

**16. ročník, úloha VI. 2 ... moucha a netopýr** (4 body; průměr 2,82; řešilo 22 studentů)

Netopýr na lovu letí proti mouše rychlostí  $3,14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , moucha letí desetkrát pomaleji. Netopýr vysílá ultrazvukový signál o frekvenci  $f_0$ , který se odráží od mouchy a vrací k lovcvi. Netopýrova sluchadla jsou nejcitlivější na frekvence blízko  $61,3 \text{ kHz}$ . Určete  $f_0$ . Zvuk jaké frekvence by moucha slyšela, kdyby slyšela?

Klíčem k řešení této úlohy je Dopplerův jev. Každý si jistě někdy všimnul, že když se k nám zdroj zvuku přibližuje, slyšíme zvuk o vyšší frekvenci než když zdroj stojí. Stejně tak přibližuje-li se posluchač ke zdroji. Musíme si ovšem uvědomit, že tyto dvě situace nejsou totožné, nezávisí na vzájemné rychlosti zdroje a posluchače, nýbrž na rychlosti zdroje vůči prostředí, ve kterém se šíří zvuk, a na rychlosti posluchače vůči tomuto prostředí. Odvodíme nyní vztahy pro změnu frekvence v obou těchto případech.

- a) Posluchač vůči vzduchu stojí a zdroj se pohybuje k němu rychlostí  $v$ . Rychlost zvuku ve vzduchu označme  $c$ . Vzdálenost dvou maxim zvukové vlny ve vzduchu je  $\lambda' = \lambda - vT$ , kde  $\lambda$  resp.  $T$  jsou vlnová délka resp. perioda vysílané vlny. První maximum za čas  $T$  urazí dráhu  $\lambda$ , druhé je vysláno o  $vT$  dále. Přepsáno do frekvencí a upraveno

$$f' = f \frac{c}{c - v}.$$

- b) Zdroj vůči vzduchu stojí, posluchač se k němu přibližuje rychlostí  $v$ . Čas, který uběhne, než posluchač mine dvě následující maxima vlny, je  $T' = \frac{\lambda}{v+c}$ , přepsáno do frekvencí

$$f' = f \frac{v + c}{c}.$$

Uvědomte si rozdíl mezi těmito dvěma případy. Pokud by například bylo  $v = c$ , tak v prvním případě posluchač nic neuslyší, neboť zvuk zdroj vůbec nepředběhne. Až v okamžiku, kdy bude zdroj míjet, uslyší rázovou vlnu. Kdežto v druhém případě uslyší jednoduše dvojnásobnou frekvenci. Ač vzájemná rychlost je v obou případech  $v$ .

Nás zajímá případ, kdy se pohybuje zdroj  $v_1$  i posluchač  $v_2$ , pak

$$f = f_0 \frac{v_2 + c}{c - v_1},$$

kde  $f_0$  je frekvence, kterou vysílá zdroj, a  $f$ , kterou slyší pozorovatel.

Konečně se vrhneme na řešení samotné úlohy. Označme  $v_n$  rychlost netopýra,  $v_m$  rychlost mouchy,  $f$  frekvenci, kterou nejlépe slyší netopýr,  $f_m$  frekvenci, kterou slyší moucha,  $f_n$  frekvenci, kterou vysílá netopýr. Odraz zvuku od mouchy funguje tak, jakoby moucha byla zdrojem zvuku o frekvenci, kterou slyší. Tedy

$$f = f_m \frac{c + v_n}{c - v_m}, \quad f_m = f \frac{c - v_m}{c + v_n}.$$

Moucha slyší zvuk o frekvenci

$$f_m = f_n \frac{c + v_m}{c - v_n}, \quad f_n = f \frac{c - v_m}{c + v_n} \frac{c - v_n}{c + v_m}.$$

Číselně vychází  $f_n = 60,1 \text{ kHz}$ ,  $f_m = 60,7 \text{ kHz}$ .

Závěrem podotkněme, že někteří řešitelé úlohu pochopili tak, že moucha letí směrem od netopýra. Jejich výsledky pak vypadaly stejně, jako když za  $v_m$  dosadíme  $-v_m$ . Číselně samozřejmě trochu jinak.

*Lenka Zdeborová*  
fykos@mff.cuni.cz