Fyzika 2
Online seminář č. 4
13. října 2020

Akustika

Příklad 7.4

Hladina intenzity jednoho stroje v tovární hale je L_1. Vypočtěte

a) Jak se změní hladina intenzity, zapneme-li současně tři stejné stroje ? $[\Delta L = 10 \log 3 = 4,8 \text{ dB}]$

b) Jak se změní hladina intenzity, jestliže z celkového počtu n strojů polovinu zastavíme ?

$$\left[\Delta L = 10 \log \frac{1}{2} = -3 \text{ dB}\right]$$

Hladina intenzity zvuku: $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$, kde $I_0 = 10^{-12}\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}$

$L_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0}$, kde I_1 odpovídá 1 stroji

a) $\Delta L = L_3 - L_1 = 10 \log \frac{3 \cdot I_1}{I_0} - 10 \log \frac{I_1}{I_0} = 10 \log 3 = 4,77$

b) $\Delta L = L_{\frac{n}{2}} - L_n = 10 \log \frac{\frac{n}{2} \cdot I_1}{I_0} - 10 \log \frac{n \cdot I_1}{I_0} = 10 \log \frac{1}{2} = -10 \log 2 = 3,01$

Příklad 7.8

Zpíváte si komorní a (tj. a_1 s frekvencí f=440 Hz). Vytváříte při tom hladinu akustického tlaku $L_p = 80$ dB. Rychlost šíření zvuku $c = 345\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$, hustota vzduchu je $\rho_0 = 1,22\ \mathrm{kg\cdot m^{-3}}$.

Určete

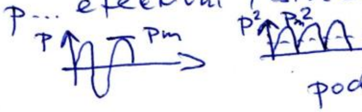
a) amplitudu akustického tlaku p_m ve zvukové vlně $\left[p_m = \sqrt{2}\cdot p_{ref}10^{\frac{L_p}{20}} = 0,28\ \mathrm{Pa}\right]$

b) amplitudu akustické rychlosti v_m ve zvukové vlně $\left[v_m = \dfrac{p_m}{\rho c} = 6,65\cdot 10^{-4}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}\right]$

c) amplitudu akustické výchylky s_m ve zvukové vlně $\left[s_m = \dfrac{v_m}{2\pi f} = 2,4\cdot 10^{-7}\ \mathrm{m}\right]$

a) Hladina akustického tlaku $L_p = 20 \log \frac{p}{p_0}$ [dB] $p_0 = 2\cdot 10^{-5}$ Pa = $p_{reference}$

tzn. $\frac{L_p}{20} = \log \frac{p}{p_0} \Rightarrow p = p_0 \cdot 10^{L_p/20}$ p ... efektivní (střední) hodnota



$p^2 = \frac{p_m^2}{2}$

podobně jako $U_{ef}^2 = \frac{U_{max}^2}{2}$

maximální výchylka tlaku $p_m = \sqrt{2}\cdot p$

b) Z odvození vlnové rovnice pro zvuk. vlnu dostaneme

$v = \frac{p}{\rho\cdot c} \Rightarrow v_{MAX} = \frac{p_{MAX}}{\rho\cdot c}$

Pozn.: vztah $v = \frac{p}{\rho c}$ lze odvodit z ~~rovnice kontinuity~~ pohybové rovnice $\rho\frac{\partial v}{\partial t} = -\nabla p$

c) Postupná podélná vlna s akustickou výchylkou: $s = s_m \cdot \cos(kx - \omega t)$

$v = \frac{\partial s}{\partial t} = +\underbrace{\omega\ s_m}\cdot \sin(kx - \omega t)$

$v = v_m \cdot \sin(kx - \omega t)$

$v_m = \omega \cdot s_m$

$s_m = \frac{v_m}{\omega} = \frac{v_m}{2\pi f} \Leftarrow$

Příklad 7.8

Zpíváte si komorní *a* (tj. a_1 s frekvencí f=440 Hz). Vytváříte při tom hladinu akustického tlaku $L_p = 80$ dB. Rychlost šíření zvuku $c = 345\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$, hustota vzduchu je $\rho_0 = 1,22\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$.

Určete

a) amplitudu akustického tlaku p_m ve zvukové vlně $\left[p_m = \sqrt{2} \cdot p_{ref} 10^{\frac{L_p}{20}} = 0,28\ \mathrm{Pa}\right]$

b) amplitudu akustické rychlosti v_m ve zvukové vlně $\left[v_m = \frac{p_m}{\rho c} = 6,65 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}\right]$

c) amplitudu akustické výchylky s_m ve zvukové vlně $\left[s_m = \frac{v_m}{2\pi f} = 2,4 \cdot 10^{-7}\ \mathrm{m}\right]$

$$\langle f(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \,.$$

$$P = \frac{U^2}{R} \qquad \langle P \rangle = \left\langle \frac{U^2}{R} \right\rangle = \frac{U_{max}^2}{R} \cdot \langle \cos^2 t \rangle_T = \frac{U_{max}^2}{2R} \overset{!}{=} \frac{U_{ef}^2}{R} \Rightarrow \quad U_{ef}^2 = U_{max}^2/R \quad \Rightarrow U_{ef} = U_{max}/\sqrt{2}$$

$$\langle \cos^2 \tfrac{2\pi}{T} t \rangle_T \; : \quad \langle \cos^2 \rangle = \langle 1 - \sin^2 \rangle = \langle 1 \rangle - \langle \sin^2 \rangle = 1 - \langle \cos^2 \rangle \quad \Rightarrow \langle \cos^2 \rangle = \frac{1}{2}$$

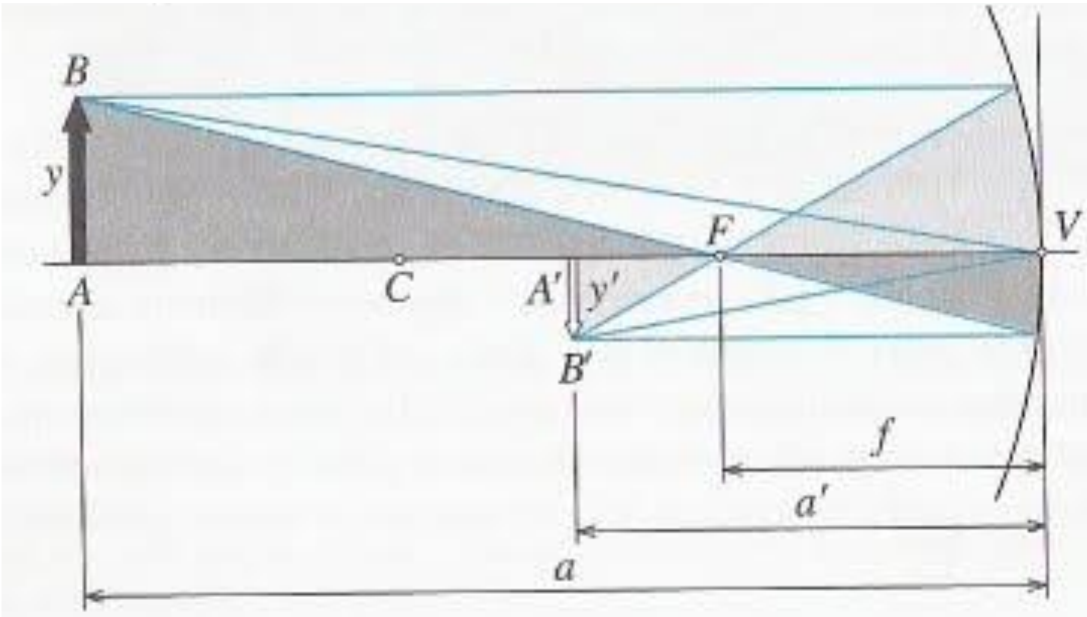
$$\langle \cos^2 x \rangle = \left\langle \frac{1 - \cos 2x}{2} \right\rangle = \frac{1}{2} - \frac{\langle \cos 2x \rangle}{2} = \frac{1}{2}$$

$$I = \frac{p^2}{\rho c} \qquad\qquad p \cdot v = p \cdot \frac{p}{\rho c} = \frac{p^2}{\rho c}$$

Geometrická optika

Příklad 8.1

Svíčka stojí 60 cm před dutým zrcadlem. Když ji přiblížíme k zrcadlu o 10 cm, zvětší se vzdálenost obrazu od zrcadla o 80 cm. Jaká je ohnisková vzdálenost zrcadla ? [$f = \{40\ \text{cm}; 85,7\ \text{cm}\}$]



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'}$$

Příklad 8.1

Svíčka stojí 60 cm před dutým zrcadlem. Když ji přiblížíme k zrcadlu o 10 cm, zvětší se vzdálenost obrazu od zrcadla o 80 cm. Jaká je ohnisková vzdálenost zrcadla ? [$f = \{40$ cm; ~~85,7~~ cm$\}$]

Zobrazovací rovnice kulového zrcadla: $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'}$

Znaménková konvence (SS): a, a' před zrcadlem $+$; za zrcadlem $-$

duté zrcadlo $f > 0$; vypuklé zrcadlo $f < 0$

Můžeme vše počítat v centimetrech

Svíčka na začátku: $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'}$

Svíčka po posunu: $\frac{1}{f} = \frac{1}{a-\Delta} + \frac{1}{a' \pm \Delta'}$ (± protože nevíme, zda zvětšení vzdálenosti je před zrcadlem či za zrcadlem)

$a = 60$ cm, $\Delta = 10$ cm, $\Delta' = 80$ cm

Máme 2 rovnice o 2 neznámých (a' a f)

Jednodušší je rovnice od sebe odečíst a počítat a'.

Vyjde kvadratická rovnice s řešením $a'_{1,2} = \frac{-80 \pm 320}{2}$ cm

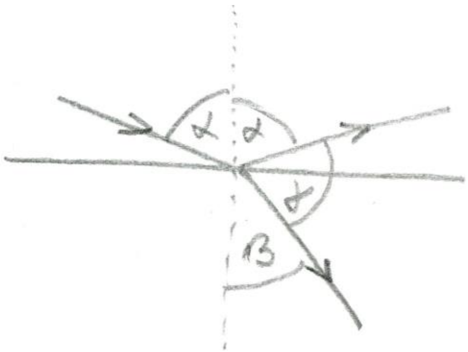
Ohniskovou vzdálenost vypočteme ze zobrazovací rovnice: $f = \frac{a a'}{a' + a}$

$f_1 = \frac{a a_1'}{a_1' + a} = \left[\begin{array}{l} a = 60 \text{ cm} \\ a_1' = 120 \text{ cm} \end{array}\right] = 40$ cm Jedná se o duté zrcadlo.
Po posunu $a = 50$ cm $a' = 200$ cm $\Rightarrow$ splňuje zadání

$f_2 = \frac{a a_2'}{a_2' + a} = \left[\begin{array}{l} a = 60 \text{ cm} \\ a_2' = -200 \text{ cm} \end{array}\right] = 85,7$ cm Opět duté zrcadlo.
Po posunu $a = 50$ cm $a' = -120$ cm $\Rightarrow$ tj. o 80 cm blíže nesplňuje zadání

Příklad 8.3

Na skleněnou destičku s indexem lomu $n = 1,5$ dopadá světelný paprsek. Pod jakým úhlem α dopadl, jestliže lomený paprsek svírá s odraženým paprskem úhel $\gamma = 60^o$ (nutnou součástí řešení je obrázek s chodem paprsků) $\left[\alpha = \arctan \dfrac{n \sin\gamma}{1 - n\cos\gamma} = 79^o 06'\right]$



$\left.\begin{array}{l} \alpha \ldots \text{úhel dopadu} \\ \beta \ldots \text{úhel lomu} \end{array}\right\}$ Snellův zákon pro náš případ:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n}{1}$$

$$\alpha + \beta + \gamma = \pi \qquad \sin\alpha = n \cdot \sin\beta \quad (\text{dosadíme za } \beta)$$

$$\beta = \pi - \alpha - \gamma \qquad \sin\alpha = n \cdot \sin(\pi - \alpha - \gamma)$$

Upravíme $\sin(\pi - \alpha - \gamma) = \left[\sin(\pi - x) = \sin x\right] = \sin(\alpha + \gamma) =$

$$= \sin\alpha \cdot \cos\gamma + \sin\gamma \cdot \cos\alpha$$

Tzn. $\quad \sin\alpha = n \cdot [\sin\alpha \cos\gamma + \sin\gamma \cdot \cos\alpha] \quad / \cdot \frac{1}{\cos\alpha}$

$$\operatorname{tg}\alpha = n \operatorname{tg}\alpha \cdot \cos\gamma + n \cdot \sin\gamma$$

$$(1 - n\cos\gamma) \cdot \operatorname{tg}\alpha = n \cdot \sin\gamma$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{n \cdot \sin\gamma}{1 - n \cdot \cos\gamma}$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{n \cdot \sin\gamma}{1 - n \cdot \cos\gamma} = \operatorname{arctg} \frac{1,5 \cdot \sin\frac{\pi}{3}}{1 - 1,5 \cdot \cos\frac{\pi}{3}} = 79,11^o$$