

I fizički koncept zvuca (zvuka)

I Računske vežbe

① Automatska kamera može da fokusira objekat korišćenjem ultrazvučnog talasa. Kamera šalje zvučni talas koji se odbija od udaljenog objekta i vraća se do kamere. Senzor detektuje vreme koje je potrebno zvučnom talasu da se vrati do kamere i na osnovu toga određuje rastojanje kamere do objekta. Ako se zvučni talas vrati do kamere za 0,155, koliko je udaljen objekat od kamere? Temperatura vazduha iznosi 3°C . (1. knjiga)

$$c_0 = 331 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t = 0,155$$

$$\theta = 3^{\circ}\text{C} - \text{temperatura vazduha}$$

$$c = c_0 + 0,6 \theta$$

$$2d = c \cdot t - \text{ravnomerno kretanje zvuca}$$

$$d = \frac{c \cdot t}{2} = \frac{332,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,155}{2} = \frac{51,584 \text{ m}}{2} = 25,792 \text{ m} \approx \boxed{25 \text{ m}}$$

$$d [\text{m}] - \text{rastojanje objekta od kamere}$$

② Zvuk koji proizvodi komarac nastaje kao posledica mahanja krilima brzinom od 36000 zanahtova u minuti. Odrediti frekvenciju zvučnih talasa koji proizvodi komarac i talasnu dužinu tih zvučnih talasa u zimskim (-5°C) i letnjim uslovima (30°C). (2. knjiga)

Frekvencija zvučnih talasa koje proizvodi komarac određena je brojem zanahtova krila u sekundi:

$$f = \frac{n}{x} = \frac{36000}{60\text{s}} = \boxed{600 \text{ Hz}}$$

Brzina prostiranja zvočnih talasa zavisi od temperature vazduha, tako da će biti različita u zimskim i letnjim uslovima:

zimski uslovi: $c_1 = c_0 + 0,6 \theta_1 = 331 + 0,6(-5) = \boxed{328 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$

letnji uslovi: $c_2 = c_0 + 0,6 \theta_2 = 331 + 0,6 \cdot 30 = \boxed{349 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$

$\theta_1 = -5^\circ\text{C}$ zimska temperatura

$\theta_2 = 30^\circ\text{C}$ letnja temperatura

Talasna dužina zvočnih talasa $\lambda [\text{m}]$ zavisi od frekvencije (koja je nezavisna od temperature vazduha) i brzine zvuka koja zavisi od temperature vazduha, tako da će i talasna dužina zavistiti od temperature vazduha:

zimski uslovi: $\lambda_1 = \frac{c_1}{f} = \frac{328 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{600 \frac{1}{\text{s}}} = \frac{164}{300} \text{ m} = \frac{82}{150} \text{ m} = \frac{41}{75} \text{ m}$

$\lambda_1 = \boxed{0,547 \text{ m}}$

letnji uslovi: $\lambda_2 = \frac{c_2}{f} = \frac{349 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{600 \frac{1}{\text{s}}} \Rightarrow \lambda_2 = \boxed{0,582 \text{ m}}$

$\lambda \sim c$

Merenje temperature: Celzijusova, Kelvinova, Farenhajtova skala

$\theta_1 = -5^\circ\text{C} \Rightarrow T_1 = \theta_1 + 273 [\text{K}] \Rightarrow \boxed{T_1 = 268 \text{ K}}$

$\theta_2 = 30^\circ\text{C} \Rightarrow T_2 = \theta_2 + 273 [\text{K}] \Rightarrow \boxed{T_2 = 303 \text{ K}}$

$c_1 = c_0 \sqrt{\frac{T_1}{273}} = 331 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sqrt{\frac{268 \text{ K}}{273 \text{ K}}} = 328 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$c_2 = c_0 \sqrt{\frac{T_2}{273}} = 331 \frac{\text{m}}{\text{s}} \sqrt{\frac{303 \text{ K}}{273 \text{ K}}} = 349 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Temperatura u Kelvinima:

$c = c_0 \sqrt{\frac{T}{273}}$

Temperatura u Celzijusima:

$c = c_0 + 0,6 \theta$

Dodgease

$$T = 0 + 273$$

$$c_0 \sqrt{\frac{T}{273}} = c_0 \sqrt{\frac{0 + 273}{273}} = c_0 \sqrt{1 + \frac{0}{273}} \quad (*)$$

$$(1+x)^n \approx 1 + nx, \quad |x|n \ll 1$$

$$x = \frac{0}{273}, \quad n = \frac{1}{2}$$

$$\sqrt{1 + \frac{0}{273}} = \left(1 + \frac{0}{273}\right)^{\frac{1}{2}} \approx 1 + \frac{0}{273} \cdot \frac{1}{2} = \boxed{1 + \frac{0}{546}}$$

$$(*) \Rightarrow c_0 \left(1 + \frac{0}{546}\right) = c_0 + \frac{c_0 \cdot 0}{546} = c_0 + \frac{331 \cdot 0}{546} = \boxed{c_0 + 0,6 \cdot 0}$$

3. Ljudsko uho detektuje frekvencije zvuka u opsegu $20 \text{ Hz} \div 20 \text{ kHz}$.
odrediti talasne dužine koje odgovaraju granicznym frekvencijama
na temperaturi vazduha 20°C . (3. knjiga)

$$\theta = 20^\circ\text{C}$$

$$c_0 = 331 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$c = c_0 + 0,6\theta = 331 + 0,6 \cdot 20 = 331 + 12 = 343 \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow \boxed{c = 343 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

donja granicna frekvencija: $f_1 = 20 \text{ Hz}$

$$\lambda_1 = \frac{c}{f_1} = \frac{343 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{20 \frac{1}{\text{s}}} = \frac{343}{20} \text{ m} = 17,15 \text{ m}$$

gornja granicna frekvencija: $f_2 = 20 \text{ kHz}$

$$\lambda_2 = \frac{c}{f_2} = \frac{343 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{20 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{s}}} = \frac{343}{20} \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,01715 \text{ m} = \boxed{17,15 \text{ mm}}$$

Opseg talasnih dužina u čujnom području frekvencija iznosi

$$17 \text{ mm} \div 17 \text{ m}.$$

4. Kamper koji se nalazi u podnožju kanjona glasno poziva prijatelja koji se nalazi na padinama kanjona. Eho se srglasa čuje nakon 2s. Ako je temperatura zraka 15°C, procenite na kojoj se udaljenosti od padina kanjona nalazi kamper.

(4. kužiga)

$$t = 2s$$

$$\theta = 15^\circ C$$

$$c_0 = 331 \frac{m}{s}$$

$$c = c_0 + 0,6 \theta = 331 + 0,6 \cdot 15 = 331 + 9 = 340 \frac{m}{s} \Rightarrow \boxed{c = 340 \frac{m}{s}}$$

$$2d = c \cdot t \Rightarrow d = \frac{c \cdot t}{2} = \frac{340 \frac{m}{s} \cdot 2s}{2} = 340m \Rightarrow \boxed{d = 340m}$$

$d [m]$ - udaljenost kampera od padine

5. Na otvorenom prostoru se jedan izvor zvuka nalazi na rastojanju od slušavca. Izačuvati za udaljenost će kasnije zvuk na mesto slušavca ako se temperatura zraka promeni sa 32°C na 0°C.

(5. kužiga)

$$d = 100m$$

$$c_0 = 331 \frac{m}{s}$$

$$\theta_1 = 32^\circ C \Rightarrow c_1 = c_0 + 0,6 \theta = 331 + 0,6 \cdot 32 = 331 + 19,2 = 350,2 \frac{m}{s}$$

$$\boxed{c_1 = 350,2 \frac{m}{s}}$$

$$\theta_2 = 0^\circ C \Rightarrow c_2 = c_0 + 0,6 \cdot 0 \Rightarrow \boxed{c_2 = c_0 = 331 \frac{m}{s}}$$

Vreme potrebno da zvučni talas stigne do uva slušavca:

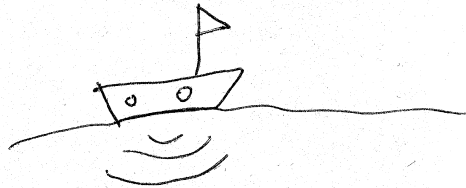
$$t_1 = \frac{d}{c_1} = \frac{100m}{350,2 \frac{m}{s}} = 0,286s = 286ms \Rightarrow \boxed{t_1 = 286ms}$$

$$t_2 = \frac{d}{c_2} = \frac{100m}{331 \frac{m}{s}} = 0,302s = 302ms \Rightarrow \boxed{t_2 = 302ms}$$

Zvučni talas pri nižoj temperaturi stiže sa kašnjenjem

$$\text{od } \Delta t: \Delta t = t_2 - t_1 = 302ms - 286ms = 16ms \Rightarrow \boxed{\Delta t = 16ms}$$

6. Brod šalje zvučne talase (SONAR) brzinom od $1500 \frac{m}{s}$ sa dna broda na morsnom dnu. Signal se odbija od dna mora i vraća se na brod nakon 3,5s. Nakon što se brod pomeri na 100km, šalje drugi signal koji se vraća nazad nakon 2s. Izračunati dubinu mora u svakom slučaju i izračunati razliku u dubinama između dva slučaja.



$$c = 1500 \frac{m}{s}$$

$$2t_1 = 3,5s \Rightarrow t_1 = 1,75s$$

$$d_1 = c \cdot t_1 = 1500 \frac{m}{s} \cdot 1,75s = \boxed{2625m}$$

dubina mora u prvom slučaju

Nakon pređenog puta od 100 km:

$$c = 1500 \frac{m}{s}$$

$$2t_2 = 2s \Rightarrow t_2 = 1s$$

$$d_2 = c \cdot t_2 = 1500 \frac{m}{s} \cdot 1s = \boxed{1500m}$$

dubina mora u drugom slučaju

$$\text{Razlika u dubinama: } \Delta d = d_1 - d_2 = 2625m - 1500m = \boxed{1125m}$$

7. Zvučni talas koji se prostire kroz vazduh pada na površinu vode pod uglom od 10° . Ako je ugao pod kojim se prelama u vodi 50° , izračunati brzinu prostiranja zvučnih talasa u vodi. Izračunati granični upadni ugao iznad kojeg dolazi do totalne refleksije zvučnih talasa.

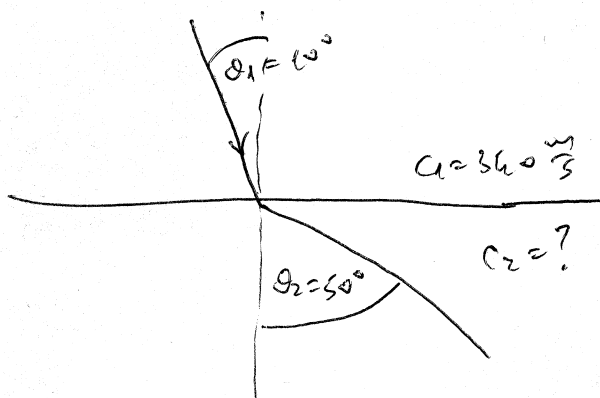
Prelamanje svetlosti se dešava samo u svim slučajevima kada zraci prelaze iz jedne sredine u drugu, pod uglom da padaju koso na graničnu površinu. Zraci se neće prelomiti ako padaju normalno na površinu.

Snellijev - Denardov zakon: Odnos sinusa upadnog ugla i sinusa prelomnog ugla jednak je odnosu brzina prostiranja svetlosti u tim dva sredinama. Upadni zrak, normala i prelomni zrak leže u istoj ravni.

$c_1 = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ - brzina zvuka u vazduhu

$$\theta_1 = 10^\circ$$

$$\theta_2 = 50^\circ$$



$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{c_1}{c_2}$$

θ_1 - upadni ugao

θ_2 - prelomni ugao

$$\Rightarrow c_2 = c_1 \cdot \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}$$

$$c_2 = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{\sin 50^\circ}{\sin 10^\circ} = 340 \cdot \frac{0,766}{0,174} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$c_2 = 1496,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx \boxed{1500 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \quad (\text{dobija se bez zaokruživanja sinusa})$$

Totalna refleksija - optična pojava koja se javlja kod svetlosti. Zrak dolazi iz optički gušće sredine, a niži je upadni ugao veći od graničnog ugla. Odbija se kao kod ravnog ogledala. Kada svetlosni zrak prelazi iz optički gušće u ređu sredinu, prelomni zrak je veći od upadnog ugla - zrak skreće od normale. Za upadni ugao θ_g , prelomni ugao je 90° :

$$\frac{\sin \theta_g}{\sin 90^\circ} = \frac{c_1}{c_2}, \quad \sin 90^\circ = 1$$

$$\Rightarrow \sin \theta_g = \frac{c_1}{c_2} \Rightarrow \boxed{\theta_g = \arcsin\left(\frac{c_1}{c_2}\right)}$$

$$\theta_g = \arcsin\left(\frac{340}{1500}\right) = \arcsin\left(\frac{34}{150}\right) = \arcsin\left(\frac{17}{75}\right)$$

$$\boxed{\theta_g = 13^\circ}$$

3) Pešaku se kreće duž železnične pruge brzinom $5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Njemu u susret kreće se voz brzinom $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Kada mašinovođa primeti pešaka upotrebljava sirenu koja emituje zvučne talase frekvencije 500 Hz . Odrediti talasnu dužinu zvučnih talasa koju emituje sirena kada voz stoji i frekvenciju zvuka sirene koju čuje pešak, kada se voz kreće, ako je temperatura spoljnje sredine 15°C . (b. knjiga)

$$\theta = 15^\circ\text{C}$$

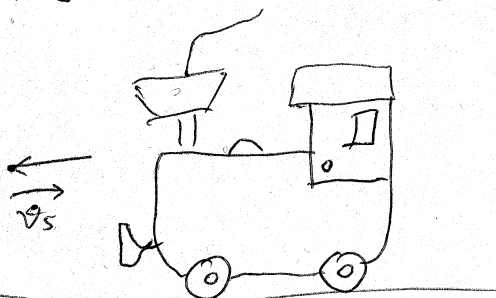
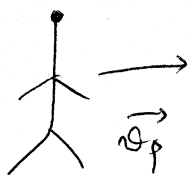
$$c_0 = 331 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_p = 5 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1,39 \frac{\text{m}}{\text{s}} - \text{brzina pešaka}$$

$$v_s = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 27,78 \frac{\text{m}}{\text{s}} - \text{brzina zvučnih talasa koje emituje sirena}$$

$$f_s = 500 \text{ Hz}$$

$$c = c_0 + 0,6 \theta = 331 + 0,6 \cdot 15 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = 331 + 9 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = \boxed{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$



voz stoji: $\lambda_s = \frac{c}{f_s} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{500 \frac{1}{\text{s}}} = \frac{34}{50} \text{ m} = \frac{17}{25} \text{ m} = \boxed{0,68 \text{ m}}$

$\lambda_s = 0,68 \text{ m}$ talasna dužina zvučnih talasa koje emituje sirena

pešak se ne kreće, a voz se kreće:

kada se izvor zvuka kreće ka nepokretnom posmatraču, on registruje talasnu dužinu kraću za $\Delta \lambda = \frac{v_s}{f_s}$

$$\lambda_p^* = \lambda_s - \Delta\lambda = \lambda_s - \frac{v_s}{f_s} = \frac{c}{f_s} - \frac{v_s}{f_s} = \frac{c - v_s}{f_s}$$

$$\lambda_p = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 27,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{500 \frac{1}{\text{s}}} = \frac{312,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{500 \frac{1}{\text{s}}} \Rightarrow \boxed{\lambda_p = 0,6244 \text{ m}}$$

$$f = \frac{c}{\lambda_p} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,6244 \text{ m}} = \boxed{544,5 \text{ Hz}}$$

U slučaju kada se pešak kreće brzinom v_p ka vozilu, i voz se kreće ka pešaku brzinom v_s :

$$f_p = \frac{c + v_p}{c - v_s} \cdot f_s = \frac{340 + 1,39}{340 - 27,78} \cdot 500 \text{ Hz} = \boxed{546,7 \text{ Hz}}$$

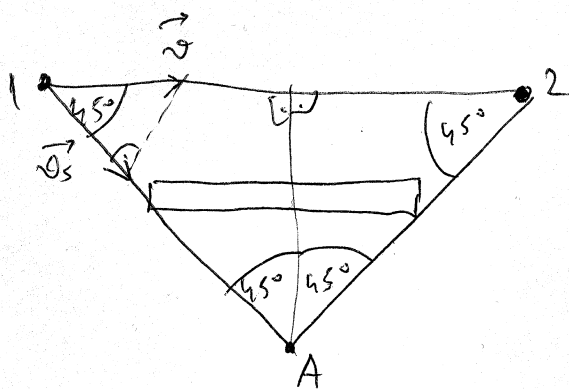
9. Vlicom je prošlo vozilo hitne pomoći emitirajući sirenom signal frekvencije 2000 Hz. Posmatrač se nalazi u tački A koja je blizom zgrada zaštitjena od vlice. U trenutku kada vozilo prolazi kroz tačke 1 i 2, da posmatrača dođe direktni zvuk koji emituje sirena vozila. Ako se vozilo kreće brzinom $120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, odrediti promenu frekvencije koju posmatrač registruje pri prolasku vozila kroz tačke 1 i 2, pri temperaturi spoljne sredine 15°C . (7. knjiga)

$f_s = 2000 \text{ Hz} = 2 \text{ kHz}$ - frekvencija zvučnih talasa koje emituje vozilo

$$v = 120 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 33,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$c_0 = 331 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$c = c_0 + 0,6 \theta = 331 + 0,6 \cdot 15 = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow \boxed{c = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$



$$\cos 45^\circ = \frac{v_s}{v}$$

$$\Rightarrow v_s = v \cos 45^\circ = \frac{v\sqrt{2}}{2}$$

$$\boxed{v_s = 23,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

Tačka 1: Talasna dužina zvučnih talasa koje posmatrač čuje poslušnom vozila je:

Kada se izvor kreće na nepokretnom posmatraču, on registruje talasnu dužinu manju za $\Delta\lambda = \frac{v_s}{f_s}$ f_s - source (izvor)

$$\lambda' = \lambda - \Delta\lambda = \frac{c}{f_s} - \frac{v_s}{f_s} = \frac{c - v_s}{f_s} \Rightarrow \boxed{\lambda' = 158,25 \text{ mm}}$$

$$f_p' = \frac{c}{\lambda'} = \frac{c}{\frac{c - v_s}{f_s}} = \frac{c}{c - v_s} \cdot f_s$$

$$f_p' = \frac{340}{340 - 23,5} \cdot 2000 \text{ Hz} = \frac{340}{316,5} \cdot 2000 \text{ Hz} = \boxed{2148,5 \text{ Hz}}$$

Tačka 2: Kada se izvor udaljava od nepokretnog posmatrača, on registruje talasnu dužinu veću za $\Delta\lambda = \frac{v_s}{f_s}$

$$\lambda'' = \lambda + \Delta\lambda = \frac{c}{f_s} + \frac{v_s}{f_s} = \frac{c + v_s}{f_s} \Rightarrow \boxed{\lambda'' = 181,75 \text{ mm}}$$

$$f_p'' = \frac{c}{\lambda''} = \frac{c}{\frac{c + v_s}{f_s}} = \frac{c}{c + v_s} \cdot f_s$$

$$f_p'' = \frac{340}{340 + 23,5} \cdot 2000 \text{ Hz} = \frac{340}{363,5} \cdot 2000 \text{ Hz} = \boxed{1870,7 \text{ Hz}}$$

Posmatrač registruje veću frekvenciju zvučnih talasa kada mu se izvor približava u odnosu na frekvenciju zvučnih talasa kada se izvor udaljava.

$$f_p' = 2148,5 \text{ Hz}$$

$$f_p'' = 1870,7 \text{ Hz}$$

$$\Delta f = f_p' - f_p''$$

$$\Delta f = 2148,5 \text{ Hz} - 1870,7 \text{ Hz}$$

$$\boxed{\Delta f = 277,8 \text{ Hz}}$$