frac{B}{B_0} = \frac{1}{2} \sqrt{5 \cos^2 \Theta - 1}$

najlepiej opisuje otrzymane wyniki. Stała  $B_0$  jest wartością indukcji pola magnetycznego dla  $\Theta = 0$ .

Wskazówka:

Na igłę magnetyczną wychyloną z położenia równowagi o mały kąt  $\alpha$  ( rys. 15) działa moment siły przywracający równowagę

$$M = - p_m B \alpha,$$



RYS.15

gdzie  $p_m$  jest stałą zależną od wartości magnetycznych igły ( magnetyczny moment dipolowy ), natomiast  $B$  jest wartością składowej poziomej indukcji zewnętrznego pola magnetycznego, w którym znajduje się igła.

### ROZWIĄZANIE ZADANIA D1

Wartość indukcji magnetycznej  $B$  można wyznaczyć badając częstotliwość drgań ( wahań ) igielki magnetycznej wychylonej z położenia równowagi. Korzystając ze wskazówki można napisać równanie ruchu obrotowego igły magnetycznej:

$$I \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = p_m B \alpha$$

gdzie  $I$  jest momentem bezwładności igielki.  
Stąd

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{p_m B}{I} \alpha = 0$$

Ostatnie równanie opisuje ruch harmoniczny o częstotliwości

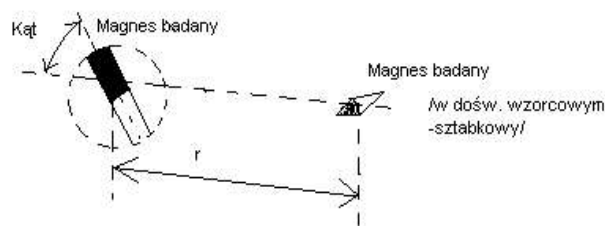
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{p_m B}{I}} = A \sqrt{B}$$

Aby sprawdzić, która z podanych zależności najlepiej opisuje rzeczywistość należy zmierzyć zależność częstotliwości drgań (wahań) igły od kąta  $\Theta$ .

*Część doświadczalna*

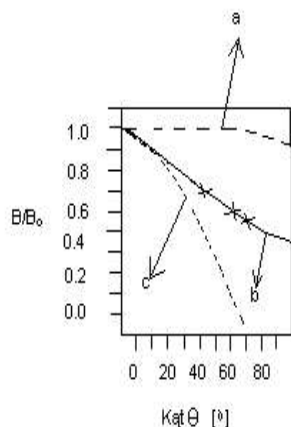
Dokładny pomiar indukcji magnetycznej wymaga wyeliminowania wpływu zewnętrznego pola magnetycznego. W tym celu w nieobecności badanego magnesu ustalamy (za pomocą igielki) kierunek składowej poziomej zewnętrznego pola magnetycznego. Następnie, w pewnej odległości od igielki umieszczamy magnes pomocniczy. Jego położenie względem igielki dobieramy tak, aby przestała ona wykonywać drgania i mogła obracać się swobodnie. Wtedy suma pól magnetycznych (a właściwie ich składowych poziomych) w obszarze igielki zbliży się do zera.

Po takich przygotowaniach w pewnej odległości  $r$  od igielki (rys. 16), ustawiamy badany magnes sztabkowy tak, aby jego oś tworzyła kąt  $\Theta$  z



RYS.16

prostą łączącą go z igielką magnetyczną (rys.16). Następnie mierzymy czas trwania ustalonej liczby wahań igielki. Na tej podstawie wyznaczamy częstotliwość drgań igły. Ponieważ indukcja  $B$  jest proporcjonalna do kwadratu częstotliwości, możemy wykonać wykres zależności  $B/B_0$  od kąta  $\Theta$ . Pomiar należy wykonać przy możliwie dużej odległości magnesów od igielki. Można wtedy zaniedbać rozmiary igielki i magnesów oraz zminimalizować możliwy wpływ magnesu pomocniczego na namagnesowanie magnesu badanego. Z drugiej strony, przy zbyt dużych odległościach igły od magnesu badanego, jego pole może być zbyt słabe, by wywołać obserwowalne różnice w częstotliwościach wahań igielki dla różnych kątów  $\Theta$ . Z symetrii problemu wynika, że dla opisanego zależności  $B/B_0$  w pełnym zakresie kąta  $\Theta$  wystarczy wykonać pomiary dla kątów  $\Theta \in (0, 90^\circ)$ . Wyniki doświadczenia porównujemy z teoretycznymi zależnościami  $B/B_0$  zaproponowanymi w treści zadania (rys.17). Widać, że dokładność



RYS.17

do błędów pomiarowych, punkty doświadczalne układają się na krzywej b ilustrującej zależność

$$\frac{B}{B_0} = \frac{1}{2} \sqrt{3 \cos^2 \Theta + 1}$$

Tak więc zależności teoretyczne a i c (krzywe a, c na ryc.17) można wyeliminować. Wzór c można było odrzucić bez wykonywania pomiarów, gdyż ma on sens fizyczny tylko dla ograniczonego zakresu kąta  $\Theta$ .

W opisanym sposobie pomiarowym znaczący wpływ na wynik ma dokładność skompensowania zewnętrznego pola magnetycznego w obszarze igły. Kolejnym źródłem błędów pomiaru stosunku  $B/B_0$  jest niedokładność pomiaru czasu (w doświadczeniu wzorcowym użyto zegarka z sekundnikiem). Błędami obciążone są również pomiary kąta  $\Theta$  (ryc.16). Można je zmniejszyć np. poprzez użycie kartki papieru, na której zaznacza się położenie magnesu sztabkowego w sposób pozwalający na późniejszy wygodny pomiar kąta  $\Theta$ . Na wyniki pomiaru  $B/B_0$  ma również wpływ dokładność ustawienia tej samej odległości  $r$  dla różnych kątów  $\Theta$ . W sytuacji gdy niedokładność  $\Delta r$  jest znacznie mniejsza od  $r$ , jej wpływ na błąd  $B/B_0$  można pominąć.

Wielkość błędów uzyskanych w wykonanym przez nas doświadczeniu pozwala jednoznacznie wybrać właściwą zależność teoretyczną. Gdyby jednak pomiary obciążone były dużymi błędami, wybór właściwej zależności teoretycznej mógłby być niemożliwy. Należałoby wtedy zastanowić się nad sposobami zmniejszenia błędów pomiarowych lub wyborem innej metody pomiarów.

Źródło:  
Zadanie pochodzi z „Druk z OF”