



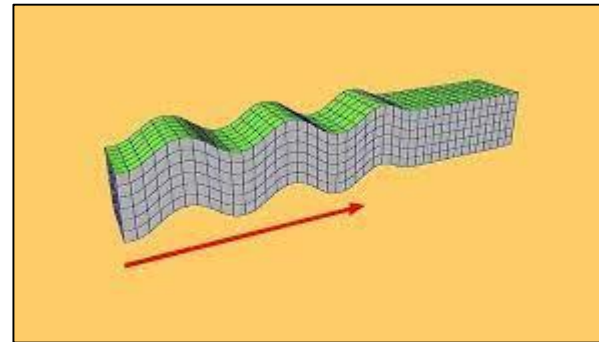
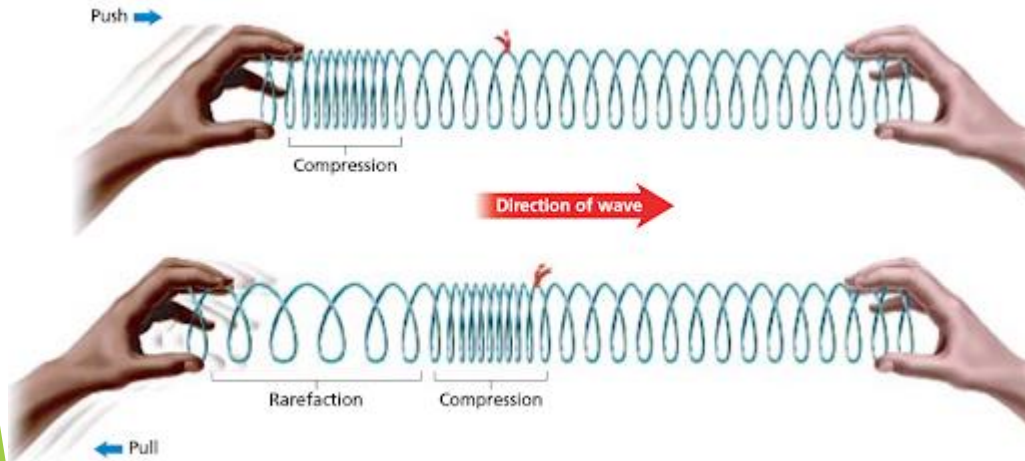
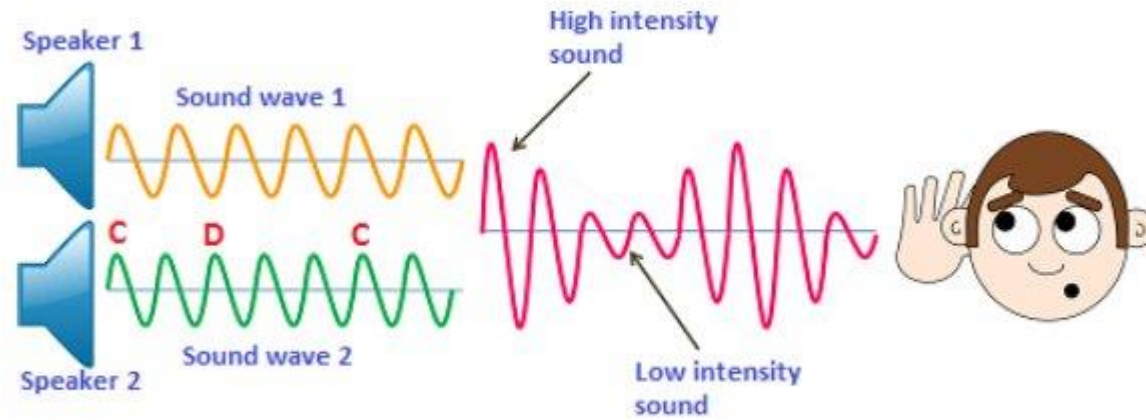


The background features abstract, overlapping green geometric shapes, primarily triangles and polygons, in various shades of green, creating a modern and dynamic visual effect.

Fizika I

VALNO GIBANJE

VALNO GIBANJE



Valovi

```
graph TD; Valovi --> Mehanički_valovi[Mehanički valovi<br/>(trebaju sredstvo)]; Valovi --> Elektromagnetski_valovi[Elektromagnetski valovi:<br/>(ne trebaju sredstvo)]; Mehanički_valovi --> Transverzalni[Transverzalni:<br/>Valovi na vodi]; Mehanički_valovi --> Longitudinalni[Longitudinalni:<br/>Zvučni valovi]; Elektromagnetski_valovi --> Radio_valovi[Radio valovi]; Elektromagnetski_valovi --> Mikrovalovi[Mikrovalovi]; Elektromagnetski_valovi --> Vidljiva_svjetlost[Vidljiva svjetlost]; Elektromagnetski_valovi --> X_zrake[X - zrake];
```

Mehanički valovi

(trebaju sredstvo)

Transverzalni:
Valovi na vodi

Longitudinalni:
Zvučni valovi

Elektromagnetski valovi:

(ne trebaju sredstvo)

Radio valovi
Mikrovalovi
Vidljiva svjetlost
X - zrake

Nastanak vala

- ▶ **Elastično sredstvo** - napeta žica, elastična opruga, bilo koja tvar u čvrstom, tekućem ili plinovitom stanju.
- ▶ Čvrsta tvar - niz oscilatora uzajamno povezanih elastičnim vezama.
- ▶ Fluidi - elastična sila rezultat je razlike tlakova među pojedinim točkama u fluidu.
- ▶ **Mehanički val** - jedna čestica elastičnog sredstva se pobudi na titranje te se ta pojava širi duž sredstva. (**Energija prelazi s jednog oscilatora na drugi, čestice sredstva ne putuju s valom**).
- ▶ **Izvor vala** - mjesto na kojem nastaje titranje.
- ▶ Svi oscilatori titraju istom frekvencijom i istom amplitudom, ali s različitim fazama.



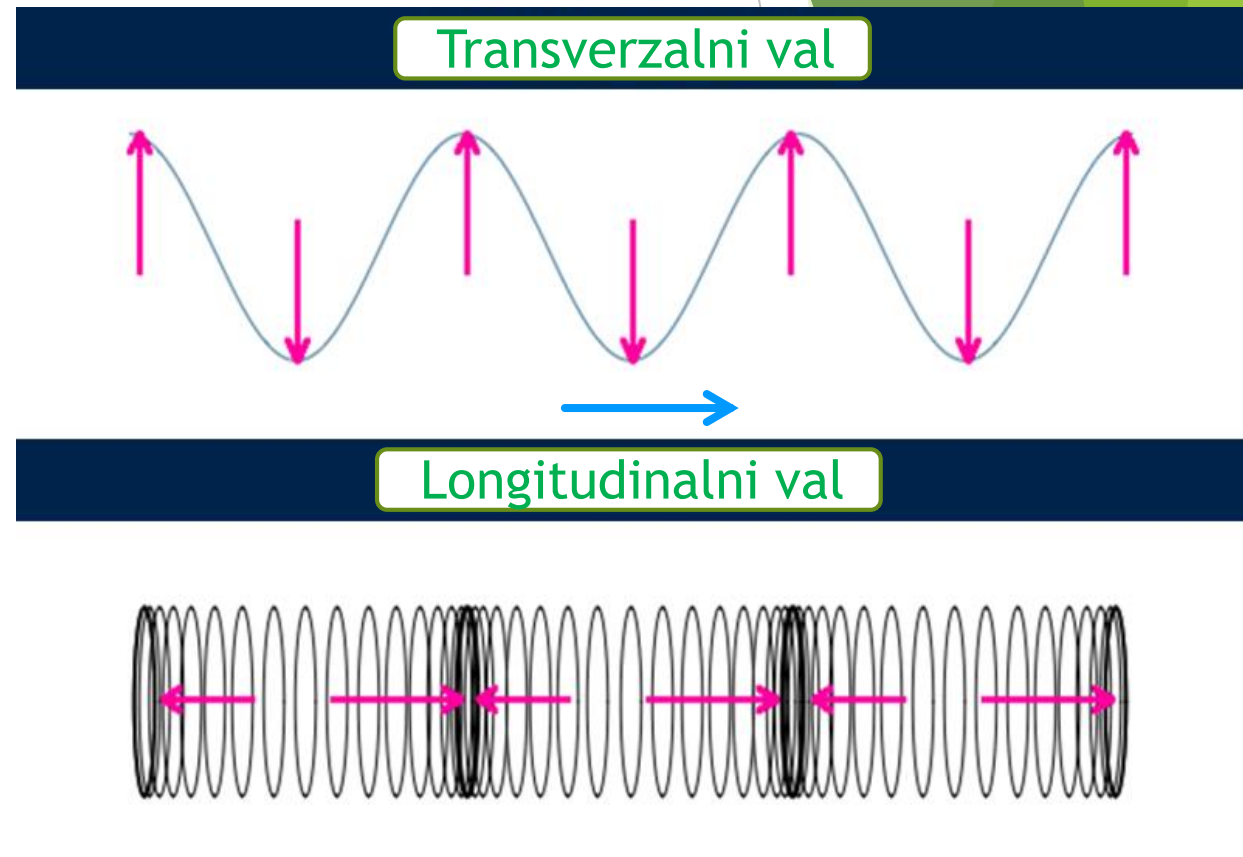
Nastanak vala

Val karakteriziraju dvije brzine:

- ▶ Brzina širenja vala, v .
- ▶ Brzina titranja čestice.

Smjerovi im ne moraju biti jednaki.

- ▶ **Transverzalni val** - titranje se odvija na pravcu okomitom na smjer širenja vala.
- ▶ **Longitudinalni val** - titranje se odvija duž pravca širenja vala.



Periodički valovi

- ▶ Izvor vala harmonički titra.
- ▶ I ostale točke harmonički titraju, kasne u fazi za izvorom.

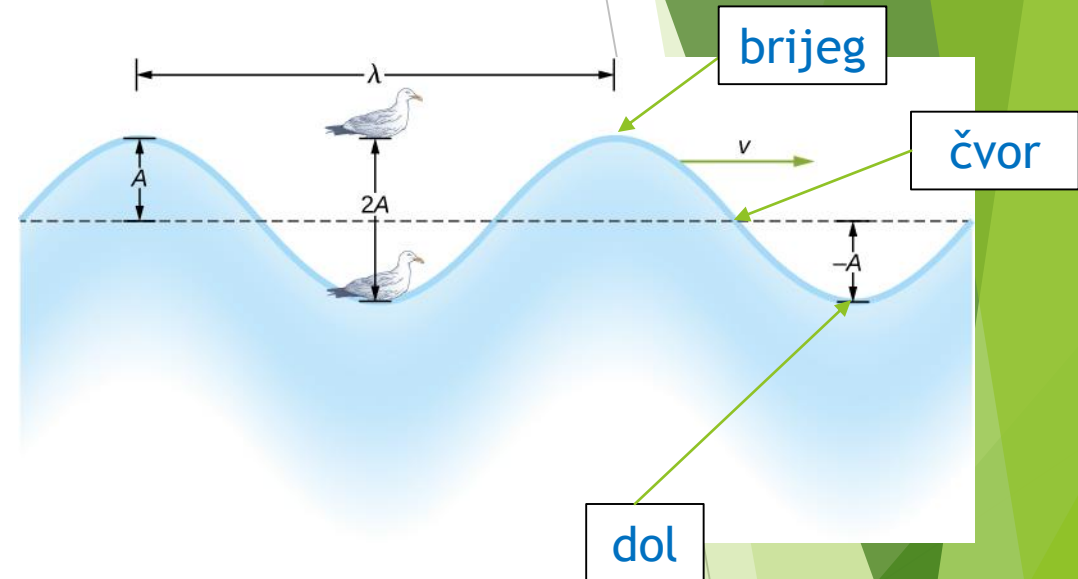
Valna duljina λ = udaljenost dvaju susjednih mjesta u sredstvu koja imaju istu elongaciju i fazu.

Period vala T = vrijeme potrebno za jedan cijeli titraj.

Brzina širenja vala v :

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

$$v = \lambda f$$



A - amplituda čestice sredstva

Jednadžba vala u jednoj dimenziji

- Kružna frekvencija: $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$.
- Ravnotežni položaj žice je duž x -osi.
- Izvor vala je u ishodištu; val putuje u + smjeru x -osi.
- Transverzalni val $\rightarrow$ čestica s ravnotežnim položajem na x -osi otkloni se za neku udaljenost $y(s)$ po y -osi:

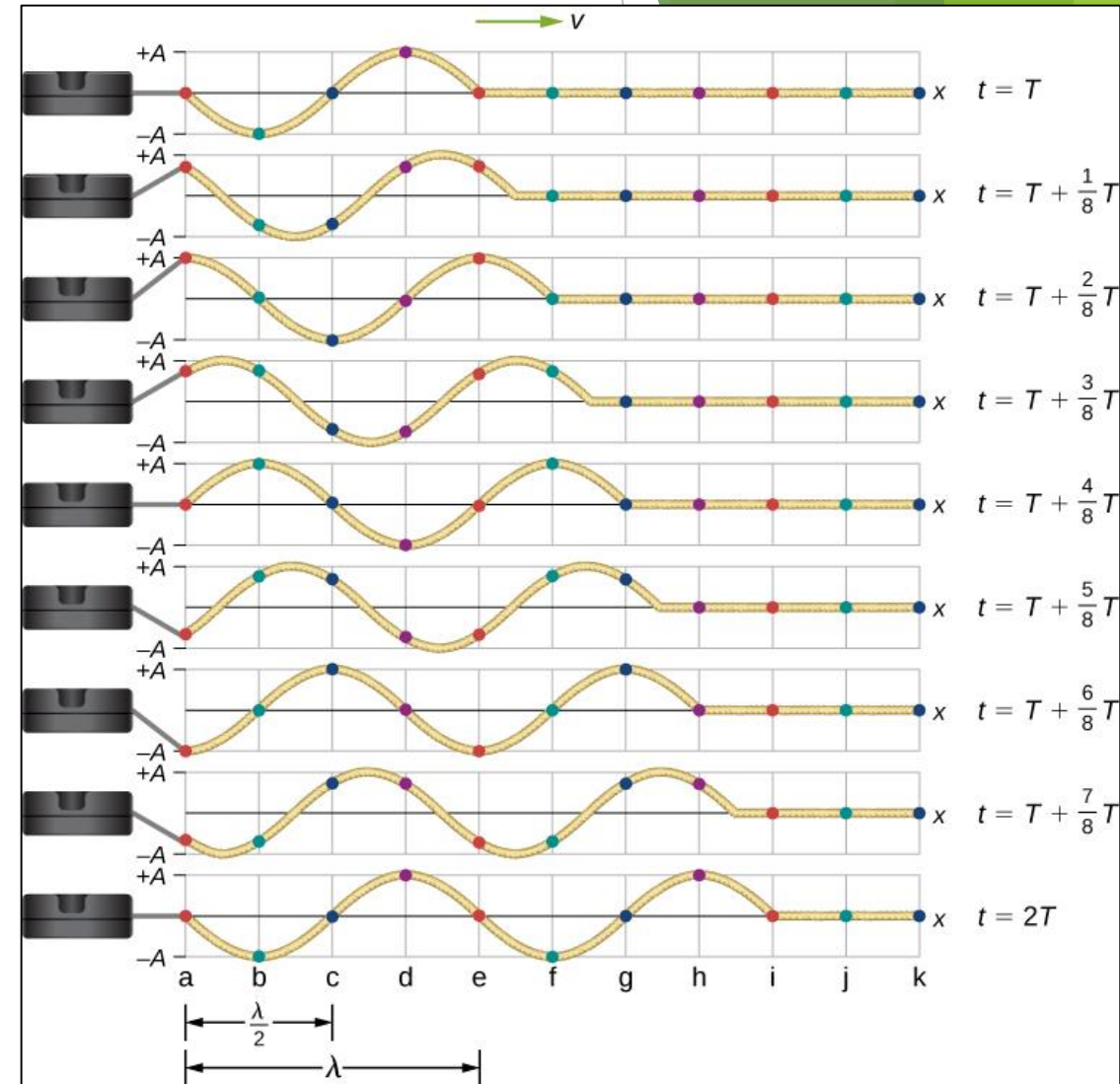
$$y(x, t) = s(x, t) = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$y(x, t) = s(x, t) = A \sin(\omega t - kx)$$

Valni broj:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v}$$

faza



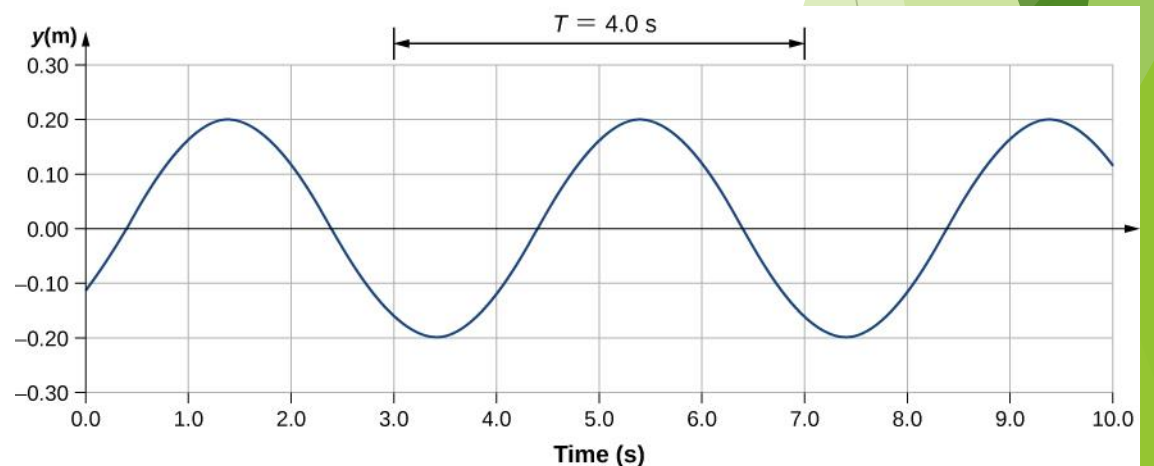
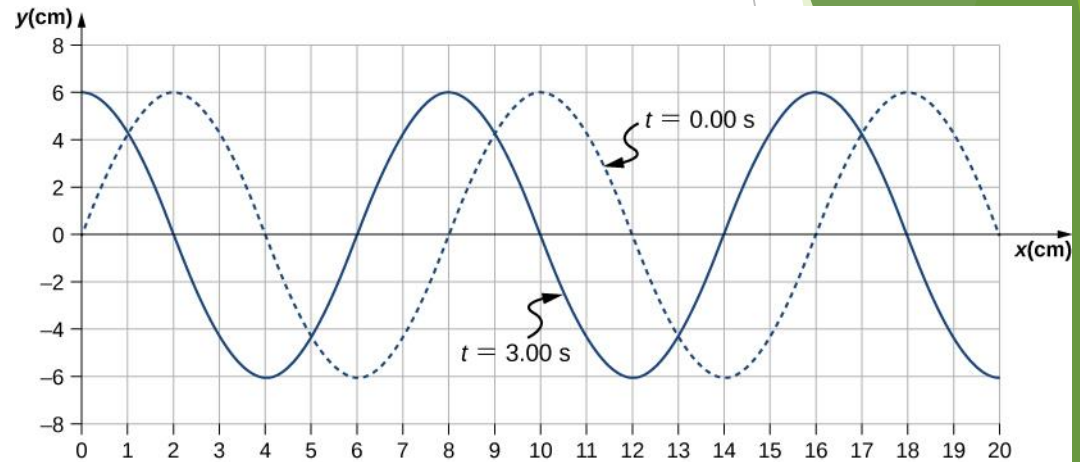
Jednadžba vala u jednoj dimenziji

- Ovisnost elongacije y ($= s$) o položaju u određenom trenutku
- Npr. , u trenutku $t = 0$ i $t = 3$ s :

$$s(x, t = 0)$$
$$s(x, t = 3 \text{ s})$$

- Ovisnost elongacije y ($= s$) o vremenu za određeni položaj
- Npr. , $x = 0,6$ m:

$$s(x = 0,6 \text{ m}, t)$$



Brzina širenja vala

- Brzina širenja vala ovisi o vrsti i svojstvima elastičnog sredstva:

- Transverzalni val na žici

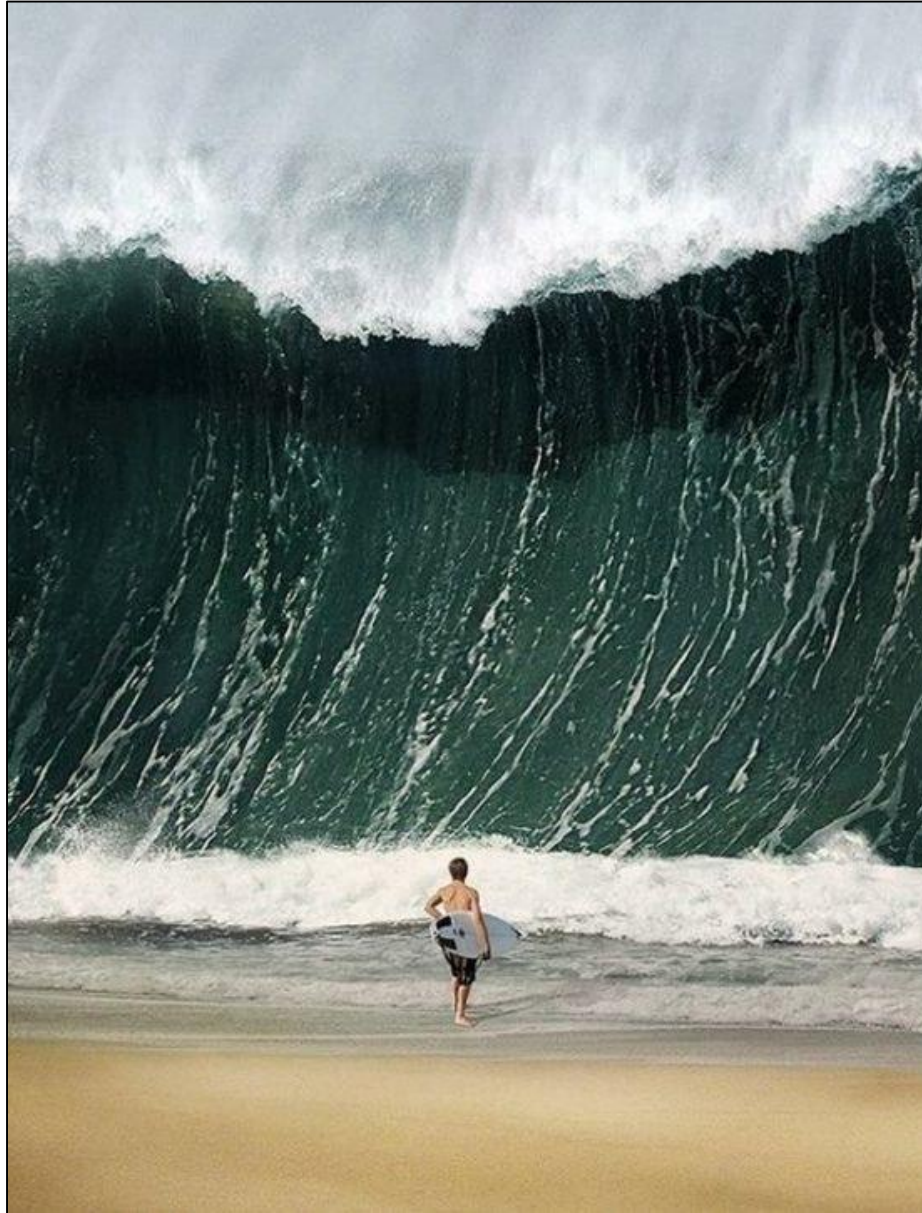
- $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{F}{\rho S}}$ F – sila kojom je napeta žica
 μ – masa žice m podijeljena s njenom duljinom L

- Longitudinalni val u čvrstom elastičnom sredstvu

- $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ E – Youngov modul elastičnosti
 ρ – gustoća sredstva

- Longitudinalni val u plinu (npr. valovi zvuka)

- $v = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\kappa \rho T}{M}}$ p – tlak plina
 M – molarna masa
 κ – adijabatski koeficijent plina



Energija i intenzitet vala

- Primjer: Transverzalni val na žici

$$dm = \rho S dx$$

- Energija takvog djelića mase:

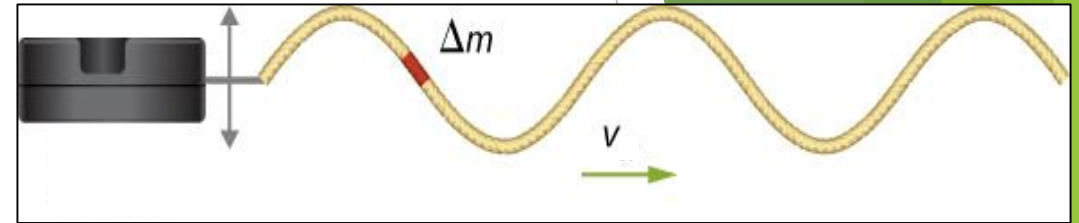
$$dE = \frac{1}{2} dm \omega^2 A^2$$

- Snaga = energija koja se u jedinici vremena prenese kroz presjek žice:

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2 S v$$

- Intenzitet - omjer snage i površine presjeka:

$$I = \frac{dP}{dS} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2 v$$

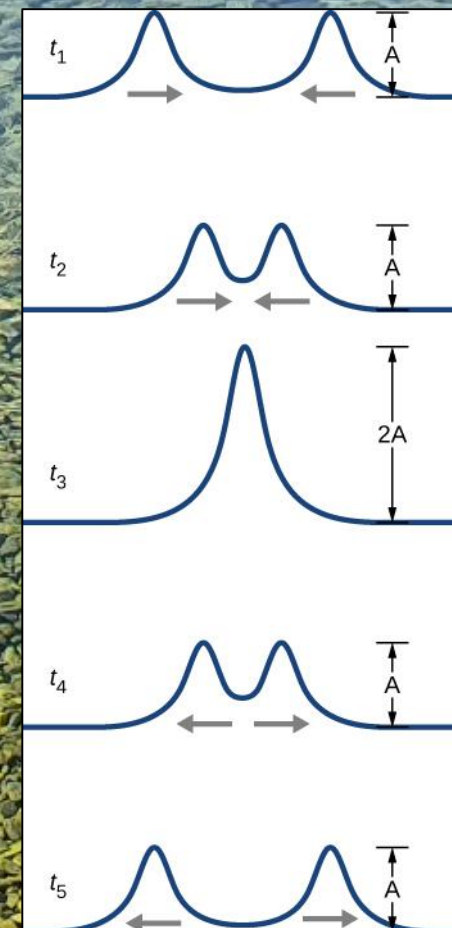


Interferencija valova

- Interferencija se javlja kad na isto mjesto na elastičnom sredstvu stižu dva (ili više) vala iz različitih izvora.
- Mehanički valovi su linearni valovi pa se primjenjuje princip superpozicije:

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t)$$

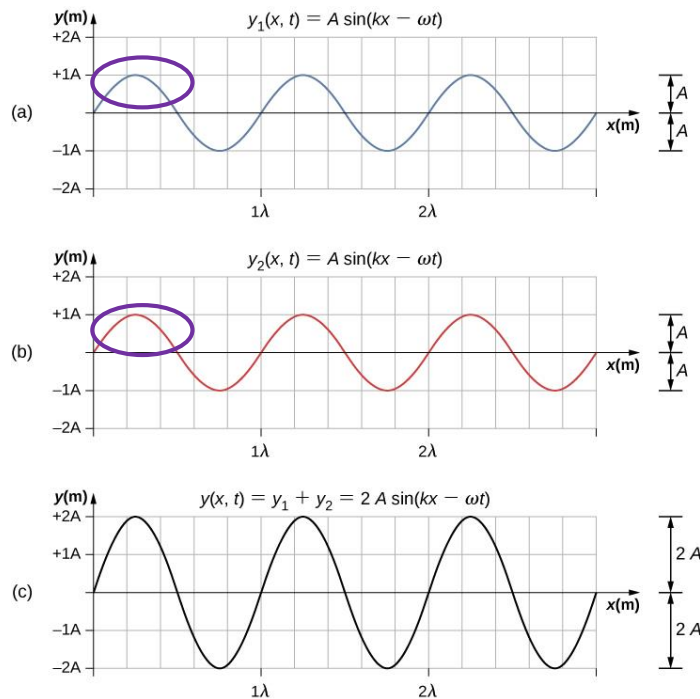
- Ukupni otklon čestice sredstva (u svakom trenutku) je zbroj otklona koje bi čestica imala zbog svakog pojedinog vala.



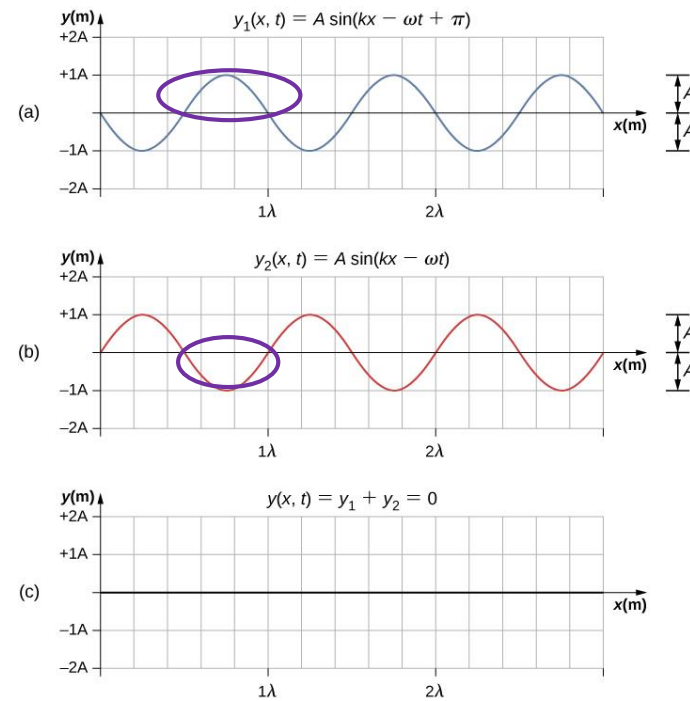
Interferencija valova

Dva vala, jednakih frekvencija, amplituda i valnog broja.

Konstruktivna interferencija $\Delta\varphi = 0$



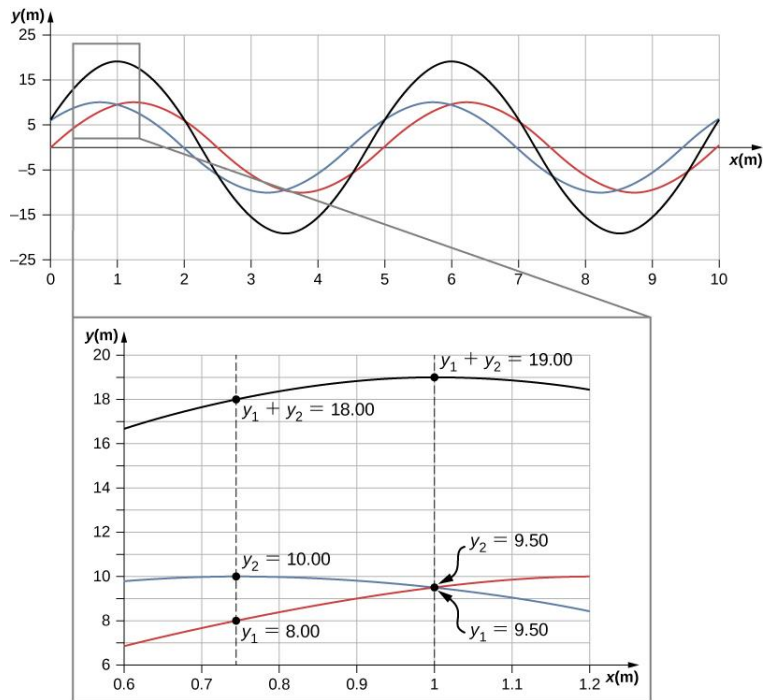
Destruktivna interferencija $\Delta\varphi = \pi$



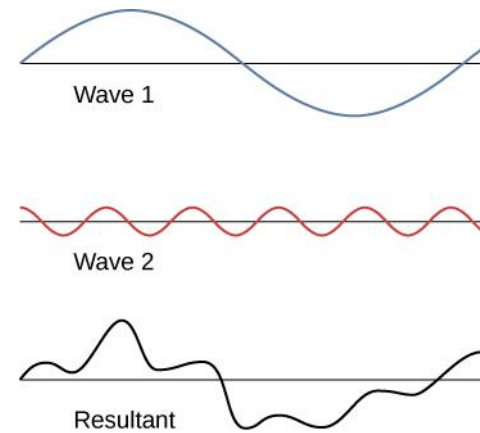
Interferencija valova

Dva vala, jednakih frekvencija,
amplituda i valnog broja

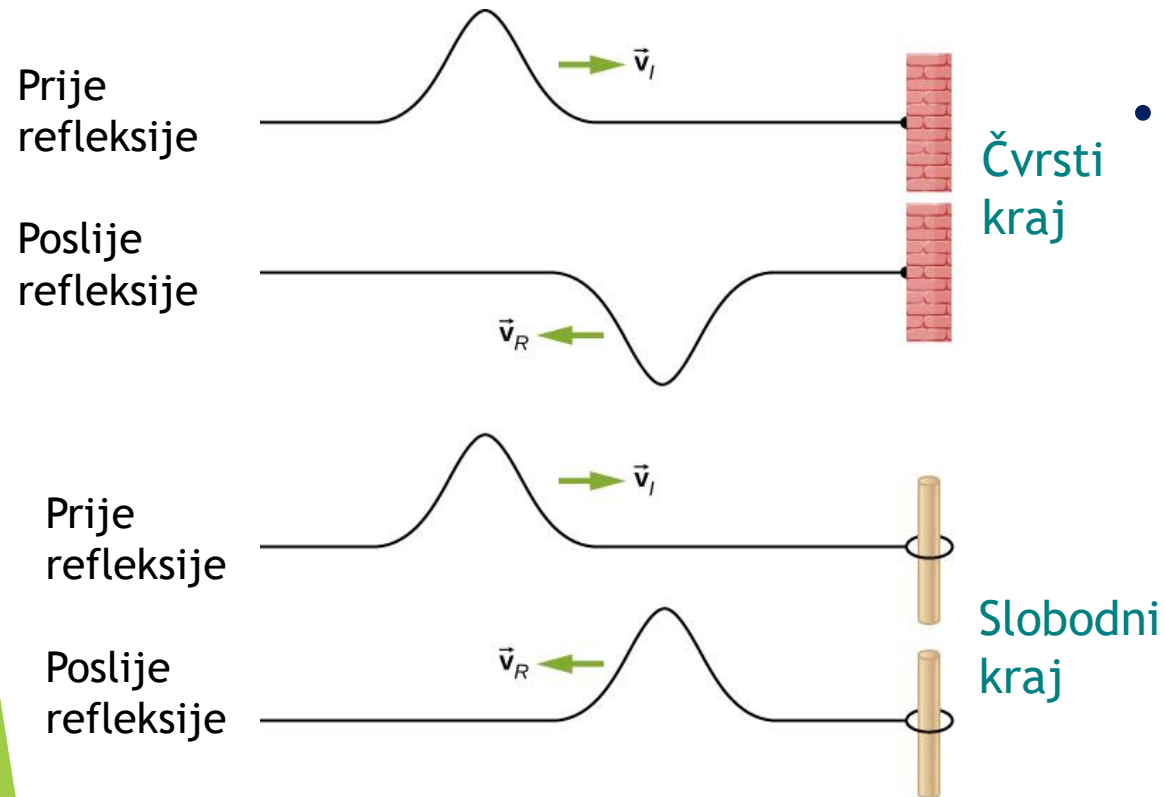
$$\Delta\varphi \neq 0, \pi$$



Dva vala, različitih frekvencija i
amplituda

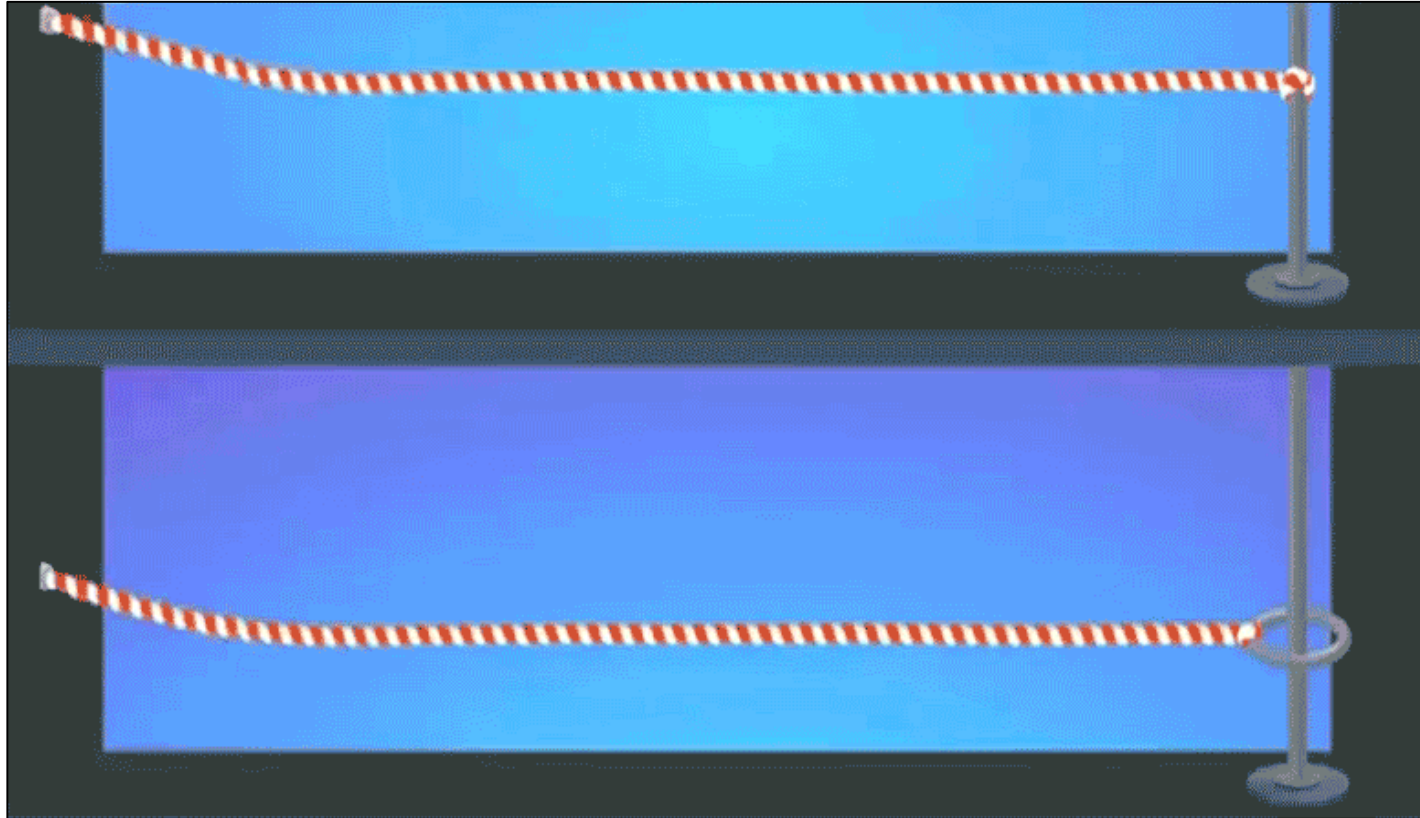


Refleksija i transmisija valova na granici sredstava



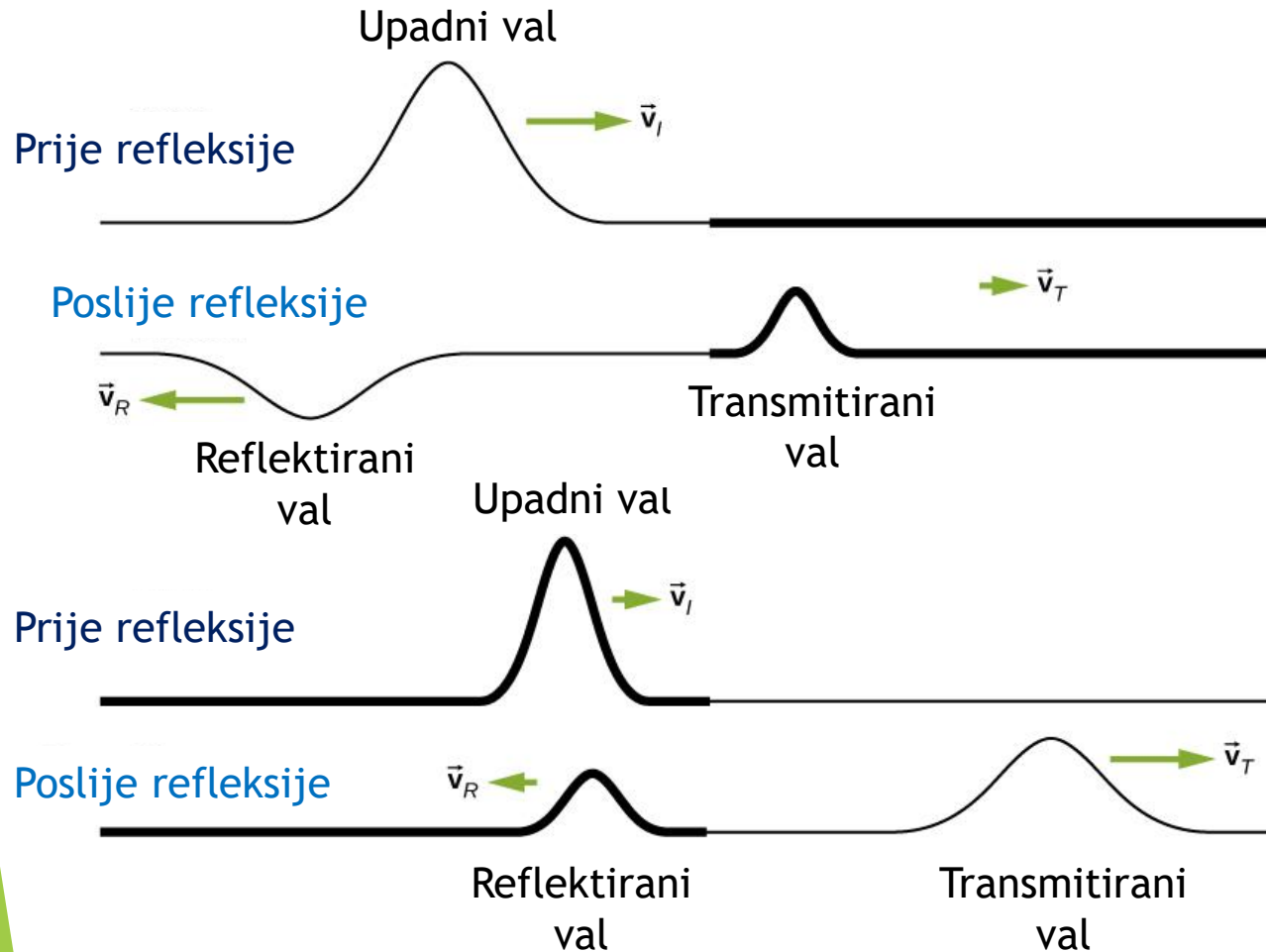
- Refleksija na čvrstom kraju: Dolazi do skoka u fazi za π - *brijeg se vraća kao dol.*

- Refleksija na slobodnom kraju: nema skoka u fazi.



Refleksija i transmisija valova na granici sredstava

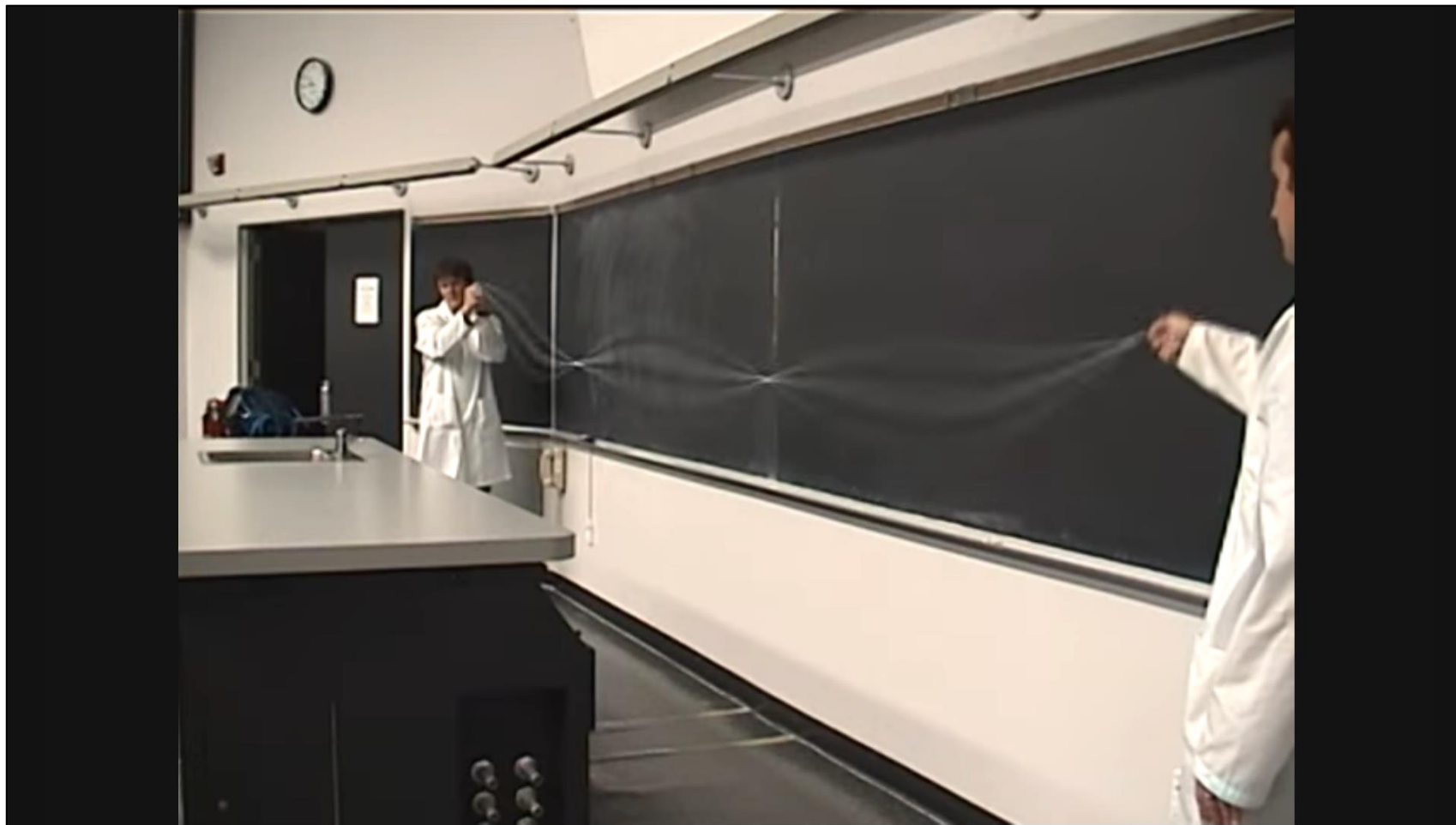
Val prelazi na žicu od drugog materijala, tj. žice su različitih linearnih gustoća μ .



Val dolazi sa žice male linearne gustoće na žicu velike linearne gustoće: reflektirani val ima skok u fazi za π ; transmitirani val je u fazi s upadnim valom.

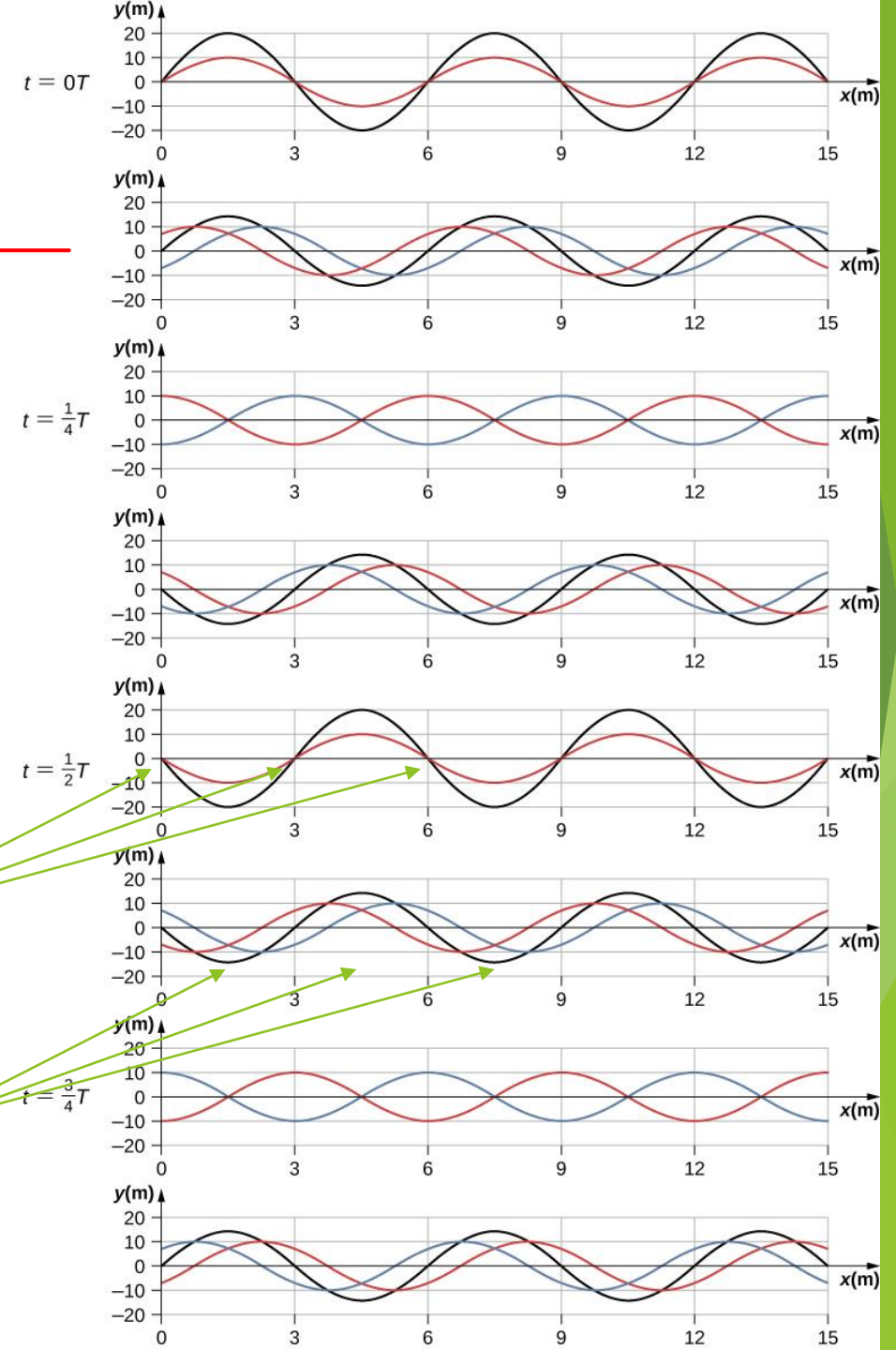
Val dolazi sa žice velike linearne gustoće na žicu male linearne gustoće: reflektirani i transmitirani val su u fazi s upadnim valom.

Žice imaju istu napetost, brzina je veća na žici manje linearne gustoće.



Stojni val

- Nastaje kad na omeđenom sredstvu interferiraju dva vala: upadni i reflektirani (imaju iste amplitude i valne duljine).
 - Crveni ide u $-x$ smjeru; plavi u $+x$.
 - Crno je prikazan zbroj.
- Suprotnost putujućem valu.
- Svaka točka titra sa svojom vlastitom amplitudom:
- Čvorovi stojnog vala - točke kojima je amplituda jednaka nuli, nikada ne titraju!
- Trbusi stojnog vala - točke koje imaju najveću amplitudu.



Stojni val

Stojni val možemo opisati zbrajanjem upadnog vala koji putuje udesno i

$$\vec{s} = A \sin(\omega t - kx)$$

reflektiranog vala na čvrstom kraju u točki $x = 0$ (putuje ulijevo)

$$\vec{s} = -A \sin(\omega t + kx)$$

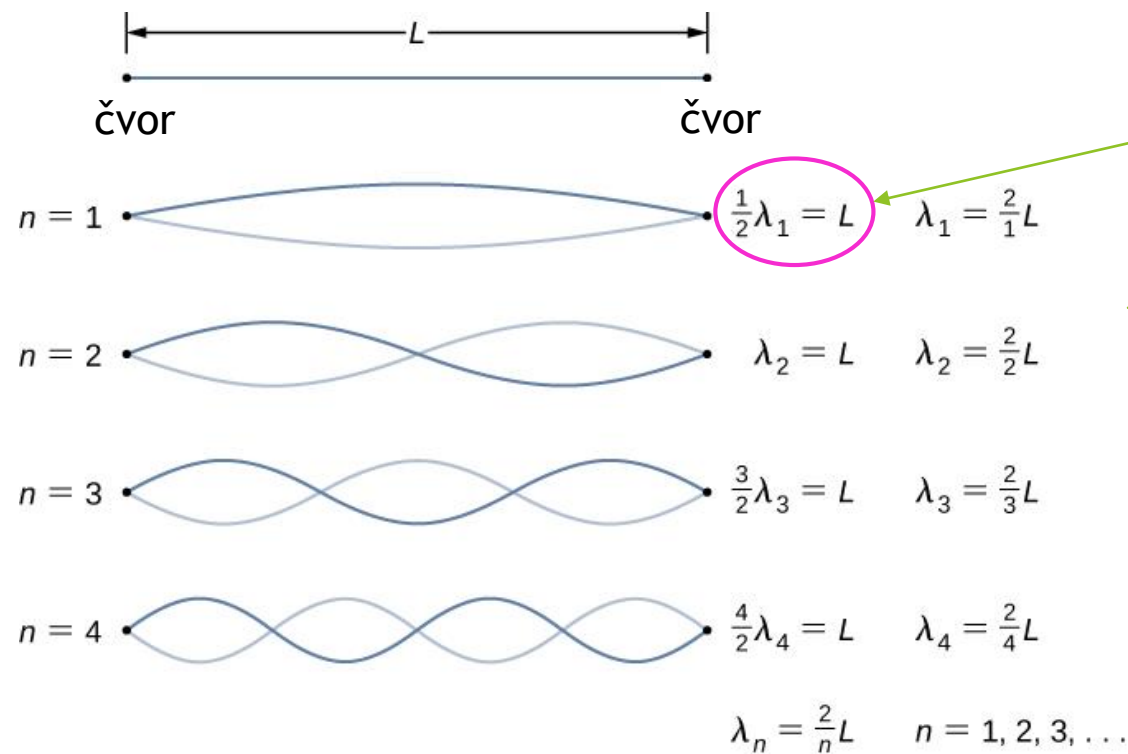
$$s_{ST.VAL} = \vec{s} + \vec{s} = -2A \sin kx \cos \omega t$$

- Amplituda je maksimalna za $\sin kx = 1$;
- Čvorovi: $kx = n\pi$; n – cijeli broj

$$x = \frac{n\pi}{k} = n \frac{\lambda}{2}$$

Stojni val za žicu duljine L učvršćenu na oba kraja

- Moguća su sva ona titranja pri kojima su na oba kraja čvorovi.



Za najveću moguću valnu duljinu, duljina žice odgovara polovici valne duljine.

Ima i drugih titranja, onih s manjim valnim duljinama - viši harmonici.

Za njih vrijedi:

$$L = n \frac{\lambda}{2} \text{ ili } \lambda = \frac{2L}{n}$$

- Iz $v = \lambda f$ možemo naći i odgovarajuće frekvencije:

$$f = n \frac{v}{2L} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Valovi zvuka

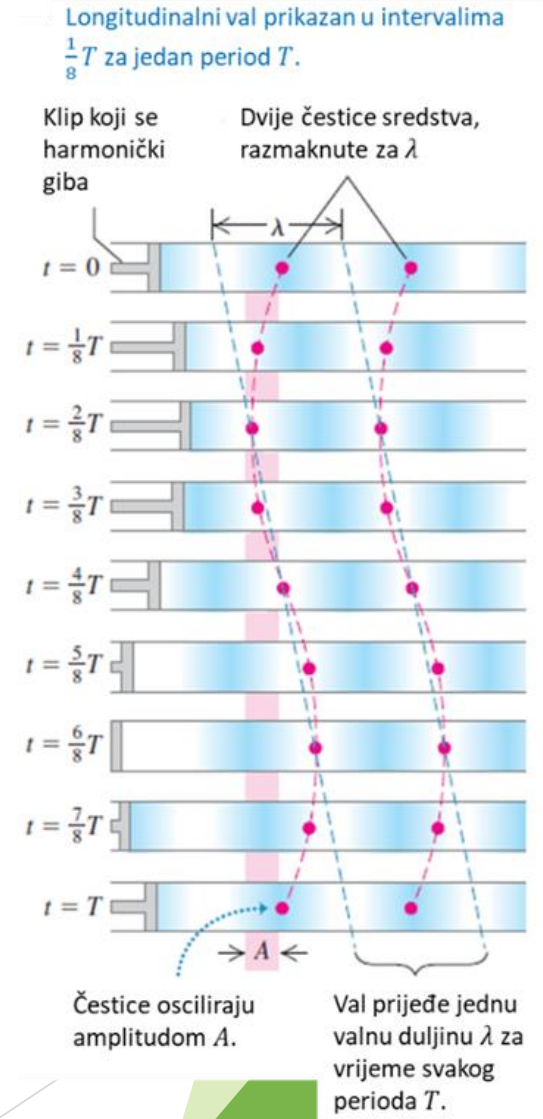
- Longitudinalni valovi u zraku (najčešće sredstvo).
- Frekvencije koje čujemo: 16 - 20000 Hz.
- Brzina zvuka: čvrsto elastično sredstvo, plin.

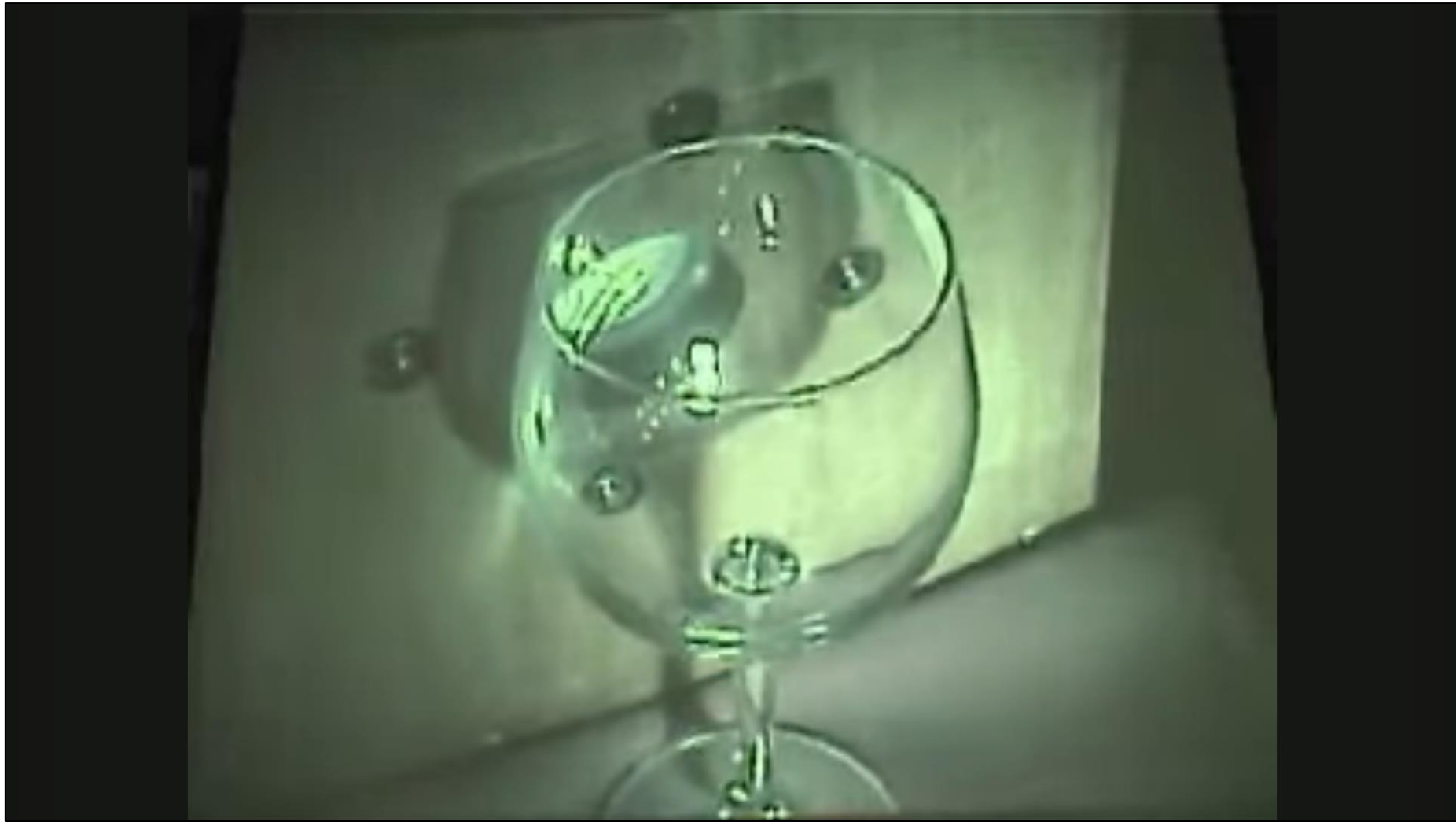
$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$$v = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\kappa \rho T}{M}}$$

Sredstvo (0°C)	v / ms^{-1}
zrak	331
kisik	316
vodik	1290

Sredstvo (20°C)	v / ms^{-1}
voda	1480
etanol	1160
željezo	5950







Valovi zvuka

Intenzitet zvuka - mjera jakosti zvuka

$$I = \frac{P}{S} \left(\propto \frac{1}{r^2} \right) \text{ [W/m}^2\text{]}$$

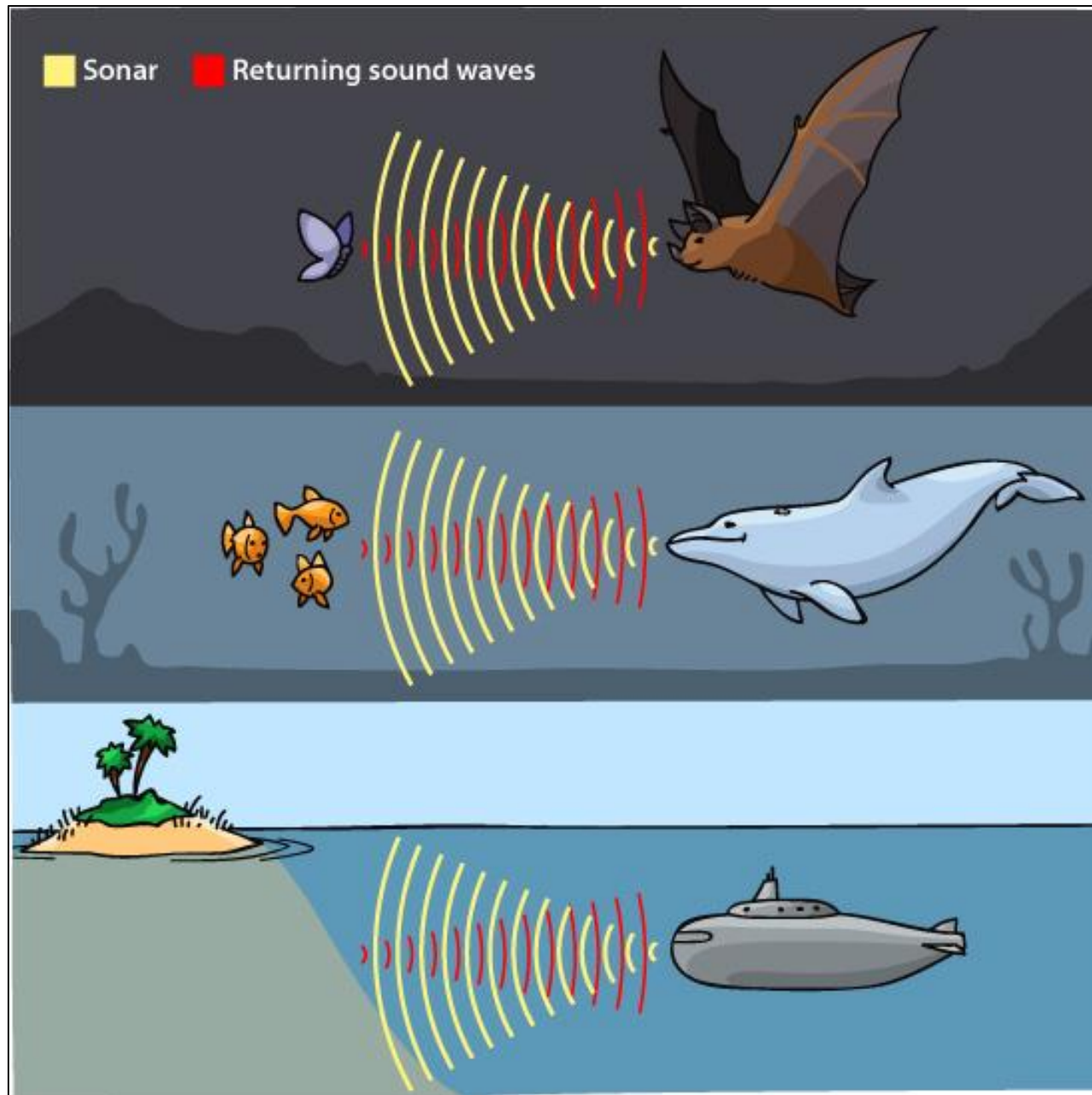
- Raspon intenziteta zvuka koje ljudsko uho čuje je jako velik:
 - $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ najmanji intenzitet koji ljudsko uho može raspoznati.
 - $I \approx 1 \text{ W/m}^2$ granica boli
- Praktičnija je skala ako se uzme logaritam omjera stvarnog i minimalnog intenziteta (jedinica bel, B; još praktičnije dB)

$$\frac{I}{\text{dB}} = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

Vrsta zvuka	Intenzitet zvuka / dB
šapat	20
Tihi radio u kući	40
razgovor	60
Prometna ulica	70
Glasni radio	80
Sirena policijskog automobila	100
Koncert; pneumatska bušilica	120
Polijetanje aviona	140
Pucanje bubnjića	160





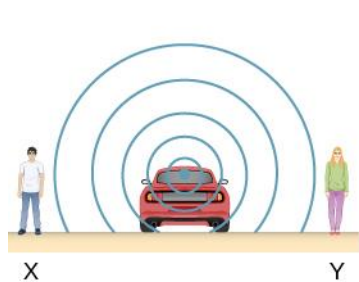


Dopplerov efekt

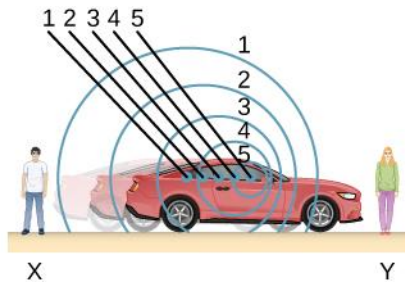
Promjena frekvencije zvuka zbog gibanja izvora zvuka (v_i) ili opažača (v_o) (detektora) (v – brzina vala).

$$f_o = f_i \frac{v \pm v_o}{v \pm v_i}$$

približavanje



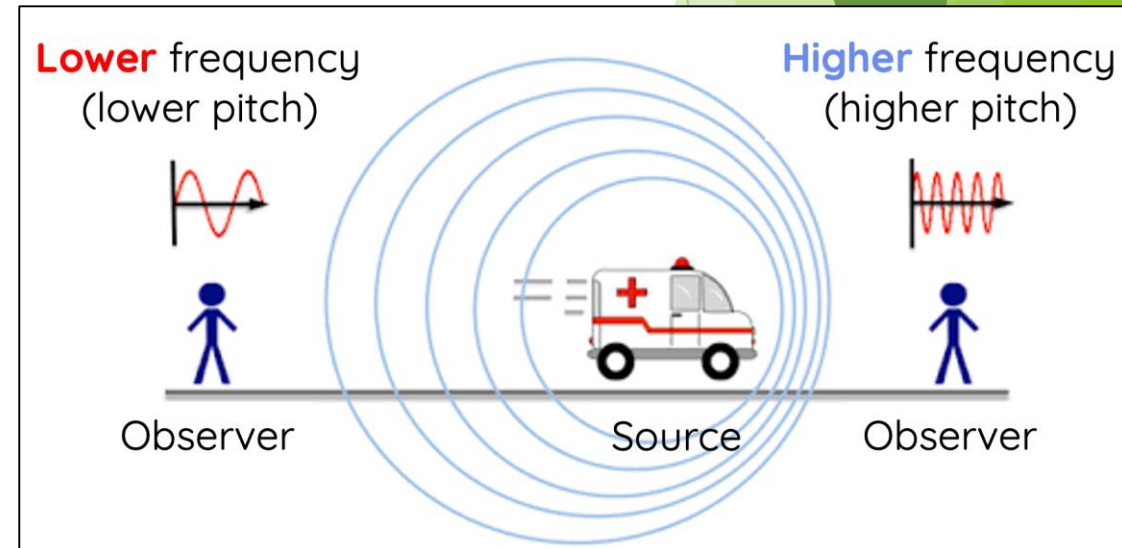
Miran izvor
i opažači



Izvor se giba,
opažači miruju



Miran izvor,
opažači se gibaju



Simulacija: Valovi

