

Wyznaczanie prędkości dźwięku

OPRACOWANIE

Jak można wyznaczyć prędkość dźwięku?

Wyznaczanie prędkości dźwięku – metody doświadczalne.

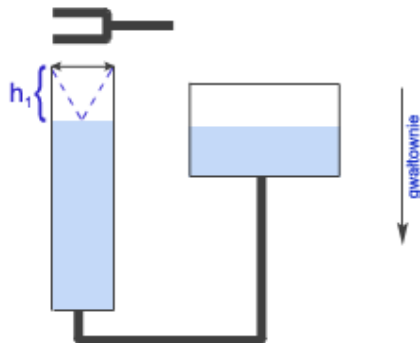
Prędkość dźwięku w powietrzu wynosi około 330 m/s. Dokładniejsze jej określenie nie jest celowe, ponieważ prędkość dźwięku zależy od temperatury gazu i średniej masy cząsteczkowej gazu. Zmiany temperatury i wilgotności powietrza mogą więc powodować różnice prędkości dźwięku. Zmiany te nie przekraczają zwykle kilkunastu metrów na sekundę. Są jednak wystarczające na to, by na granicy warstw powietrza o różnej temperaturze i wilgotności mogły występować dość silne odbicia fal dźwiękowych. Odbicia dźwięku od chmur są na przykład przyczyną grzmotu - pogłosu towarzyszącego wyładowaniom atmosferycznym.

Proste laboratoryjne metody wyznaczania prędkości dźwięku w gazach i ciałach stałych oparte są na pomiarach długości i częstotliwości fal stojących, powstających w słupach gazu i prętach.

1.

METODA QUINCKEGO - wyznaczenie prędkości dźwięku przy pomocy naczyń Quinckego

I etap

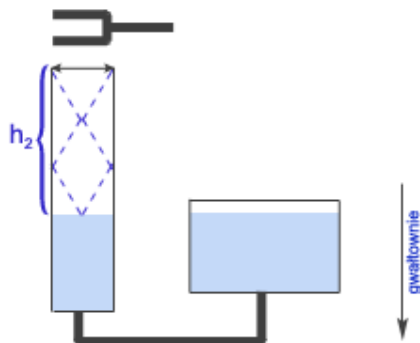


Naczynia Quinckego napełniamy wodą. Kamerton umieszczamy tuż nad krawędzią cienkiej rury i pobudzamy go do drgań. W tym samym czasie, gdy przystawiamy kamerton do dłuższej rury, gwałtownie opuszczamy grubsze naczynie w dół. Następują wówczas zmiany poziomu wody w naczyniach, tzn. w naczyniu wyższym poziom wody opada, a w grubszym wzrasta.

Po kilku sekundach na pewnym poziomie wody w dłuższej rurze można usłyszeć zwiększenie natężenia dźwięku. Wtedy następuje rezonans.

W momencie, gdy nastąpi rezonans, należy zaznaczyć wysokość słupa powietrza, przy której on nastąpił.

II etap



Drugi etap przebiega podobnie do pierwszego. Opuszczamy gwałtownie szerokie naczynie, ale jeszcze niżej niż w pierwszym przypadku. Gdy nastąpi ponowny wzrost natężenia dźwięku, czyli drugi rezonans, zaznaczamy wysokość słupa powietrza, przy której ów rezonans nastąpił.

III etap - zestawienie wyników

Korzystając z rysunków odczytujemy, że:

$$h_2 - h_1 = \frac{1}{2} \lambda$$

$$\lambda = 2(h_2 - h_1)$$

Do wzoru na prędkość fali podstawiamy powyższą równość i uzyskujemy prędkość dźwięku:

$$v = h \cdot f$$

$$v = 2(h_2 - h_1) f$$

2.

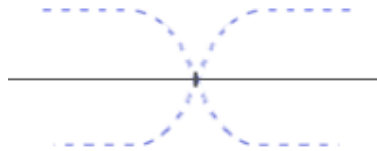
METODA KUNDTA - wyznaczanie prędkości dźwięku przy pomocy rury Kundta

Rura Kundta jest to szklana rura o długości około jednego metra.



Z jednej strony wkładamy do rury pręt z materiału, w którym chcemy wyznaczyć prędkość dźwięku. Pręt umocowany jest dokładnie w środku swojej długości. Z drugiej strony zatykamy rurę tłoczkiem.

Pocieramy pręt szmatką zwilżoną denaturatem, aby wytworzyć w nim falę dźwiękową. W przecie powstaje fala stojąca.



$$l = \frac{1}{2} \lambda_{pr}$$

$$\lambda_{pr} = 2l$$

l - długość rury

λ_{pr} - długość fali stojącą w przecie

Fala dźwiękowa przechodzi z pręta do powietrza zawartego w rurze i w rurze jest również falą stojącą. Następuje rezonans, więc:

$$f_{pr} = f_{po}$$

$$\frac{v_{pr}}{\lambda_{pr}} = \frac{v_{po}}{\lambda_{po}}$$

$$v_{pr} = v_{po} \frac{\lambda_{pr}}{\lambda_{po}}$$

f_{po} - częstotliwość fali stojącej w powietrze w rurze

V_{po} - prędkość fali stojącej w powietrzu w rurze

V_{pr} - prędkość fali stojącej w pręcie (szukana prędkość dźwięku w tym pręcie).

Aby zaobserwować gdzie w rurze są węzły i strzałki wsypanym zmielonym korku. Następnie odczytujemy odległość od węzła do węzła (lub od strzałki do strzałki).

d - odległość od węzła do węzła (lub od strzałki do strzałki).

$$d = \frac{1}{2} \lambda_{po}$$

$$\lambda_{po} = 2d$$

Podstawiamy za długości fal wyżej otrzymane wzory do wzoru na prędkość dźwięku:

$$V_{pr} = V_{po} \frac{2l}{2d}$$

$$V_{pr} = V_{po} \frac{l}{d}$$

3.

Pomiar prędkości dźwięku w powietrzu na podstawie efektu Dopplera.

Metoda pomiaru

Gdy odległość pomiędzy obserwatorem i źródłem fal o określonej częstotliwości ulega zmianie obserwuje się zmianę częstotliwości fal dochodzących do obserwatora. Zjawisko to nosi nazwę efektu Dopplera.

Poszukiwana prędkość rozchodzenia dźwięku w powietrzu oznaczona jest symbolem c

Przypadek I. Obserwator porusza się względem nieruchomego źródła dźwięku.

Częstotliwość fali f , jej długość λ oraz prędkość rozchodzenia c związane są zależnością:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

Podczas zbliżania się z prędkością v do źródła dźwięku, względna prędkość obserwator źródło wynosi $(c + v)$ stąd częstotliwość sygnału odbieranego przez obserwatora wynosi

$$f_1 = \frac{c + v}{\lambda} \quad (2)$$

i jest wyższa od rzeczywistej. Uwzględniając (1) mamy

$$f_1 = \frac{c + v}{\frac{c}{f_0}} = f_0 \left(1 + \frac{v}{c} \right) \quad (3)$$

Gdy obserwator oddala się od źródła dźwięku z prędkością v , prędkość fali względem niego jest mniejsza i wynosi $(c - v)$, stąd obserwowana przez niego częstotliwość dźwięku jest mniejsza od rzeczywistej:

$$f_2 = \frac{c - v}{\frac{c}{f_0}} = f_0 \left(1 - \frac{v}{c} \right) \quad (4)$$

Przypadek II. Źródło dźwięku porusza się względem nieruchomego obserwatora.

Gdy źródło dźwięku przemieszcza się, ulega przesunięciu środków drgań. Długość fali będąca odległością pomiędzy kolejnymi zagęszczeniami powietrza w kierunku ruchu źródła zmniejsza się ($\lambda_2 = (c - v)/f$) a w kierunku przeciwnym wzrasta ($\lambda_1 = (c + v)/f$).

Częstotliwości związane ze zmienionymi długościami fal wynoszą odpowiednio:

Przy zbliżaniu się źródła:

$$f_4 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{c}{\frac{c - v}{f_0}} = \frac{f_0}{1 - \frac{v}{c}} \quad (5)$$

Przy oddalaniu się źródła:

$$f_3 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{c}{\frac{c+v}{f_0}} = \frac{f_0}{1 + \frac{v}{c}} \quad (6)$$

Asymetria występująca we wzorach 3 i 5 oraz 4 i 6 znika w przypadku spełnienia warunku $v/c \ll 1$. Rozwijając wyrażenia 5 i 6 w szereg i zanedbując wyrazy kwadratowy i wyższe otrzymamy odpowiednio wzory 3 i 4.

$$\frac{f_0}{1 - \frac{v}{c}} = f_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right)^{-1} = f_0 \left[1 + \frac{v}{c} + \left(\frac{v}{c}\right)^2 + \dots\right] \approx f_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right) \quad (7)$$

$$\frac{f_0}{1 + \frac{v}{c}} = f_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{-1} = f_0 \left[1 - \frac{v}{c} + \left(\frac{v}{c}\right)^2 + \dots\right] \approx f_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right) \quad (8)$$

Przy założeniu $v/c \ll 1$ zależność częstotliwości odbieranego sygnału od prędkości przemieszczania źródła dźwięku jest funkcją liniową:

$$f = \frac{f_0}{c} v + f_0 \quad (9)$$

o współczynniku nachylenia

$$a = \frac{f_0}{c} \quad (10)$$

stąd prędkość dźwięku w powietrzu

$$c = \frac{f_0}{a} \quad (11)$$