

1. Kaksi ääntä, joiden taajuudet ovat 20 Hz ja 1000 Hz, etenee samassa väliaineessa ja niillä on sama intensiteetti. Miten äänten poikkeama-amplitudit suhtautuvat toisiinsa? Entä paineampplitudit?
2. Rock-konsertissa 3,4 m:n etäisyydellä kaiuttimesta rekisteröidään 130 dB:n intensiteettitaso.
 - a) Mikä on kaiuttimesta lähtevä ääniteho, kun ääni leviää tasaisesti kaikkiin suuntiin?
 - b) Kuinka kaukana kaiuttimesta äänen intensiteettitaso on 90 dB?
 - c) Kuinka kauas ääni kuuluu?
 - d) Oletetaan seuraavaksi, että äänen absorptio ilmaan on 20 dB/km. Kuuluuko ääni 3,5 km:n etäisyydellä?
3. Urkupillin perustaajuus ilmassa on 262 Hz. Mikä olisi perustaajuus, jos pilli täytettäisiin samanlämpöisellä heliumilla, jonka moolimassa on 4,00 g/mol ja ominaislämpökapasiteettien suhde $\gamma = 1,67$? (ilmalla vastaavat arvot ovat 28,8 g/mol ja 1,40).
4. Suljettu urkupilli, jonka pituutta voidaan säätää, on sijoitettu lähelle 85,0 cm pitkää vaijeria, jota jännitetään 4110 N:n voimalla. Vaijerin massa on 7,25 g. Kuinka pitkäksi pilli pitää säätää, jotta pillin perustaajuinen ääni saattaisi vaijerin värähtelemään voimakkaasti toisella harmonisellaan? Käytä äänen nopeutena 340 m/s.
5. Juna liikkuu nopeudella 30 m/s kohti kallioseinää. Veturin pilli lähettää äänimerkin, jonka taajuus on 400 Hz. Minkä taajuisena veturin kuljettaja kuulee seinästä heijastuneen äänen? Käytä äänen nopeutena 340 m/s.
6. Autot A ja B ajavat samaa tietä pitkin kohti toisiaan ja lähestyvät havaitsijaa C, joka on paikoillaan tien reunassa. Autojen äänimerkkilaitteet lähettävät ääntä samalla taajuudella 400 Hz. Auton A nopeus on 100 km/h. Havaitsija C kuulee 10 huojahdusta sekunnissa kuunnellessaan autojen äänimerkkilaitteita.
 - a) Mikä on auton B nopeus?
 - b) Minkä taajuisena auton A kuljettaja kuulee auton B merkkiään?Käytä äänen nopeutena 340 m/s.

VASTAUKSET

Harjoitus 2

1. Suhde on 50. Suhde on 1.
2. 1450 W; 340 m; 10800 km; ei kuulu, koska $-0,184 \text{ dB} < 0 \text{ dB}$
3. 768 Hz
4. 10,4 cm
5. 477 Hz
6. 125 km/h tai 73,6 km/h; 482 Hz tai 460 Hz

HARJOITUS 2

1.

$$①. f_1 = 20 \text{ Hz JA } f_2 = 1000 \text{ Hz}$$

$$\omega_1 = 2\pi f_1 \text{ JA } \omega_2 = 2\pi f_2 = 50 \times \omega_1$$

$$I_1 = \frac{1}{2} \sqrt{SB} \omega_1^2 A_1^2 = \frac{P_{\text{MAX}(1)}^2}{2\sqrt{SB}}$$

$$I_2 = \frac{1}{2} \sqrt{SB} \omega_2^2 A_2^2 = \frac{P_{\text{MAX}(2)}^2}{2\sqrt{SB}}$$

$$\text{JA NYT } I_1 = I_2.$$

POIKKEAMA-AMPLITUDEILLE PÄTEE

$$\omega_1^2 A_1^2 = \omega_2^2 A_2^2 \Rightarrow \frac{A_1}{A_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \underline{50}$$

PAINEAMPLITUDEILLE PÄTEE

$$P_{\text{MAX}(1)}^2 = P_{\text{MAX}(2)}^2 \Rightarrow \frac{P_{\text{MAX}(1)}}{P_{\text{MAX}(2)}} = \underline{1}$$

$$②. \beta = (10 \text{ dB}) \log \frac{I}{I_0}, \quad I = \frac{P}{4\pi r^2}, \quad I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$a) 130 \text{ dB} = (10 \text{ dB}) \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow \frac{I}{I_0} = 10^{13} \Rightarrow I = 10 \text{ W/m}^2$$

$$P = 4\pi r^2 I = 1452,675 \text{ W} \approx \underline{1450 \text{ W}}, \quad r = 3,4 \text{ m}$$

$$b) \begin{cases} r_1 = 3,4 \text{ m} : 130 \text{ dB} = (10 \text{ dB}) \log \frac{I_1}{I_0} \Rightarrow I_1 = 10^{13} I_0 \\ r_2 = ? : 90 \text{ dB} = (10 \text{ dB}) \log \frac{I_2}{I_0} \Rightarrow I_2 = 10^9 I_0 \end{cases}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \Rightarrow r_2 = \sqrt{\frac{10^{13}}{10^9}} r_1 = 100 \cdot 3,4 \text{ m} = \underline{340 \text{ m}}$$

$$c) \begin{cases} r_1 = 3,4 \text{ m} : I_1 = 10^{13} I_0 \\ r_2 = ? : 0 \text{ dB} = (10 \text{ dB}) \log \frac{I_2}{I_0} \Rightarrow I_2 = I_0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow r_2 = \sqrt{\frac{10^{13} I_0}{I_0}} r_1 = \sqrt{10^{13}} r_1 = 10751744 \text{ m} \approx \underline{10800 \text{ km}}$$

d) Lasketaan ensin äänilähteen teho P , kun 3,4 m:n etäisyydellä havaitaan 130 dB:

$$130 \text{ dB} = (10 \text{ dB}) \log \left(\frac{P}{4\pi(3,4 \text{ m})^2 I_0} \right) - \frac{20 \text{ dB}}{1000 \text{ m}} \cdot 3,4 \text{ m} \Rightarrow P = 1475,59678 \text{ W}$$

Erotuksessa ensimmäinen termi on desibelimäärä, kun absorptiota ei ole. Jälkimmäinen termi sitten absorptio matkalla 3,4 m.

Seuraavaksi lasketaan (tunnetulla teholla P) desibelimäärä etäisyydellä $r = 3500 \text{ m}$:

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log \left(\frac{P}{4\pi(3500 \text{ m})^2 I_0} \right) - \frac{20 \text{ dB}}{1000 \text{ m}} \cdot 3500 \text{ m} = -0,183782 \text{ dB}$$

Tulos on negatiivinen, joten ääni ei kuulu.

3. KOKEESSA AALLONPITUUS EI MUUTU, KOSKA PILLIN PITUUS EI MUUTU. TAAJUUKSIEN SUHTEELLE TULEE

$$\frac{f_{\text{He}}}{f_{\text{ILMA}}} = \frac{v_{\text{He}} / \lambda}{v_{\text{ILMA}} / \lambda} = \frac{v_{\text{He}}}{v_{\text{ILMA}}} = \sqrt{\frac{\gamma_{\text{He}} RT}{M_{\text{He}}}} \cdot \sqrt{\frac{M_{\text{ILMA}}}{\gamma_{\text{ILMA}} RT}} = \sqrt{\frac{\gamma_{\text{He}}}{\gamma_{\text{ILMA}}} \cdot \frac{M_{\text{ILMA}}}{M_{\text{He}}}}$$

$$\Rightarrow f_{\text{He}} = 767,824 \text{ Hz} \approx \underline{\underline{768 \text{ Hz}}}$$

TÄSSÄ: $\gamma_{\text{He}} = 1,67$, $\gamma_{\text{ILMA}} = 1,40$

$M_{\text{He}} = 4,00 \text{ g/MOL}$, $M_{\text{ILMA}} = 28,8 \text{ g/MOL}$

$f_{\text{ILMA}} = 262 \text{ Hz}$

4. VAIJERIN TAAJUUS (TOINEN HARMONINEN $m=2$)

$$f_2^v = 2 \cdot \frac{v}{2L} = \frac{2}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{F}{m/L}} \quad \begin{cases} L = 0,85 \text{ m} \\ m = 7,25 \times 10^{-3} \text{ kg} \\ F = 4110 \text{ N} \end{cases}$$

$$= 816,66 \text{ Hz}$$

SULJETUN PILLIN TAAJUUS (PERUSTAAJUUS $m=1$) OLTAVA SAMA

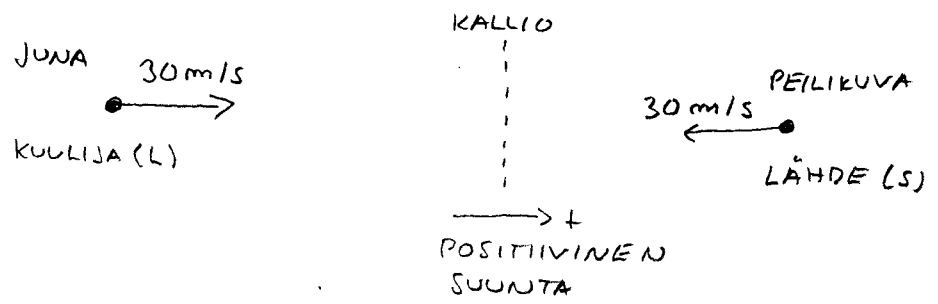
$$f_1 = 1 \cdot \frac{v}{4L} \Rightarrow L = \frac{v}{4f_1} = \frac{v}{4f_2^v}$$

$$= 0,10408 \text{ m}$$

$$\approx 10,4 \text{ cm}$$

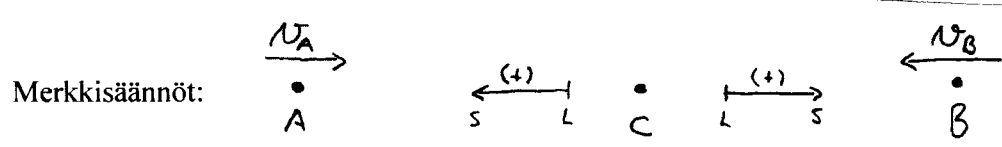
$v = 340 \text{ m/s}$
 $f_2^v = 816,66 \text{ Hz}$

5. VOIT AJATELLA TILANTEEN NIIN, ETTÄ JUNAN PEILIKUVA KALLION TAKANA LÄHETTÄÄ ÄÄNEN KOHTI JUNAA



$$f_L = \frac{v + v_L}{v + v_S} f_s = \frac{340 + 30}{340 - 30} 400 \text{ Hz} = 477,42 \text{ Hz} \approx 477 \text{ Hz}$$

6.



Numeroarvot: $v_a = 100 \text{ km/h} = 100/3,6 \text{ m/s}$ ja $v = 340 \text{ m/s}$
 $f_a = f_b = f_0 = 400 \text{ Hz}$ ja huojunta $\Delta f = 10 \text{ Hz}$.

a) Havaitsija C kuulee autosta A taajuuden

$$f_L^{(A)} = \frac{340 + 0}{340 - 100/3,6} \cdot 400 \text{ Hz} = 435,587 \text{ Hz}$$

Havaittaja C kuulee autosta B taajuuden

$$f_L^{(B)} = \frac{340 + 0}{340 - v_B} \cdot 400 \text{ Hz} . \text{ Tässä } v_B = |v_B| \text{ ja sen yksikkö on m/s.}$$

Huojuntataajuus on $\Delta f = f_L^{(A)} - f_L^{(B)} = \pm 10 \text{ Hz}$ (plus, jos $v_a > v_b$ ja miinus, jos $v_a < v_b$).

Ratkaistaan v_b :

$$435,587 - \frac{340 \cdot 400}{340 - v_B} = \pm 10 \Rightarrow v_B = 34,78 \text{ m/s tai } 20,44 \text{ m/s eli } 125 \text{ km/h tai } 73,6 \text{ km/h.}$$

b) Jos B:n nopeus on 34,78 m/s, niin

$$f_L^{(A)} = \frac{340 + 100/3,6}{340 - 34,78} \cdot 400 \text{ Hz} = 482 \text{ Hz}$$

Jos B:n nopeus on 20,44 m/s, niin

$$f_L^{(A)} = \frac{340 + 100/3,6}{340 - 20,44} \cdot 400 \text{ Hz} = 460 \text{ Hz}$$

