

Ćwiczenie Nr 556:

Wyznaczanie prędkości fali ultradźwięków w cieczy metodą optyczną.

I. Literatura;

1. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Cz II praca zbiorowa pod redakcją I. Kruk i J. Typka. Wydawnictwo Uczelniane PS. Szczecin 2007.
2. F.S. Crawford, Fale. PWN Warszawa 1973.
3. Instrukcja obsługi suwmiarki: <http://labor.zut.edu.pl/> w zakładce INSTRUKCJE.

II. Problemy teoretyczne:

Ultradźwięki, prędkość dźwięku, częstotliwość i długość fali, ciśnienie akustyczne, fale stojące, wyznaczenie długości fali ultradźwiękowej w cieczech.

III. Metoda pomiarowa :

Szczególnym przypadkiem fal mechanicznych są fale akustyczne. Gdy ich częstotliwość przekracza granicę słyszalności (20 kHz) nazywamy je ultradźwiękami. Fala akustyczna jest falą podłużną, jej rozchodzeniu towarzyszą odkształcenia objętości i powiązane z nimi zmiany ciśnienia ośrodka. Można przyjąć, że ciśnienie w ośrodku jest równe sumie stałej wartości ciśnienia ośrodka, oraz dodatkowego ciśnienia Δp wywołanego jego odkształceniem. To dodatkowe ciśnienie nazywamy ciśnieniem akustycznym. Jest ono równe iloczynowi prędkości drgań jego cząsteczek dx/dt , gęstości ρ oraz prędkości fazowej v_f :

$$\Delta p = \rho \cdot v_f \cdot \frac{dx}{dt}$$

Podstawiając za x równanie fali stojącej otrzymujemy :

$$\Delta p = 2A \cdot \rho \cdot v_f \cdot \omega \cdot \cos(kz) \cdot \cos(\omega t)$$

W przypadku fali stojącej opisanej powyższym równaniem, maksymalne zmiany ciśnienia akustycznego Δp występują w strzałkach, natomiast w węzłach ciśnienie akustyczne nie zmienia się i jest równe zero. Z ciśnieniem związany jest współczynnik załamania światła n . Zmiany współczynnika Δn można traktować jako proporcjonalne do Δp . Wynika stąd wniosek, że współczynnik załamania światła najbardziej zmienia się w strzałkach, w węzłach natomiast pozostaje stały w czasie. Jeśli zatem

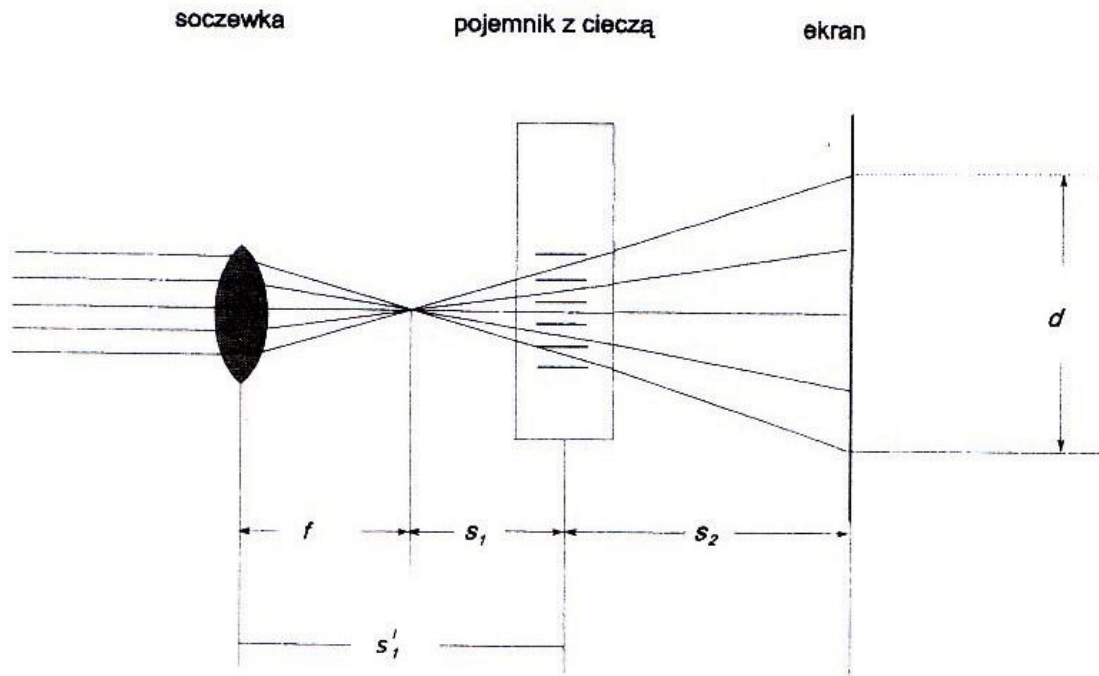
oświetlimy ciecz rozbieżną wiązką laserową, w której wytworzono falę stojącą, w strzałkach jest ona silnie załamywana dwukrotnie w czasie jednego okresu drgań, a przez węzły przechodzi cały czas bez zmiany kierunku. Można zatem traktować strzałki jak ciemne przegrody, a węzły jak szczeliny. Powyższy fakt stanowi podstawę metody doświadczalnej, dzięki której możemy wyznaczyć długość fali ultradźwiękowej i na podstawie równania obliczyć jej prędkość.



Rys. 1. Zestaw do pomiaru prędkości ultradźwięków metodą optyczną.

Na rys. 1 pokazano zestaw pomiarowy, w jego skład wchodzi : laser, soczewka skupiająca, naczynie na ciecz, ekran i generator ultradźwięków. W ćwiczeniu zastosowano generator z wbudowanym częstotściomierzem.

Rys. 2. Schemat biegu promieni laserowych.



Wiązka światła laserowego przechodzi przez soczewkę i staje się wiązką rozbieżną. Następnie przechodzi przez naczynie z badaną cieczą, w którym wytworzono falę stojącą za pomocą generatora ultradźwięków, jak to pokazano na rys. 2. „Obraz” fali stojącej możemy obserwować na ekranie. Jasne prążki są tworzone przez promienie przechodzące przez węzły fali stojącej. Mierząc odległość między prążkami, możemy wyznaczyć długość fali. Niech N oznacza ilość prążków, która znajduje się między prążkami, dla których wyznaczamy odległość d (czyli, że jeśli mierzymy odległość między sąsiadującymi ze sobą prążkami to N jest równe 0).

Z rys. 2 i twierdzenia o trójkątach podobnych wynika, że :

$$\frac{d}{s_1 + s_2} = \frac{(N + 1) \frac{\lambda}{2}}{s_1}$$

a stąd:

$$\lambda = \frac{2d}{N + 1} \cdot \frac{s_1}{s_1 + s_2}$$

gdzie s_1 i s_2 to odpowiednie odległości oznaczone na rys. 2. Prędkość dźwięku wyznaczamy z równania :

$$v_f = \lambda \cdot f,$$

gdzie f to częstotliwość fal ultradźwiękowych.

IV. Wykonanie ćwiczenia :

1. Zestawić układ pomiarowy, tak jak pokazane jest to na rysunku 1.
2. Naczynie wypełnić cieczą (woda destylowana) do około 4/5 wysokości.
3. Zamontować głowicę ultradźwiękową na statywie aby była zanurzona w cieczy na głębokość kilku milimetrów. Powierzchnia czołowa głowicy powinna być równoległa do naczynia i starannie ustawiona.
4. Usunąć pęcherzyki powietrza ze ścianek przedniej i tylnej oraz z głowicy.
5. Włączyć generator ultradźwięków i laser, ustawić na generatorze amplitudę na wartość maksymalną. Promień lasera musi przechodzić przez ciecz pomiędzy głowicą a dnem naczynia (najlepiej dokładnie pośrodku głowicy).
6. Pokrętle na generatorze (frequency) ustawić częstotliwość ultradźwięków na około 800 kHz.
7. Regulując odległość głowicy od dna naczynia i w niewielkim stopniu zmieniając częstotliwość należy „wyostrzyć” obraz na ekranie, aby uzyskać wyraźny obraz prążków. Można też dobrać częstotliwość tak, aby prążki były wyraźnie widoczne.
8. Zmierzyć trzykrotnie odległość między skrajnymi prążkami i zapisać otrzymaną wartość d w tabelce.
9. Zmierzyć odległości s_1 i s_2 (patrz rys.2). Odległość s_2 obliczyć z wzoru $s_2 = s_1^2 - f$ (f – ogniskowa soczewki = 20 mm).
10. Z równań :

$$\lambda = \frac{2d}{N+1} \cdot \frac{s_1}{s_1 + s_2} \quad \text{oraz} \quad v_f = \lambda \cdot f$$

Obliczyć v_f oraz λ .

11. Przesunąć naczynie z cieczą wraz ze stojakiem o 5-10 centymetrów w kierunku ekranu i powtórzyć jeszcze co najmniej dwa razy czynności i pomiary opisane w punktach 3-10.
12. Wyłączyć laser i generator i zastąpić kuwetę z wodą naczyniem z drugą cieczą badaną (gliceryna lub 92% \pm 2% roztwór alkoholu etylowego).
13. Powtórzyć wszystkie czynności i pomiary opisane w punktach 3-11.
14. Wyniki pomiarów i obliczeń umieścić w tabeli:

Ciecz	f [kHz]	d [mm]	d_{sr} [mm]	u(d) [mm]	N	s_1 [cm]	s'_2 [cm]	s_2 [mm]	λ [mm]	v [m/s]	$u(v)$ [m/s]	

$\Delta d = \dots\dots\dots$, $\Delta s_1 = \dots\dots\dots$, $\Delta s_2 = \dots\dots\dots$, $\Delta f = \dots\dots\dots$

Jako niepewność maksymalną częstotliwości generatora przyjąć najmniejszą wartość ostatniej wyświetlanej cyfry.

V. Ocena niepewności pomiarowych :

1. Obliczyć niepewność standardową długości fali korzystając z zależności:

$$\begin{aligned}u(\lambda) &= \sqrt{\left(\frac{\partial \lambda}{\partial d}\right)^2 \cdot [u_A^2(d) + u_B^2(d)] + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial s_1}\right)^2 \cdot u_B^2(s_1) + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial s_2}\right)^2 \cdot u_B^2(s_2)} = \\ &= \lambda \cdot \sqrt{\frac{u_A^2(d) + u_B^2(d)}{d^2} + \frac{1}{(s_1 + s_2)^2} \cdot \left[\left(\frac{s_2}{s_1}\right)^2 \cdot u_B^2(s_1) + u_B^2(s_2)\right]}\end{aligned}$$

Niepewność typu A należy policzyć ze wzoru:

$$u(d) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (\bar{d} - d_i)^2}{3 \cdot 2}} \quad (\text{dla 3 pomiarów odległości } d),$$

a niepewności typu B zamieniając niepewności maksymalne Δs_1 i Δs_2 oraz Δf na niepewności standardowe według wzoru $u_B(s) = \frac{\Delta s}{\sqrt{3}}$.

2. Obliczyć niepewność standardową prędkości fali ultradźwiękowej:

$$u(v) = \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial f}\right)^2 \cdot u_B^2(f) + \left(\frac{\partial v}{\partial \lambda}\right)^2 \cdot u^2(\lambda)} = v \cdot \sqrt{\frac{u_B^2(f)}{f^2} + \frac{u^2(\lambda)}{\lambda^2}}$$