

Ćwiczenie Nr 217

Temat: Pomiar prędkości dźwięku i modułu Younga w ciałach stałych.

I. Literatura:

1. F. C. Crawford, Fale. PWN, W-wa, 1972
2. Sz. Szczeniowski, Fizyka dośw., cz.I, PWN, W-wa, rozdz. XV i XVI,
3. R. Resnick, D. Halliday, Fizyka, t. I, PWN, W-wa, rozdz. 19 i 20,
4. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice, praca zbiorowa pod red .T.Rewaja.

II. Tematy teoretyczne:

1. Fale mechaniczne i elektromagnetyczne - sposoby propagacji, prędkość rozchodzenia się fali.
2. Interferencja fal, fala biegnąca, fala stojąca, własności sprężyste ciał stałych, prawo Hooke'a.

III. Metoda pomiarowa:

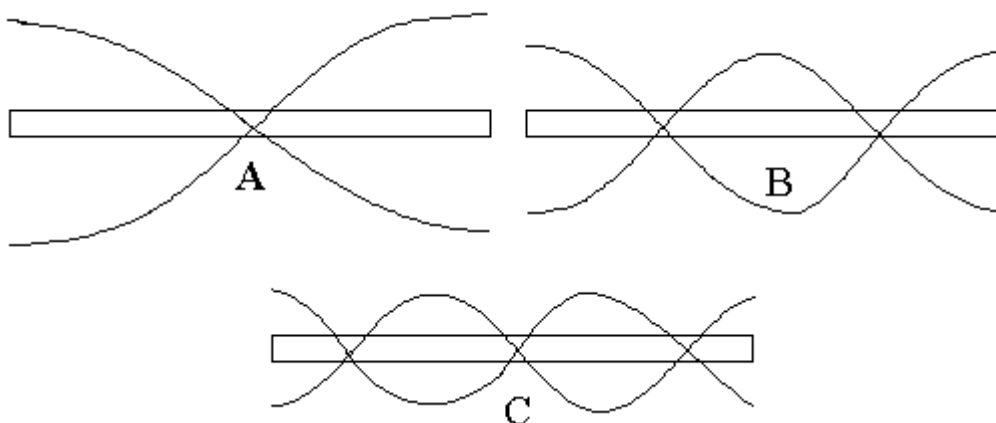
Zamocowany pośrodku pręt pobudzany jest na jednym z końców do drgań (za pomocą elektromagnesu zasilanego prądem przemiennym z generatora m. cz.). Rozchodzące się od tego końca fale (podłużna i poprzeczna) nakładają się na fale odbite od drugiego końca pręta. Przy odpowiednio dobranej częstotliwości pobudzania następuje interferencja fal padających i odbitych i w pręcie powstaje fala stojąca. Zachodzi to wtedy, gdy na końcach pręta powstaje strzałka tj., gdy długość fali spełnia warunek:

$$l = k \cdot \frac{\lambda_k}{2}$$

l - długość pręta;

$k=1,2,3,\dots$ - numer wzmocnienia (fala harmoniczna k -tego rzędu;

λ_k - długość fali odpowiadająca k -temu wzmocnieniu



Rysunek 1. Dla różnych częstotliwości pobudzania pręta otrzymujemy falę typu **A** ($k=1$), albo **B** ($k=2$), albo **C** ($k=3$), itd.

Częstotliwości podstawowej (zwanej też pierwszą harmoniczną) ($k=1$) odpowiada stan, gdy na pręcie mieści się połówka długości fali (rys. 1A).

Ta fala jest najsilniejsza (ma największą amplitudę), ma największą długość ze wszystkich fal harmonicznych i odpowiada najniższej częstotliwości.

Mierząc długość pręta dowiadujemy się (korzystając z powyższego wzoru), jaka długość fali może zostać wytworzona w pręcie:

$$\lambda_k = \frac{2 \cdot l}{k}$$

Między długością fali λ a częstotliwością f zachodzi związek:

$$\lambda = \frac{v}{f},$$

gdzie v oznacza prędkość dźwięku (fali akustycznej) w pręcie. Prędkość ta praktycznie nie zależy od częstotliwości i długości fali (brak dyspersji), a jedynie od rodzaju materiału, z którego wykonano pręt.

Prędkość wyznaczamy z zależności:

$$v = \lambda_k \cdot f_k = \frac{2 \cdot l}{k} \cdot f_k$$

(częstotliwość f_k odczytuje się z podłączonego do generatora częstotliciomierza w momencie, gdy na ekranie oscyloskopu obserwujemy wzmocnienie)

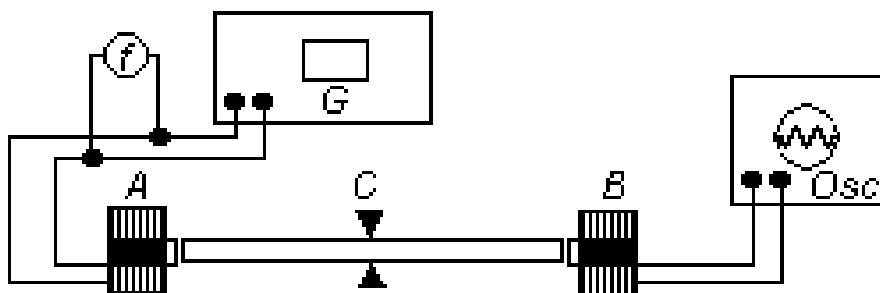
Moduł Younga E wyznaczamy z zależności:

$$E = \rho \cdot v^2$$

gdzie ρ - gęstość materiału pręta (z tabeli)

IV. Zestaw pomiarowy:

Generator drgań akustycznych (G) z wbudowanym częstotliciomierzem (f), łąwa z przesuwanymi cewkami (A i B) i uchwytem (C) do mocowania prętów, oscyloskop (Osc), badane pręty, przmiar metrowy (wypożyczyć w pok. 619),..



Rysunek 2

V. Wykonanie ćwiczenia:

1. Włączyć generator oraz oscyloskop (G, Osc).
2. Zmierzyć długość wybranego pręta, a następnie zamocować go w uchwycie (C).
3. Za pomocą dźwigni i śrub blokujących ustalić jak najmniejsze szczeliny między cewkami A i B oraz prętem (mniej niż 1mm) ale tak, aby końce pręta mogły swobodnie drgać, nie dotykając do pręta. *Uwaga! Proszę nie dociskać cewek do pręta, aby nie uszkodzić cewek.*
4. Zmieniać częstotliwość drgań generatora (od ok. 3kHz w górę) i obserwować sygnał na ekranie oscyloskopu. Do zmiany częstotliwości służy tarcza na generatorze (zgrubne nastawianie częstotliwości) i plastikowe pokrętko (dokładne ustawianie częstotliwości).
5. Po uzyskaniu na oscyloskopie bardzo dużej amplitudy sygnału, zanotować częstotliwość wskazywaną przez częstotliciomierz. Częstotliwość podstawowa ($k=1$) dla badanych prętów musi leżeć w przedziale 3kHz do 6kHz. Częstotliwości odpowiadające parzystym

harmonicznym ($k=2, 4, 6, \dots$), mogą nie dać się zaobserwować ze względu na ich silne tłumienie*.

6. Pomiary opisane w punkcie „4” i „5” powtórzyć dla wszystkich prętów.
7. Gęstości materiałów, z których wykonano pręty odszukać w tabelach (np. Lit.4, Tab. s. 491) przyjmując wartość średnią z podanego przedziału wartości.
8. Wyniki umieścić w tabeli:

Pręt	Długość l [m]	k	f [kHz]	v [m/s]	v_{sr} [m/s]	$u(v_{sr})$ [m/s]	ρ [kg/m³]	E [Pa]	$u(E)$ [Pa]
Miedziany		1					8300- 8950		
		3							
		5							
Mosiężny		1					8200- 8700		
		3							
		5							
Brązowy		1					8780 ±10		
		3							
		5							
Stalowy		1					7600- 7850		
		3							
		5- nie da się zmierzyć							
Aluminium		1					2699 ±10		
		3							
		5- nie da się zmierzyć							

7. Określić niepewności standardowe prędkości $u(v)$ oraz modułu Younga $u(E)$. Jako wartość gęstości przyjąć średnią wartość z tabeli, a jako niepewność $\Delta(\rho)$ dla stali, mosiądzu i miedzi

przyjąć połowę przedziału podanych wartości. Wartości v obliczyć ze wzoru: $v_k = \frac{2 \cdot l}{k} \cdot f_k$

a ich niepewności standardowe ze wzoru:

$$u(v) = v \cdot \sqrt{\left[\frac{u(l)}{l}\right]^2 + \left[\frac{u(f_k)}{f_k}\right]^2};$$

Należy przyjąć (są to niepewności typu B): $u(l) = \frac{\Delta l}{\sqrt{3}}$; $u(f_k) = \frac{\Delta f_k}{\sqrt{3}}$; $u(\rho) = \frac{\Delta \rho}{\sqrt{3}}$;

Obliczyć średnią prędkość jako średnią ważoną z 3 pomiarów według wzoru:

$$v_{sr} = \frac{\sum w_i \cdot v_{sr}}{\sum w_i} = \frac{\frac{v_1}{(u(v_1))^2} + \frac{v_2}{(u(v_2))^2} + \frac{v_3}{(u(v_3))^2}}{\frac{1}{(u(v_1))^2} + \frac{1}{(u(v_2))^2} + \frac{1}{(u(v_3))^2}}$$

a jej niepewność z wzoru:

$$u(\bar{v}_{sr}) = \frac{\sum |w_i \cdot u(v_i)|}{\sum w_i} = \frac{\frac{1}{u(v_1)} + \frac{1}{u(v_2)} + \frac{1}{u(v_3)}}{\frac{1}{(u(v_1))^2} + \frac{1}{(u(v_2))^2} + \frac{1}{(u(v_3))^2}}; \quad w_i = \frac{1}{(u(v_i))^2}$$

Obliczyć moduł Younga ze wzoru:

$$E = \rho \cdot v_{sr}^2$$

i jego niepewność ze wzoru:

$$u(E) = E \cdot \sqrt{\left[\frac{2u(v_{sr})}{v_{sr}} \right]^2 + \left[\frac{u(\rho)}{\rho} \right]^2}$$

* Na środku pręta dla parzystych harmonicznych ($k=2, 4, 6, \dots$) powstaje strzałka. Ponieważ pręt jest w tym miejscu zamocowany „na sztywno”, to drgania są silnie tłumione. Dla harmonicznych nieparzystych ($k=1, 3, 5, \dots$) na środku pręta powstaje węzeł, a skoro nie ma tam drgań, fala nie jest tłumiona i dlatego nieparzyste harmoniczne dają bardzo silny sygnał na oscyloskopie.