

Math4You

2023–2025

Zvuk

Zvuk je mechanické vlnenie, ktoré vnímame sluchom. Výšku a dĺžku tónu vnímajú všetci ľudia približne rovnako, ale vnímanie hlasitosti je veľmi subjektívne. Hlasitosť je daná amplitúdou kmitania prostredia, v ktorom sa šíri zvuková vlna. Vzhľadom na to, že amplitúda zvukového vlnenia sa nemeria jednoducho, používajú sa na objektívne porovnanie hlasitosti veličiny intenzity zvuku I a hladina intenzity zvuku L .

Intenzita zvuku vyjadruje, koľko energie prenesú zvukové vlny za sekundu na plochu 1 m^2 kolmú na smer šírenia za jednotku času. Zdravý sluch dokáže pri frekvencii 1000 Hz zaregistrovať najmenšiu intenzitu zvuku $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, čo zodpovedá prahu počutia. Naopak, intenzita zvuku 10 W/m^2 je natoľko hlasitá, že zodpovedá prahu bolesti. Zvýšenie intenzity zvuku I na desaťnásobok však neznamená, že by sme vnímali zvuk desaťkrát hlasnejšie. Preto sa na vyjadrovanie hlasitosti zvuku používa skôr hladina intenzity zvuku L , ktorá využíva logaritmickú škálu v decibeloch (dB).

Hladina intenzity zvuku L v decibeloch je definovaná vzťahom

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0},$$

kde I je intenzita zvuku v danom mieste a $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, čo zodpovedá prahu počutia. Hladine intenzity zvuku 60 dB zodpovedá hlasitosť bežného rozhovoru, 90 dB nameriame pri motorovej kosačke na trávu a 110 dB na diskotéke. Pri dlhodobom počúvaní (hoci nás nič nebolí) hrozí nebezpečenstvo poškodenia sluchu pre hlasitosti vyššie ako 85 dB . Pri hlasitosti vyššej ako 100 dB hrozí nebezpečenstvo poškodenia sluchu v priebehu niekoľkých minút.

Preskúmajme súvislosť medzi intenzitou zvuku a hladinou intenzity zvuku, teda hlasitosťou vnímanou sluchom.

Úloha 1. Pri počúvaní reproduktora so zvukovým výkonom 20 W je vo vzdialenosti 50 m od neho intenzita zvuku $1,27 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$ (pri rovnomernom vysielaní zvukovej vlny do voľného polopriestoru). Koľko decibelov nameriame na tomto mieste?

Riešenie. Na výpočet využijeme definičný vzťah $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$, kde $I = 1,27 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$ je intenzita zvuku v danom mieste a $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \left(\frac{1,27 \cdot 10^{-3}}{10^{-12}} \right) = 10 \log (1,27 \cdot 10^9) = 91 \text{ dB}.$$

Hladina intenzity zvuku vo vzdialenosti 50 m od reproduktora je 91 dB , čo zodpovedá hluku motocykla alebo kosačky na trávu.

Úloha 2. Ako sa zmení hladina intenzity zvuku, ak bude v mieste z predchádzajúceho príkladu dvojnásobná intenzita zvuku, t.j. $2 \cdot 1,27 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$?

Riešenie. Použijeme rovnaký vzťah ako v predchádzajúcej úlohe:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \left(\frac{2 \cdot 1,27 \cdot 10^{-3}}{10^{-12}} \right) = 10 \log (2,54 \cdot 10^9) = 94 \text{ dB}.$$

Z výpočtu je zrejmé, že dvojnásobnej intenzite zvuku nezodpovedá dvojnásobný počet decibelov. Hladina intenzity zvuku sa zvýši z 91 dB na 94 dB.

Úloha 3. Zo vzťahu pre hladinu intenzity zvuku nájdite hodnotu ΔL , o ktorú sa zmení hladina intenzity zvuku L , ak sa intenzita zvuku zdvojnásobí z hodnoty I na $2I$.

Riešenie. Jedná sa o zovšeobecnenie predchádzajúcej úlohy.

$$\Delta L = 10 \log \frac{2I}{I_0} - 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \left(\log \frac{2I}{I_0} - \log \frac{I}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{\frac{2I}{I_0}}{\frac{I}{I_0}} \right) = 10 \log 2 = 3 \text{ dB}$$

Pri zdvojnásobení intenzity zvuku sa hladina intenzity zvuku zväčší o 3 dB.

Úloha 4. Intenzita zvuku je nepriamo úmerná druhej mocnine vzdialenosti od zdroja zvuku. O akú hodnotu sa zmení hladina intenzity zvuku, ak sa vzdialenosť od zdroja zvuku zdvojnásobí?

Riešenie. Keďže intenzita zvuku I je nepriamo úmerná druhej mocnine vzdialenosti, dostávame

$$I = \frac{k}{l^2},$$

kde l je vzdialenosť od zdroja zvuku. Pri zdvojnásobení vzdialenosti bude intenzita zvuku

$$I = \frac{k}{(2l)^2} = \frac{1}{4} \cdot \frac{k}{l^2}.$$

Intenzita zvuku sa zmenší na $\frac{1}{4}$ pôvodnej hodnoty.

$$\Delta L = 10 \log \frac{\frac{1}{4}I}{I_0} - 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \left(\log \frac{\frac{1}{4}I}{I_0} - \log \frac{I}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{\frac{\frac{1}{4}I}{I_0}}{\frac{I}{I_0}} \right) = 10 \log \frac{1}{4} = -6 \text{ dB}.$$

Hladina intenzity zvuku sa zmenší o 6 dB, ak zdvojnásobíme svoju vzdialenosť od zdroja zvuku.

Úloha 5. Zo vzťahu pre hladinu intenzity zvuku $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$ vyjadrite intenzitu zvuku I .

Riešenie. Najprv musíme osamostatniť logaritmickú funkciu $\frac{L}{10} = \log \frac{I}{I_0}$ a následne použijeme inverznú funkciu k logaritmickú, teda exponenciálnu funkciu:

$$10^{\frac{L}{10}} = \frac{I}{I_0}.$$

Odtiaľ vyjadríme intenzitu zvuku:

$$I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}}.$$

Úloha 6. Koľkokrát sa zväčší intenzita zvuku, ak sa hladina intenzity zvuku zvýši o 20 dB?

Riešenie. Hodnota hladiny intenzity zvuku sa zmení z hodnoty $L_1 = L$ na $L_2 = L + 20$ dB. Využijeme vzťah $I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}}$ a vyjadríme podiel $\frac{I_2}{I_1}$:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{I_0 \cdot 10^{\frac{L_2}{10}}}{I_0 \cdot 10^{\frac{L_1}{10}}} = \frac{10^{\frac{L+20}{10}}}{10^{\frac{L}{10}}} = 10^{\frac{L+20}{10} - \frac{L}{10}} = 10^2 = 100.$$

Pri vzraste hladiny intenzity zvuku o 20 dB sa intenzita zvuku zväčší stokrát.

Literatúra

1. Kubera, Miroslav; Nečas, Tomáš; Beneš, Vojtěch. *Online učebnice fyziky pro gymnázia - Zvuk*. Dostupné z <https://e-manuel.cz/kapitoly/mechanicke-vlneni/vyklad/zvuk/> [cit. 24.10.2023].