

Wykład 9:

Fale cz. 2

dr inż. Zbigniew Szklarski

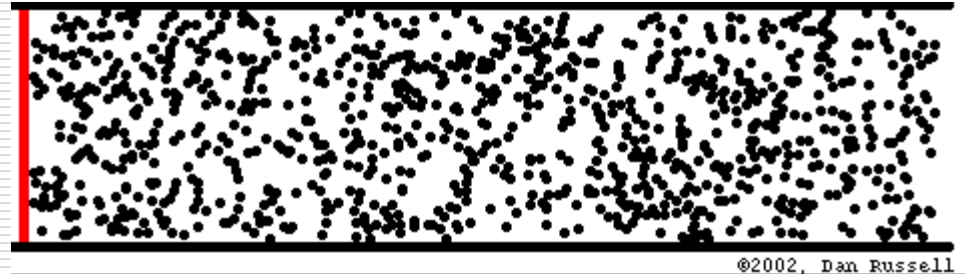
szkla@agh.edu.pl

<http://layer.uci.agh.edu.pl/Z.Szklarski/>

Fale sprężyste w gazach

przesunięcie warstwy
cząsteczek

$$s(x, t) = s_m \cos(kx - \omega t)$$



zmiana ciśnienia gazu w rurze

$$\Delta p(x, t) = \Delta p_m \sin(kx - \omega t)$$

gdzie $\Delta p_m = (v\rho\omega)s_m$

amplituda zmian
ciśnienia

prędkość fazowa

gęstość

amplituda
przesunięcia

Przykłady

- Maksymalna amplituda zmian ciśnienia Δp_m , jaką ludzkie ucho może wytrzymać w postaci głośnego dźwięku, jest równa około 28 Pa ($p_{atm} = 10^5$ Pa). Znajdź amplitudę przemieszczenia s_m dla takiego dźwięku, w powietrzu o gęstości $\rho = 1,21$ kg/m³, przy częstotliwości 1000 Hz i prędkości 343 m/s

$$s_m = \frac{\Delta p_m}{v \rho \omega} = \frac{\Delta p_m}{v \rho (2 \pi f)} = 11 \mu m \quad \text{bardzo mała amplituda !}$$

- Dla najśłabszego słyszalnego dźwięku o częstotliwości 1000 Hz, podczas gdy amplituda zmian ciśnienia wynosi $2,8 \cdot 10^{-5}$ Pa, to amplituda przemieszczenia wynosi **11 pm**

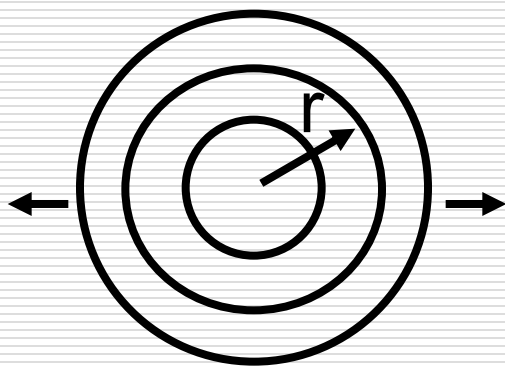
Natężenie dźwięku

Natężenie I fali dźwiękowej na pewnej powierzchni jest to średnia szybkość w przeliczeniu na jednostkę powierzchni, z jaką fala dostarcza energię do tej powierzchni (lub przenosi przez nią energię).

$$I = \frac{P}{S}$$

← moc
← pole powierzchni

dla fali emitowanej izotropowo



$$I = \frac{P_{\text{źr}}}{4\pi r^2}$$

← moc źródła

Podobnie jak dla fali w strunie

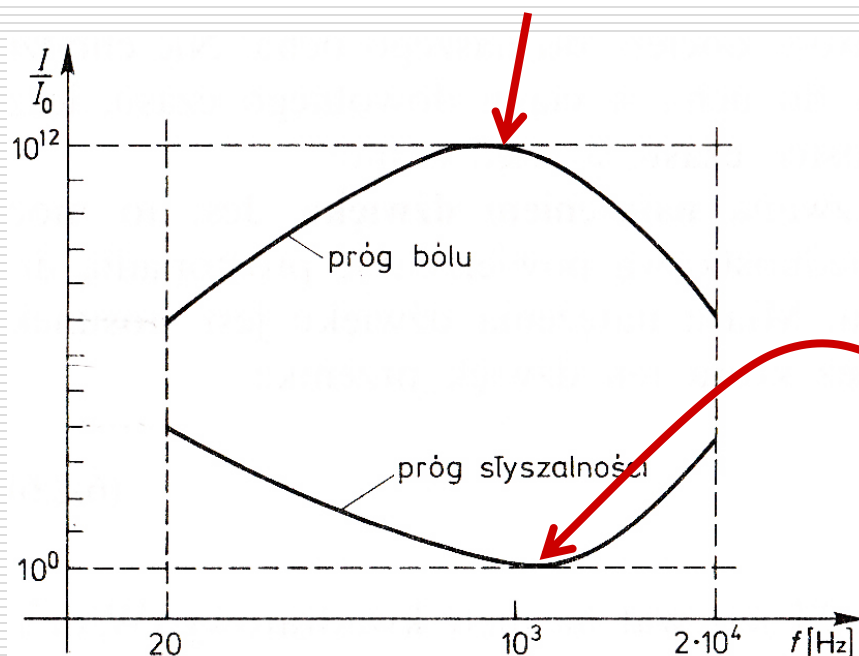
Ucho ludzkie: amplituda przemieszczenia zmienia się od 10^{-5} m dla najgłośniejszego tolerowanego dźwięku do 10^{-11} m dla najśłabszego słyszalnego dźwięku; stosunek tych amplitud wynosi 10^6 .

Natężenie dźwięku jest proporcjonalne do kwadratu amplitudy przemieszczenia, zatem zakres natężeń dźwięku rejestrowany przez ucho jest bardzo duży, około 10^{12}

Subiektywnie odczuwalne natężenie dźwięku, tak zwany **poziom natężenia** określamy na podstawie prawa **Webera i Fechnera**. Zmiana intensywności subiektywnego wrażenia dźwiękowego wywoływanego przez dwa dźwięki jest proporcjonalna do logarytmu natężeń porównywanych dźwięków

Krzywa czułości ucha

górną granicę słyszalności
dla 1 kHz (120 dB)



Poziom natężenia

$$\Lambda = \eta \log \frac{I}{I_0}$$

$\eta=1$, jednostką jest 1B (bel)

$\eta=10$, 1dB (decybel)

Natężenie $I_0 = 10^{-12}$ W/m² o częstotliwości 1 kHz nazywamy natężeniem poziomu zerowego (0 dB)

Ucho ludzkie charakteryzuje się różną czułością dla różnych częstotliwości dźwięku

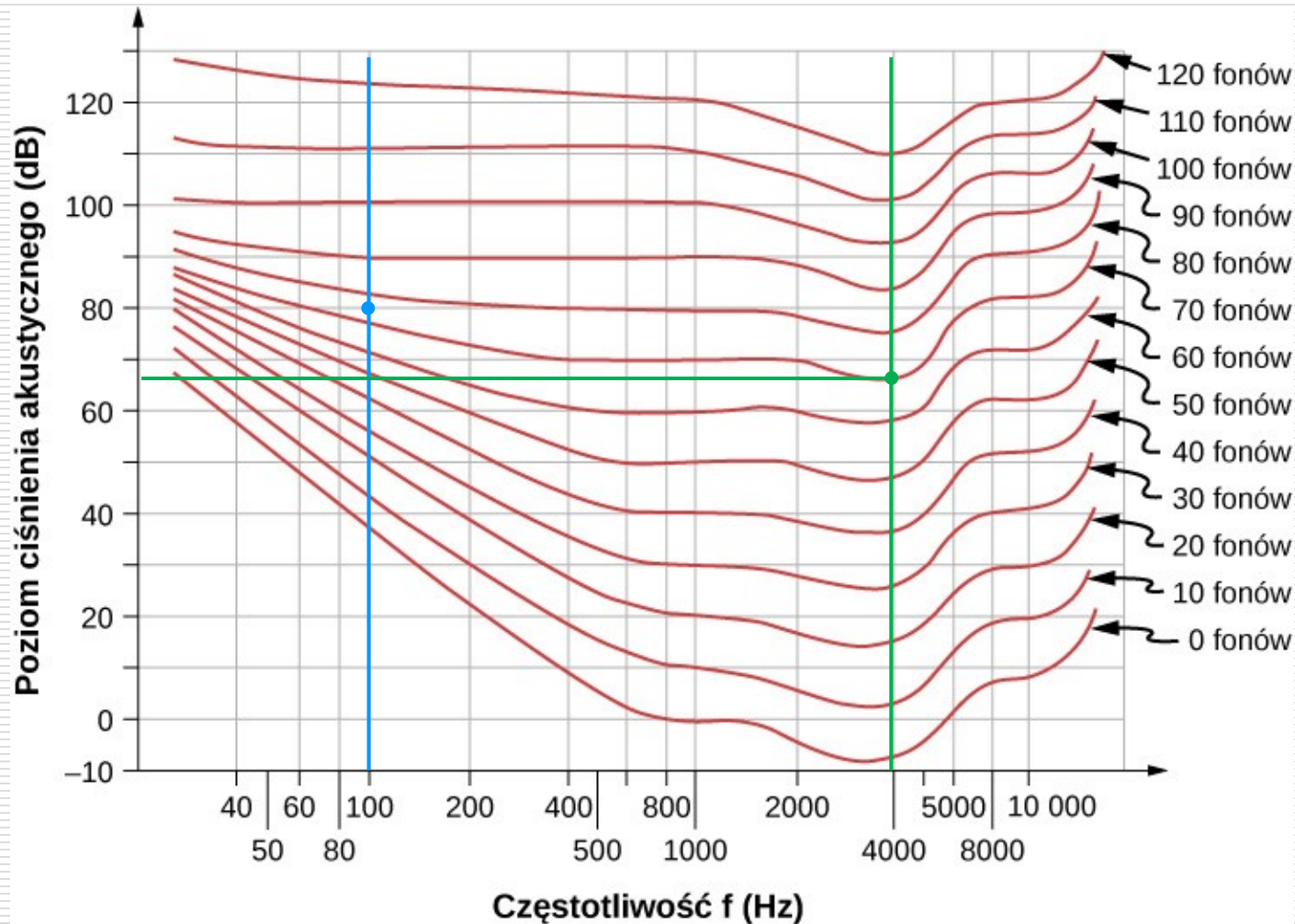
Głośność dźwięku

Dwa dźwięki o tym samym natężeniu lecz o różnych częstotliwościach nie wydają się nam tak samo głośne, np. dźwięk o częstotliwości 1 kHz odczuwamy jako głośniejszy od dźwięku o częstotliwości 0.5 kHz mimo, że w skali decybelowej będą miały jednakowy poziom natężenia.

Głośność dźwięku wyrażamy w fonach. Dany dźwięk ma głośność n fonów, jeżeli słyszymy go tak samo głośno, jak dźwięk o natężeniu subiektywnym n decybeli i częstotliwości 1 kHz.

20 fonów odpowiada

200 Hz	40 dB
1000 Hz	20 dB
3000 Hz	15 dB
10 000 Hz	32 dB



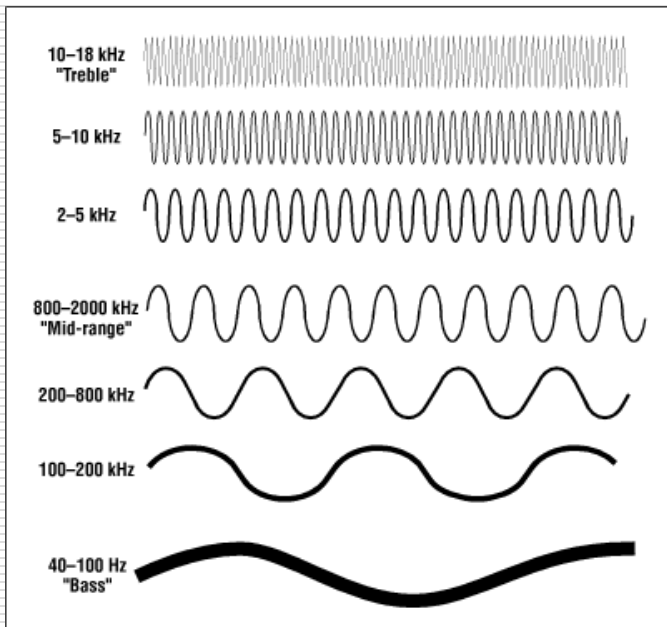
1. Jaka jest głośność w fonach dźwięku o częstotliwości 100 Hz, którego poziom natężenia wynosi 80 dB?
2. Ile wynosi poziom natężenia dźwięku o częstotliwości 4000 Hz, którego głośność wynosi 70 fonów?

Przykłady

1. Amplituda dźwięku wzrosła trzykrotnie. A) Jak (ile razy) zmieniło się natężenie dźwięku. B) O ile decybeli wzrósł poziom natężenia ?
2. Pojedynczy komar lecący w odległości 10m od nas wytwarza dźwięk na granicy słyszalności (0 dB). Jaki byłby poziom natężenia dźwięku wydawanego przez 1000 komarów latających w tej samej odległości?
3. Samolot odrzutowy emituje w ciągu sekundy dźwięk o energii $2 \cdot 10^5$ J.
A) Jaki będzie poziom natężenia dźwięku w odległości 40m od samolotu?
B) Jaki będzie poziom natężenia dźwięku w odległości 300m od samolotu?
C) Powietrze pochłania dźwięk w stosunku 7 dB/km, zatem jaki będzie poziom natężenia dźwięku w odległości 5 km od samolotu?

Ton/dźwięk, cechy dźwięku

- ton (dźwięk prosty) - drganie sinusoidalne o jednej częstotliwości.
- wieloton harmoniczny (dźwięk złożony) - drganie będące sumą tonów prostych o różnym natężeniu i częstotliwości, będącej wielokrotnością tonu podstawowego (tworzących szereg harmoniczny)
- Cechy dźwięku:
 - I. Wysokość – częstotliwość tonu podstawowego
 - II. Głośność – kwadrat amplitudy
 - III. Barwa – zawartość tonów podstawowych



Wysokość dźwięku

Barwa dźwięku

a) flet

b) obój

c) saksofon

