

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:

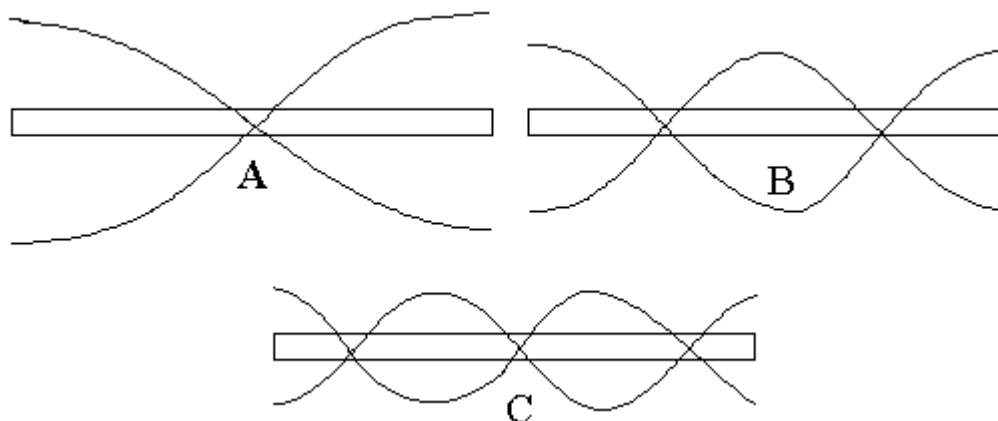
Zamocowany pośrodku pręt pobudzany jest na jednym z końców do drgań (za pomocą elektromagnesu zasilanego prądem przemiennym z generatora m. cz.). Rozchodzące się od tego końca fale (podłużna i poprzeczna) nakładają się na fale odbite od drugiego końca pręta. Przy odpowiednio dobranej częstotliwości pobudzania 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.

* Na środku pręta dla parzystych harmonicznych (np. rys. B) ($k=2, 4, 6,\dots$) 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.

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 harmonicznymi 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)

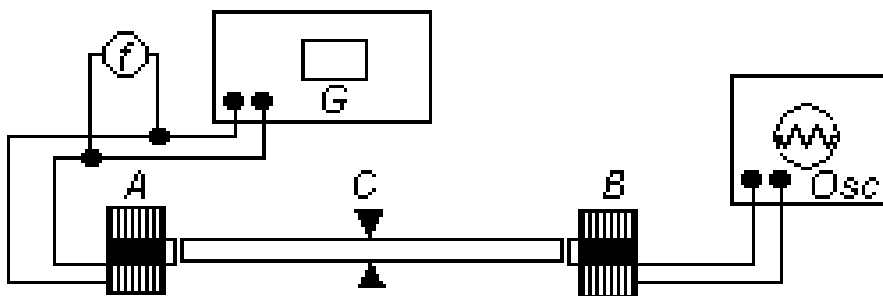
Moduł Younga E wyznaczamy z zależności:

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

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, przymiar metrowy.



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).

- Po uzyskaniu na oscyloskopie bardzo dużej amplitudy sygnału, zanotować częstotliwość wskazywaną przez częstotliwościomierz. Częstotliwość podstawowa ($k=1$) dla badanych prętów musi leżeć w przedziale 3kHz do 6kHz.
- Pomiary opisane w punkcie „4” i „5” powtórzyć dla wszystkich prętów.
- Gęstości materiałów, z których wykonano pręty odszukać w tabelach (np. Lit.4, Tab. s. 491) przyjmując wartość średnią z podanego przedziału wartości.
- 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/m ³]	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							

VI. Opracowanie wyników pomiarów:

- Uzupełnić tabelę: uwaga niepewności standardowe typu B w poniższych równaniach przyjmując

$$\text{jako } u(l) = \frac{\Delta l}{\sqrt{3}}; \quad u(f_k) = \frac{\Delta f_k}{\sqrt{3}}; \quad u(\rho) = \frac{\Delta \rho}{\sqrt{3}};$$

2.

- Wartości v obliczyć ze wzoru: $v_k = \frac{2 \cdot l}{k} \cdot f_k$.
- Obliczyć średnie prędkości v_{sr} dla każdego pręta.
- Dla każdej częstotliwości obliczyć niepewności standardowe prędkości $u(v)$

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

- Dla każdego pręta obliczyć niepewność prędkości średniej wzoru:

$$u(v_{sr}) = \sqrt{[u(v_1)]^2 + [u(v_2)]^2 + [u(v_3)]^2}$$

- Dla miedzi mosiądzu i stali obliczyć gęstość średnią i jej niepewność maksymalną;

$$\rho_{sr} = \frac{\rho_{max} + \rho_{min}}{2}; \quad \Delta \rho_{sr} = \frac{\rho_{max} - \rho_{min}}{2}$$

f) Obliczyć moduły Younga dla poszczególnych prętów ze wzoru:

$$E = \rho_{\dot{s}r} \cdot v_{\dot{s}r}^2$$

Wynik zapisać z mnożnikiem 10^7 . (np. dla żelaza byłoby to $10300 \cdot 10^7$ Pa)

g) Obliczyć niepewności standardowe modułu Younga $u(E)$:

$$u(E) = E \cdot \sqrt{\left[\frac{2u(v_{\dot{s}r})}{v_{\dot{s}r}}\right]^2 + \left[\frac{u(\rho_{\dot{s}r})}{\rho_{\dot{s}r}}\right]^2}$$