Fizika 2

ZAPISKI ZA SREDNJO ŠOLO

VSEBINA (2. del)

Nihanje in valovanje

Zvok - akustika

Geometrijska optika

Zapiske izdelala: Dinka @ instrukcijeonline.com

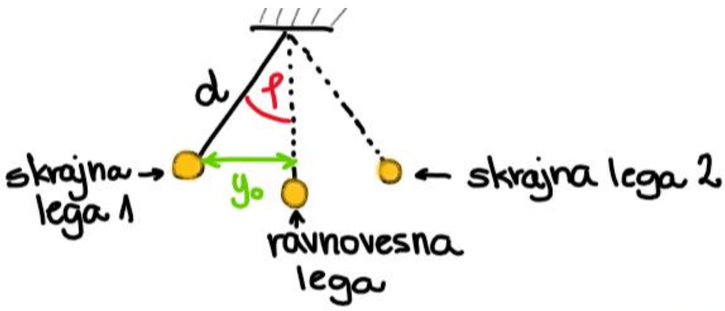
Nihanje in valovanje

Harmonično nihanje (osnovno nihanje)

je periodično nihanje, ko je odmik nihala od ravnovesne lege sinusna funkcija časa *(grafični prikaz takšne funkcije lahko vidiš na strani)*.

Ravnovesna lega je lega, kot bi bila v primeru mirovanja.

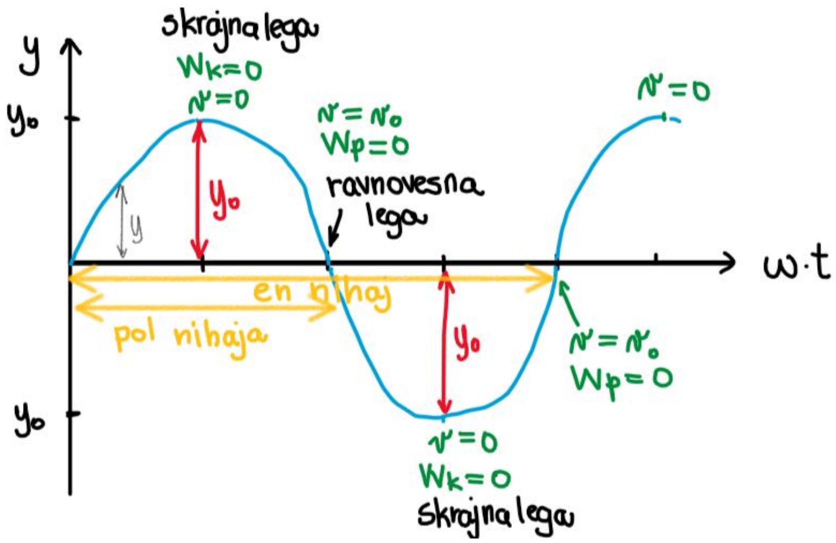
Skrajna lega je lega, ko je odmik od ravnovesne lege največji.



y_0 ... temenski odmik (AMPLITUDA)
(največji odmik od ravnovesne lege)

y ... odmik v poljubnem času
$0 \leq y \leq y_0$

- **Graf, ki prikazuje odvisnost odmika y od časa:**



$$\boxed{y = y_0 \cdot \sin \omega t}$$

$$v = \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

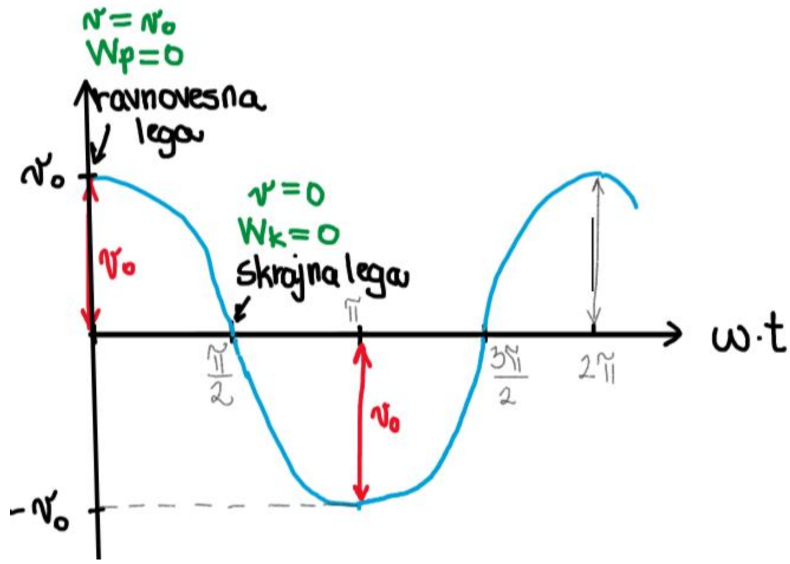
$$\boxed{v = v_0 \cdot \cos \omega t}$$

$$v_0 = \omega \cdot t_0$$

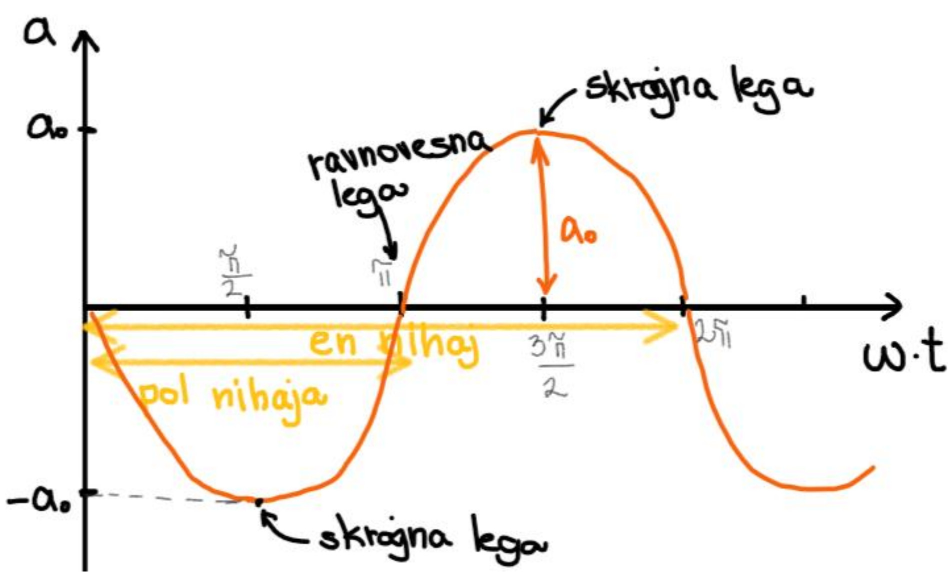
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\boxed{a = a_0 \cdot \sin \omega t}$$

- **Graf, ki prikazuje odvisnost hitrosti v nihanja od časa:**



- **Graf, ki prikazuje odvisnost pospeška a od časa:**



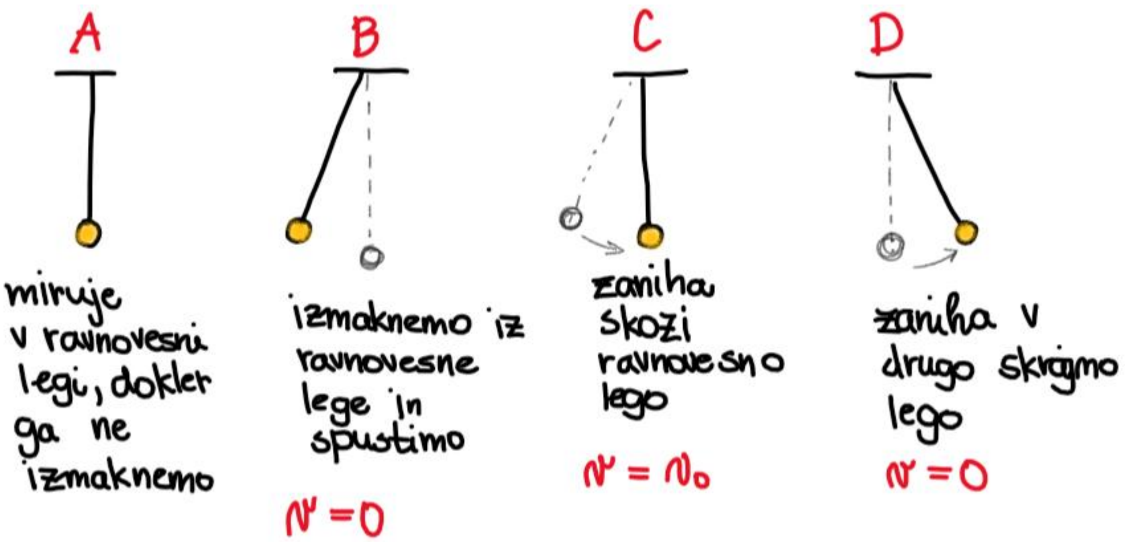
V skrajni legi sta pospešek (ali pojemek) največja, v ravnovesni legi pa je pospešek enak nič.

$$a_0 = \omega \cdot v_0 \qquad a_0 = \omega^2 \cdot y_0$$

a_0 ... maksimalni pospešek pri nihanju $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

Nihala

Nitno ali matematično nihalo je na dolgi lahki vrvici, kjer je teža vrvice zanemarljiva. To nihalo niha harmonično le, če je amplituda nihanja majhna glede na dolžino vrvice.



v … hitrost nihanja $\quad 0 \leq v \leq v_0$

v_0 … največja dosežena hitrost (v ravnovesni legi)

B: v to skrajno lego smo nihalo izmaknili in mu s tem dodali potencialno energijo, ki je v skrajni legi največja.

B → *C*: potencialna energija se pretvarja v kinetično energijo.

Kinetična energija narašča z naraščanjem hitrosti, potencialna pa pada s padanjem višine.

C: V ravnovesni legi je hitrost nihanja najvišja, posledično tudi kinetična energija nihala. Potencialna energija je enaka nič.

C → *D*: Kinetična energija se zmanjšuje, ko gre nihalo proti skrajni legi. Kinetična energija prehaja v potencialno energijo, zato se potencialna energija povečuje.

D: v drugi skrajni legi je hitrost nihanja enaka nič, prav tako kinetična energija nihala. Potencialna energija pa je največja v skrajni legi.

Začetek opazovanja nihanja - dogovorimo se, da gledamo **od trenutka, ko gre nihalo skozi ravnovesno lego** (potem ko smo ga spustili iz skrajne lege). V tem trenutku je odmik $y = 0$, hitrost nihanja pa je v tej točki največja: $v = v_0$

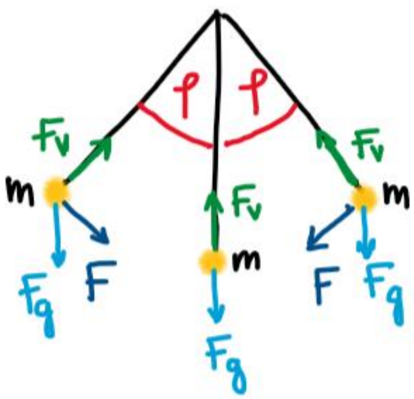
Posledično je v ravnovesni legi največja tudi kinetična energija, obratno pa je potencialna energija enaka nič.

Krožna frekvenca pri nitnem nihalu: $\boxed{\omega = \sqrt{\frac{g}{d}}}$ $[s^{-1} = Hz]$

Frekvenca nitnega nihala: $\boxed{\nu = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{d}}}$ $[s^{-1} = Hz]$

Nihajni čas nitnega nihala: $\boxed{t_0 = 2\pi \cdot \nu = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{d}{g}}}$ $[s]$

Sile pri nihanju:



F_v ... sila vrvice

F_g ... sila teže uteži $F_g = m \cdot g$

φ ... kot med vrvico in navpičnico

d ... dolžina vrvice

Sila F pri temenskem odmiku, ki je nasprotno usmerjena od prvotnega gibanja (in je zato negativna):

$$F = -m \cdot g \cdot \sin\varphi$$

Pospešek: pri majhnih kotih $\sin x \approx x$

$$a = -g \cdot \sin\varphi = -g \cdot \sin\frac{y_0}{d} \approx -g \cdot \frac{y_0}{d}$$

Amplituda nihanja y_0 je maksimalni ali temenski odmik od ravnovesne lege.

Pri nitnem nihalu je temenski odmik: $y_0 = d \cdot \varphi \qquad \varphi = \frac{y_0}{d}$

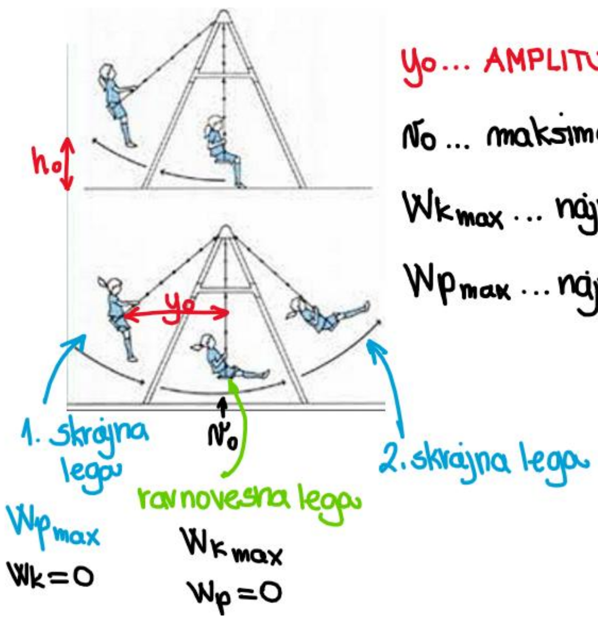
Nihajni čas t_0 je čas, ko se nihalo po nihaju vrne v začetno lego. Pravimo mu tudi **perioda nihanja**. Je čas enega nihaja.

En nihaj lahko določimo tudi iz dogovorjene lege: naprimer če se dogovorimo, da je začetek v levi skrajni legi, je čas, da se ponovno vrne v levo skrajno lego enak enemu nihaju.

Frekvenca nihanja ν je število nihajev, ki ga naredi nihalo v eni sekundi.

Lahko jo določimo tudi, če poznamo število nihajev v N sekundah. Frekvenca nihanja in nihajni čas sta obratni vrednosti: $\nu = \frac{1}{t_0}$ $\left[\frac{1}{s} = s^{-1} = Hz\right]$

$$t_0 = \frac{1}{\nu} \quad [s]$$



y_0 ... AMPLITUDA (največji odmik od ravnovesne lege)

v_0 ... maksimalna hitrost

$W_{k\,max}$ ... največja kinetična energija je v ravnovesni legi

$W_{p\,max}$ ... največja potencialna energija je v skrajni legi

Predpostavimo, da se otrok guga na gugalnici (*nitno nihalo*). Če bo otrok samo nepremično sedel na stolu in se ne bo več odganjal z nogami, se bo amplituda nihanja postopoma zmanjševala in padla na nič. Nihanje se bo umirilo. Takšnemu nihanju pravimo **DUŠENO NIHANJE.**

Vendar mu lahko starš dodaja kinetično energijo s tem, da ga vedno znova potisne na gugalnici. Tako nadomesti izgubljeno energijo zaradi trenja in se še naprej guga. Takšnemu nihanju pravimo *VSILJENO NIHANJE.* Če mu starš dodaja energijo v enakih časovnih intervalih, kot je nihajni čas, potem do amplituda nihanja otroka največja.

Vzmetno nihalo (oziroma nihalo na vijačno vzmet)

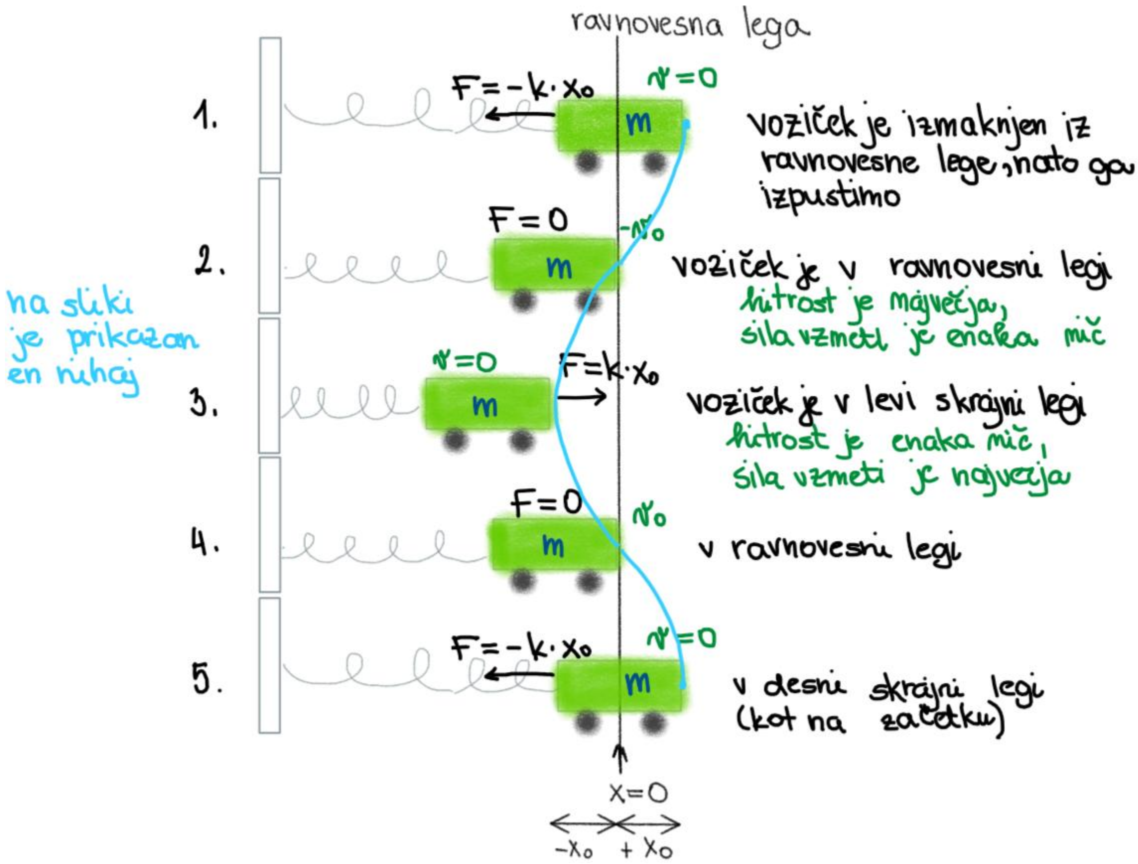
- ### na vodoravni podlagi

Zamislimo si voziček, pritrjen na vodoravno vzmet, ki brez trenja drsi na vodoravni podlagi. V ravnovesni legi je sila vzmeti enaka nič.

Če ga raztegnemo iz ravnovesne lege v skrajno lego za temenski odmik x_0, s tem napnemo vzmet, opravimo delo in damo nihalu **prožnostno energijo**. Takrat je sila vzmeti, ki kaže nazaj proti ravnovesni legi, negativna (deluje zaviralno) in enaka

$$F = -k \cdot x_0$$ (po Hookovem zakonu)

SKICA:



OPIS: Ko utež spustimo, se prožnostna energija zmanjšuje in s tem pretvarja v kinetično energijo, saj se hitrost nihanja povečuje.

Sila, ki povzroči pospešek: $F = m \cdot a$

odmik: $x_0 = y_0$

Pospešek pa je pri tem enak: $a = -\omega^2 \cdot y_0$

Ko gre voziček skozi ravnovesno lego, prožnostna energija pade na nič, a kinetična je maksimalna. Od tega trenutka proti skrajni legi začne hitrost nihanja padat in s tem pada tudi kinetična energija, ki se pretvarja nazaj v prožnostno. V trenutku, ko je nihalo spet v skrajni legi, je kinetična energija enaka nič, a prožnostna energija je maksimalna. Proces se ponavlja.

IZPELJAVA ENAČB

$$F = F$$

$$m \cdot a = -k \cdot x_0$$

$$m \cdot (-\omega^2 \cdot x_0) = -k \cdot x_0$$

Krožna frekvenca je pri tem: $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ $\quad \omega = 2\pi\nu$

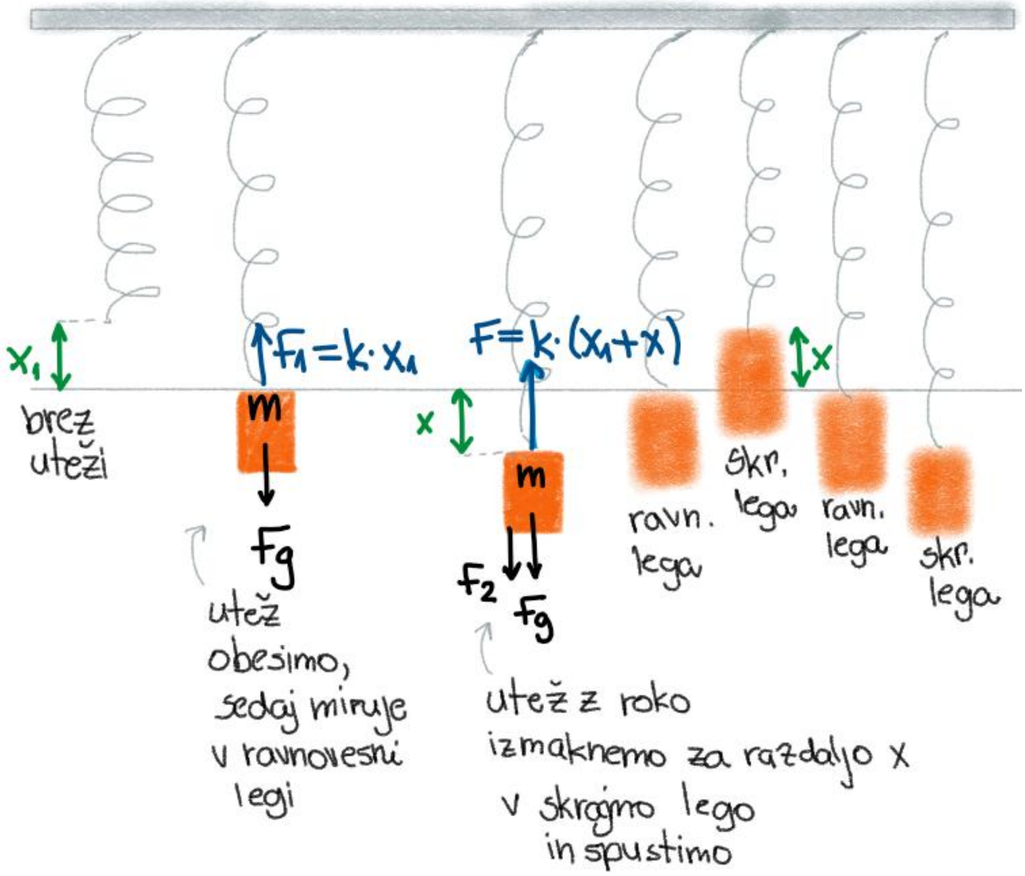
Frekvenca nihanja pri vzmetnih nihalih: $\nu = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$

Nihajni čas pri vzmetnih nihalih: $t_0 = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$

k... koeficient vzmeti $\left[\frac{N}{m}\right]$

- *navpično pritrjeno nihalo*

SKICA:



OPIS:

Vzmet na začetku ni raztegnjena in miruje.

Ko ji dodamo utež, se raztegne za razdaljo x_1 in miruje v ravnovesni legi. Takrat deluje sila vzmeti F_1, ki je nasprotno enaka sili gravitacije: $F_1 = k \cdot x_1 = F_g$

Zato je rezultanta sil enaka nič, sili sta v ravnovesju.

Z dodatno silo roke F_2 potegnemo vzmet navzdol za razdaljo x in držimo. Sila vzmeti je sedaj: $F_v = k \cdot (x_1 + x) = F_2 + F_g$

V tem trenutku, dokler ne odmaknemo roke, so vse tri sile v ravnovesju in velja:

$$F = k \cdot (x_1 + x) - F_g - F_2 = 0$$

Ko utež spustimo iz rok, nihalo zaniha proti ravnovesni legi in dalje v drugo skrajno lego. Sili več nista v ravnovesju in pri tem je rezultanta sil enaka:

$$F = k\cdot(x_1 + x) - F_g = \underbrace{kx_1}_{F_g} + kx - F_g$$

$$\rightarrow \boxed{F = k\cdot x}$$

Krožna frekvenca frekvenca nihanja in nihajni čas sta enaka kot pri vzmeti na vodoravni podlagi.

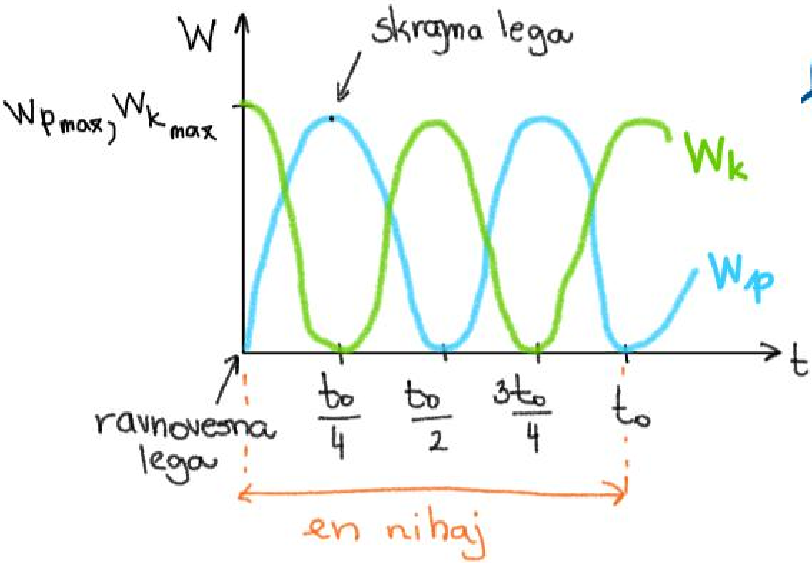
Energija nihanja (enota: J)

Pri **težnem nihalu (npr. nitno nihalo)** je energija stalna in vedno enaka vsoti kinetične in potencialne energije v vsakem trenutku. S tem ko kinetična energija narašča, potencialna pada in se pretvarja v kinetično; ter obratno. V nekem trenutku je kinetična energija enaka nič, medtem ko je potencialna največja. Podobno se zgodi, da ko je kinetična energija največja, je potencialna energija enaka nič. Zato velja:

$$W = W_p + W_k = \underbrace{W_{p.maks}}_{=\, m\cdot g\cdot h_0} = \underbrace{W_{k.maks}}_{=\, \frac{m\cdot v_0^2}{2}}$$

$$W = m\cdot g\cdot h + \frac{m\cdot v^2}{2} = m\cdot g\cdot h_0 = \frac{m\cdot v_0^2}{2}$$

Graf energij v odvisnosti od časa pri nitnem nihalu:



h_0 … sprememba višine med ravnovesno in skrajno lego

Pri **vzmetnem nihalu** velja, da je vsota prožnostne in kinetične energije v vsakem trenutku stalna. Enaka je tudi maksimalni prožnostni energiji ter maksimalni kinetični energiji:

$$W = W_{pr} + W_k = \underbrace{W_{pr.\,maks}}_{\frac{k \cdot y_0^2}{2}} + \underbrace{W_{k.\,maks}}_{\frac{m \cdot v_0^2}{2}}$$

$$W = \frac{ky^2}{2} + \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{k \cdot y_0^2}{2} = \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

Dušeno nihanje

Zaradi trenja in upora zraka se amplituda nihanja postopno zmanjšuje, dokler se nihanje ne ustavi. Recimo, da je vzrok za dušenje upor zraka. Potem imamo takšno enačbo za amplitudo nihanja v odvisnosti od časa:

$$y_0(t) = y_0 \cdot e^{-\beta \cdot t}$$

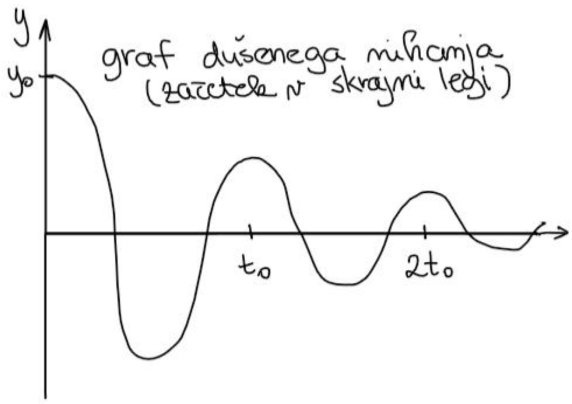
e... naravno število 2,71

y_0... začetna amplituda nihanja

β... koeficient (faktor) dušenja - enak je obratni vrednosti tistega časa, v katerem se amplituda nihanja zmanjša za e-krat (enota: s^{-1})

t... čas

$y_0(t)$... amplituda nihanja v nekem času t



Zaradi dušenja se zniža tudi *lastna frekvenca nihanja*, ki jo izračunamo po tej enačbi:

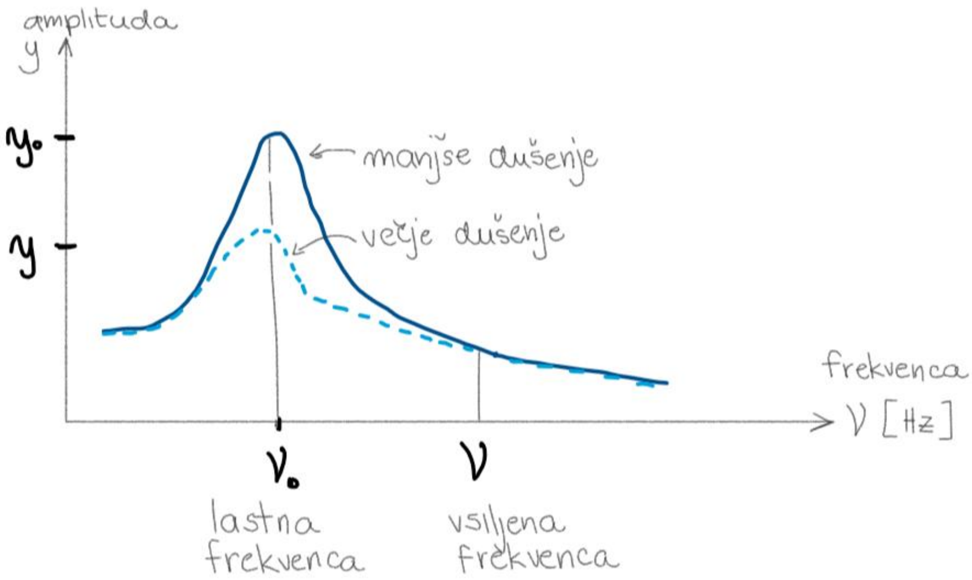
$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$$

Nihalo je *kritično dušeno*, ko iz ene skrajne lege zaniha samo do ravnovesne lege, nato pa se ustavi. Pogoj za kritično dušenje je:

$$\omega_0 = \beta$$

Vsiljeno nihanje - resonanca

Nihalo spustimo tako, da zaniha z lastno frekvenco $\boldsymbol{\nu}_0$. Da nihanje ne bi zamrlo, postavimo elektromagnet pod njega. Elektromagnet deluje tako, da nihalo zaniha s frekvenco $\boldsymbol{\nu}$, ki mu jo vsili generator. Nihalo ima največjo amplitudo nihanja takrat, ko je vsiljena frekvenca enaka lastni frekvenci. Takrat pravimo, da sta nihalo in generator v resonanci:



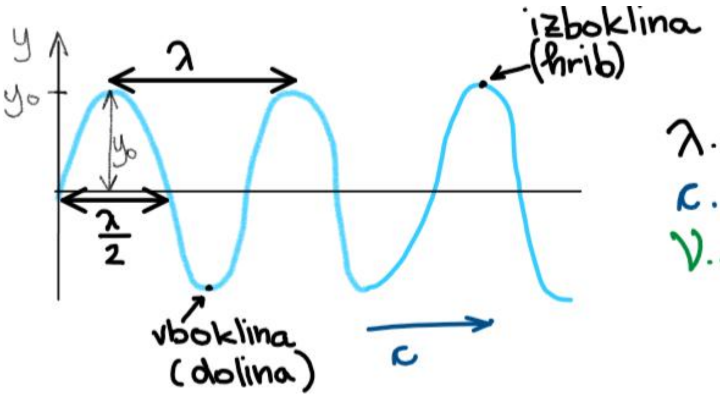
Mehanska valovanja

Valovanje je zaporedje motenj, ki se širijo po sredstvu.Povzročitelj valov je izvir valovanja. Ločimo dve skupini valovanj:

- ***Sinusno transverzalno ali prečno valovanje*** (npr. voda, vrv, svetloba)
- ***Vzdolžno ali longitudinalno valovanje*** (npr. zvok, vzmet)

Potujoče transverzalno valovanje

Transverzalni val, ki nastane na vrvi **v trenutku** $t = 0$:



λ... valovna dolžina [m]
c... hitrost valovanja $\left[\frac{m}{s}\right]$
ν... frekvenca valovanja $[s^{-1} = Hz]$
je število nihajev na sekundo

Ta val je prikazan samo v enem trenutku, vendar potuje vzdolž osi x s hitrostjo c. Ker je to valovanje sinusna funkcija razdalje in časa, mu rečemo harmonično ali sinusno transverzalno valovanje.

Amplituda valovanja y_0 je maksimalni ali temenski odmik vala od ravnovesne lege.

Perioda t_0 je čas, ko si sledita dva grebena ali dve dolini.

Obratna vrednost periode je **frekvenca valovanja ν**, ki nam pove, kolikokrat na sekundo val zaniha. Visoka frekvenca povzroča kratko valovno dolžino, nizka frekvenca pa dolge valove.

Valovna dolžina λ (dolžina enega vala) je opisana kot **razdalja med dvema hriboma** (ali razdalja med dvema dolinama), pri longitudinalnem valovanju pa je to dolžina razredčine + zgoščine.

Velja, da je **hitrost vala c** enaka produktu valovne dolžine λ in frekvence ν:

$$\boxed{c = \lambda \cdot \nu} \qquad \lambda = \frac{c}{\nu} \qquad \nu = \frac{c}{\lambda}$$

Obratna vrednost periode je **frekvenca valovanja**, ki nam pove, kolikokrat na sekundo val zaniha. Torej velje enako kot pri nihanju: $\nu = \frac{1}{t_0} \qquad t_0 = \frac{1}{\nu}$

Torej je hitrost valovna dolžina enaka tudi produktu med hitrostjo valovanja c in časa ena periode t_0: $\lambda = c \cdot t_0 \qquad c = \frac{\lambda}{t_0}$

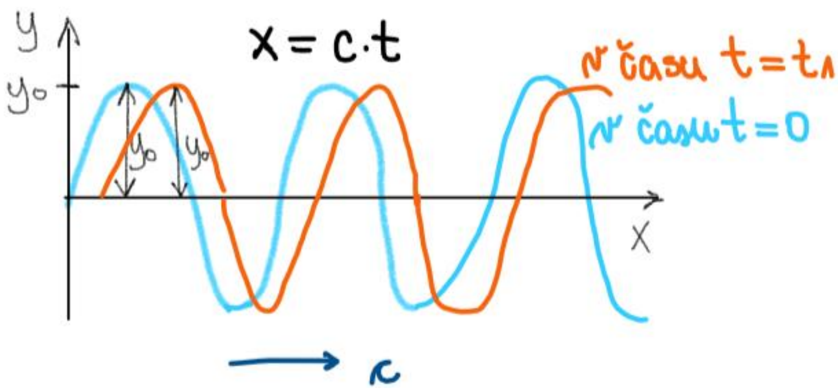
Enačba za odmik od ravnovesne lege za poljubni čas na izhodiščni legi x = 0:

$$y = y_0 \cdot \sin \omega t \qquad t = \frac{x}{c}$$

Enačba za odmik od ravnovesne lege y za katerikoli kraj v času t = 0 (glej graf na prejšnji strani):

$$y = y_0 \cdot \sin\left(\omega \cdot \frac{x}{c}\right)$$

POTUJOČI VAL:



x… pot (premik)

Enačba potujočega transverzalnega vala za odmik od ravnovesne lege y v kateremkoli času t in kraju x:

$$\boxed{y = y_0 \cdot \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x\right)}$$

Hitrost valovanja na napeti vrvi izračunamo z enačbo:

$$c = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

σ → natezna napetost

ρ → gostota snovi

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \left[\frac{kg}{m^3}\right]$$

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \left[\frac{N}{m^2} = Pa\right]$$

Ali z enačbo: $c = \sqrt{\frac{F \cdot d}{m}}$ F - napenjalna sila [N]

$$c = \sqrt{\frac{V \cdot F}{m \cdot S}}$$

$$V = S \cdot d$$

S → prečni prerez vrvi $[m^2]$

d → dolžina vrvi [m]

Stoječe transverzalno valovanje

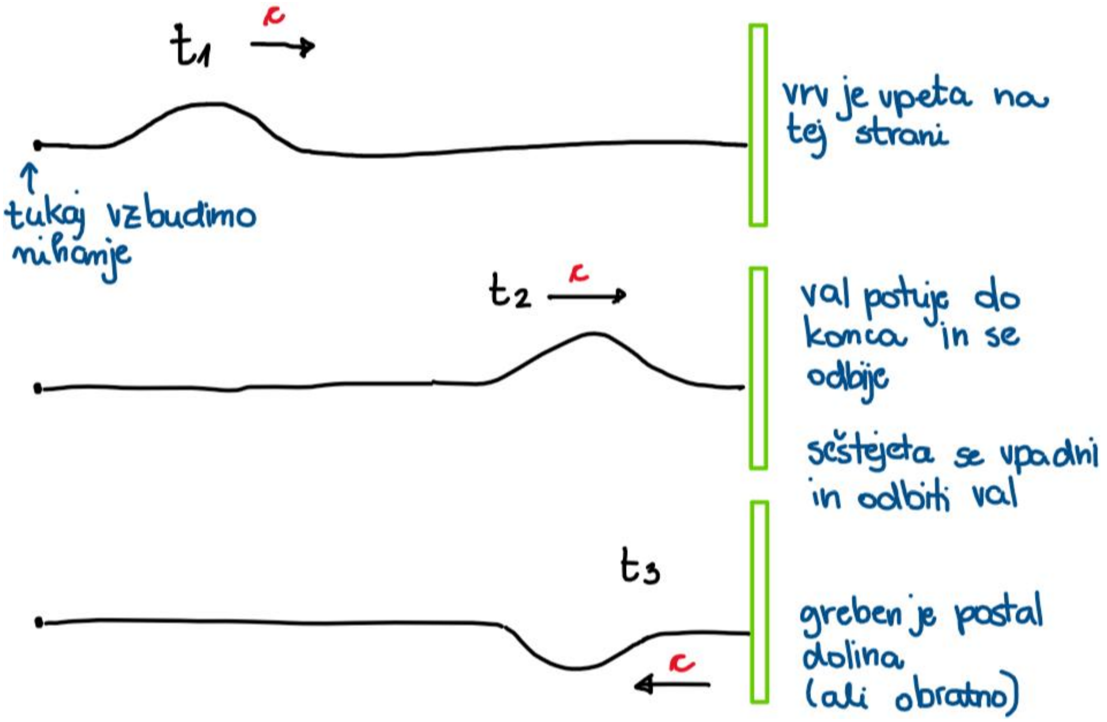
Srečamo ga pri glasbenih inštrumentih s struno (violina, kitara), pri bobnih ali inštrumentih s kovinsko ali leseno plloščico.

Odboj transverzalnega vala, ko je na eni strani vpeta vrv

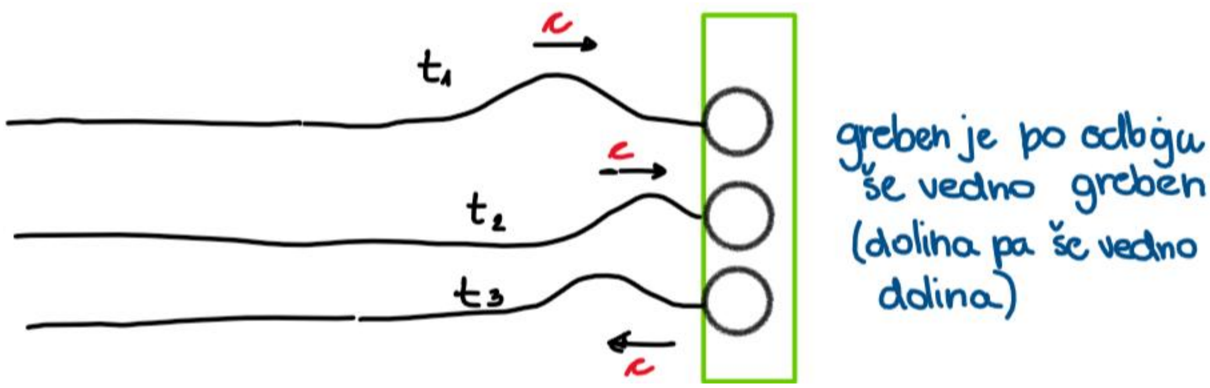
Na prosti strani z roko zanihamo vrv. Ta potuje do konca, kjer je vpeta, in se odbije. Pri tem se seštejeta vpadni in odbiti val.

Vrv je lahko na enem koncu pritrjena ali pa se lahko giblje (s pomočjo škripca).

Odboj vala, ko je na enem koncu fiksno pritrjena vrv:

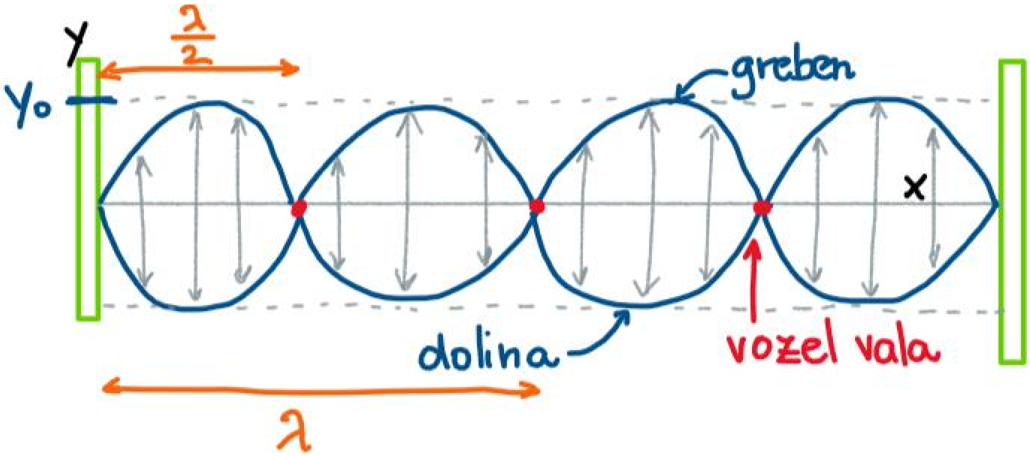


Odboj vala, ko je na enem koncu vrv pritrjena na škripec:



Odboj transverzalnega vala, ko je na obeh straneh vpeta vrv

Zaniha tako, da izgleda, kot da val miruje. Frekvenca, s katero zaniha, se imenuje lastna frekvenca nihanja.V primeru, da je dolžina vrvi večkratnik valovne dolžine, se zgodi, da nastanejo na določenih mestih vozli. Tam vrv vedno miruje.



Vrv zaniha z amplitudo $\frac{y_0}{2}$ in nasproti mu pride odbiti val enake amplitude. Ko se seštejeta, bo imel greben vala amplitudo y_0 .

Vpadni val: $y_{vp} = \frac{y_0}{2} \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda}(x - tc)$

Odbiti val: $y_{od} = \frac{y_0}{2} \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda}(x + tc)$

Vpadni val in odbiti val se na vrvi seštejeta: $y = y_{vp} + y_{od}$

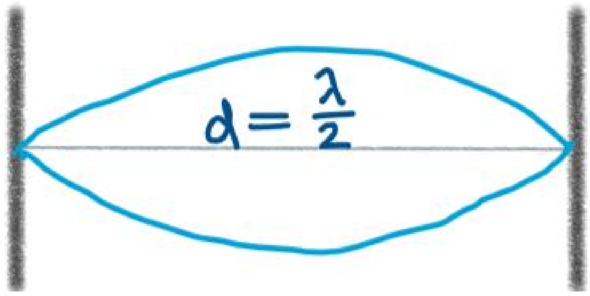
Enačba stoječega valovanja: $y = A(x) \cdot \cos(2\pi \nu t)$

$$A(x) = y_0 \cdot \sin \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x$$

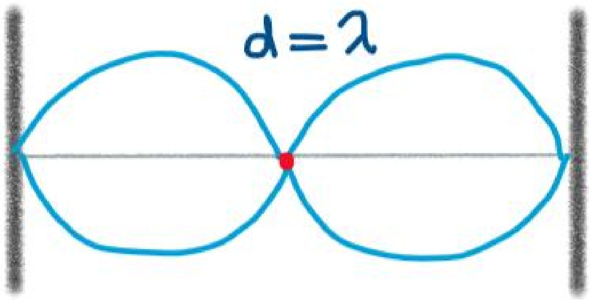
amplituda vala

Osnovna frekvenca nihanja je najnižja frekvenca, ko se vzpostavi stoječi val. Val lahko zaniha tudi z večkratnikom te frekvence, čemur pravimo *višje harmonske frekvence*.

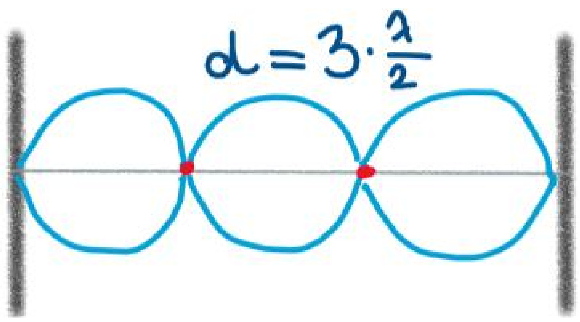
- Osnovna frekvenca:



- Prva harmonska frekvenca:



- Druga harmonska frekvenca:



V splošnem velja, da se vzpostavi stoječi val, ko je dolžina vrvi d:

$$d = N \cdot \frac{\lambda}{2}$$

N... harmoničnost $(N = 1, 2, 3, \ldots)$
(večkratnik osnovne frekvence)

$$\boxed{\lambda = \frac{2d}{N}}$$

d... dolžina vrvi

λ... valovna dolžina

Pri tem je frekvenca nihanja:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \rightarrow \nu = \frac{N \cdot c}{2d}$$

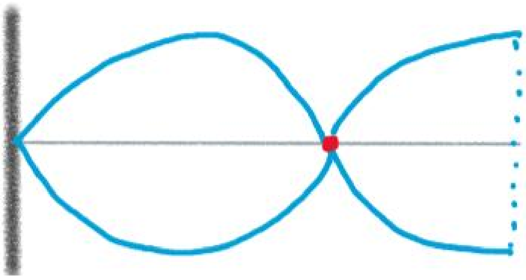
Na eni strani vpeta elastična ploščica (jeziček)

Jeziček na eni strani prosto niha, na drugi strani pa ga vpnemo. Vzpostavi se stoječi val:

- Osnovna frekvenca:

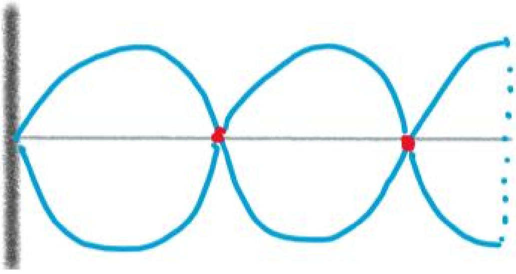
$$d = \frac{\lambda}{4} \quad (N=0)$$

- Prva harmonska frekvenca:



$$d = 3 \cdot \frac{\lambda}{4} \quad (N=1)$$

- Druga harmonska frekvenca:



$$d = 5 \cdot \frac{\lambda}{4} \quad (N=2)$$

V splošnem velja, da se vzpostavi stoječi val, ko je dolžina vrvi d:

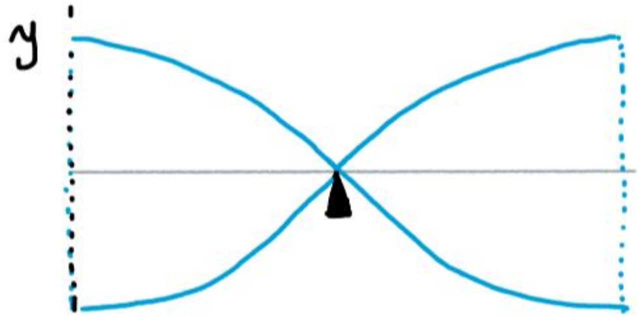
$$\boxed{\lambda = \frac{4d}{2N+1}} \quad N = 0, 1, 2, 3, \ldots \qquad d = (2N+1) \cdot \frac{\lambda}{4}$$

Pri tem je frekvenca nihanja: $\nu = \frac{(2N+1)c}{4d}$

Na obeh straneh prosta elastična ploščica (jeziček)

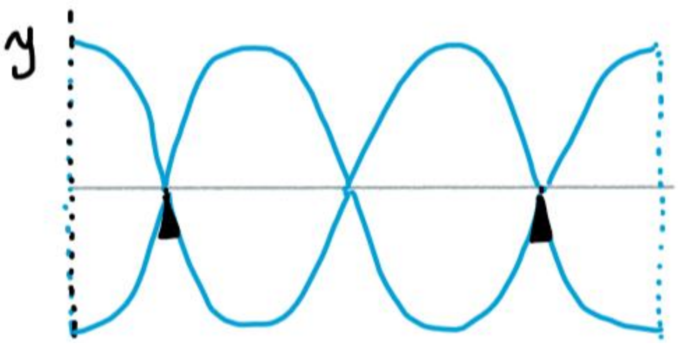
Tokrat po elastični ploščici samo udarimo po njej, da prosto zaniha, ne da bi bila kje vpeta. Ploščica ima na prostih koncih največjo amplitudo nihanja. Vmes pa je eden ali več vozlov, odvisno od frekvence.

- Osnovna frekvenca:



$$d = \frac{\lambda}{2}$$

- Prva harmonska frekvenca:



$$d = \frac{3\lambda}{2}$$

V splošnem velja, da se vzpostavi stoječi val, ko je dolžina ploščice d:

$$d = (2N+1) \cdot \frac{\lambda}{2} \qquad N = 0, 1, 2, 3, 4, \ldots$$

$$\boxed{\lambda = \frac{2d}{2N+1}}$$

Pri tem je frekvenca nihanja:

$$\nu = \frac{(2N+1)c}{2d}$$

Valovanje na gladini kapljevine

- Ni niti transverzalno niti longitudinalno valovanje (je posebna oblika; podobno kot nitno nihalo)
- Izvir je lahko enkratna motnja (kamen) ali več motenj (zrak, veter, ladja, potres…). če je izvirov valovanja več, se valovi (amplitude) seštevajo
- Oznaka za hitrost širjenja valovanja: $\boldsymbol{c}\ \left[\frac{m}{s}\right]$
- Valovi na kapljevini se uklanjajo na ovirah

HITROST VALOVANJA

⤳ plitka voda: $h > \lambda$

$$\boxed{c = \sqrt{g \cdot h}}$$

h… globina vode [m]

$g = 9{,}81\ \frac{m}{s^2}$

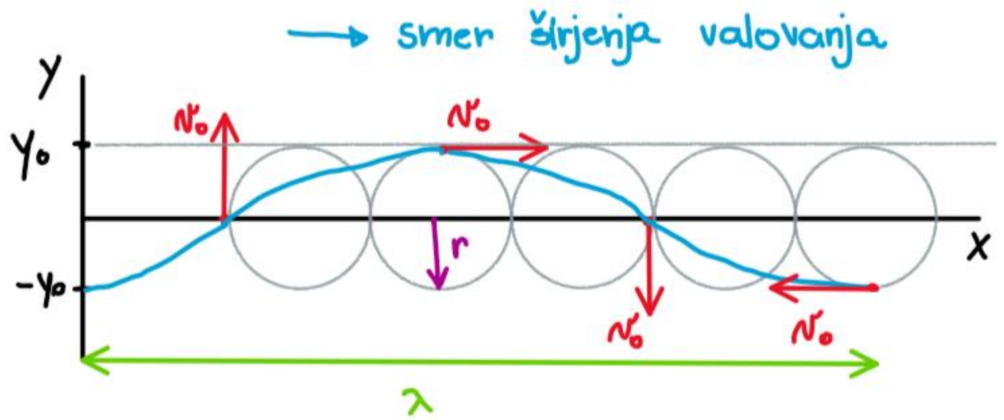
⤳ globoka voda: $\lambda > h$

$$\boxed{c = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi}}}$$

λ… valovna dolžina [m]

KROŽNO GIBANJE DELCEV VODE

Pri valovanju delci vode na gladini krožijo, kot prikazuje spodnja slika. Valovi so približno sinusni, če je valovna dolžina dosti večja od amplitude valovanja in če je globina vode dosti večja od valovne dolžine:



r… radij kroženja je enak amplitudi valovanja y_0

Obodna hitrost kroženja v_o je odvisna od kotne hitrosti ω in radija kroženja, zato veljata naslednji enačbi:

$$v_o = \omega \cdot r$$

$$v_o = \omega \cdot y_o$$

obodna hitrost $[m/s]$

kotna hitrost $[s^{-1} = Hz]$

amplituda valovanja $[m]$

Enačba za kotno hitrost: $$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi c}{\lambda}$$

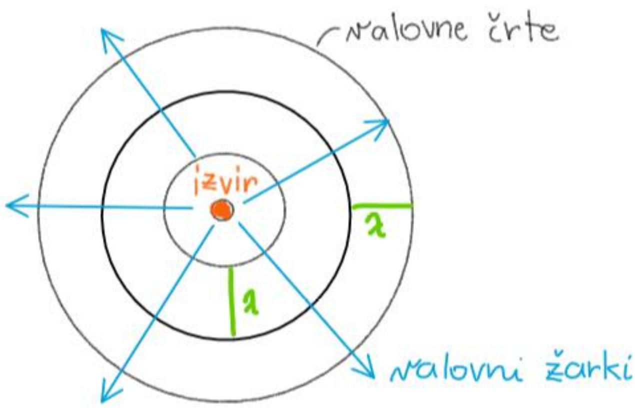
Enačba, ki povezuje valovno dolžino in frekvenco: $$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

ŠIRJENJE VALOV PO KAPLJEVINI

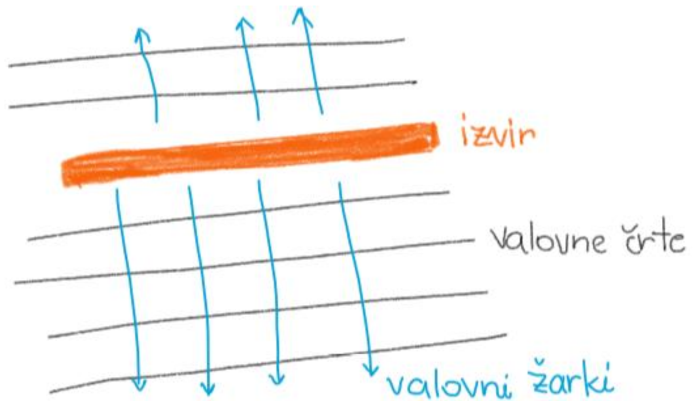
Val v vodi se lahko širi v vse smeri. Smer širjenja valovanja določa **valovni žarek** (oznaka s puščico). Greben ali dolino vala ponazarja **valovna črta.** Razdalja med dvema valovnima črtama je **valovna dolžina.**

Smer valovnih žarkov in oblike črt (krivulj) sta odvisna od oblike izvira:

- ***Točkast izvir*** - valovi so v obliki koncentričnih krogov, valovni žarki pa gredo iz središča izvira v vse smeri in se oddaljujejo od središča:



- ***"Poličast" izvir*** (npr. dolga ravna polica) - valovi so ravni in vzporedni s polico, valovni žarki pa so pravokotni na valove in kažejo smer gibanja valov:



Zvok - akustika

Longitudinalno valovanje - zvok

Delci snovi nihajo v isti smeri, kot se širi val. Nihalo niha v isti smeri, kot se širijo valovi. Pri tem nastanejo zgoščine in razredčine, ki se širijo stran od izvora valovanja s hitrostjo c. V času t naredijo pot $x = ct$.

V času enega nihaja t_0 pa naredijo pot, ki je enaka valovni dolžini valovanja:

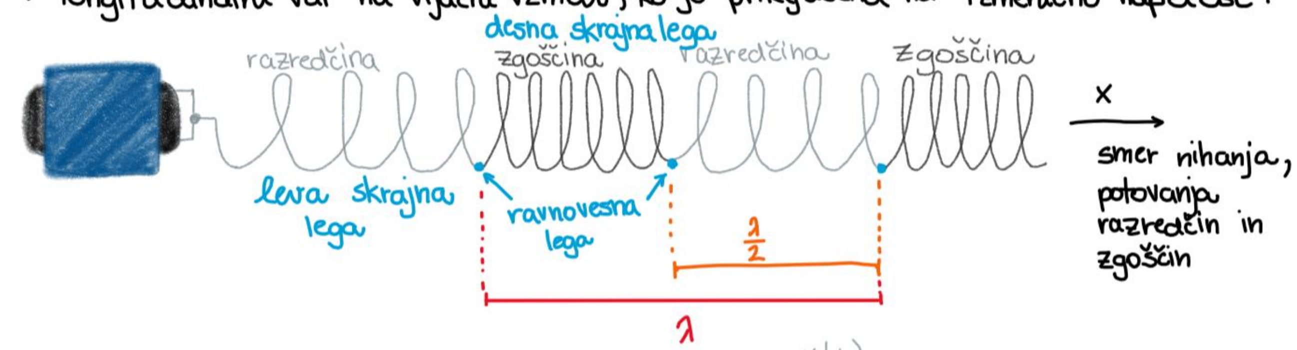
$$\lambda = c \cdot t_0 = \frac{c}{\nu} \qquad \nu = \frac{c}{\lambda} \qquad c = \lambda \cdot \nu$$

Frekvenca in perioda sta obratni vrednosti:

$$\nu = \frac{1}{t_0} \qquad t_0 = \frac{1}{\nu}$$

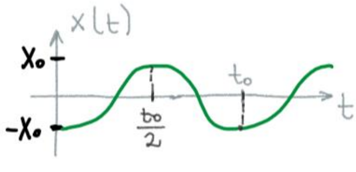
Najbolj znan primer longitudinalnega valovanje je širjenje zvoka v zraku, lahko pa poteka to širjenje tudi v kapljevinah in trdninah.

~ longitudinalni val na vijačni vzmeti, ko je priključena na izmenično napetost:



Enačba nihala: $x(t) = -x_0 \cdot \cos\omega t$

lega (premik levo in desno)



Odmik delcev ***s(x)*** od ravnovesne lege v odvisnosti od lege na vzmeti x v času ***t = 0***:

$$s(x) = s_0 \cdot \sin\omega t \qquad (\omega = 2\pi\nu)$$

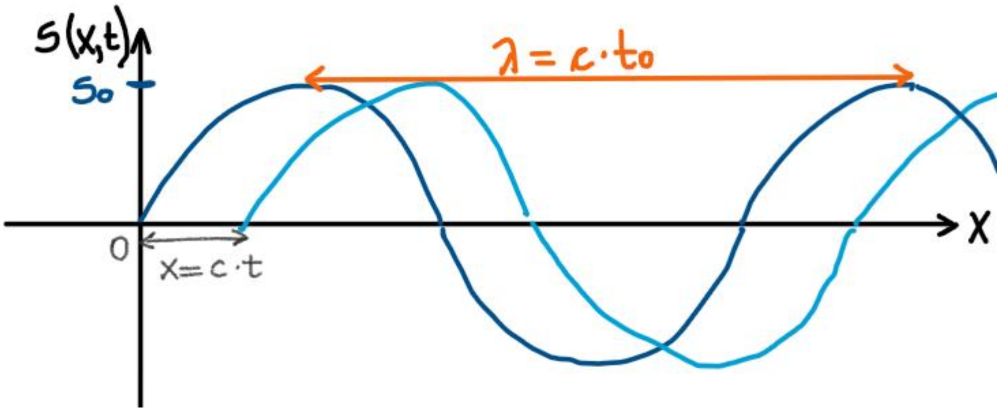
$$= s_0 \cdot \sin 2\pi\nu t$$

$$= s_0 \cdot \sin\frac{2\pi c t}{\lambda} = s_0 \cdot \sin\frac{2\pi x}{\lambda}$$

$$s(x) = s_0 \cdot \sin\frac{2\pi}{\lambda}x$$

Odmik delca od ravnovesne lege v odvisnosti od časa t in razdalje x je enačba potujočega longitudinalnega vala:

$$\boxed{s(x,t) = s_0 \cdot \sin\frac{2\pi}{\lambda}(x - tc)}$$

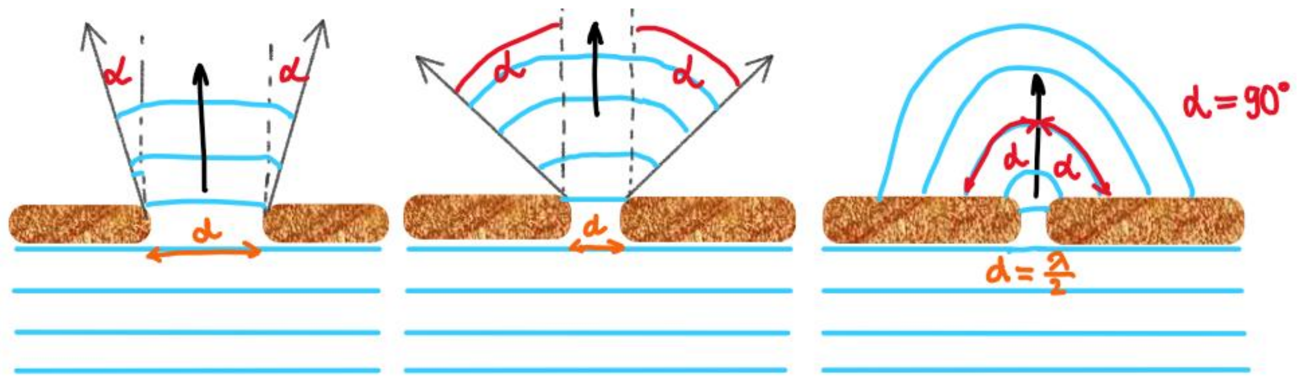


Uklon in interferenca zvoka

Poleg tega, da se lahko val odbije od oviro, se zgodi tudi to, da se val ukloni ob oviri. Zvok lahko prehaja tudi iz trdne snovi ali kapljevine v zrak in obratno. Ko preide iz ene snovi v drugo, pravimo, da se zvok lomi.

Uklon zvoka pojasnimo s pomočjo ***Huygensevega načela.***

Uklon valovanja skozi različno široke odprtine:



Pri širši odprtini je kot manjši. Če je širina odprtine polovica valovne dolžine, je kot enak 90° (dobimo **novi izvor - polkrogelno valovanje**). V širini odprtine je valovna fronta enaka kot pred oviro (ravna črta). Tik ob oviri na robovih ima ovojnica obliko polkrogle.

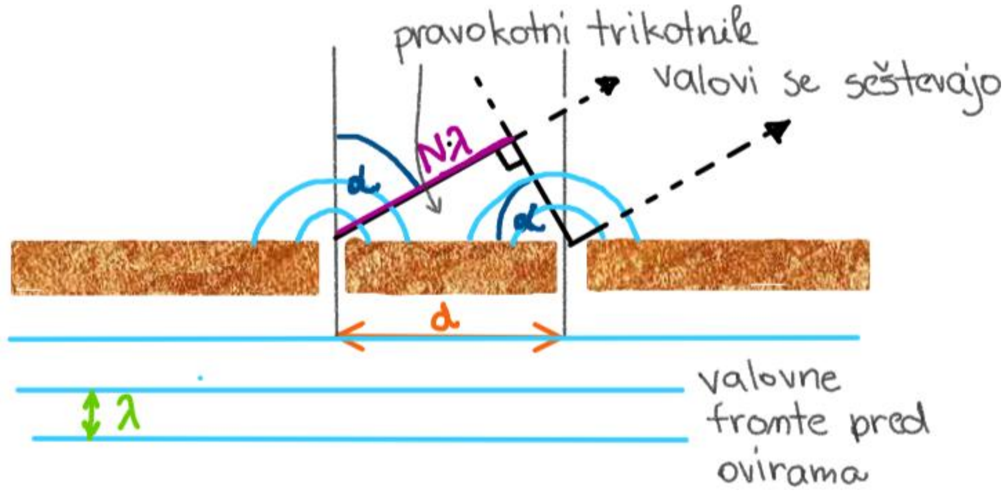
Interferenca zvoka nastane, ko se na istem mestu srečata dva ali več valov.Ti valovi se seštevajo ali odštevajo, ojačajo ali oslabijo.

To lahko dosežemo s tem, da postavimo **dve majhni odprtini v oviri, ki sta med sebom razmaknjeni za razdaljo d**, ter skozi spustimo zvok.Vsaka odprtina je novi izvor polkrogelnega valovanja. Pod določenim kotom se zvok ojača (valova se seštejeta), pod drugačnim kotom pa oslabi (valova se odštejeta)

- **OJAČANJE VALOV**

Na simetrali med odprtinama se dovolj stran od ovire vedno srečata hriba ali dolini obeh izvorov. V tej smeri zvok ojača.

Tudi pod kotom α glede na navpičnico se zvok ojača, če se tam srečata dva hriba ali dve dolini.



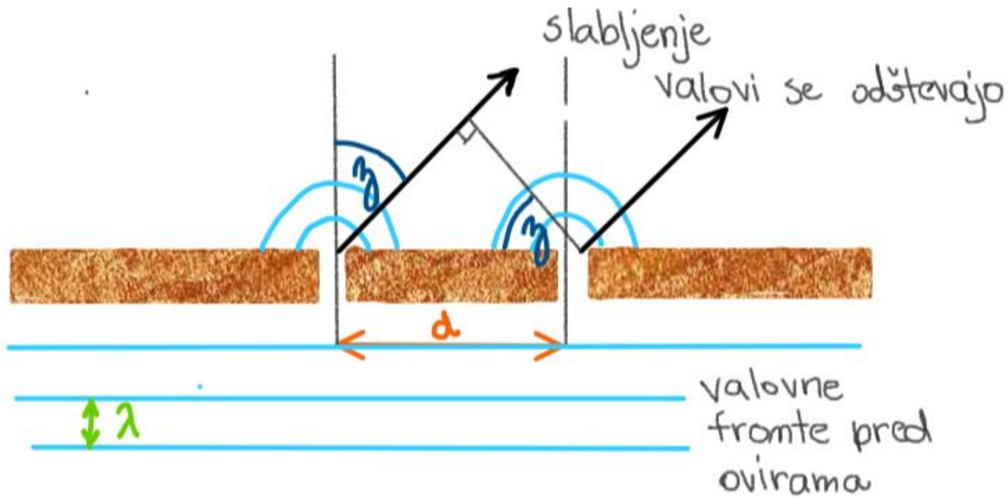
Iz pravokotnega trikotnika dobimo enačbo za izračun smeri ojačanja zvoka:

N… 0 ali naravno število
d… razdalja med izvoroma
λ… valovna dolžina zvoka

$$\sin\alpha = \frac{N\cdot\lambda}{d}$$

- **SLABLJENJE VALOV**

Se zgodi, ko se sreča val od enega izvora s hribom od drugega izvora. Takrat se valova odštejeta. Takrat sta vala zamaknjena za $\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \ldots \frac{(2N+1)\lambda}{2}$



Recimo, da se valova oslabita pod kotom β. Potem velja enačba za izračun smeri slabljenja valov:

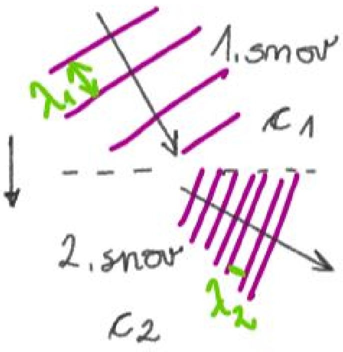
$$\sin\beta = \frac{(2N+1)\cdot\lambda}{2d}$$

LOM ZVOKA se zgodi, ko val vpade iz

ene snovi, v kateri se širi s hitrostjo c_1

$\downarrow$

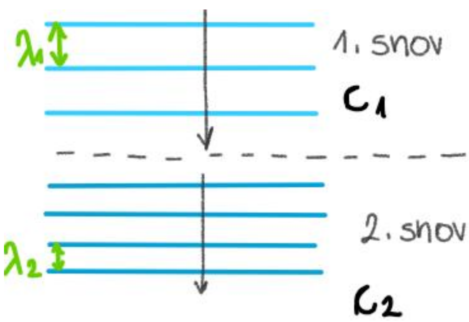
v drugo snov, v kateri je hitrost širjenja c_2



$$\lambda_1 = c_1\cdot t_0 \qquad \lambda_2 = c_2\cdot t_0$$

Ločimo dve situaciji:

1. *Valovni žarek pada pravokotno na mejno ploskev*



$$\lambda_1 = c_1\cdot t_0$$

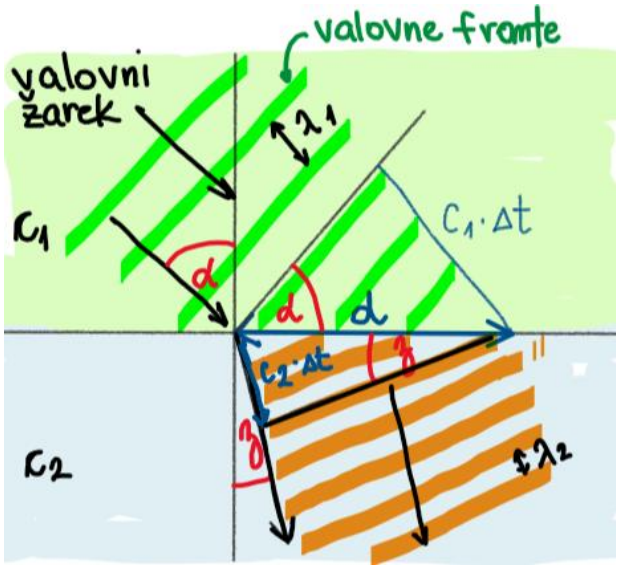
$$\lambda_2 = c_2\cdot t_0$$

2. *Valovni žarek NE pada pravokotno na valovno ploskev*

Val pri prehodu iz ene snovi v drugo snov spremeni smer gibanja (se ukloni). Na spodnji sliki je primer loma valovanja, ko hitrost širjenja v prvi snovi večja kot hitrost valovanja v drugi snovi:

$$\sin\alpha = \frac{c_1\cdot\Delta t}{d}$$

$$\sin\beta = \frac{c_2\cdot\Delta t}{d}$$



Valovne fronte so sedaj pod kotom α glede na ploskev. Valovni žarki pa so (vedno) pravokotni na valovne fronte.

Ko levi rob vala zadane mejno ploskev, mora desni rob še narediti pot $c_1\,\Delta t$.

Podobno velja za val, ki je že vpadel v drugo snov; ko je desni rob vala šele na mejni ploskvi,e je levi rob že naredil pot $c_2\,\Delta t$.

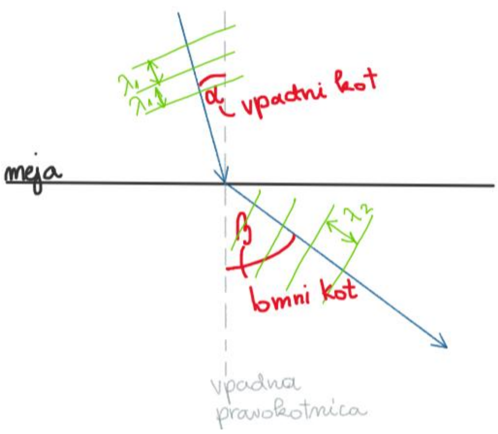
Pri prehodu valovanja iz ene snovi v drugo, kjer je drugačna hitrost širjenja valovanja, se valovna dolžina spremeni:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Lomni zakon pravi, da je razmerje sinusa vpadnega kota in lomnega kota, enako razmerju hitrosti širjenja v obeh snoveh:

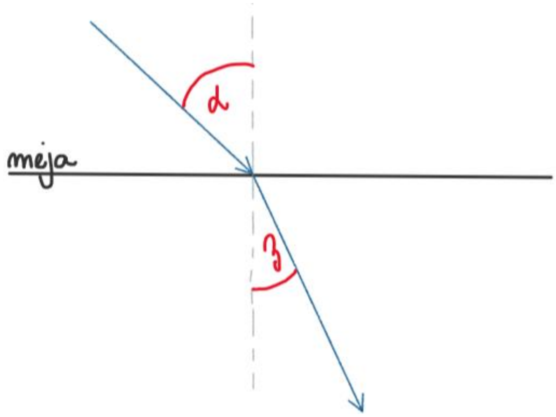
$$\boxed{\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c_1}{c_2}}$$

- Hitrost valovanja v prvi snovi manjša kot je po prehodu v drugo snov:



$$c_1 < c_2$$
$$\alpha < \beta$$
$$\nu_1 = \nu_2$$
$$\lambda_1 < \lambda_2$$
$$n_1 > n_2$$

- Hitrost valovanja v prvi snovi večja kot je po prehodu v drugo snov:



$c_1 > c_2$

$\alpha > \beta$

$\nu_1 = \nu_2$

$\lambda_1 > \lambda_2$

$n_1 < n_2$

Širjenje zvoka

Ljudje slišimo zvok s frekvencami od približno **20 Hz do 20kHz**. Nižje frekvence imenujemo **infrazvok**, višje pa **ultrazvok**, ki jih ne slišimo. Zvok se širi tem hitreje, čim manjša je stisljivost snovi, torej se napočasneje širi v plinu, hitreje pa v kapljevinah in trdnih snoveh.

Delci ne nihajo sočasno, zato nastajajo **razredčine in zgoščine**. V zgoščini je tlak povečan, v razredčinah pa zmanjšan.

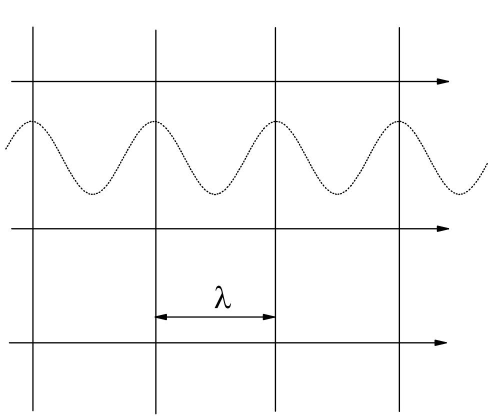
Izvir zvoka lahko oddaja zvok z eno samo frekvenco (**ton**), lahko pa poleh tona oddajajo še mnogokratnike te frekvenc (takemu zvoku pravimo **zven**). za uglaševanje glasbenih inštrumentov uporabljamo glasbene vilice.

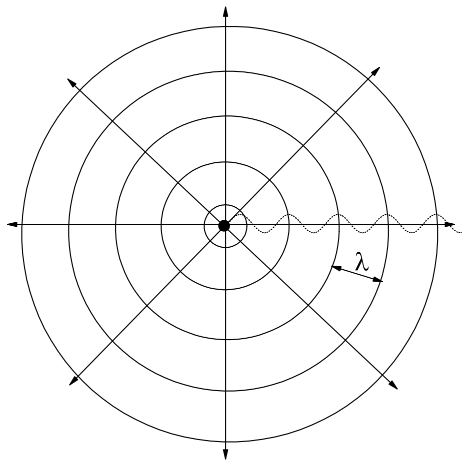
Glasbeni inštrumenti lahko delujejo:

- na osnovi lastnega nihanja napete vrvi (violina, kitara, klavir, ksilofon, bobni,...)

- na osnovi lastnega nihanja zraka v cevi (piščali, klarinet, flavta, saksofon, trobenta,...)

Enako, kot vidimo v poglavju 'Širjenje zvoka po kapljevini', je izvor zvoka lahko planarni (ravne črte, police) ali krogelni (točkast) izvor, kjer so valovne fronte koncentrični krogi.



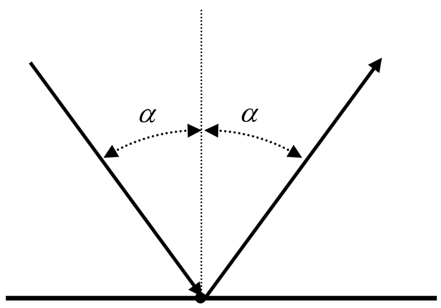


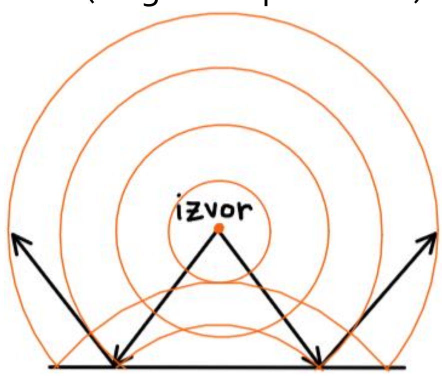
ODBOJ ZVOKA

Zvok, ki zadene ob oviro, se lahko odbije, ali pa se obsorbira skozi oviro. Kolikšen del se odbije, nam pove koeficient odbojnosti.

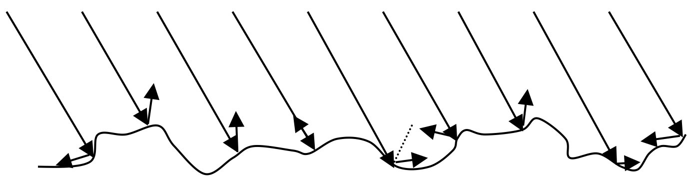
V kolikor se od ovire zvok popolnoma odbije, je koeficient odbojnosti enak 1. Takrat velja zakon odboja: vpadni kot je enak odbojnemu kotu.

Zrcalni odboj planarnega in krogelnega vala (na gladkih površinah):





Difuzni odboj v vse smeri (na hrapavih površinah:



HITROST ZVOKA je odvisna od snovi, po kateri se širi zvok. Enačba: $c = \frac{1}{\sqrt{\chi\rho}}$

χ ... stisljivost snovi ρ ... gostota snovi

Namesto stisljivost lahko uporabimo tudi modul elastičnosti E in dobimo enačbo:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Hitrost zvoka v zraku: $c = \sqrt{\frac{\kappa RT}{M}}$

κ ... razmerje med specifično toploto pri stalnem tlaku in specifično toploto pri stalnem volumnu

M ... kilomolska masa zraka (= 29 kg) T ... absolutna temperatura

R... splošna plinska konstanta ($R = 8314 \frac{J}{kmolK} = 8{,}314 \frac{J}{molK}$)

Tabela hitrosti zvoka v določenih snoveh:

Snov	Hitrost zvoka (m/s)
Guma	46
Zrak pri 0°C	331
Vodik pri 0°C	1284
Voda	1400 do 1500
Les hrast	3800
Beton	3700
Jeklo	5050
Aluminij	5100

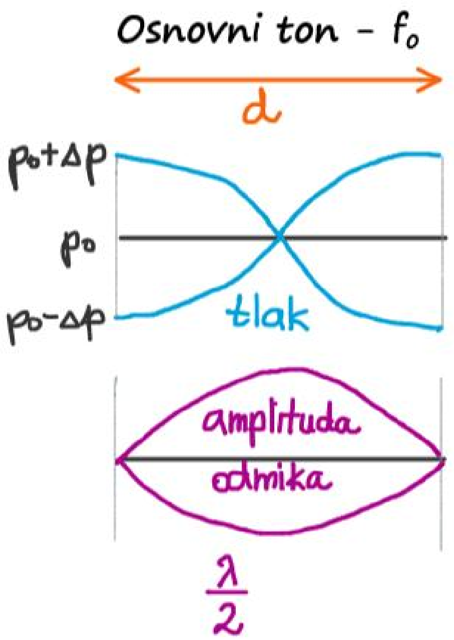
Stoječe zvočno valovanje

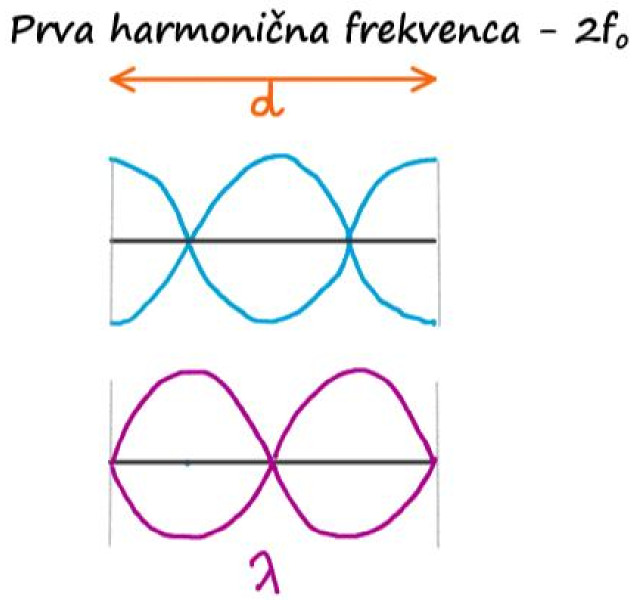
Ko se zvočni val odbija od sten v zaprtih prostorih, se odbiti val sešteje z vpadnim valom. Pravimo, da val **interferira**. V posebnih pogojih povzroči interferenca med vpadnim in odbitim valom stoječi val (val navidezno miruje). V valovnih vozlih molekule mirujejo.

Pri osnovnem tonu oziroma osnovni frekvenci govorimo o lastnem nihanju piščali. Poznamo pa tudi mnogokratnike osnovne frekvence, ki jim pravimo višje harmonične frekvence. Piščal je lahko na obeh koncih zaprta, na obeh koncih odprta ali pa na enem koncu zaprta, na drugem pa odprta.

NA OBEH STRANEH ZAPRTA PIŠČAL

Ob stenah so molekule zraka stisnjene in se me norejo gibati, zato je tam hrbet zvočnega tlaka in vozel odmika od ravnovesne lege. Obratno, kjer je vozel zvočnega tlaka, tam je hrbet odmika od ravnovesne lege.





Stoječi longitudinalni val se vzpostavi, ko je dolžina piščali mnogokratnik valovne dolžine:

$$d = N \cdot \frac{\lambda}{2} \qquad \lambda = \frac{2d}{N}$$

Frekvenco nihanja na obeh straneh zaprte piščali pa izračunamo tako:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \qquad \boxed{\nu = \frac{c \cdot N}{2d}}$$

vstavimo $\lambda = \frac{2d}{N}$

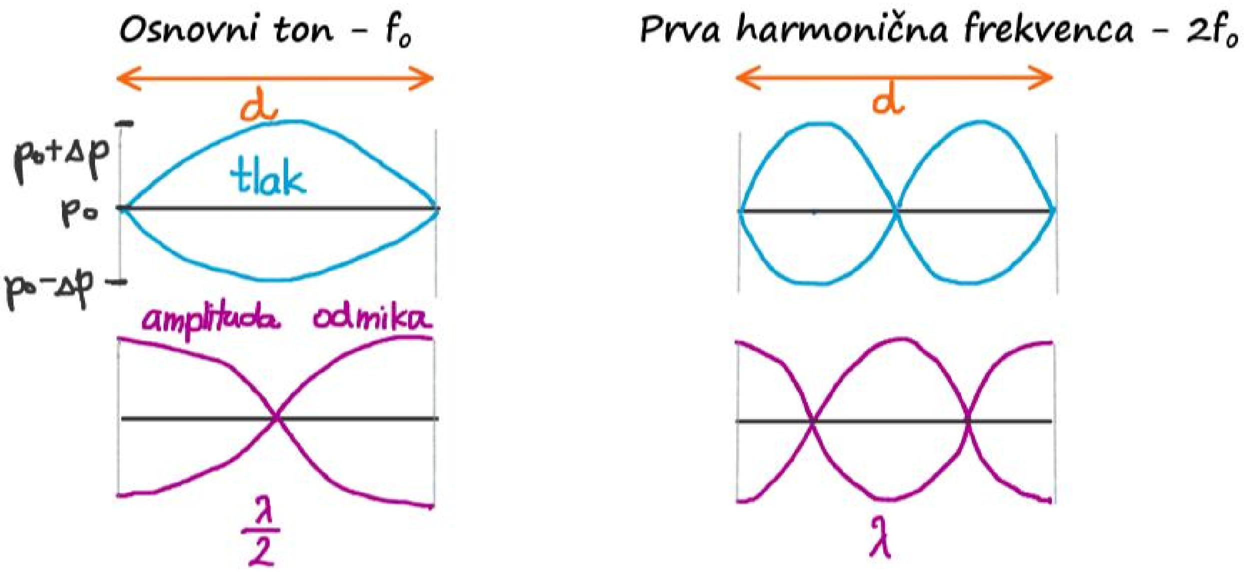
c... hitrost širjenja zvoka

d... dolžina piščali

Če vstavimo N = 1, dobimo osnovno frekvenco nihanja, za N = 2 dobimo prvo harmonično frekvenco, itd.

NA OBEH KONCIH ODPRTA PIŠČAL

Hrbet zvočnega tlaka nastane v sredi cevi, zvočni tlak ob odprtih koncih pa je enak zračnemu tlaku p_0.



Dolžina piščali v odvisnosti od valovne dolžine: $d = N \cdot \frac{\lambda}{2} \qquad \lambda = \frac{2d}{N}$

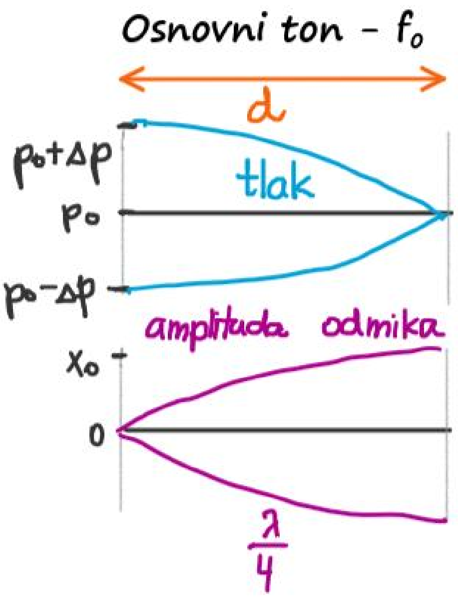
Frekvenca nihanja na obeh straneh odprte piščali pa je:

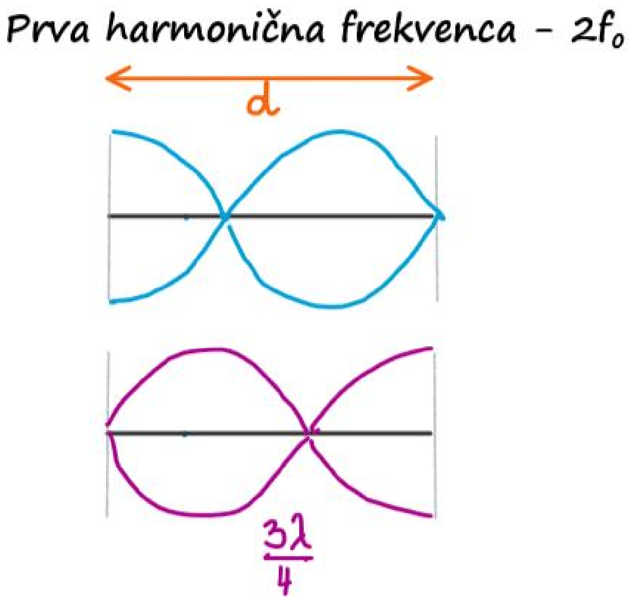
$$\nu = \frac{c}{\lambda} \qquad \boxed{\nu = \frac{c \cdot N}{2d}}$$

vstavimo $\lambda = \frac{2d}{N}$

POLODPRTA PIŠČAL

Na zaprtem delu je hrbet zvočnega tlaka, na odprtem pa vozel zvočnega tlaka.





Dolžina piščali v odvisnosti od valovne dolžine:

$$d = (2N-1)\cdot\frac{\lambda}{4} \quad ; \quad N \in \mathbb{N}$$

$$\lambda = \frac{4d}{2N-1}$$

Frekvenco nihanja na polodprti piščali pa izračunamo:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \qquad \boxed{\nu = \frac{c\cdot(2N-1)}{4d}}$$

Akustika prostorov

Če je prostor akustičen, slišimo zvok (npr. glasbo) zelo polno in obogateno. Če poslušamo enake zvoke na prostem, je slušni učinek slabši, saj ni pravih odbojev zvoka. Zaprt prostor deluje kot resonator, ki ojača zvoke določenih frekvenc.

ODMEV je posledica večkratnih odbojev na steni, stropu in tleh. Odbiti valovi prispejo do poslušalca ob različnih trenutkih in ga zaznamo kot slišnost tona po tem, ko je ton že izzvenel. Odmev je koristen, če ima zakasnitev majhno (cca. 80 ms). Odmev je moteč, ko povzroči prekrivanje direktnega in odbitega vala. Zaradi večje zakasnitve odboja slišimo istočasno predhodni zvok in novi direktni zvok, zato se poslabša razumljivost.

JEK zaznamo kot ponovljen ton, ko je prvotni ton že izzvenel. Zvok, ki ga oddaja izvor, prispe najprej neposredno do poslušalca in nato z zakasnitvijo prispe še od oddaljenega objekta odbiti zvok. Zakasnitev izračunamo po enačbi:

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{c}$$

s...razlika poti med direktnim in odbitim valom

Dopplerjev pojav

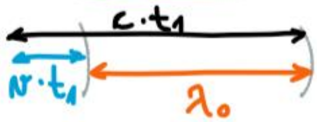
Če izvor valovanja (oddajnik zvoka) in sprejemnik mirujeta, zazna sprejemnik enake frekvence, kot jih oddaja oddajnik. Frekvenca se zazna na podlagi časa med dvema zgoščinama ali razredčinama. Gibanje sprejemnika ali oddajnika pa povzroči, da se ta čas (perioda) spremeni in s tem tudi frekvenca, ki jo zaznamo. **Odvisnost frekvence od te hitrosti gibanja se imenuje Dopplerjev pojav**.

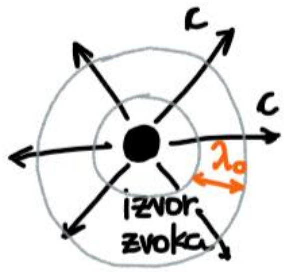
Izvor zvoka in sprejemnik mirujeta

Izvor zvoka miruje, sprejemnik se giblje

sprejemnik se oddaljuje od izvora

$\lambda_0 = c \cdot t_1 - v \cdot t_1$





$\lambda_0 = c \cdot t_0$

λ_0 ... razdalja med zgoščinama

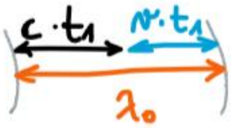
t_0 ... perioda

$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0}$

ν_0 ... frekvenca izvora

sprejemnik se približuje izvoru

$\lambda_0 = c \cdot t_1 + v \cdot t_1$



$c \cdot t_1$ ... pot zvoka

$v \cdot t_1$ ... pot sprejemnika

t_1 ... poljuben čas

$\lambda_0 = c \cdot t_0 = \frac{c}{\nu_0}$

$t_1 = \frac{1}{\nu_1}$

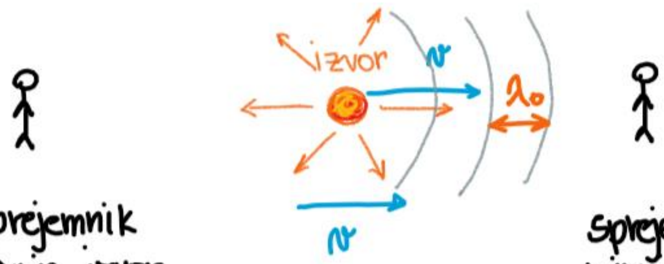
Velja torej zveza:

$$\boxed{\nu_1 = \nu_0 \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)}$$

+ ... če se približujeta

− ... če se oddaljujeta

Izvor zvoka se giblje, sprejemnik miruje



sprejemnik miruje, izvor se oddaljuje od njega

$$\lambda_1 = \lambda_0 + \underbrace{v \cdot t_0}_{c \cdot t_0}$$

sprejemnik miruje, izvor se mu približuje

$$\lambda_1 = \lambda_0 - \underbrace{v \cdot t_0}_{c \cdot t_0}$$

$$t_0 = \frac{1}{\nu_0}$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} = c \cdot t_0$$

$$\lambda_1 = \frac{c}{\nu_1}$$

λ_1 … nova valovna dolžina
ν_0 … frekvenca izvora
λ_0 … prvotna valovna dolžina
ν_1 … frekvenca, ki jo slišimo
$v \cdot t_0$ … pot izvora

Velja torej zveza:

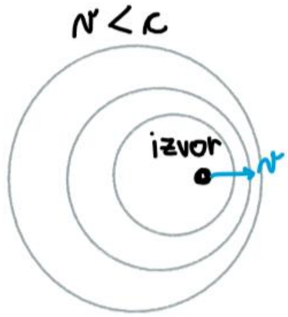
$$\boxed{\nu_1 = \frac{\nu_0}{1 \mp \frac{v}{c}}}$$

$-$ … se približujeta
$+$ … se oddaljujeta

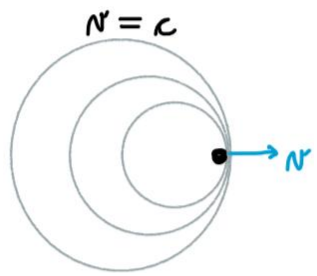
Zvočni zid

V primeru gibajočega se izvora se zvočni valovi v obliki koncentričnih krogov tudi premikajo, saj se premika središče teh krogov. V smeri gibanja izvora se valovne črte stiskajo, v obratni smeri gibanja pa se raztezajo. Ločimo več situacij.

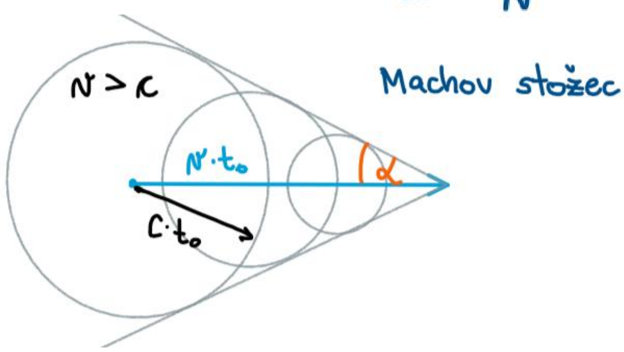
1. Kadar je hitrost gibanja samega izvora v manjša od hitrosti širjenja valovanja c, se radij valovnih front veča sorazmerno s hitrostjo valovanja ct.



2. Kadar je hitrost gibanja enaka hitrosti valovanja zvoka ($c = v$), se valovni hrbti zgostijo v smeri gibanja, da postane razdalja med njimi enaka nič. To se sliši kot pok in pravimo, da je oddajnik zvoka (npr. letalo) prebil zvočni zid.



3. Kadar se izvor zvoka giblje hitreje od zvoka, ovojnica valovnih črt tvori **Machov stožec**. Velja enačba za polovični kot vrha: $\sin\alpha = \frac{c}{v}$



Kvocient $\frac{v}{c}$ imenujemo mach (oznaka M, nima enote): $M = \frac{v}{c}$

Energija zvoka

Energija zvoka je **energija nihajočih delcev**. Zgoščine in razredčine se širijo proti sprejemniku in delci snovi vsiljeno nihajo s frekvenco, ki jo določa izvor zvoka. Ko se molekule snovi stisnejo, je vsa energija v prožnostni energiji, ko pa se razširijo, se prožnostna energija pretvarja v kinetično. Torej je <u>celotna energija konstantna in enaka vsoti prožnostne in kinetične energije oziroma enaka maksimalni prožnostni ali maksimalni kinetični energiji</u> (enako kot pri nihanju vzmeti):

$$\boxed{W = W_k + W_{pr} = W_{k(max)} = W_{pr(max)}}$$

Kinetična energija molekule z maso m: $W_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$ [J]

Gostota snovi: $\rho = \frac{m}{V}$ $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

Maksimalna hitrost nihanja: $v_0 = \omega \cdot x_0$

x_0... odmik od ravnovesne lege

Gostota kinetične energije: $w_k = \frac{W_k}{V}$

Gostota zvočne energije:

$$\boxed{w = \frac{\rho \cdot \omega^2 \cdot x_0^2}{2}}$$

Zvočni tok (ali moč zvoka) je njegova energija v opazovanem času *t*:

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{w \cdot \Delta V}{\Delta t} = \frac{w \cdot S \cdot c \cdot \cancel{\Delta t}}{\cancel{\Delta t}}$$

$$\boxed{P = w \cdot S \cdot c}$$

Gostota zvočnega toka:

$$j = \frac{P}{S} = \frac{w \cdot \cancel{S} \cdot c}{\cancel{S}} \rightarrow j = w \cdot c$$

$$\boxed{j = \frac{\rho \cdot \omega^2 \cdot x_0^2 \cdot c}{2}}$$

0 dB ... slušni prag

120 dB ... prag bolečine

Glasnost zvoka: zvok, ki ga slišimo, se nahaja v območju gostote zvočnega toka med 10^{-12} in $1\,\frac{W}{m^2}$.

Slušni prag je najnižja gostota zvočnega toka, ki jo še slišimo. Odvisen je od frekvence zvoka. Človeško telo je najbolj občutljivo za frekvenco okoli 3 Hz.

Frekvence, ki jih človek lahko sliši: od 20 Hz do 20 kHz (vendar se slišnost niža s starostjo). Najvišja gostota zvočnega toka, ki jo še lahko slišimo, je **prag bolečine**.

Jakost zvoka J: $J = 10 \log\left(\frac{j}{j_{min}}\right)$ [dB]

Enota za jakost zvoka je decibel [dB].

j_{min} ... prag slišnosti

Spektralna gostota moči:

$$W(\nu) = \frac{\Delta P}{\Delta \nu} \quad [Ws = J]$$

Spektralna gostota zvočnega toka:

$$\frac{\Delta j}{\Delta \nu} \quad \left[\frac{J}{m^2}\right]$$

Svetloba

je elektromagnetno (EM) valovanje. **Izvori elektromagnetnega valovanja:** Sonce, radijski oddajniki, svetila, ...

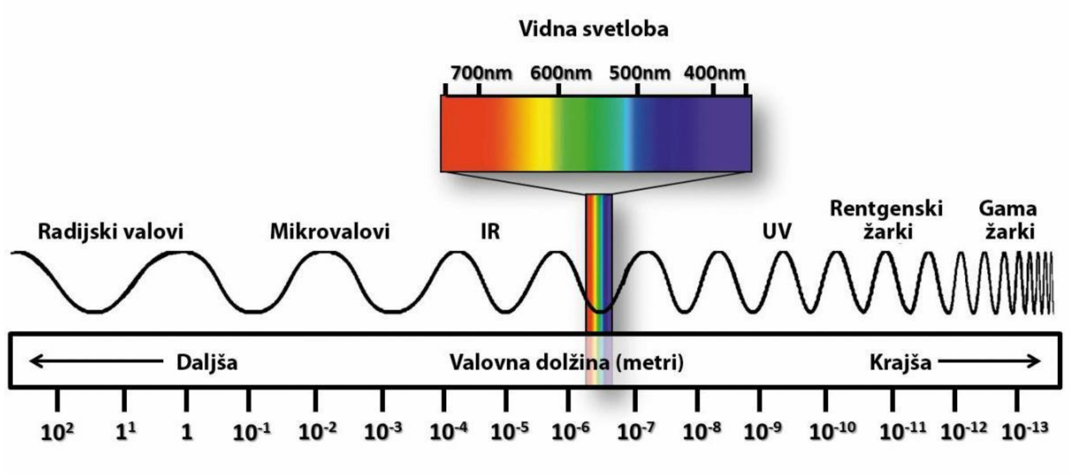
Izvori svetlobe so telesa, segreta na visoko temperaturo (črna telesa, npr. Sonce, nitka klasične žarnice, ...) in telesa, ki oddajajo svetlobo zaradi sprememb elektronskih stanj atoma (LED žarnice, laserske diode, ...).

Hitrost svetlobe v vakuumu (v zraku je tudi približno taka vrednost):

$$c_0 = 300\,000\,000\ \frac{m}{s} = 3 \cdot 10^8\ \frac{m}{s}$$

Če svetloba preide v drugo snov, se njena hitrost zmanjša. Kolikokrat se zmanjša, pa nam pove **lomni količnik *n*:**

Razdelitev (spekter) EM valovanja glede na izvor valovanja od najdaljših do najkrajših valovnih dolžin:



Del tega valovanja so tudi valovi vidne svetlobe, ki ima razpon valovne dolžine od **750 nm (rdeča svetloba) do 380 nm (vijolična svetloba).**

Zvezo med valovno dolžino in frekvenco valovanja opisuje enačba:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \qquad \lambda = \frac{c}{\nu} \qquad c = \lambda \cdot \nu$$

$$\left[\frac{m}{s} = m \cdot s^{-1}\right]$$

Tabela barv svetlobe in njenih valovnih dolžin:

barva	rdeča	oranžna	rumena	zelena	modra	vijolična
valovna dolžina [nm]	630-750	590-630	560-590	490-560	450-490	380-450
frekvenca [THz]	480-400	510-480	540-510	610-540	670-610	790-670

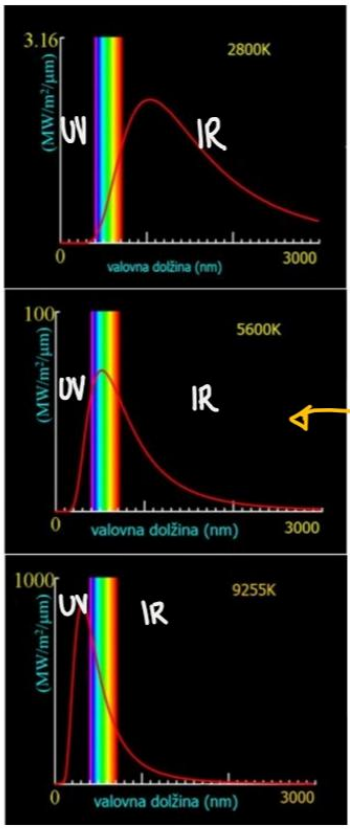
Sevanje črnih teles je najmočnejše od vseh. Katere valovne dolžine svetlobe oddaja, nam pove spekter. Prikaže nam odvisnost gostote moči na enoto valovne dolžine. Pri kateri valovni dolžini je vrh spektra, je odvisno od temperature *T* telesa. Velja:

$$\lambda_{maks} \cdot T = c_W$$

c_W... Wienova konstanta

$$\boxed{c_W = 2898\,\mu m K}$$

Spekter sevanja črnih teles:



- na levem delu grafa je ultravijolični (UV) del spektra,
- osrednji del (mavrica) je spekter vidne svetlobe,
- desni del pa je infrardeči (IR) del spektra

Sonce: vrh spektra predstavlja sevanje vidne svetlobe

Pri nižji T telo največ seva IR žarke, pri višji T pa tudi vidne in UV žarke

Sevanje svetlobe zaradi sprememb elektronskih stanj atoma nima zveznega spektra svetlobe, ampak gre za oddajanje svetlobe posameznih valovnih dolžin. Glavna razlika od črnega telesa je ta, da ni oddajanja toplote, kot pri črnem telesu.

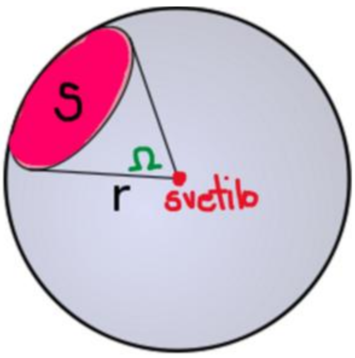
Svetlobna moč (ali svetlobni tok) je energija, ki jo izseva svetlobno telo v časovni enoti:

$$P = \frac{W}{t} \qquad \text{enota: } \left[W = \frac{J}{s} \right]$$

Pri žarnicah večji del izsevane svetlobe zajemajo infrardeči (toplotni) žarki, manjši del pa vidna svetloba. Žarnice lahko sevajo v različne smeri ali samo pod določenim kotom (prostorski kot Ω, njegova enota je steradian ali 'ster').

1 ster predstavlja kot, ki ima vrh v središču krogle s polmerom 1 m ter omeji površino krogle na 'kupolo' površine 1 m^2.

Prostorski kot:



Površina na krogli, ki jo osvetli svetilo:

$$S = \Omega r^2$$

Polni prostorski kot je 4π steradianov. Če je prostorski kot manjši, se več svetlobe izseva v manjši površino, zato je svetilnost v to smer večja.

Svetilnost ***I***: $I = \frac{P}{\Omega} \qquad \text{enota: } \left[\frac{W}{ster} \right]$

Namesto vatov raje uporabljamo v praksi **lumen [lm]**

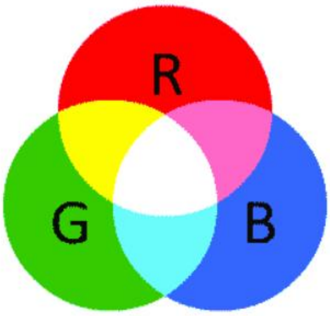
Tako dobimo drugo enoto za svetilnost **lumen na steradian,** čemur krajše pravimo **candela:** $\left[\frac{lm}{ster} = cd \right]$

Gostota svetlobnega toka j (enota se imenuje lux)**:**

$$j = \frac{P}{S} = \frac{P}{\Omega r^2} = \frac{I}{r^2} \qquad \text{enota: } \left[\frac{lm}{m^2} = lx\right]$$

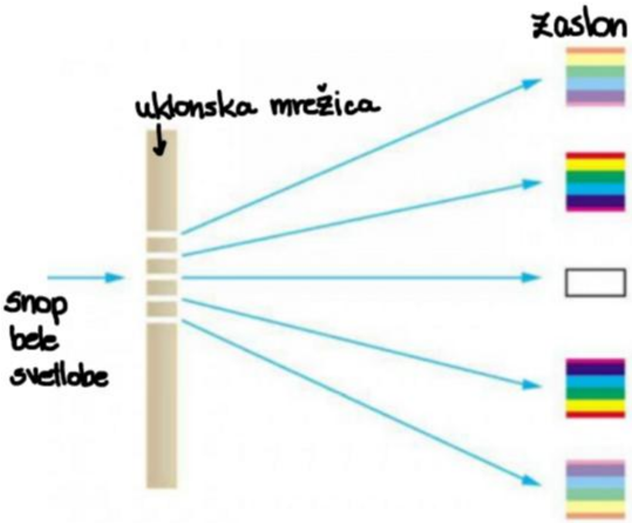
Zaznavanje svetlobe pri človeku: tribarvni (trikromatski) sistem gledanja

Poljubno barvo dobimo z mešanjem treh osnovnih barv različne intenzivnosti: rdeče, zelene in modre (RGB: red, green, blue). To se uporablja tudi pri TV in računalnikih. Belo barvo torej lahko dobimo z mešanjem treh osnovnih barv ali z mešanjem vseh barv, ki jih oddaja sonce.



Uklonska mrežica

Je naprava, ki ima veliko vzporednih rež, na katerih se svetloba ukloni. Z njeno pomočjo ugotavljamo, katere barve so v spektru oddane svetlobe in jim izmerimo valovno dolžino. Svetlobni valovi, ki izhajajo iz rež, se v določenih smereh seštevajo ali odštevajo, ojačajo ali slabijo. Temu pojavu pravimo interferenca. Smer je odvisna od gostote rež in od barve svetlobe. Reže (zareze) morajo biti ozke v primerjavi z valovno dolžino svetlobe ($a < \lambda$).



Če na uklonsko mrežico posvetimo z belo svetlobo, dobimo na zaslonu mavrico. Število rež in višina uklonske mrežice je lahko zelo različno. Število rež na enoto dolžine določa konstanta k mrežice. Razmik med mrežicami in konstanta sta obratno sorazmerni: $d = \frac{1}{k}$

Uklon svetlobe ravno tako kot pri zvoku, pojasnimo s pomočjo ***Huygensevega načela.*** (glej uklon zvoka)

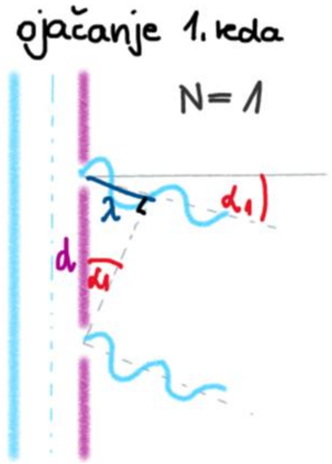
Ojačanje svetlobe

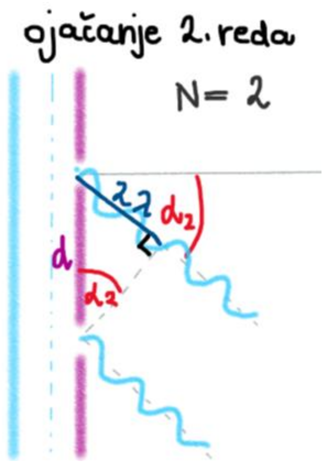
Valovi se ojačajo v smeri, kjer je razlika poti med valovoma, ki potujeta skozi dve sosednji reži, enaka večkratniku valovne dolžine:

$$\sin\alpha = \frac{N \cdot \lambda}{d}$$

d ... razmik med odprtinami

N ... red ojačanja $(0, 1, 2, \ldots, N)$





Pri N = 0 dobimo neuklonjeno svetlobo.

Največje možno število ojačanj je pri največjem možnem kotu 90°:

$$N_{maks} = \frac{d}{\lambda} \quad (\text{ko je } \alpha = 90° \rightarrow \sin\alpha = 1)$$

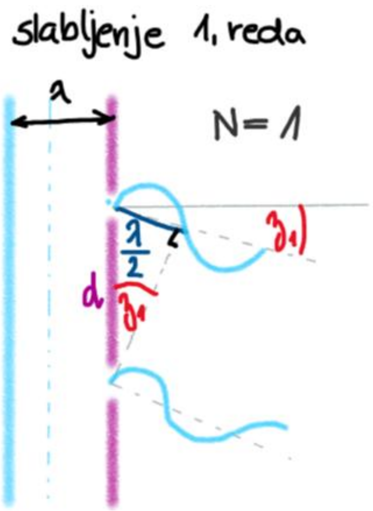
Slabljenje svetlobe

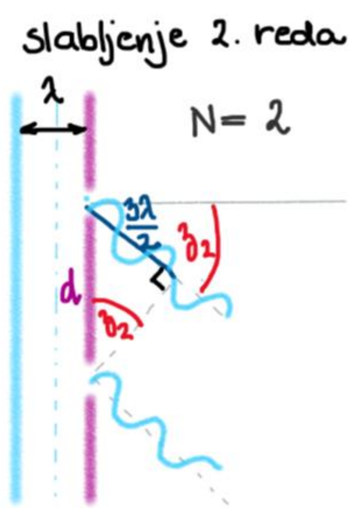
Valovi se slabijo v smereh, kjer je razlika poti enaka 1/2 valovne dolžine, 3/2 valovne dolžine,... ali nasplošno:

$$\boxed{\sin\beta = \frac{(2N+1)\cdot\frac{\lambda}{2}}{d}}$$

d ... razmik med odprtinami

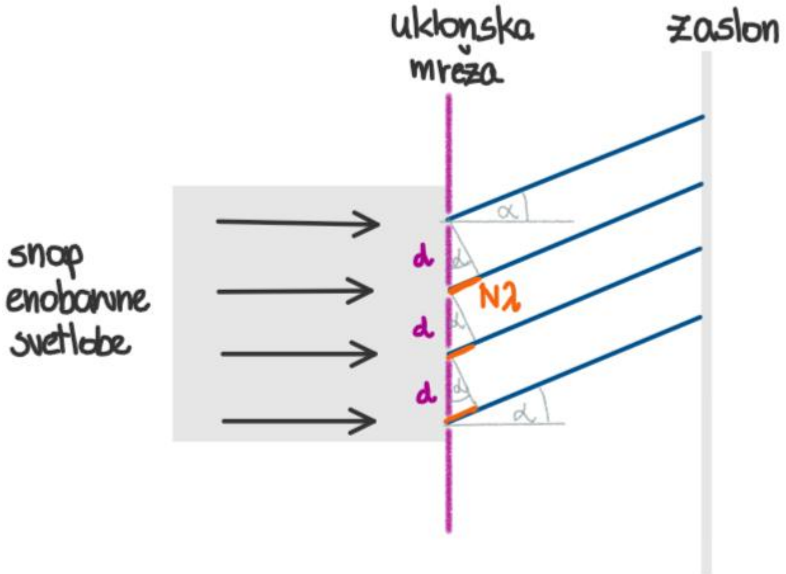
N ... red ojačanja (0,1,2,...,N)



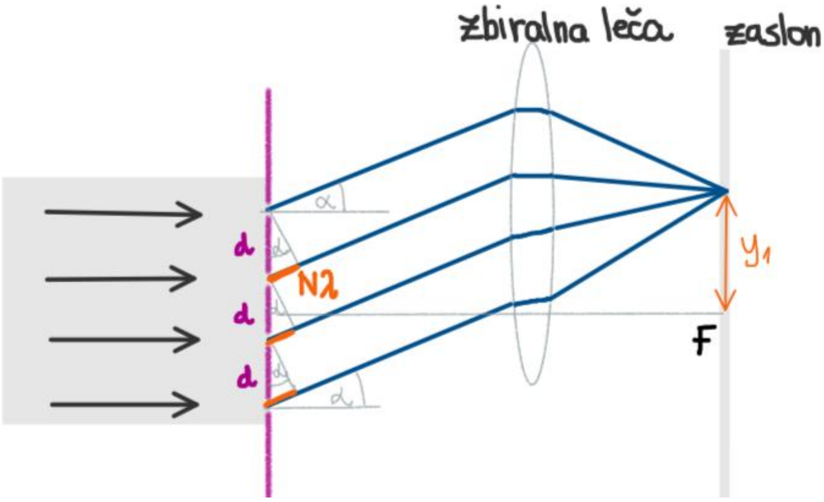


Snop svetlobe na uklonski mrežici

Na vsaki reži se svetloba določene valovne dolžine uklanja pod enakim kotom. Snop enobarvne svetlobe, se na mrežici lomi. Smer, kjer se žarki ojačajo, naj bo kot α. interferenčna slika, ki je na zaslonu, je potem enako visoka kakor je širok snop svetlobe:



v primeru večbarvne svetlobe bi se slike na zaslonu prekrivale, zato si tukaj pomagamo z zbiralno lečo, ki preslike vse vzporedne žarke (barve iste valovne delžine) v eno točko na goriščni ravnini. Zato dobimo za vsako valovno dolžino določeno točko v goriščni ravnini:



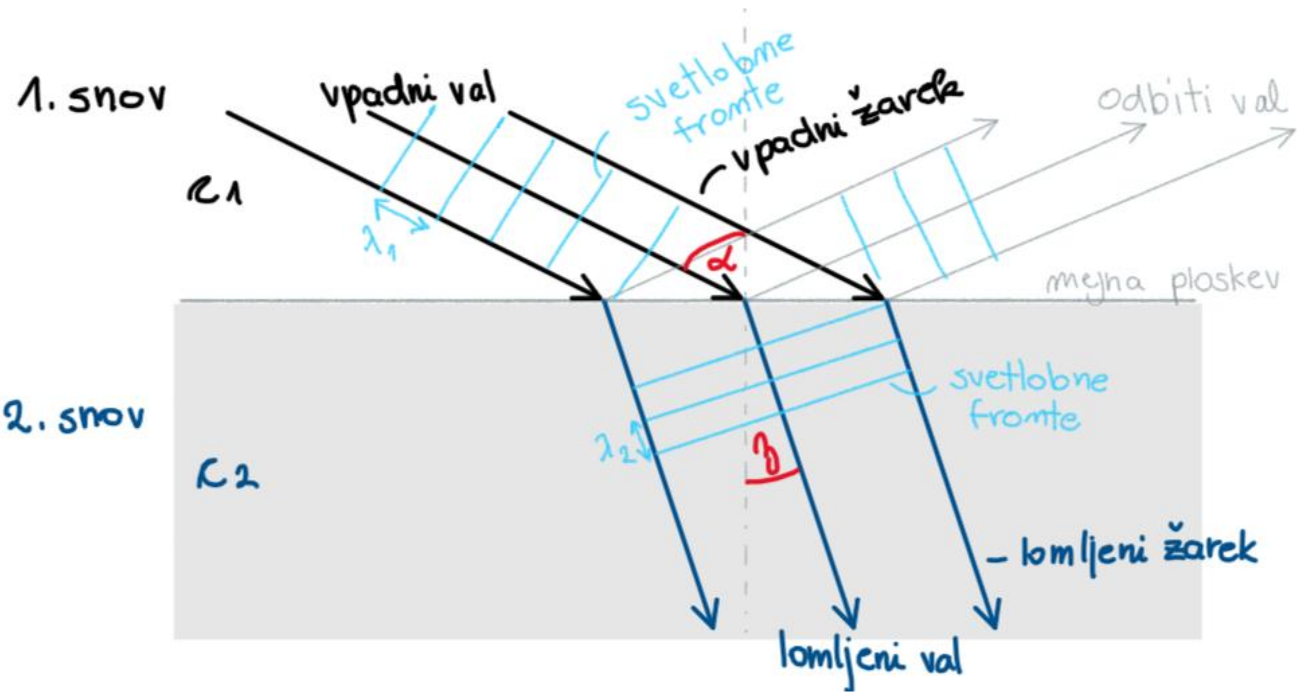
Geometrijska optika

Odboj in lom svetlobe

Svetloba se širi v smeri valovnih žarkov - **svetlobni žarki**. V primeru točkastega svetila se svetloba širi v vse smeri (radialno), kadar pa so žarki vzporedni, tvorijo svetlobni snop.

Lomni zakon

Recimo, da svetloba prehaja iz snovi, kjer je njena hitrost c_1 višja (optično redkejša snov), v snov z nižjo hitrostjo svetlobe c_2 (optično gostejša snov) - glej spodnjo sliko.

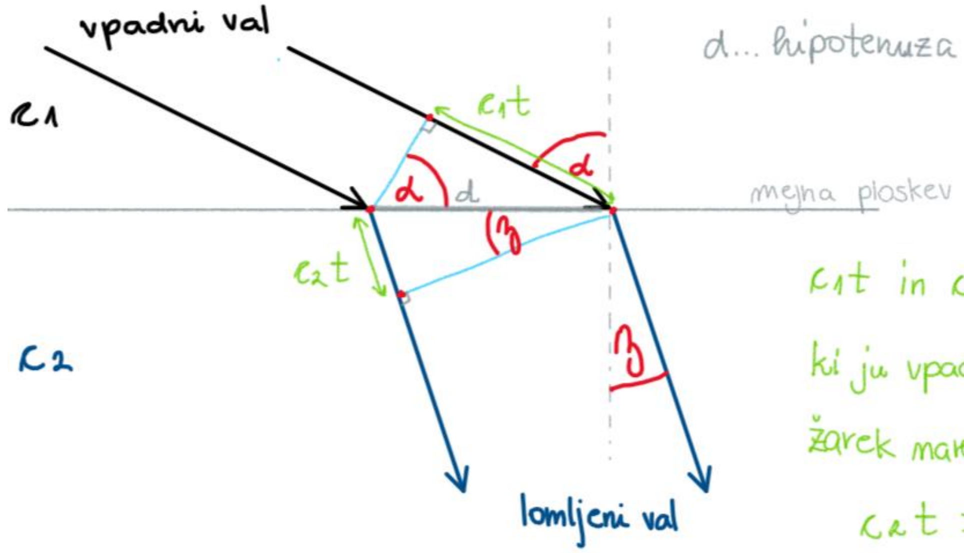


- Grebene vala imenujemo svetlobne fronte. **Razdalja med dvema frontama je valovna dolžina. Ta je manjša v snoveh z nižjo hitrostjo svetlobe.**
- Svetloba se na mejni ploskvi delno odbije, delno pa prodre v drugo snov.
- Lomni zakon pravi, da je **vpadni kot α enak odbojnemu.** *(Predpostavimo, da je mejna površina dovolj gladka, da se žarek ne razprši.)*
- Velja, da sta valovni dolžini v obeh snove v istem razmerju kot sta hitrosti svetlobe v obeh snoveh:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{c_1}{c_2}$$

- Ker se svetloba pri prehodu lomi, potem vpadni kot α ni enak lomnemu kotu β. Velja enačba:

$$\boxed{\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c_1}{c_2}}$$



c_1t in c_2t sta poti, ki ju vpadni in lomljeni žarek naredita v istem času t:

$$c_2t > c_1t$$

$$\rightarrow \quad \sin\alpha = \frac{c_1t}{d}$$

$$\rightarrow \quad \sin\beta = \frac{c_2t}{d}$$

- Vsaka snov ima lomni količnik. Lomni količnik n neke snovi nam pove, kolikokrat je hitrost svetlobe c v tej snovi večja od hitrosti svetlobe c_0 v vakuumu (zraku): $\boxed{n = \frac{c_0}{c}}$
- Iz tega sledi tudi naslednja enačba: $\boxed{\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}}$ $\boxed{\frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}}$

Lomni količniki za nekatere snovi:

SNOV	Lomni količnik
zrak	$n = 1$
voda	$n = 1{,}33$
steklo	$n = 1{,}51$
diamant	$n = 2{,}42$

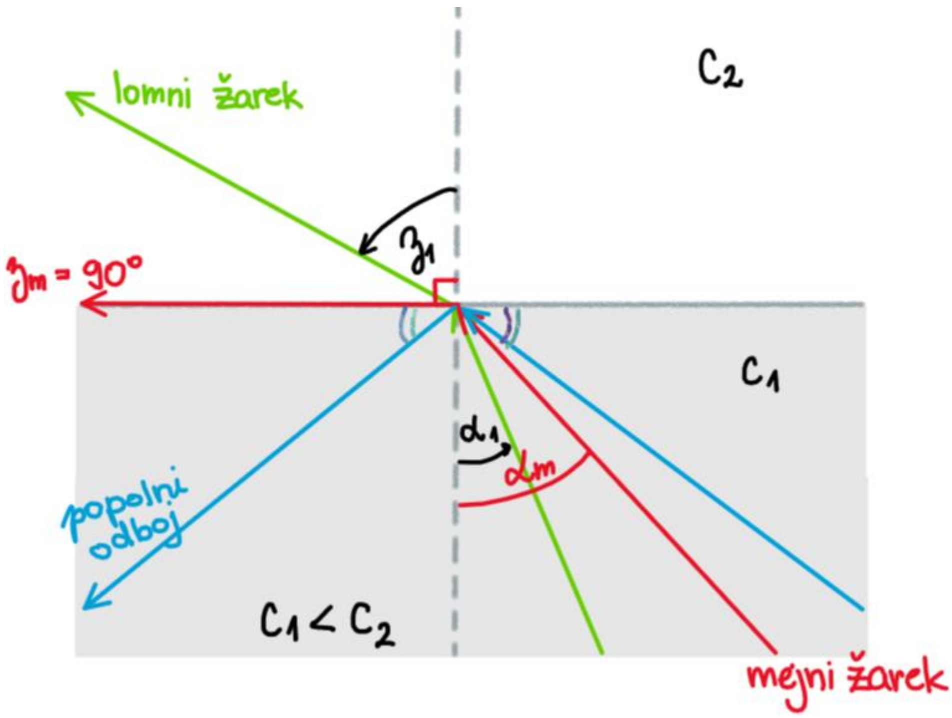
Popolni odboj svetlobe

Do njega pride, če se žarek širi iz optično gostejše snovi (nižja hitrost svetlobe) proti optično redkejši snovi. Lomni kot je tokrat večji od vpadnega. Kadar je vpadni kot α dovolj velik (doseže določeno vrednost), tako da bo veljalo

$$\sin\alpha > \frac{c_1}{c_2} \quad \text{ali} \quad \sin\alpha > \frac{n_2}{n_1}$$

se žarek popolnoma odbije od mejne površine in ne prodre v drugo snov. Tedaj velja lomni zakon: **vpadni kot je enak odbitemu kotu**.

Vpadnemu kotu α_m pa pravimo **mejni kot totalnega odboja, saj je pri tem kotu lomni kot β enak 90°.**



Leče

so optične naprave, ki izkoriščajo lom svetlobe. Slika predmeta, ki jo dobimo pri pogledu skozi lečo, je lahko navidezna ali realna.

Žarki pri konstrukciji slike (pri konveksni in konkavni leči):

- *osni žarek:* gre po optični osi ves čas
- *vzporedni žarek:* je vzporeden z optično osjo in gre na drugi strani leče skozi gorišče F
- *goriščni žarek:* gre skozi gorišče na isti strani leče, kot je predmet in je po prehodu vzporeden z optično osjo
- *središčni žarek:* vpada na središče leče pod kotom in po prehodu skozi lečo ohrani pot

Žarki, ki dajo realno sliko: polna črta   Žarki, ki dajo navidezno sliko: prekinjena črta

Kadar se slika nahaja na enaki strani kot predmet (navidezna), uporabimo negativen b ($b < 0$). Kadar je gorišče na strani predmeta (navidezno, pri konkavni leči), uporabimo negativen f.

Središče leče	Točka O
Optična os	Premica skozi središče leče, pravokotna na površino leče
Gorišče leče F	Točka, kjer se po odboju sekajo žarki, ki so bili pred prehodom vzporedni z optično osjo
Goriščna razdalja f	Oddaljenost gorišč od leče, daljica OF
Goriščna ravnina	Ravnina, ki je pravokotna na optično os in gre skozi gorišče F

ENAČBA LEČE:

$$\boxed{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}}$$

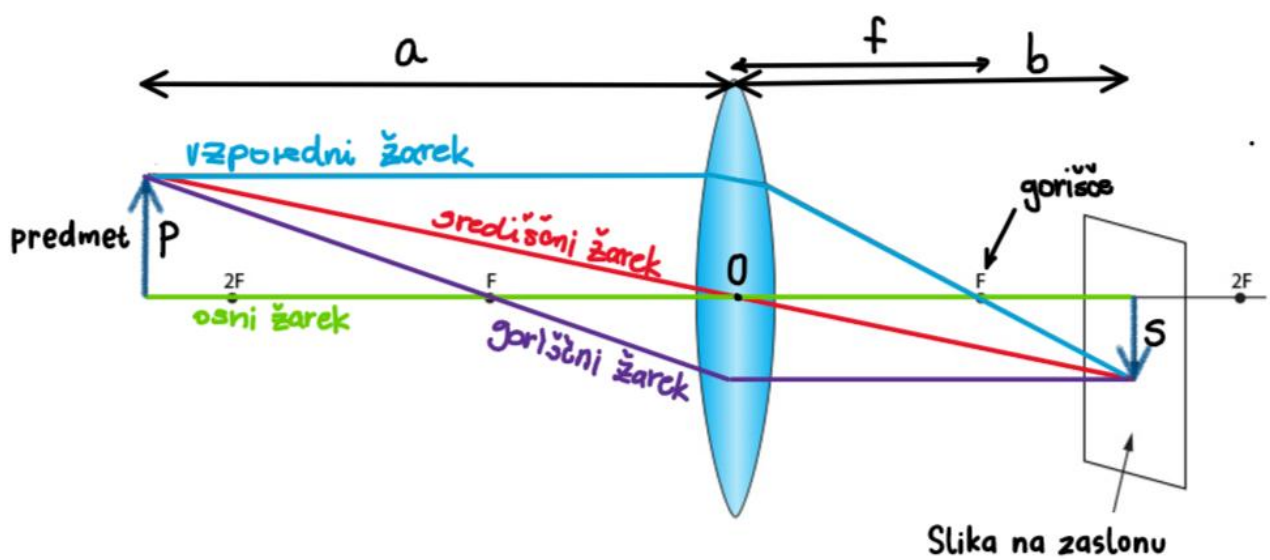
POVEČAVA PREDMETA:

$$\boxed{m = \frac{b}{a} = \frac{S}{P}}$$

a ... razdalja od predmeta do leče
b ... razdalja od slike do leče
m ... povečava
P ... velikost predmeta
S ... velikost slike
(S<0 ... pokončna slika, S>0 ... obrnjena)

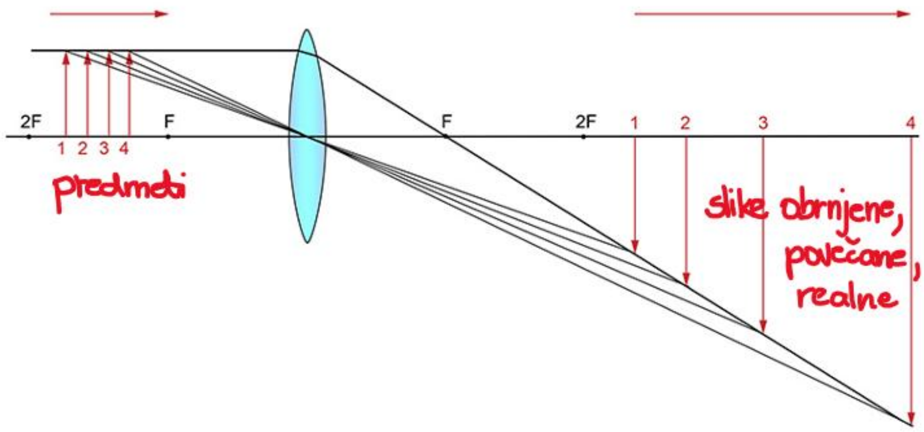
1. KONVEKSNA (ZBIRALNA) LEČA

- **Ko je oddaljenost predmeta od leče *a* večja od goriščne razdalje *f***



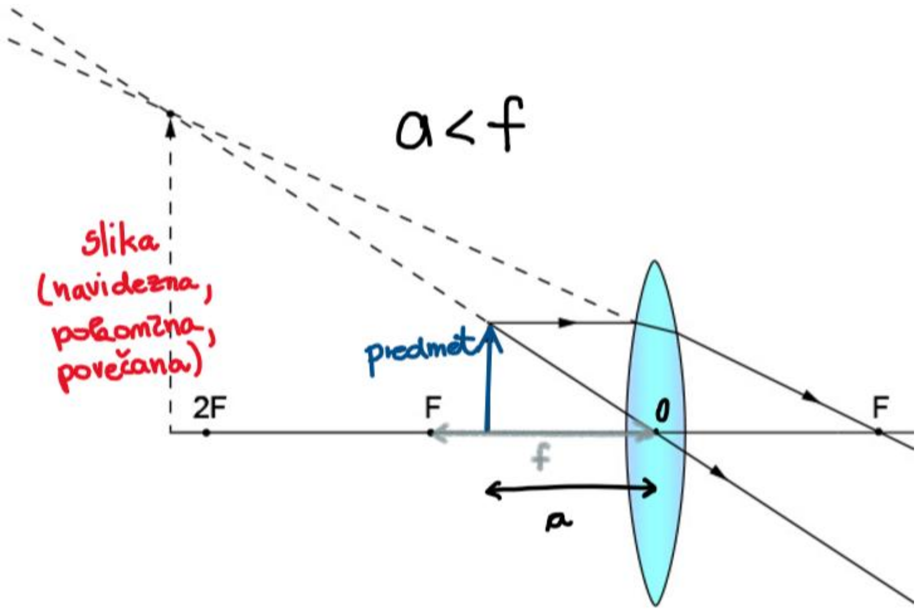
- **Ko je oddaljenost predmeta *a* od leče med goriščno razdaljo in dvakratno goriščno razdaljo**

$f < a < 2f$



- **ko je oddaljenost predmeta manjša od goriščne razdalje**

$a < f$

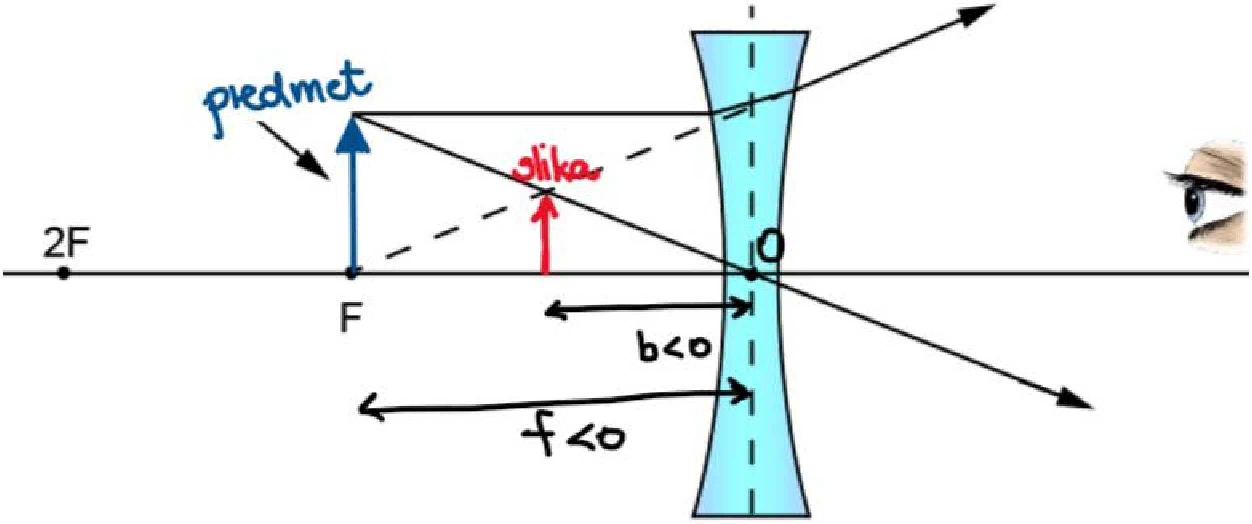


2. KONKAVNA (RAZPRŠILNA) LEČA

- žarki se razpršijo pri prehodu; realni žarki se nikoli ne sekajo; sekajo se navidezni žarki

- slika se nahaja **na isti strani kot predmet**

- oddaljenost slike od leče je manjša od oddaljenosti predmeta od leče: **|a| < |b|**



Primerjava med zbiralno in razpršilno lečo:

LEGA PREDMETA	ZBIRALNA LEČA	RAZPRŠILNA LEČA
$2f < a$	Realna, obrnjena, pomanjšana slika	Navidezna, pokončna in pomanjšana slika $b < 0, S < 0$ $f < 0$
$2f = a$	Realna, obrnjena, enako velika slika	
$f < a < 2f$	Realna, obrnjena, povečana slika	
$f > a$	Navidezna ($b < 0$), pokončna, povečana slika	

Zrcala

Žarki se v tem primeru odbijajo od zrcala, kam pa nadaljujejo pot, je odvisno od vrste zrcala.

Osnovni pojmi:

Središče zrcala T je teme zrcala

Optična os je premica, ki gre skozi teme in je pravokotna na površino zrcala v temenu

Gorišče zrcala F je točka, kjer se po odboju sekajo vzporedni žarki

Oznake za razdalje in velikosti:

- ***a*** je razdalja med predmetom in temenom
- ***b*** je razdalja med sliko in temenom
- ***Goriščna razdalja f*** je razdalja od temena do gorišča
- ***P*** je velikost predmeta
- ***S*** je velikost slike

Poimenovanje žarkov:

- *osni žarek* gre v smeri optične osi in se po odboju vrne po enaki poti
- *temenski žarek* vpada na teme T zrcala pod kotom in se odbije pod enakim kotom v nasprotno smer
- *vzporedni žarek* je žarek, vzporeden z optično osjo in gre po odboj skozi gorišče
- *goriščni žarek* gre skozi gorišče pred odbojem, po odboju pa je vzporeden z optično osjo
- ***središčni žarek*** vpada skozi središče krogelne kapice O in se odbijo v nasprotno smer od vpadne

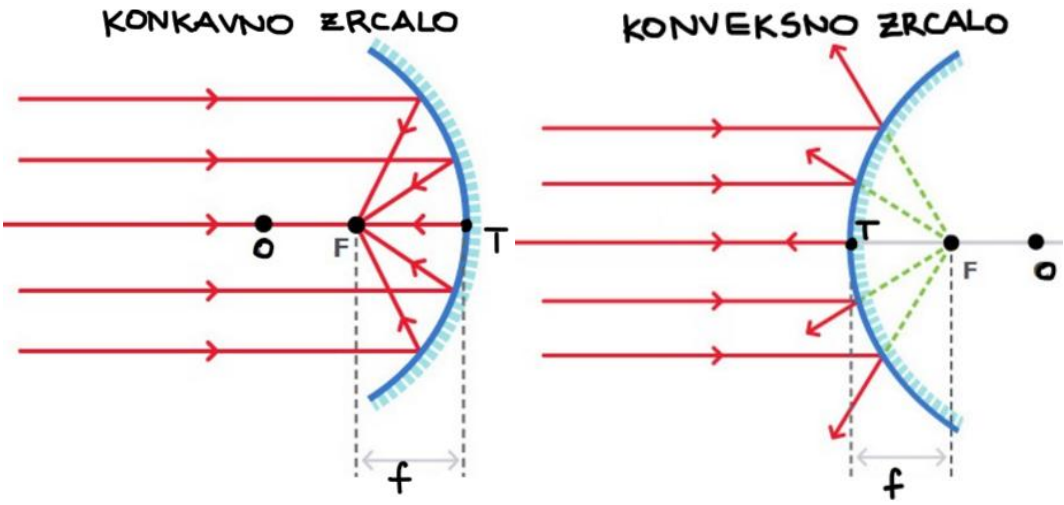
Kadar se slika nahaja na enaki strani kot predmet (navidezna), uporabimo negativen b ($b < 0$). Kadar je gorišče na strani predmeta (navidezno), uporabimo negativen f. Pri **obrnjeni** sliki je **S pozitiven**, pri **pokončni** sliki bo torej **S negativen**.

ENAČBI ZRCALA

$$\boxed{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}} \qquad \boxed{\frac{b}{a} = \frac{S}{P}}$$

- **RAVNO ZRCALO:** tega največ uporabljami v vsakdanjem življenju, slika je navidezna, žarki se odbijajo po zakonu odboja

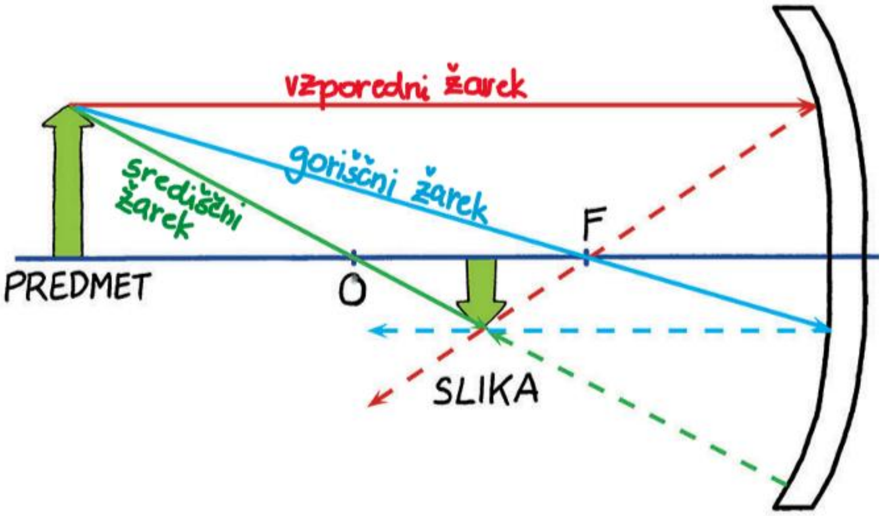
Prikaz, kako se snop svetlobe odbije na 1.) konkavnem in 2.) konveksnem zrcalu:



- **KONKAVNO ALI ZBIRALNO ZRCALO:**

Snop svetlobe se po odboju od zrcala združi v eno točko - gorišče (*glej sliko zgoraj*). Lahko pa gre obratno, da točkasto svetilo postavimo na žarišče in dobimo po odboju snop vzporednih žarkov.

Kakšna je slika glede na to, kam postavimo predmet, je odvisno od lege predmeta. Tako kot pri leči, ločimo več možnosti (*glej tabelo na naslednji strani*).

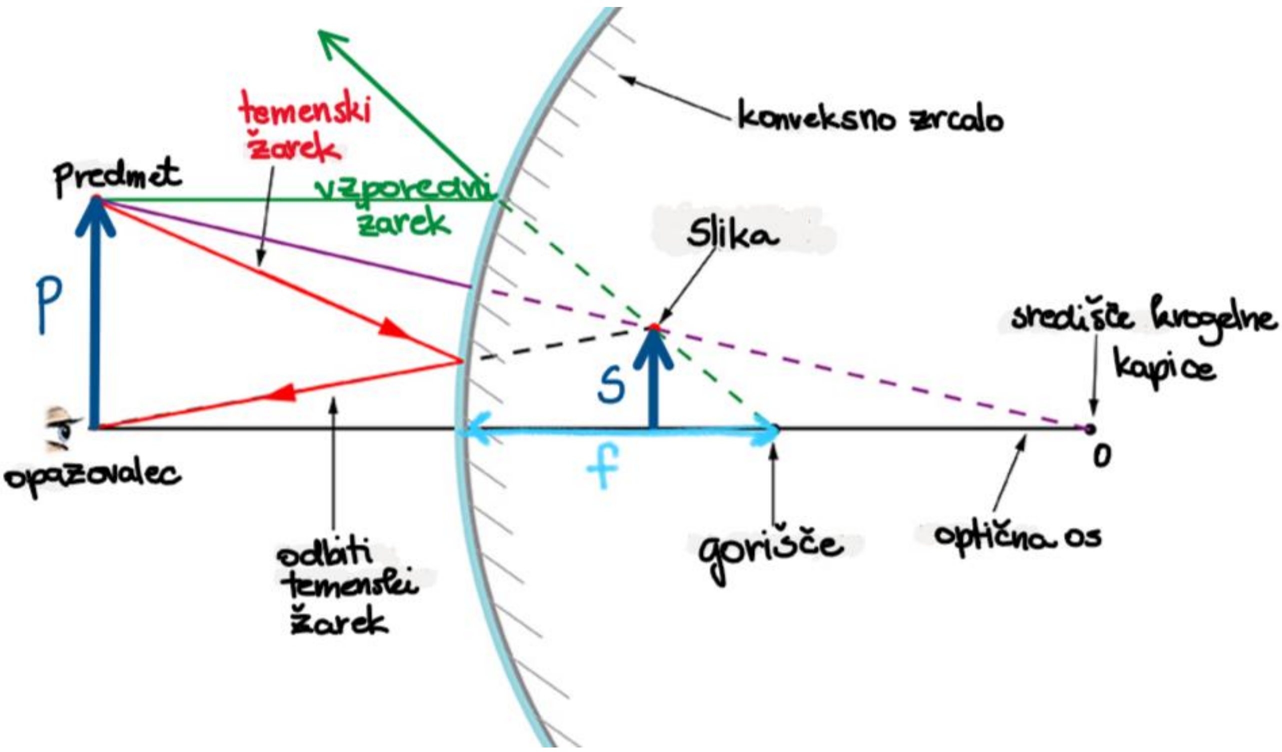


- **KONVEKSNO ALI RAZPRŠILNO ZRCALO**

Je izbočeno zrcalo v obliki parabole. Žarki, ki padajo nanj, se razpršijo in se nikoli ne bodo sekali na strani predmeta. Le navidezni žarki se sekajo in jih vidimo kot podaljšek realnih odbitih žarkov.

V podatkih moramo uporabiti negativno goriščno razdaljo f. Negativnega predznaka bosta tudi razdalja b in velikost slike S: **$f < 0, b < 0, S < 0$**

Oddaljenost slike od zrcala je vedno manjša kakor oddaljenost predmeta od zrcala: **$|b| < |a|$**



LEGA PREDMETA	KONKAVNO ZRCALO	KONVEKSNO ZRCALO
$2f < a$	Realna, obrnjena, pomanjšana slika	Navidezna, pokončna in pomanjšana slika $b < 0, S < 0$ $f < 0$
$2f = a$	Realna, obrnjena, enako velika slika	
$f < a < 2f$	Realna, obrnjena, povečana slika	
$f > a$	Navidezna ($b < 0$), pokončna, povečana slika	

Optične naprave

temeljijo na optičnih preslikavah, ki jih omogočajo leče in zrcala. Z njihovo pomočjo izboljšamo vid (očala), opazujemo majhne predmete (lupa, mikroskop) ali zelo oddaljene predmete (daljnogled). Z njimi lahko zajemamo slike (fotoaparat) in projekcije slik oz. filmov (projektor).

- Očala (kratkovidno ali daljnovidno oko): slika, ki jo dobimo na mrežnici po tem, ko očesna leča preslika predmet, je pomanjšana in obrnjena, naši centri za vid v možganih pa ustvarijo pokončno sliko. Predmetov, ki so zelo blizu očem, jih človeško oko ne more izostriti. Kadar bolj ostro vidimo oddaljene predmete kot bližnje, pravimo da smo daljnovidni. V nasprotnem primeru pa kratkovidni.
- Lupa
- Fotoaparat
- Projektor
- Daljnogled
- Mikroskop

Bolj poglobljeno in podrobno o lomu in odboju svetlobe, lečah, zrcalih in optičnih napravah z vključenimi rešenimi nalogami se pripravlja / je pripravljeno v ločenih zapiskih z naslovom* ***GEOMETRIJSKA OPTIKA - podrobni zapiski, formule in rešene naloge.*

****Pripravljam tudi super e-zbirke rešenih nalog z vsemi koraki iz posameznih poglavij Fizike 1, 2 in 3. Novosti o dodanih gradivih lahko spremljaš na naši spletni strani ali pa z naročilom na email novičke.***