

Valovanje

Terminologija in tipične oznake s standarnimi enotami

- hitrost valovanj c [m/s], hitrost delcev medija v [m/s]
- frekvenca ν [$s^{-1} = \text{Hz}$], kotna hitrost $\omega = 2\pi\nu$ [Hz]
- valovna dolžina λ [m], valovni vektor $k = 2\pi/\lambda$ [m^{-1}]
- faza $\phi, \omega t, kx$ [rad]
- lomni količnik $n = c/c_0$, kjer je c_0 [m/s] referenčna (maksimalna) hitrost
- glasnost J [fon,dB], pozor: dB = fon pri 10^3 Hz

Relevantni fizikalni izrazi in formule:

- valovanje v neomejenem mediju opišemo z odvisnostjo odmikov δu oz. fluktucij tlaka δp od ravnovesnega stanja vzdolž smeri l z funkcijo

$$\delta u(t, l) = \delta u_0 \cos(\omega t - kl + \phi), \quad \delta p = \delta p_0 \sin(\omega t - kl + \phi)$$

pri čemer je povezava $\delta p_0 = c\rho\omega\delta u_0$.

- valovanje je rešitev valovne enačbe

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial l^2} = 0.$$

- (fazna) hitrost valovanj c_f in grupna hitrost valovanja c_g

$$c_f = \nu\lambda = \omega/k, \quad c_g = \frac{\partial \omega}{\partial k}.$$

- *Struna*: transverzalna hitrost valovanja na struni napeti s silo F in maso na enoto dolžine m/l

$$c_t = \sqrt{\frac{F}{m/l}}.$$

- *Tekočina*: hitrost longitudinalnih valov

$$c_l = \sqrt{\frac{\kappa}{\chi_T \rho}}, \quad \chi_S = \frac{\chi_T}{\kappa},$$

kjer sta χ_T in χ_S izotermna in adiabatna (izentropna) stisljivost, in $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$ razmerje specifičnih toplot

- *Tekočina globine h* : površinski valovi na gladini so kombinacija transverzalnih in longitudinalnih valov, ki potujejo s hitrostjo

$$c_{l\&t} = \begin{cases} \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi\gamma}{\lambda\rho}} & : h \gtrsim \lambda/2 \\ \sqrt{gh} & : \text{sicer} \end{cases}$$

kjer je g težni pospešek in γ površinska napetost.

- *Trdnina*: longitudinalna hitrost

$$c_l = \frac{c_{l,\text{tanka}}}{\sqrt{1-2\mu}}, \quad c_{l,\text{tanka}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1-\mu}{1+\mu}}, \quad c_{l,\text{plast}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

in transverzalna hitrost

$$c_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad G = \frac{E}{2(1-\mu)},$$

kjer je E prožnostni (Youngov) modul, G strižni modul in μ je Poissonovo število

- idealni plin: longitudinalna hitrost

$$c_1 = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}}.$$

- valovanje pri širjenju preko meje dveh snovi se valovanje lomi

$$\frac{\sin \phi_1}{\sin \phi_2} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1},$$

kjer je ϕ_i kot med vpadnim žarkom in pravokotnico

- frekvence stojećih valovanj v piščalih (resonatorjih) oz. strunah dolžine l glede na robne pogoje:

$$\begin{aligned} \text{zaprta, odprta na obeh koncih: } \nu_n &= \frac{1}{2} n \frac{c}{l} \\ \text{zaprta le na enem koncu: } \nu_n &= \frac{1}{4} (2n - 1) \frac{c}{l} \end{aligned}$$

za $n = 1, 2, \dots$

- Doplerjev pojav: izvor oddaja valovanje z ν_0 in sprejemnik prejema valovanje z ν

$$\begin{aligned} \text{izvor se giba: } \nu &= \nu_0 \left(1 - \frac{v_{\text{izvor}}}{c}\right)^{-1}, \\ \text{prejemnik se giba: } \nu &= \nu_0 \left(1 + \frac{v_{\text{sprejem}}}{c}\right) \\ \text{oba se gibata: } \nu &= \nu_0 \left(1 + \frac{v_{\text{sprejem}}}{c}\right) \left(1 - \frac{v_{\text{izvor}}}{c}\right)^{-1} \end{aligned}$$

- gostota energije valovanja $w = dW/dV = \rho v^2$ in njeno povprečje v

$$\langle w \rangle = \frac{1}{2} \rho \omega^2 (\delta u_0)^2 = \frac{1}{2} \frac{(\delta p_0)^2}{\rho c}$$

- gostota energijskega toka $j = dP/dS = cw$.
- glasnost valovanja (zvoka) v fonih

$$J = 10 \log_{10} \left(\frac{j}{j_0(\nu)} \right),$$

kjer je $j_0(\nu_0) = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ najmanjša jakost, ki jo slišimo pri $\nu_0 = 10^3 \text{ Hz}$. Pri decibelih (dB) je j_0 fiksiran na zapisani vrednosti.

Opombe in kazalci na potrebno znanje:

- valovanje iz izvora širi izotropno na vse strani in tako gostota energije in toka pada z radijem r sfere: $w, j \propto r^{-d+1}$, kjer je d dimenzija prostora
- hitrost zvoka $c_{\text{zvoka}} \approx 331.4 + 0.59\Delta T$, $c(20^\circ\text{C}) \approx 342.8 \text{ m/s}$
- površina sfere $4s\pi r^2$ in obsega kroga $2\pi r$ z radijem r
- pretvorba hitrosti: $1 \text{ km/h} = 1/3.6 \text{ m/s}$