

LI OLIMPIADA FIZYCZNA (2001/2002). Stopień III, zadanie doświadczalne - D

Źródło:	Komitet Główny Olimpiady Fizycznej; Andrzej Wysmołek, kierownik ds. zadań dośw. – plik; <i>Fizyka w Szkole</i> nr 4, 2002
Nazwa zadania:	Wyznaczanie oporu właściwego nieznanego metalu korzystając z wahadła z magnesem
Działy:	Elektromagnetyzm, mechanika
Słowa kluczowe:	oporność, magnes, prądy wirowe, reguła Lenza, wahadło, drgania, amplituda, tłumienie, siła elektromotoryczna, pole elektromagnetyczne

Zadanie doświadczalne – D, zawody III stopnia, LI OF

Masz do dyspozycji:

- magnes o kształcie walca, z biegunami na jego podstawach,
- plastelinę,
- nitkę,
- statyw,
- linijkę,
- papier milimetry,
- dwie prostokątne płytki metalowe o identycznych wymiarach:
 - a) aluminiową,
 - b) wykonaną z nieznanego metalu.

Przyjmując, że opór właściwy aluminium wynosi $\rho_{Al} = 2,5 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$, wyznacz opór właściwy nieznanego metalu ρ .

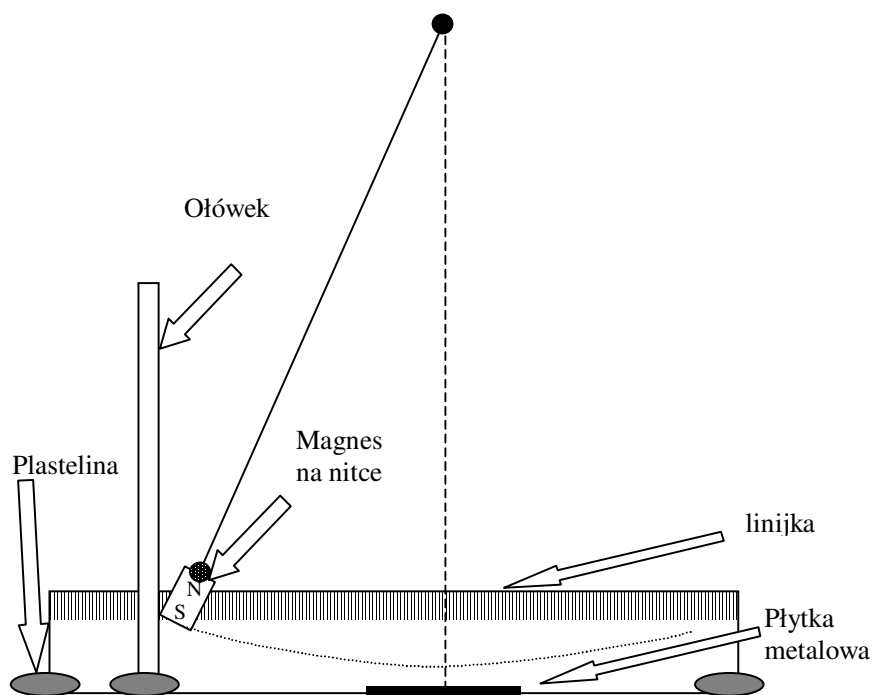
Uwaga!

- 1) Magnes jest bardzo silny. Nie należy go zbliżać do zegarków, kart magnetycznych, itp.
- 2) Rozwiązanie zadania powinno zawierać bezpośrednie wyniki pomiarów oraz ich analizę.

Rozwiązanie**Część teoretyczna**

Nasuwająca się możliwość rozwiązania zadania polega na wykorzystaniu zjawiska indukcji prądów wirowych przez magnes poruszający w pobliżu metalowej płytki. Przepływ prądu powoduje wydzielanie się ciepła, którego ilość zależy od oporności właściwej. Takie rozumowanie jest uzasadnione jeśli nie mamy do czynienia z ferromagnetykiem. Wtedy bowiem, oprócz strat energii spowodowanych prądami wirowymi, występują straty związane z przemagnesowywaniem. O tym, że płytka z nieznanego metalu, podobnie jak płytka aluminiowa, nie przejawia własności ferromagnetycznych można się przekonać powoli i ostrożnie zbliżając do niej magnes.

W celu porównania efektów związanych z prądami wirowymi należy skonstruować układ, w którym można regulować prędkość magnesu. Można to osiągnąć sporządzając z magnesu wahadło (rys. 1). Jeśli pod punktem zawieszenia wahadła umieścimy metalową płytkę, to zauważymy, że jego ruch doznaje dodatkowego tłumienia wynikającego z indukcji prądów wirowych. Zgodnie z regułą Lenza kierunek tych prądów, jest taki, że przeciwdziała zmianom strumienia pola magnetycznego obejmującego płytkę, w efekcie magnes jest hamowany. Kosztem energii wahadła w płytce wydzielano się ciepło.

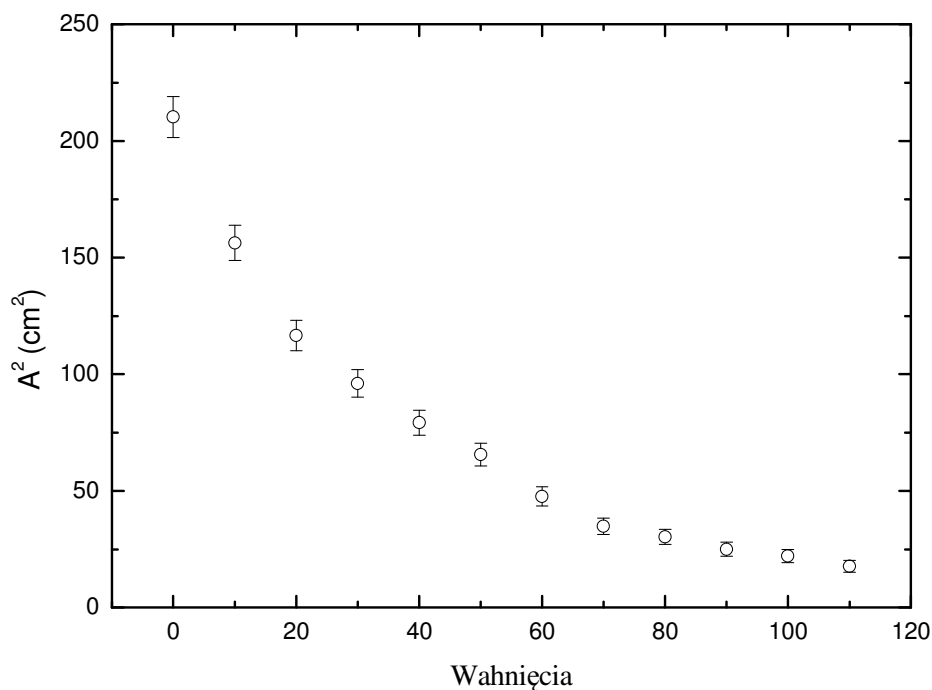


Rys. 1

Ilość ciepła można wyznaczyć korzystając z tego, że kwadrat amplitudy drgań jest wprost proporcjonalny do energii całkowitej wahadła. W przypadku gdy tłumienie jest niewielkie można przyjąć, że ruch wahadła jest zbliżony do ruchu harmonicznego, a częstość drgań odpowiada drganiom nietłumionym. Rozważmy siłę elektromotoryczną indukowaną w pewnym obszarze płytki. Zależy ona od szybkości zmian strumienia indukcji przez powierzchnię tego obszaru. Przy niewielkich tłumieniach, można przyjąć, że chwilowa prędkość ruchu magnesu, dla danego kąta odchylenia, będzie określona jedynie przez amplitudę drgań. Zatem umieszczając w tym samym miejscu pod wahadłem płytki metalowe o identycznych rozmiarach, można się spodziewać, że rozkład przestrzenny indukowanych w nich sił elektromotorycznych będzie również identyczny. To co różni oba układy, to natężenia generowanych prądów, które są odwrotnie proporcjonalne do oporności właściwej. Ponieważ wydzielana moc jest proporcjonalna do iloczynu siły elektromotorycznej i prądu, to straty energii powinny być również odwrotnie proporcjonalne do oporności właściwej. Żeby wyznaczyć stosunek oporności właściwych metali, z których wykonane są płytki, należy np. porównać liczbę drgań przypadającą na taką samą stratę energii wahadła, między dwiema ustalonymi wartościami amplitudy.

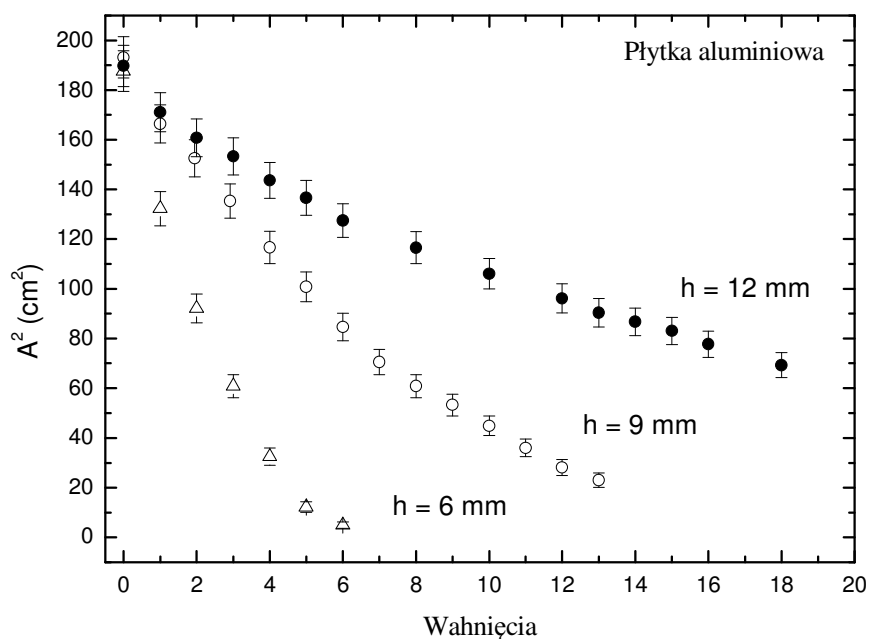
Część doświadczalna

Używając plasteliny należało zamocować magnes tak aby jego bieguny układały wzdłuż nitki (rys. 1). Przy takim ustawieniu magnesu można się spodziewać maksymalnych wartości prądów indukowanych w płytkach. Wysokość zamocowania wahadła należy wyregulować tak, aby okres drgań był możliwie długi. W przypadku dostępnych na zawodach statywów o wysokości ok. 50 cm, nie można było uzyskać okresu drgań dłuższego niż 1,4 s. Z tego powodu bezpośredni pomiar kolejnych wychyleń wahadła był niewygodny i lepiej było wykonać doświadczenie notując wartości amplitudy jaką wahadło osiągało po określonej liczbie drgań, dla takich samych wychyleń początkowych magnesu. Wychylenie początkowe można ustalić np. za pomocą ołówka przymocowanego pionowo do stołu przy użyciu plasteliny (rys. 1).



Rys. 2.

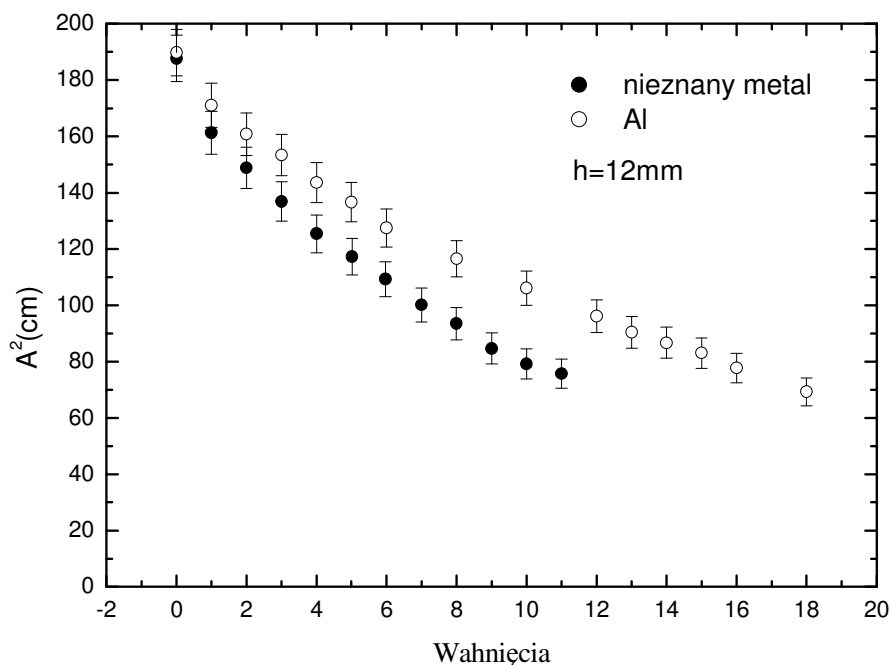
Zmierzone amplitudy kolejnych drgań wahadła, bez umieszczonych pod nim metalowych płytek przedstawiono na rys. 2. Otrzymany wynik pokazuje, że w tym przypadku mamy rzeczywiście do czynienia z wahadłem słabo tłumionym.



Rys. 3

Po umieszczeniu pod wahadłem metalowych płytek doznaje ono dodatkowego, znacznie silniejszego tłumienia, które silnie zależy od minimalnej odległości h pomiędzy płytką i magnesem (rys. 3). Dalsze pomiary wykonujemy dobierając wysokość punktu zawieszenia w ten spo-

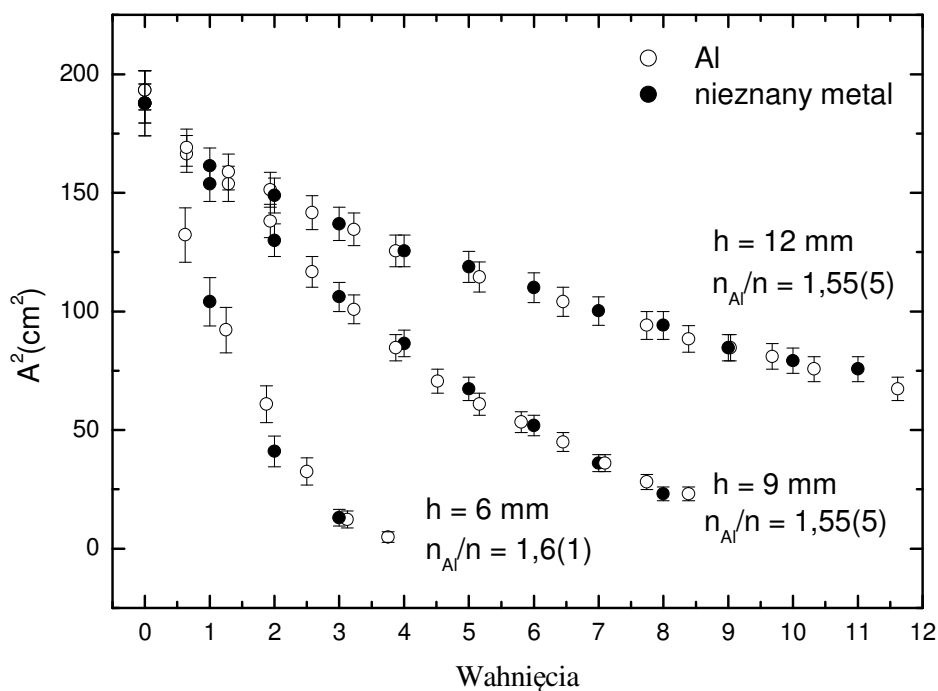
sób, aby uzyskać warunki słabego tłumienia dla obu płytek. Płytki należy umieszczać w tym samym miejscu pod wahadłem. Należy zadbać o to aby podczas drgań magnes poruszał się nad środkową częścią płytek (tzn. żeby nie „uciekał” znad płytki). Dostępne dla przewodników płytki miały wymiary 5 cm x 2 cm x 3 mm. Przykładowe wyniki pomiarów wykonanych dla płytki aluminiowej i płytki z nieznanego metalu umieszczonych tak, że dłuższy ich boki były ustawione prostopadle do płaszczyzny drgań wahadła przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4

Stosunek liczby wahań prowadzących do utraty tej samej porcji energii (mierzonej między takimi samymi amplitudami początkowymi i końcowymi) wyznacza stosunek oporności właściwej aluminium ρ_{Al} do oporności nieznanego metalu ρ . Jeśli warunki eksperymentu dobrane są tak, że starty energii wahadła wynikające z mechanicznych oporów ruchu są znacznie mniejsze od start magnetycznych, to stosunek ρ_{Al}/ρ można wyznaczyć skalując liczby wahań tak, aby zależności uzyskane dla obu badanych płytek pokrywały się. Metoda taka daje poprawny wynik zarówno gdy porównujemy straty energii (kwadrat amplitudy), jak również samą amplitudę drgań.

Wyniki pomiarów po przeskalowaniu, dla różnych wysokości zawieszenia magnesu nad płytkami, przedstawiono na rys. 5.



Rys. 2.

W granicach niepewności pomiarowych uzyskano taki sam stosunek $\rho_{\text{Al}}/\rho = 1,55(5)$. Stąd wartość oporności właściwej nieznanego metalu $\rho = 1,6(1) \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$. Odpowiada ona oporności właściwej miedzi $\rho_{\text{Cu}} = (1,5 \div 1,7) \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, która rzeczywiście pełniła w zadaniu rolę nieznanego metalu.

Proponowana punktacja

Część teoretyczna

1. Pomysł wykorzystania zjawisk indukowania prądów wirowych (zależność indukowanej siły elektromotorycznej od prędkości zmian pola elektromagnetycznego oraz geometrii układu, zależność strat mocy od oporności właściwej metalu) do 3 pkt.
2. Pomysł zbudowania wahadła (zastosowanie modelu wahadła słabo tłumionego, równość częstości, małe zmiany amplitudy, przybliżenie ruchu harmonicznego) do 4 pkt.
3. Skalowanie strat energii dla drgań o tej samej amplitudzie do 3 pkt.

Część doświadczalna

4. Wykonanie pomiarów amplitudy drgań dla wahadła „nietłumionego” do 1 pkt.
5. Wykonanie pomiarów amplitudy drgań dla wahadła z płytkami metalowymi (dobór tłumienia, ułożenie płytek względem wahadła) do 5 pkt.
6. Wykonanie wykresów, skalowanie do 3 pkt.
7. Poprawny wynik, oszacowanie niepewności pomiarowych do 3 pkt.