

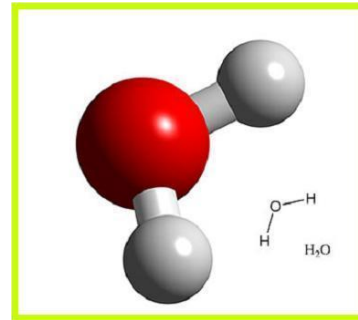
OSCILACIJE I TALASI

4.11.2015

5.11.2015

Oscilacije

Da li kretanje bove na ustalasalom moru, deteta koje se ljulja, kretanje klatna časovnika, amortizera na vozilima, okinute žice na gitari, atoma u kristalnoj rešetci, ima nešto zajedničko?



Odgovor je pozitivan,

sva pomenuta tela osciluju, odnosno kreću se "napred-nazad" između dve tačke, oscilovanje klatna ili atoma i molekula u kristalnoj rešetki, oscilovanje vazдушnih stubova, membrane zvučnika, zategnute žice kod muzičkih instrumenata, naizmenične struje, ...

Bez obzira na *različitost* pomenutih oscilovanje, kod svih, obzirom da *brzina kretanja tela nije konstantna*, postoje **sile koje upravljaju njime**.

Osim toga, **energija se stalno transformiše iz jednog oblika u drugi** (kinetička u potencijalnu i obrnuto). Kada na primer deca žele da se ljuljaju moramo da poguramo ljuljašku i dovedemo je u stanje kretanja. Energija atoma u kristalima raste ako se oni zagreju. Žici gitare predajemo energiju kada je okinemo.

Oscilacije

Neke oscilacije *ne ostaju izolovane* već oko sebe stvaraju talase.

Vibriranje žice na gitari kreira **zvučne talase** na primer.

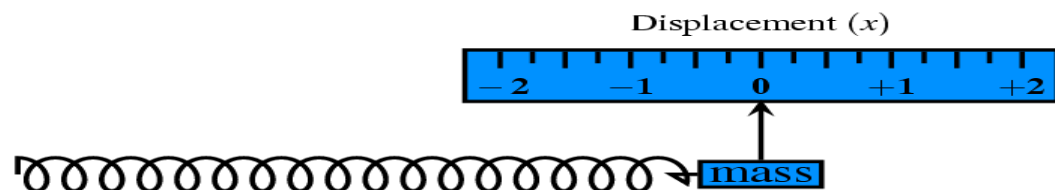
U bazenu možemo da napravimo talase periodičnim udaranjem rukom po vodi.

Neki talasi su vidljivi (na vodi) a neki ne (zvučni talasi).

Svaki talas međutim predstavlja *poremećaj u sredini* koji se od izvora prostire kroz nju i *prenosi energiju*.

Osim ovih talasa postoje talasi *koji se javljaju prilikom zemljotresa, elektromagnetni talas* (vidljiva svetlost, radio talasi, ...). Svaka *subatomska čestica* može da se u nekim interakcijama ponaša kao talas.

Analiza oscilatornog i talasnog kretanja će pokazati da se mogu opisati *uz pomoć nekoliko osnovnih principa*. Takodje će se pokazati da su **talasi** fenomeni mnogo više prisutni u svakodnevnom životu nego što bi moglo da nam se učini. Proučavanje oscilacija i talasa ćemo početi **analizom tipa sile** koja može da izazove najprostija kretanja ovog oblika.



Oscilacije

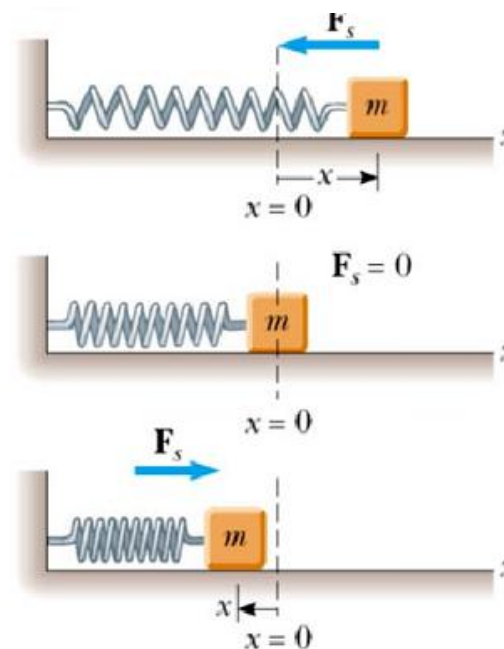
Svako kretanje koje se ponavlja u jednakim vremenskim intervalima naziva se **periodičnim**, a ako se kretanje odvija stalno po istoj putanji, onda se naziva **oscilatorno**.

- Ukoliko su **sila** koja teži da vrati oscilatorni sistem u ravnotežno stanje, pa prema tome i **ubrzanje** koje sistem ima, direktno srazmerni rastojanju od njega i usmereni ka njemu, tada se radi o **jednostavnom harmonijskom kretanju**.

Za svako oscilatorno kretanje karakteristično je **naizmenično pretvaranje potencijalne energije u kinetičku i obrnuto**.

Primer:

telo vezano za učvršćenu oprugu – može da se kreće u vertikalnoj ili u horizontalnoj ravni (po glatkoj površini, bez trenja)

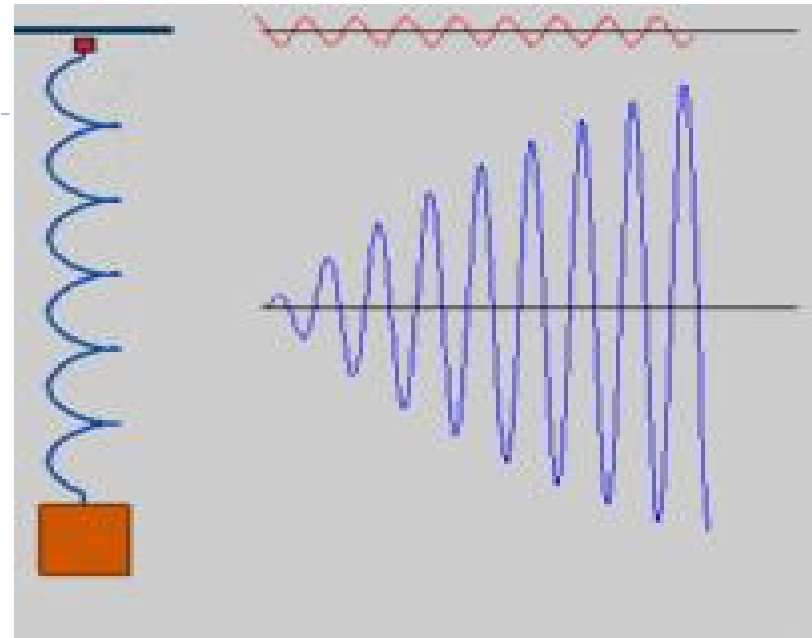
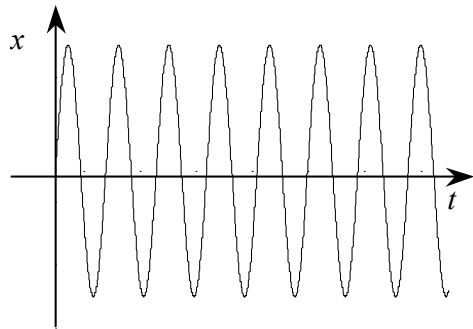


Svako kretanje koje se ponavlja u jednakim vremenskim intervalima naziva se **periodičnim**, a ako se kretanje odvija stalno po istoj putanji, onda se naziva **oscilatorno**.

- ▶ Neamortizovano oscilovanje je ono koje se odvija sa **konstantnom amplitudom**.
- ▶ Amortizovano oscilovanje tela ili sistema je ono kod koga se **amplituda smanjuje** u toku vremena.
- ▶ Zadržaćemo se na najprostijem obliku mehaničkih oscilacija.
- ▶ Promene oscilatornih veličina sa vremenom opisuju **sinusnim** ili **kosinusnim** zakonom.
- ▶ Takvo oscilatorno kretanje se naziva **harmonijsko**.



Najčešće se pod harmonijskim oscilatorima smatraju **LHO**
Linearni Harmoniski Oscilatori



- ▶ Promene oscilatornih veličina sa vremenom opisuju **sinusnim** ili **kosinusnim** zakonom.
- ▶ **Linearni $F \sim x$** sila koja upravlja oscilacijama srazmena je elongaciji (amplitudi)

Harmonijski oscilatori su oscilatori koji generišu sinusoidalni (kosinusoidalni) oblik signala.

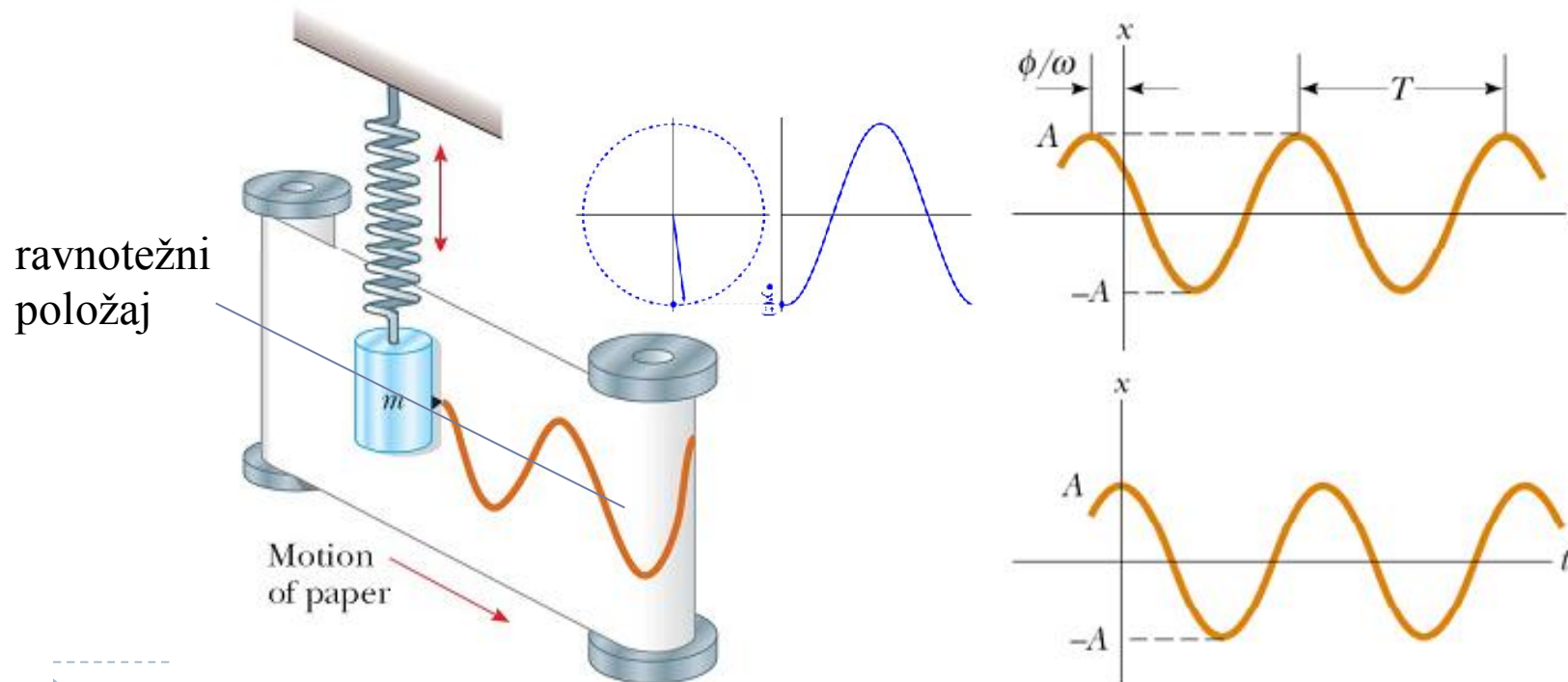
Harmonijski oscilatori su **osnovna vrsta elektronskih oscilatora**,

pored relaksacionih oscilatora (multivibrator, kružni oscilator).

Elektronski oscilator je elektronsko kolo koje proizvodi elektronski signal koji se ponavlja u vremenu u vidu *sinusne funkcije ili pravougaone povorke*.

Osnovne osobine harmonijskog oscilovanja:

- **Period oscilovanja** T je vreme za koje telo izvrši jednu oscilaciju.
- **Frekvencija oscilovanja** ν (ili f) je broj oscilacija u jedinici vremena. $f = n/t$
- **Elongacija** x je udaljenost tela od ravnotežnog položaja (osa x ili y)
- **Amplituda** A je maksimalna elongacija.
- Kod **harmonijskih oscilacija** promenljiva veličina (elongacija) se menja po **sinusnom** ili **kosinusnom** zakonu u funkciji vremena.



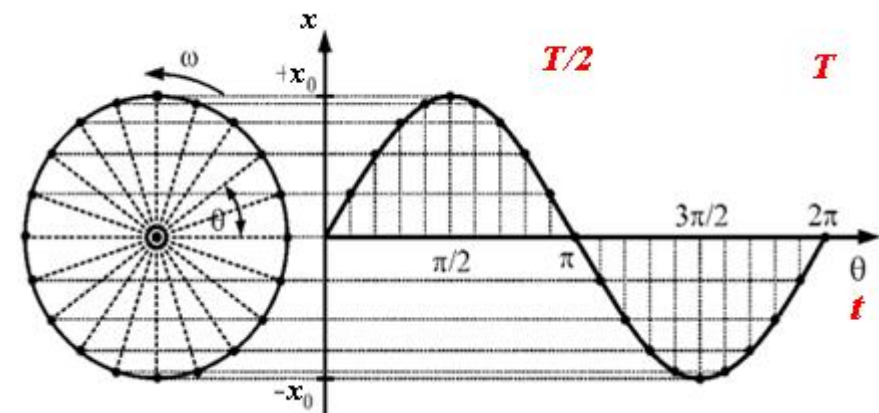
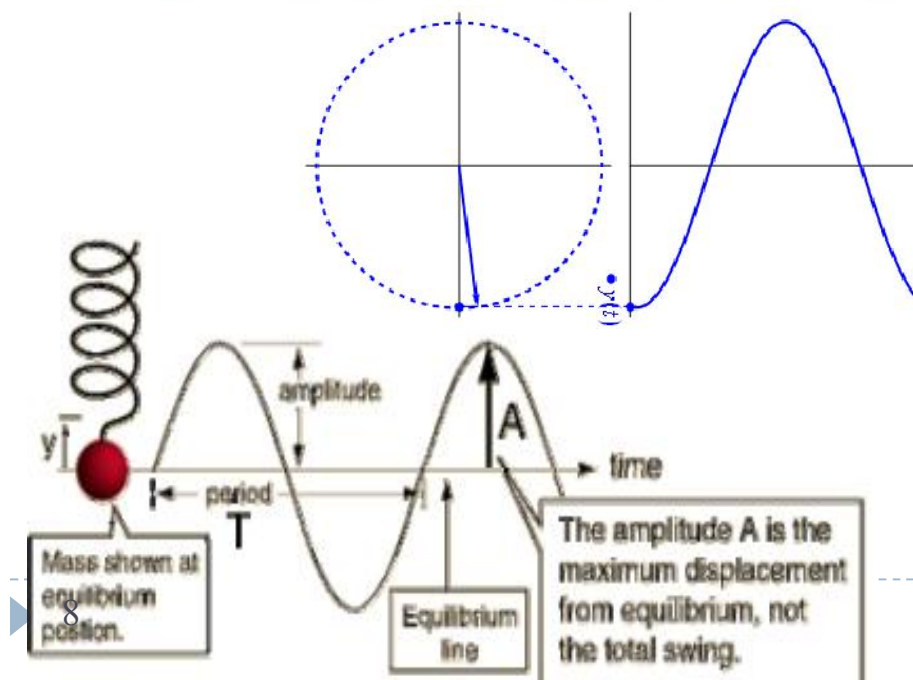
Osnovne osobine harmonijskog oscilovanja:

- **Kružna frekvencija** ω je povezana sa frekvencijom f (ν) i periodom T .

$$f = \frac{1}{T} \quad \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad [f] = 1/s = \text{Hz (Herc)}$$

$$[\omega] = \text{rad/s} = \text{s}^{-1}$$

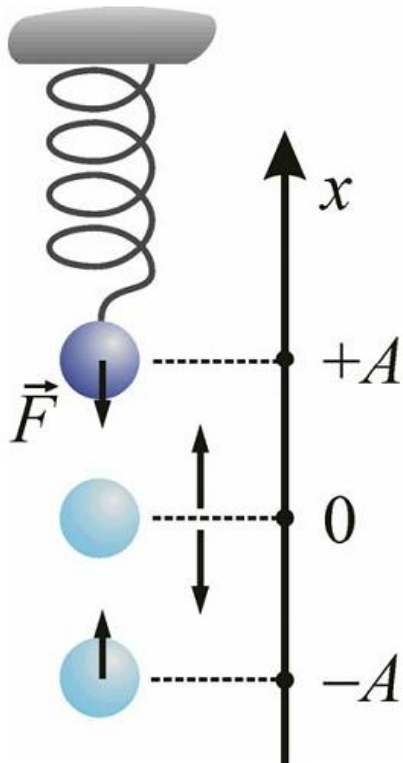
- Pri kretanju materijalne tačke po kružnici **ravnomernom** perifernom brzinom v i njen radijus vektor (vektor položaja) se obrće ravnomernom ugaonom brzinom ω .
- **x-koordinata** položaja materijalne tačke koja se ravnomerno kreće po kružnici menja se po sinusnom (kosinusnom) zakonu, odnosno projekcija radijus-vektora na x-koordinatnu osu menja svoj intenzitet po sinusnom (kosinusnom) zakonu u funkciji vremena. T je vreme potrebno materijalnoj tački da obiđe pun krug.



Primeri harmonijskih oscilacija

■ Oscilovanje tela obešenog o elastičnu oprugu

- Sila koja vraća telo i oprugu ka ravnotežnom položaju je elastična sila deformisane opruge i (prema Hukovom zakonu za elastične deformacije istežanja) srazmerna je veličini deformacije). Znak "-" znači suprotan smer sile F od vektora položaja x tela vezanog za oprugu.



$$\vec{F} = -k \vec{x} \quad k - \text{koeficijent elastičnosti opruge}$$

- Iz II Njutnovog zakona sledi jednačina kretanja:

$$m \cdot a = F = -k \cdot x$$

$$\text{Smena: } \frac{k}{m} = \omega_0^2 \quad F = ma = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

ω_0 - Kružna učestanost, spostvena frekvencija

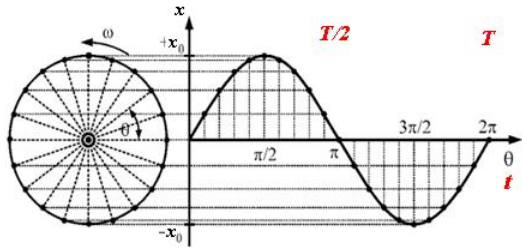
- Rešenje ove diferencijalne jednačine ima oblik:

$$x = A \sin(\omega_0 t + \alpha)$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0$$

Oscilovanje tela obešenog o elastičnu oprugu

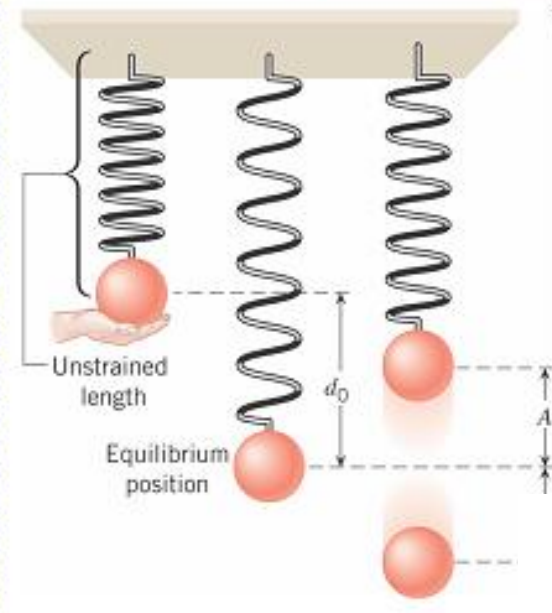
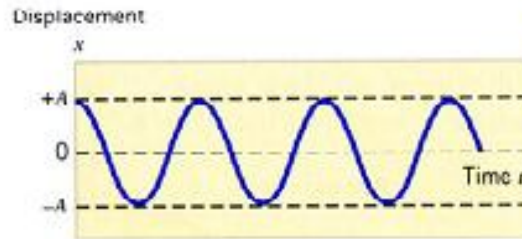
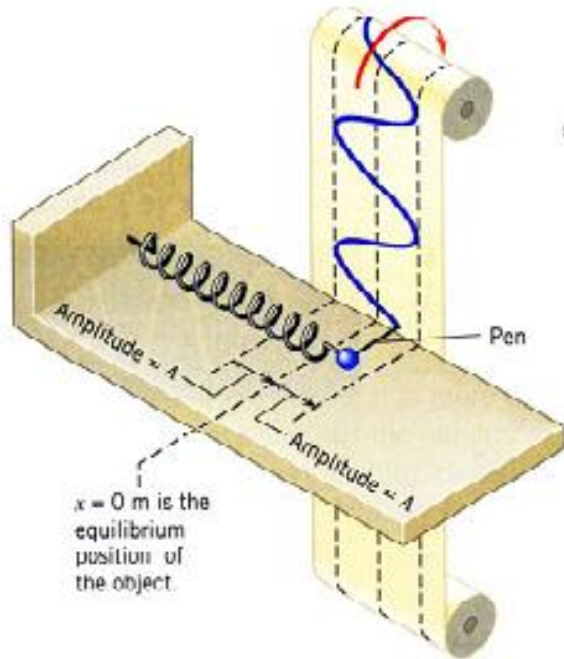
Elongacija x je sinusna (ili kosinusna) funkcija vremena: $x = A \sin(\omega_0 t + \alpha)$



ω_0 – kružna frekvencija oscilatornog kretanja
 α – početna faza, opisuje početni položaj sistema
 $(\omega_0 t + \alpha)$ – faza oscilovanja

Period oscilovanja T zavisi od osobina opruge (koeficijent elastičnosti k) i od mase m tela okačenog na nju:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$



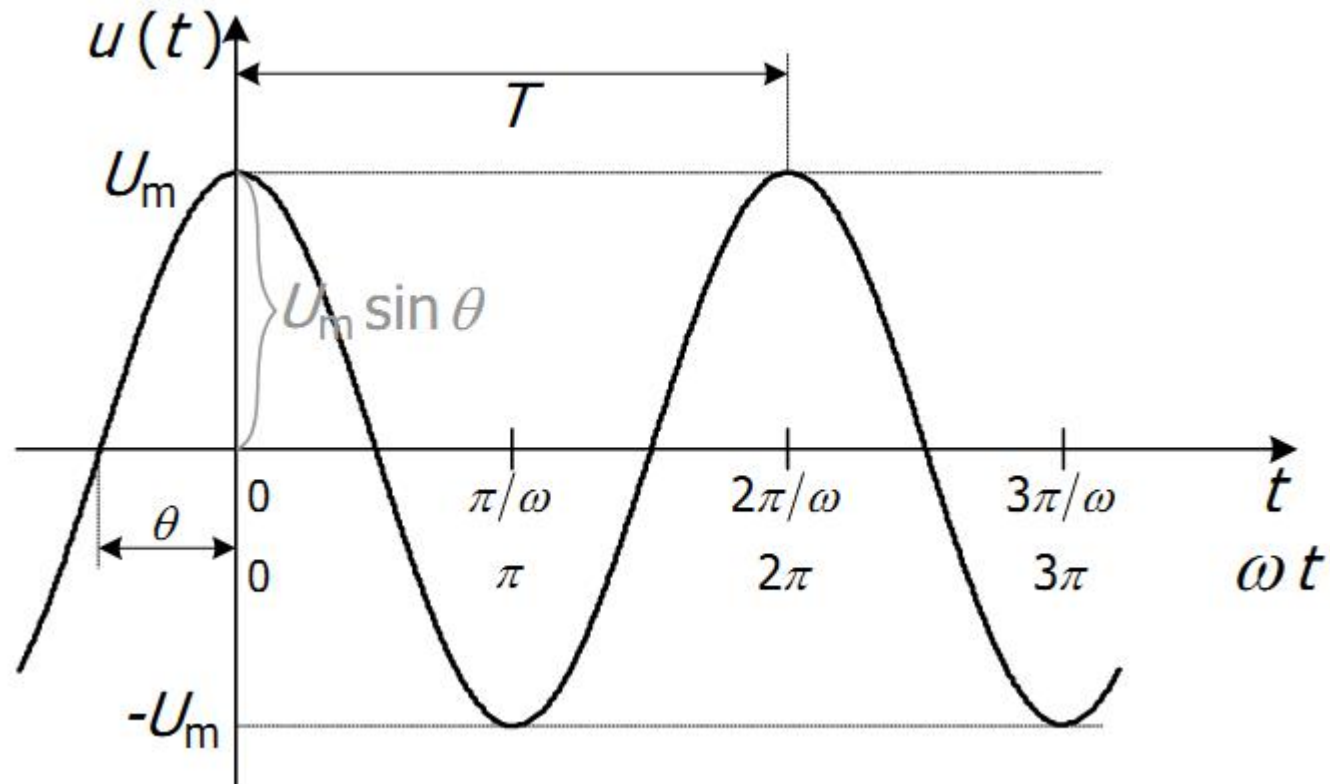
prostoperiodični napon

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \theta).$$

početna faza [rad]

kružna učestanost [$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ ili s^{-1}]

amplituda [V]



Energija tela koje osciluje na elastičnoj opruzi

Energija tela koje osciluje na elastičnoj opruzi je zbir **kinetičke energije tela** i **potencijalne energije elastične deformacije opruge**.

S obzirom da važi:

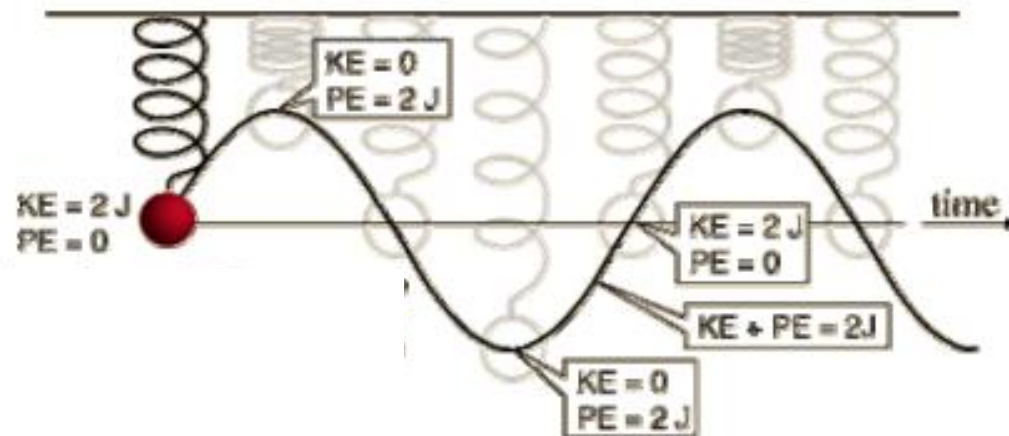
$$x = A \sin(\omega_0 t + \alpha) \quad k = m\omega_0^2$$

$$v = \frac{dx}{dt} = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \alpha)$$

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2$$

$$E = \frac{1}{2}mA^2\omega_0^2 = \frac{1}{2}kA^2 = \text{const.}$$

Zbir kinetičke i elastične potencijalne energije pri harmonijskom oscilovanju, ukoliko nema gubitaka, je konstantan.



Neki primeri nelinearnih oscilatornih kretanja

- ▶ Oscilatorna kretanja se međusobno razlikuju **po obliku putanje, amplitudi i frekvenciji oscilatora.**
- ▶ Sem linearnog harmonijskog oscilovanja, čest oblik oscilovanja su oscilacije čija je **putanja deo kružnog luka** (oscilovanje klatna, balanser časovnika)...
- ▶ Na telo deluje sila čiji moment **M** teži da vraća telo u ravnotežni položaj.

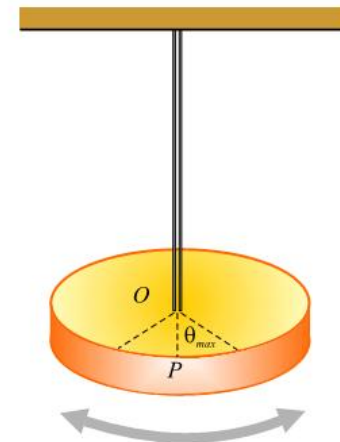
Primeri: *matematičko klatno, fizičko klatno, torziona klatno,*

Restitucioni povratni moment $M = -\kappa\theta.$

Torziona konstanta žice κ

Moment inercije tela

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{\kappa}}$$



Matematičko klatno

- **Matematičko klatno** je materijalna tačka koja se u polju Zemljine teže kreće na stalnom rastojanju od date tačke (tačke oslonca).

$$\sin \varphi = \frac{F_t}{Q} = \frac{x}{l} \Rightarrow F_t = -\frac{mgx}{l} \quad F_t = ma = m \frac{d^2s}{dt^2}$$

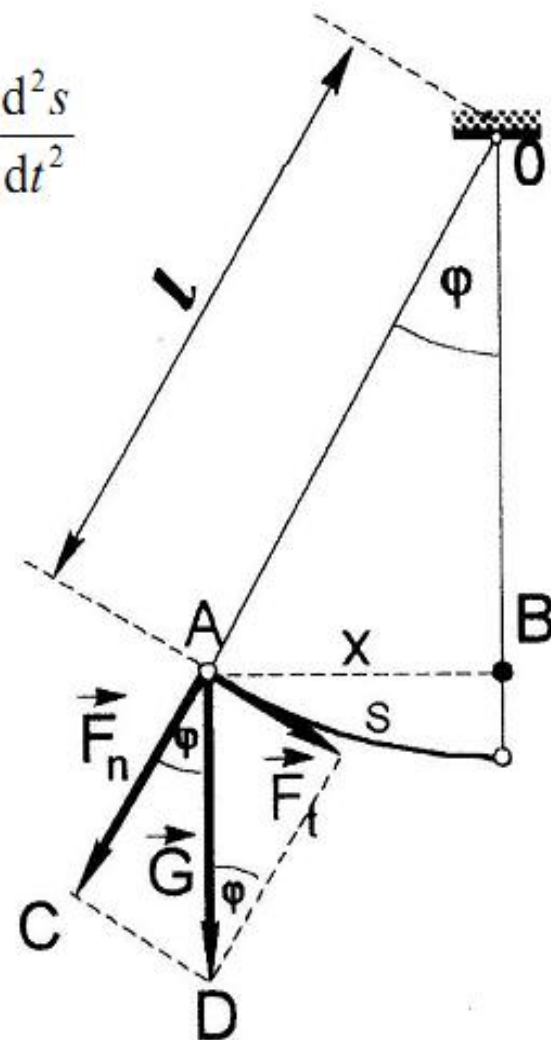
"-" znači suprotan smer sile F_t od vektora položaja x .

- **Jednačina kretanja:**

$$m \frac{d^2s}{dt^2} + \frac{mgx}{l} = 0$$

x – **horizontalno** rastojanje od ravnotežnog položaja

s – **lučno** rastojanje od ravnoteže (pređeni put)



Matematičko klatno

$$m \frac{d^2 s}{dt^2} + \frac{mgx}{\ell} = 0$$

Za male uglove φ , $x \approx s$. Smena: $\frac{g}{\ell} = \omega_0^2$

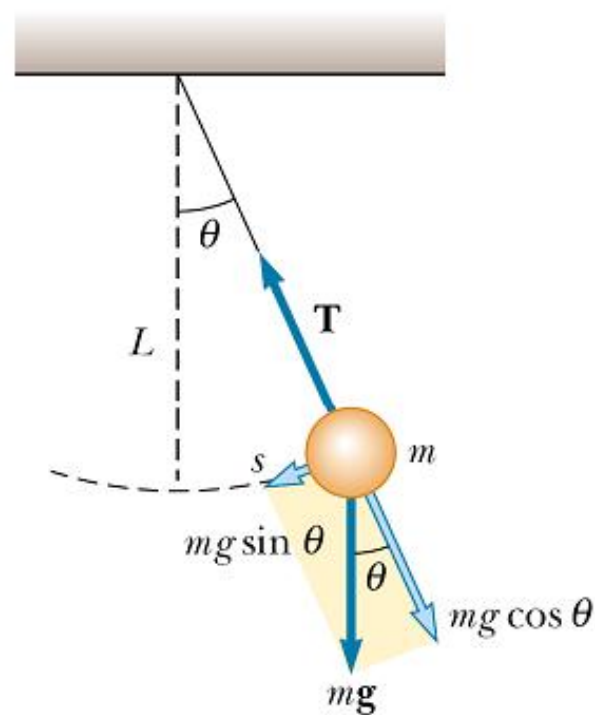
$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0$$

- Rešenje jednačine je da je elongacija x sinusna (ili kosinusna) funkcija vremena t oblika:

$$x = x_0 \sin(\omega_0 t + \alpha)$$

- Period oscilovanja** T , za slučaj malih amplituda oscilovanja, zavisi od dužine klatna ℓ i ubrzanja sile Zemljine teže g :

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$



Fizičko klatno

- **Fizičko klatno** je kruto telo koje se u polju sile Zemljine teže može slobodno kretati oko nepokretne horizontalne ose, a koja ne prolazi kroz njegov centar mase (težište).

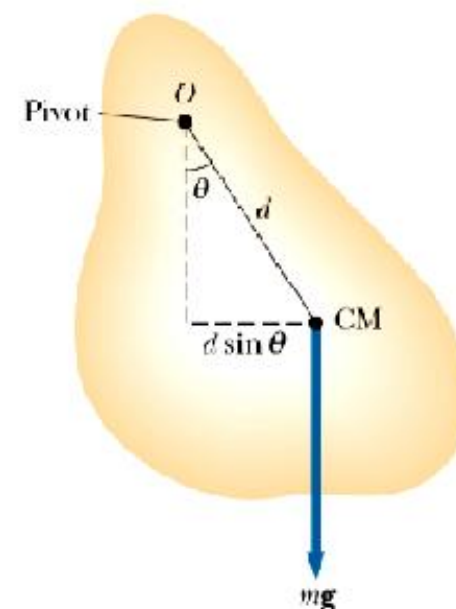
$$M = I\alpha \quad \alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad M = -|\vec{d} \times \vec{Q}| = -d mg \sin \theta$$

$$-d mg \sin \theta = I \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad \boxed{\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{mgd}{I} \sin \theta = 0}$$

Za malo θ , $\sin\theta \approx \theta$. Takođe se uvodi smena: $\frac{mgd}{I} = \omega_0^2$
 d – je rastojanje centra mase (CM) od ose rotacije.

- **Jednačina kretanja:** $\boxed{\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega_0^2 \theta = 0}$

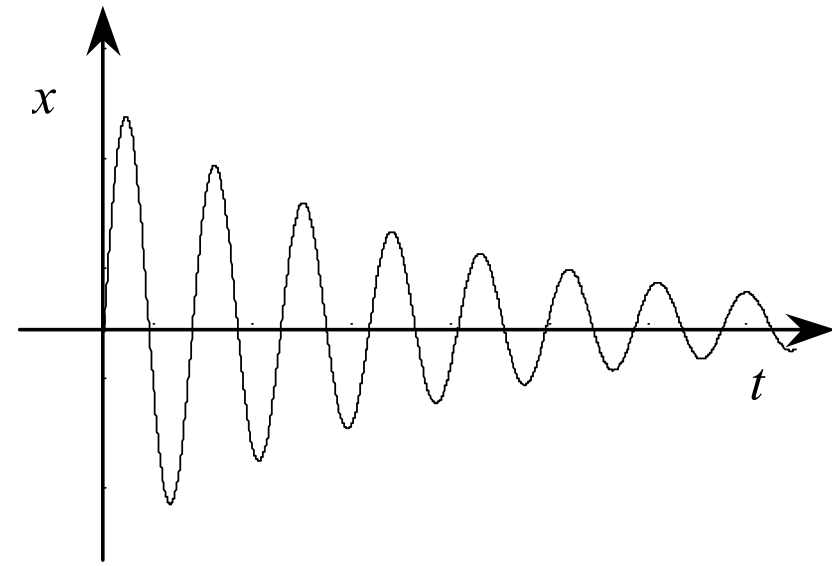
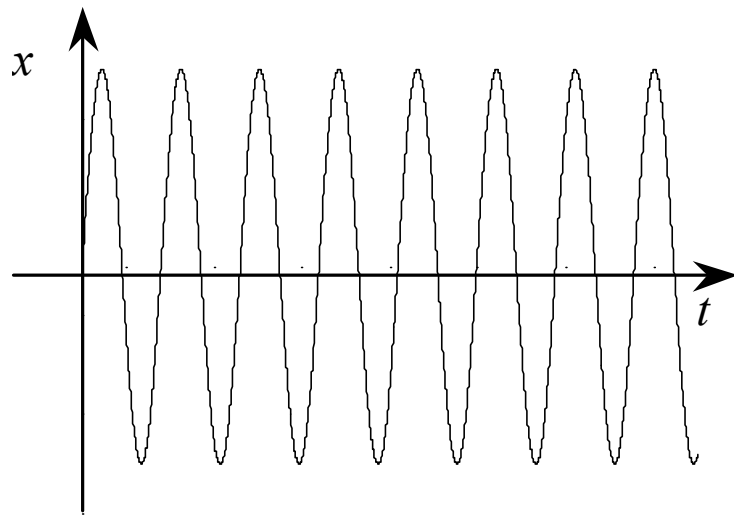
Rešenje jednačine je oblika: $\boxed{\theta = \theta_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)}$



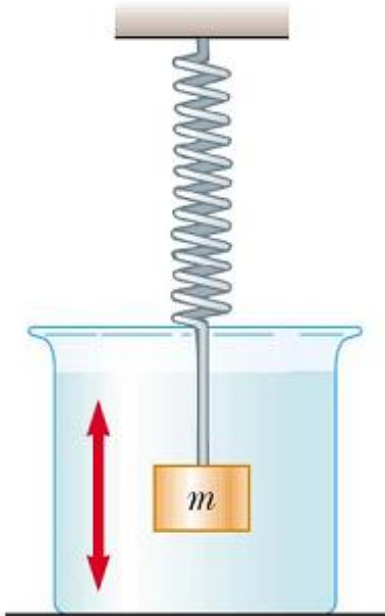
Period oscilovanja:

$$\boxed{T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgd}}}$$

- **Neamortizovano (neprigušeno)** oscilovanje je ono koje se odvija sa **konstantnom amplitudom**.
- **Amortizovano (prigušeno)** oscilovanje tela ili sistema je ono kod koga se amplituda smanjuje u toku vremena.



Prigušene harmonijske oscilacije



- Na svaki realni oscilatorni sistem deluje **sila trenja**.
- Prigušeno oscilovanje je oscilovanje u kojem **veličina amplitude opada sa vremenom**.
- Sila otpora je srazmerna brzini kretanja tela:

$$\vec{F} = -b \vec{v}$$

b - koeficijent srazmernosti - **konstanta prigušenja**

- **Jednačina kretanja** za slučaj oscilovanja tela mase m okačenog na oprugu koeficijenta elastičnosti k kada na njega deluje otpor sredine okarakterisan konstantom b :

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0$$

Prigušene harmonijske oscilacije

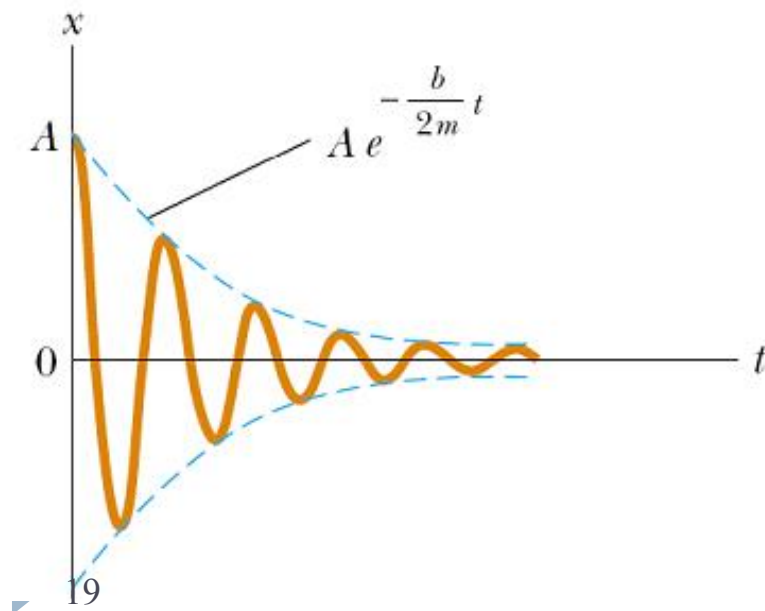
- Rešenje jednačine je **elongacija** x koja se u toku vremena menja po sinusnom (ili kosinusnom) zakonu.

$$x(t) = x_0(t) \sin(\omega'_0 t + \alpha)$$

ω'_0 - sopstvena kružna frekvencija **amortizovane** oscilacije

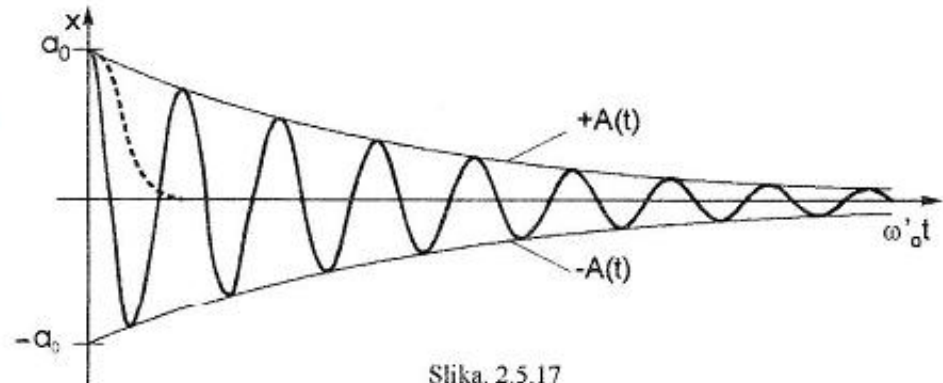
- Amplituda** $x_0(t)$ u toku vremena opada do nulte vrednosti prema eksponencijalnoj funkciji.

$$x_0(t) = x_0 e^{-\frac{b}{2m}t}$$

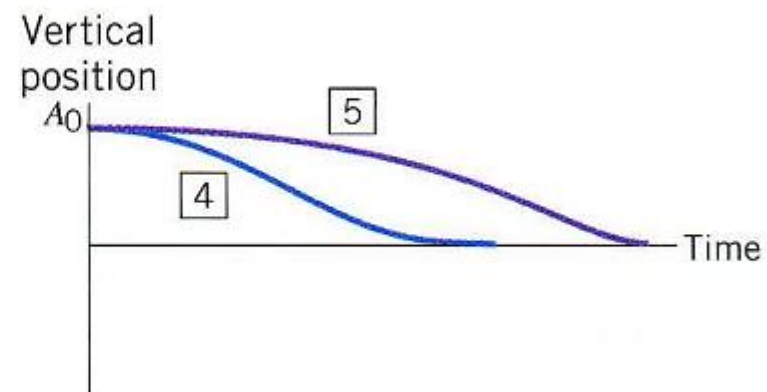
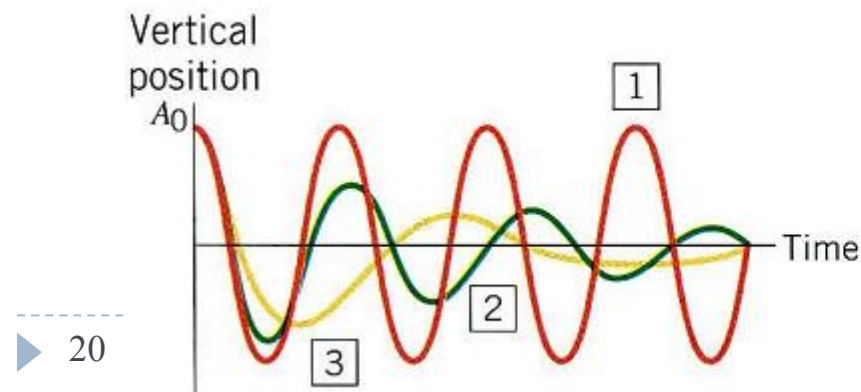


Prigušene harmonijske oscilacije

- U zavisnosti od veličine prigušenja b (tj. otpora sredine), oscilovanje može imati sledeće oblike:



- Neprigušeno oscilovanje**
- Malo prigušenje (kvaziperiodično oscilovanje)**
- Srednje prigušenje (kvaziperiodično oscilovanje)**
- Kritično prigušenje**
- Aperiodično prigušenje**



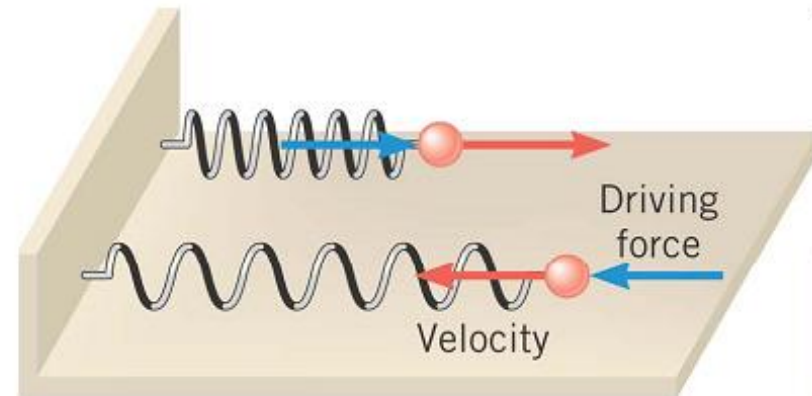
Prinudne harmonijske oscilacije. Rezonancija.

- **Prinudno oscilovanje** je oscilovanje u kojem osim elastične sile postoji još jedna **spoljašnja sila** koja pojačava oscilovanje.
- Ako je **prinudna sila harmonijska** (menja se po sinusnom zakonu sa frekvencijom ω) i $\omega \neq \omega_0$ (ω_0 je sopstvena frekvencija oscilovanja sistema bez prisustva prinudne sile) u *realnom* slučaju, kada postoji i neka **sila trenja** koja deluje na oscilatorni sistem, rešenje **jednačine oscilovanja**:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = F_0 \sin \omega t$$

ima oblik:

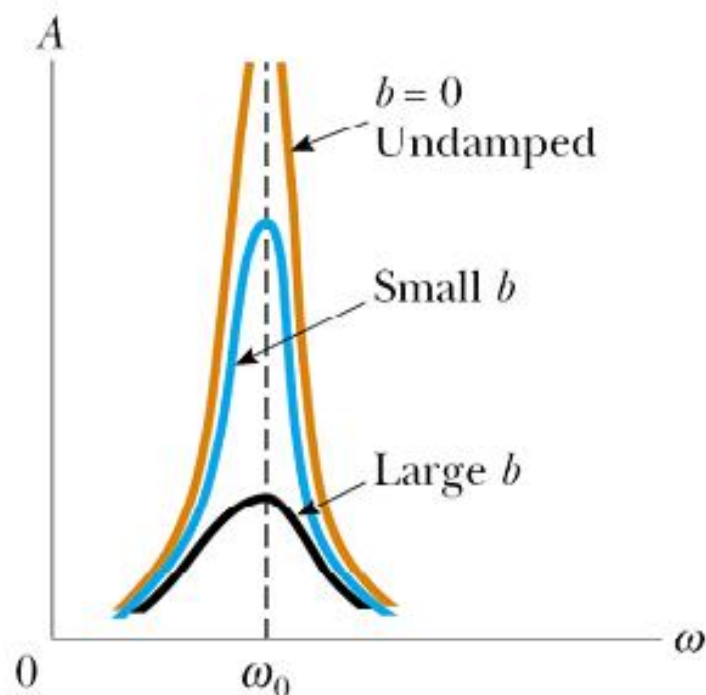
$$x(t) = x_0 \sin \omega t$$



- Telo mase m osciluje **istom frekvencijom ω** kojom se menja i periodična sila, ali sa **modifikovanom amplitudom x_0** , čija veličina se **ne menja** u toku vremena.

Prinudne harmonijske oscilacije. Rezonancija.

- Ako frekvencija prinudne sile F teži sopstvenoj kružnoj frekvenciji oscilatora ($\omega \rightarrow \omega_0$), amplituda x_0 prinudnog oscilovanja teži visokim vrednostima (u slučaju kada nema trenja, u beskonačnost). Nastupa stanje **rezonancije**.



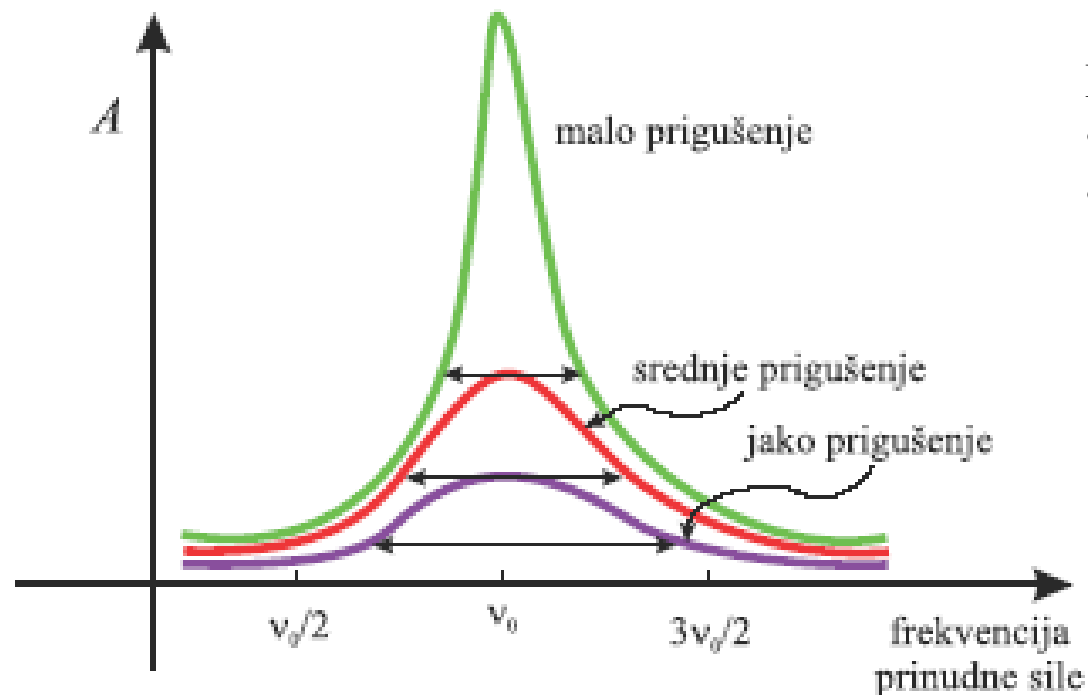
$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = F_0 \sin \omega t$$

$$x(t) = x_0 \sin \omega t$$

b konstanta prigušenja

Prinudne harmonijske oscilacije. Rezonancija.

- širina rezonantne krive zavisi od prigušenja
- što je manje prigušenje, rezonantna frekvencija je u manjem opsegu
- znači-ako želimo da nam oscilator rezonira na tačno određenoj frekvenciji moramo što je više moguće smanjiti prigušenje
 kod klavira
- ako želimo da sistem osciluje sa malim amplitudama-amortizeri automobila, potrebno je veliko prigušenje.



Primena

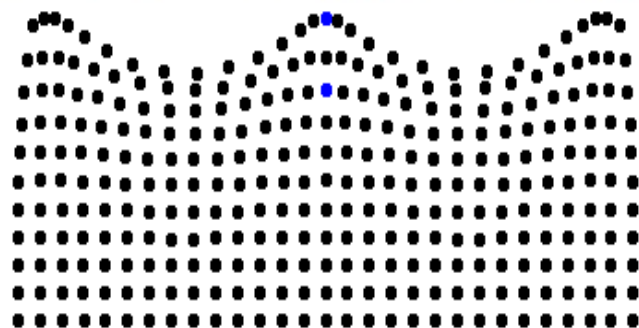
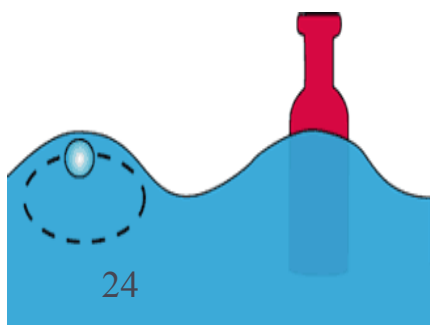
- izbor stanica kod radio aparata
- NMR-jezgra vodonika rezoniraju na frekvenciji upadnog mikrotalasnog (EM) zračenja

TALASNO KRETANJE

Pojavljuje se u skoro svim granama fizike. Površinski talasi na vodi, zvučni talasi, elektromagnetski talasi (EMT), de Brojjevi talasi su samo neki od vidova talasnog kretanja u prirodi. Talasno kretanje omogućava prenos energije i količine kretanja sa jednog mesta na drugo bez premeštanja materijalnih čestica sredine kroz koju se talas prostire. Talasi u okeanima putuju kilometrima, ali ne i čestice vode pogođene tim talasima. Kod mehaničkih talasa (talasi na vodi, zvučni talasi) elastične osobine sredine omogućavaju prenos deformacije kroz prostor. Za prostiranje EMT nije neophodna materijalna sredina (prostiru se i kroz vakuum).

Mehanički talasi prema međusobnom položaju vektora brzine prostiranja talasa \vec{c} i vektora brzine čestice sredine \vec{v} , pogođene tim talasom, dele se na *transverzalne* $\vec{v} \perp \vec{c}$ i *longitudinalne* $\vec{v} \parallel \vec{c}$. EMT spadaju u grupu transverzalnih talasa.

Talasi mogu biti klasifikovani i prema načinu kretanja čestice sredine u vremenu. Za impulsni talas je karakteristično da čestice sredine miruju dok impuls ne stigne do njih, da bi se nakon toga veoma kratko kretale i opet mirovale. Kod periodičnog talasa kretanje čestice sredine se periodično ponavlja u vremenu. Najjednostavniji slučaj periodičnog talasa je harmonijski talas.



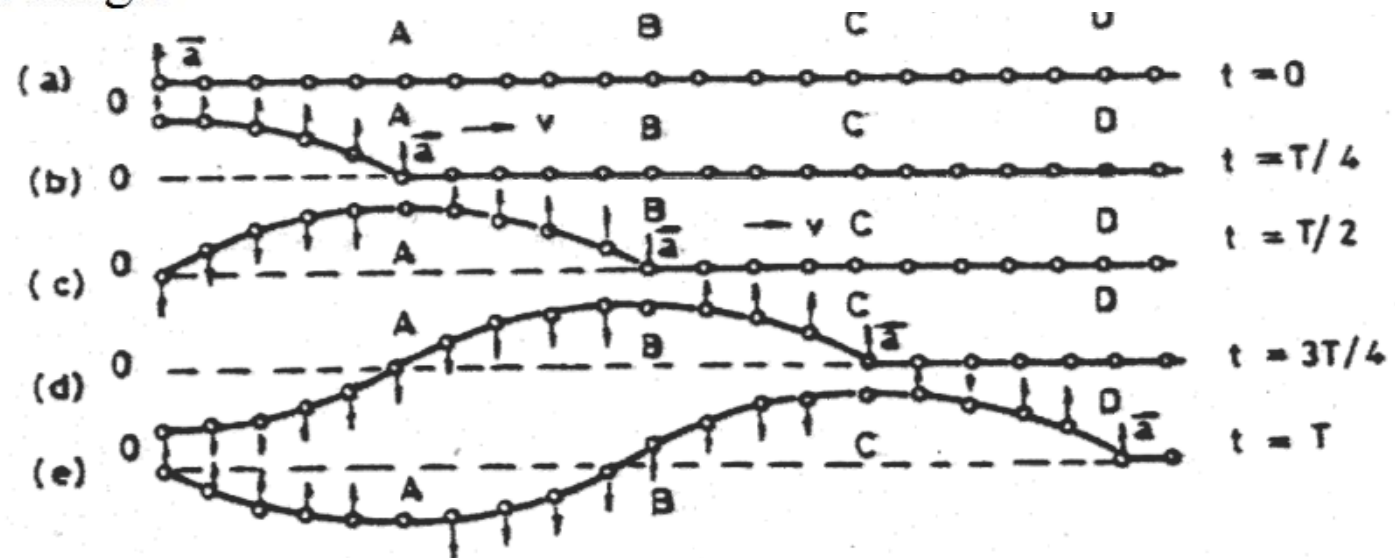
-
- ▶ Pojavljuje se u skoro svim granama fizike. Površinski talasi na vodi, zvučni talasi, elektromagnetski talasi (EMT), de Brojjevi talasi su samo neki od vidova talasnog kretanja u prirodi. Talasno kretanje omogućava prenos energije i količine kretanja sa jednog mesta na drugo bez premeštanja materijalnih čestica sredine kroz koju se talas prostire. Talasi u okeanima putuju kilometrima, ali ne i čestice vode pogođene tim talasima. Kod mehaničkih talasa (talasi na vodi, zvučni talasi) elastične osobine sredine omogućavaju prenos deformacije kroz prostor. Za prostiranje EMT nije neophodna materijalna sredina (prostiru se i kroz vakuum).
 - ▶ Mehanički talasi prema međusobnom položaju vektora brzine prostiranja talasa \mathbf{c} i vektora brzine čestice sredine \mathbf{v} , pogođene tim talasom, dele se na transverzalne i longitudinalne
 - ▶ . EMT spadaju u grupu transverzalnih talasa. $\mathbf{c} \perp \mathbf{v}$, $\mathbf{c} \parallel \mathbf{v}$
 - ▶ Talasi mogu biti klasifikovani i prema načinu kretanja čestice sredine u vremenu. Za impulsni talas je karakteristično da čestice sredine miruju dok impuls ne stigne do njih, da bi se nakon toga veoma kratko kretale i opet mirovale. Kod periodičnog talasa kretanje čestice sredine se periodično ponavlja u vremenu. Najjednostavniji slučaj periodičnog talasa je harmonijski talas.

Talasnno kretanje – Prostiranje talasa u elastičnoj sredini

- Mehanički talas (talasnno kretanje) je širenje oscilatornog poremećaja u elastičnoj materijalnoj sredini.
- Pri prostiranju talasa, ne premeštaju se delići sredine. Oni osciluju oko ravnotežnih položaja, a prenosi se energija talasa.

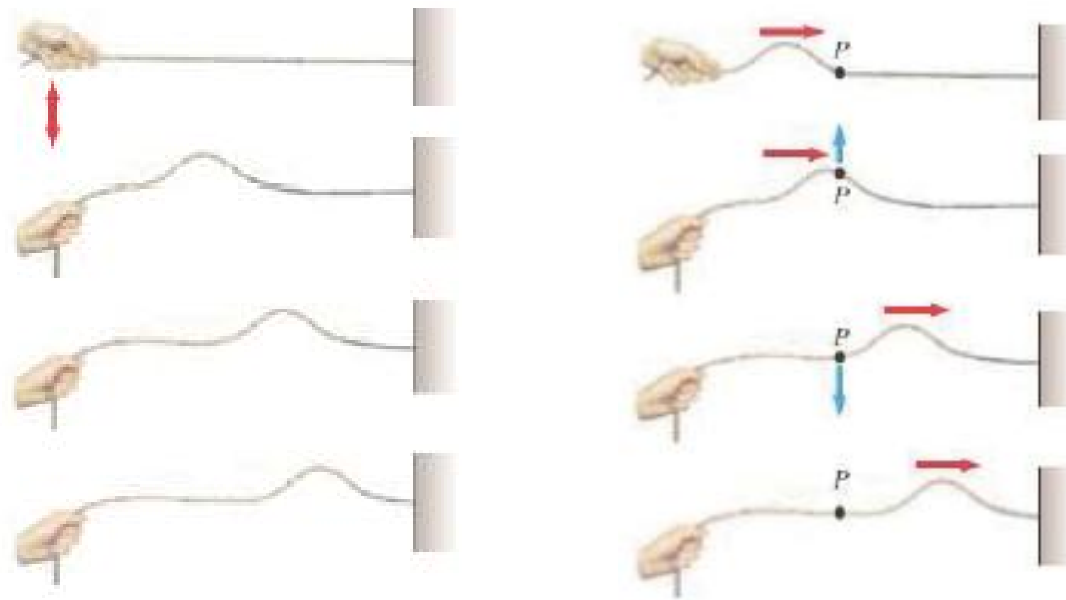
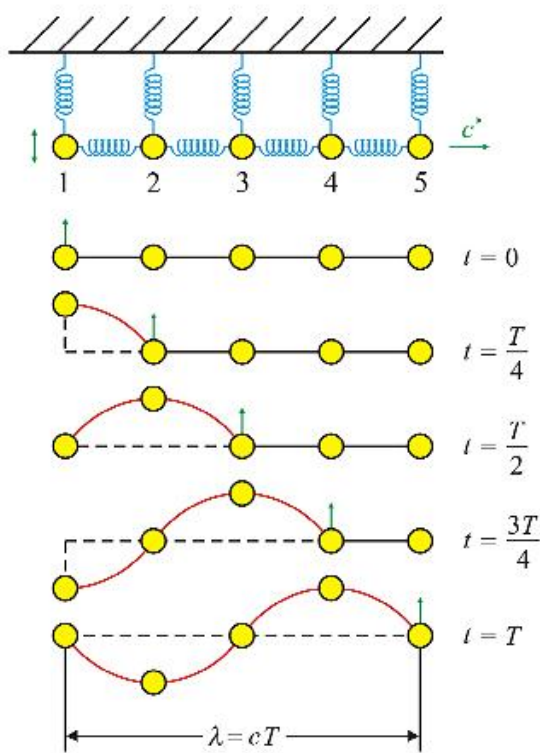
Za postojanje mehaničkog talasa neophodno je postojanje:

- izvora talasnog poremećaja,
- materijalne sredine kroz koju se poremećaj prenosi, i
- nekog fizičkog mehanizma preko kojeg elementi materijalne sredine utiču jedan na drugi.



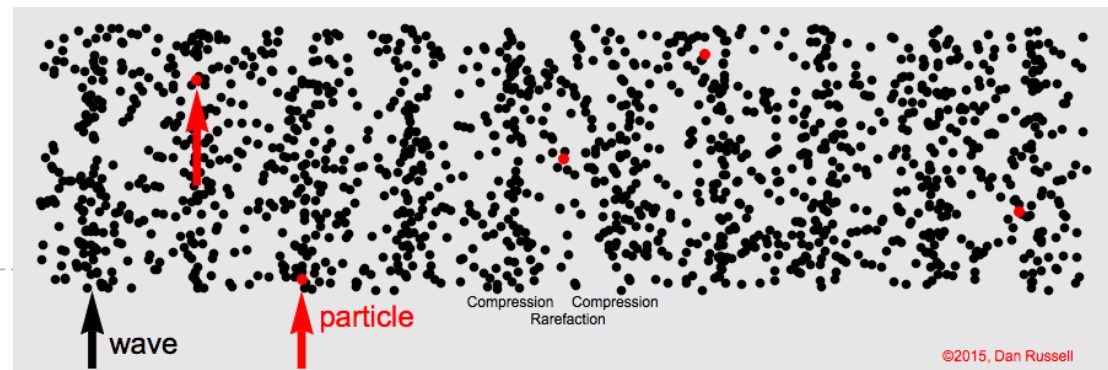
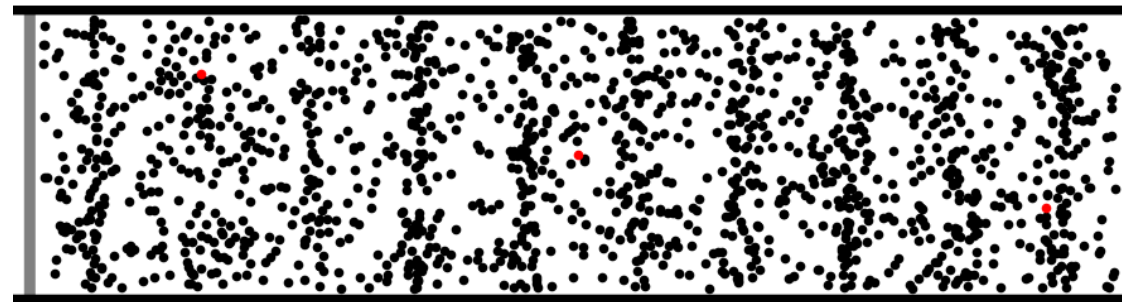
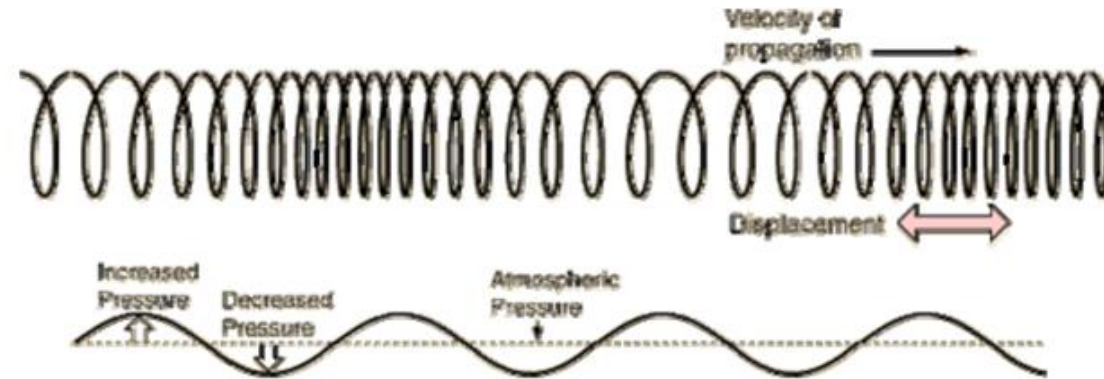
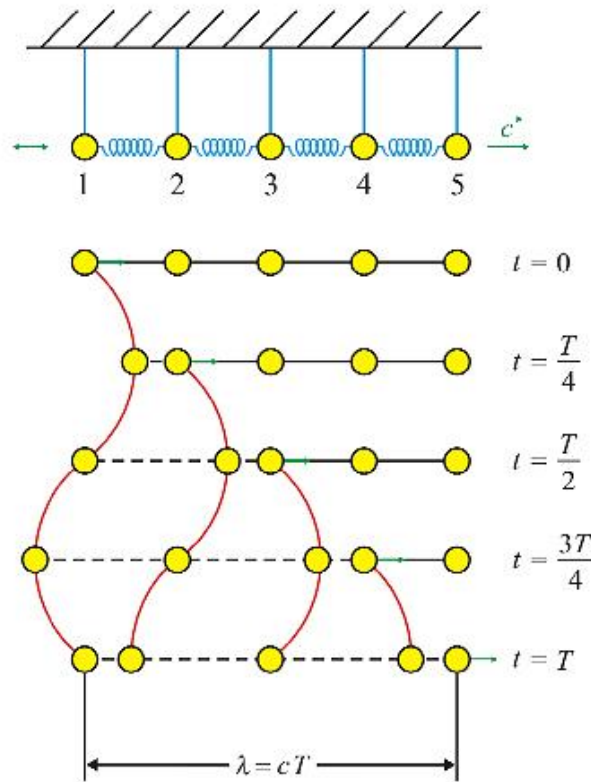
Prostiranje talasa u elastičnoj sredini

- Progresivni talasi kod kojih se **delići sredine kreću** u pravcu **normalnom na prostiranje talasa** nazivaju se **transverzalni talasi**. Javljaju se samo u sredinama gde postoje elastične sile **smicania** – **čvrsta tela**.



Prostiranje talasa u elastičnoj sredini

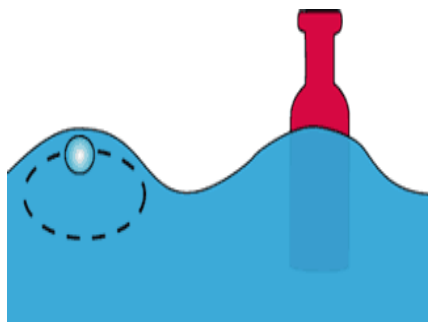
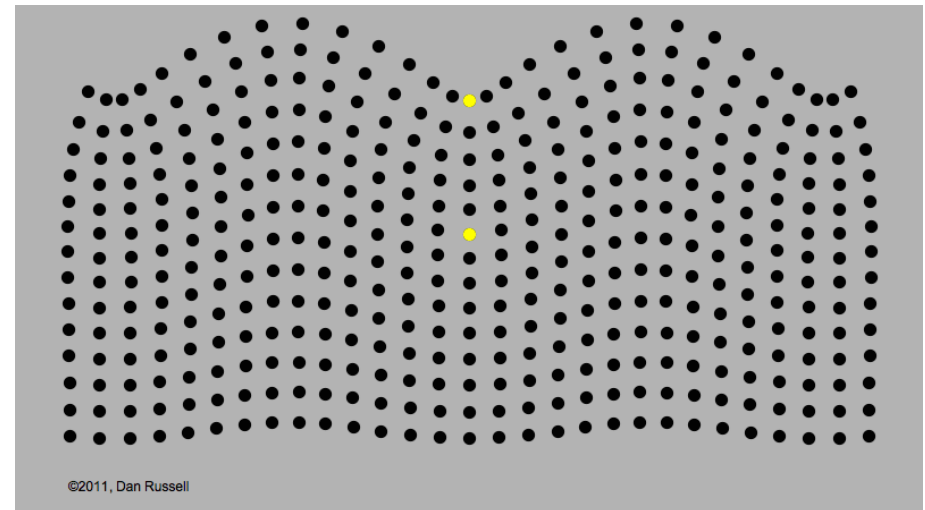
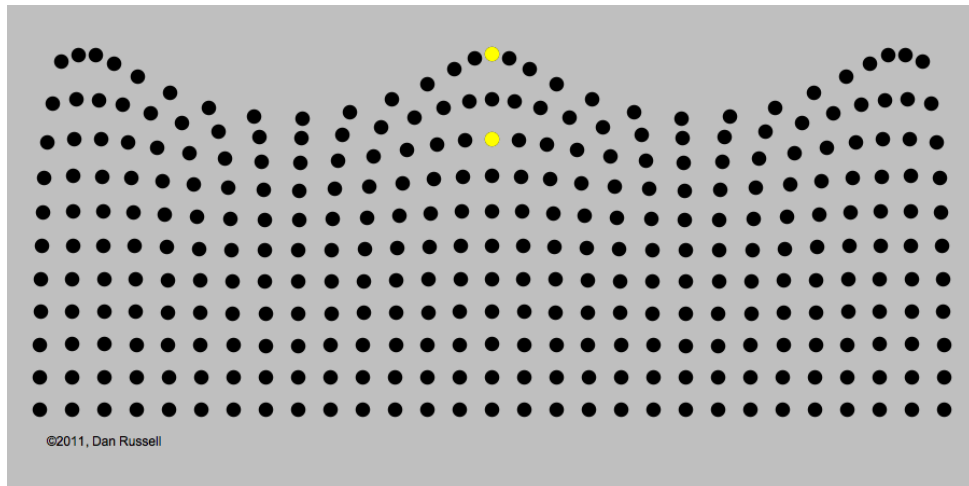
- Kod **longitudinalnih** talasa delići sredine osciluju **duž** pravca prostiranja talasa (zgušnjavanje i razređivanje).



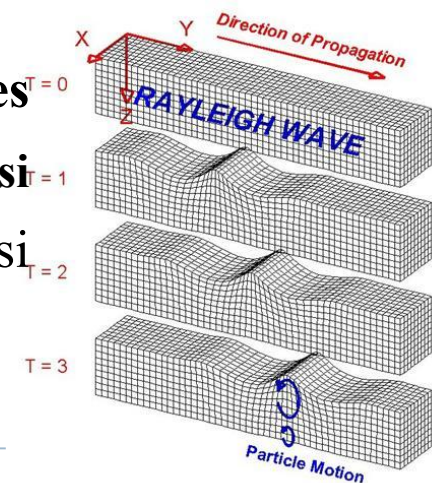
Kombinacija i longitudinalnih i transferzalnih talasa

▶ Water wave/vodeni talasi

Kružno kretanje čestica



- ▶ Rayleigh surface waves $T=0$
/ Rayleigh-evi površinski talasi $T=1$
kretanje čestica po elipsi $T=2$



Elektromagnetni talas EMT

Elektromagnetni talas baziran je na pojmu fizičkog polja, **elektromagnetnog polja**, jedinstvo promenljivog električnog $E(r;t)$ i promenljivog magnetnog polja $H(r;t)$.

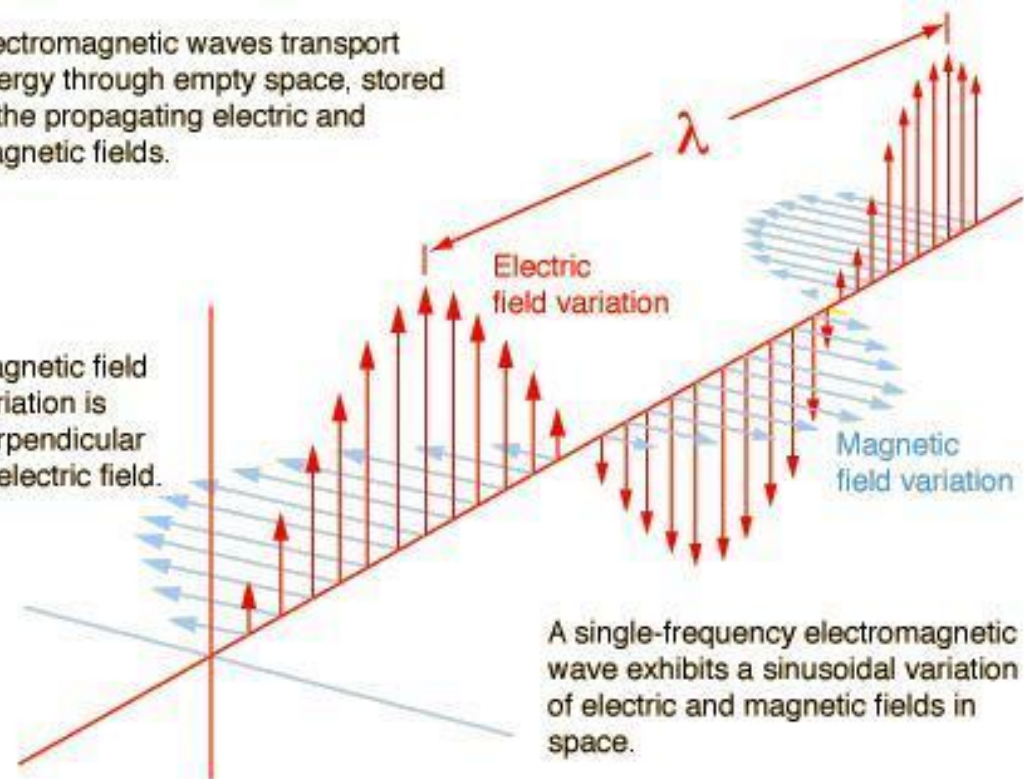
Pošto kod elektromagnetnog talasa osciluju vektori električnog i magnetnog polja za čije postojanje nisu neophodne čestice sredine, kao kod mehaničkih talasa, to se on može prostirati i kroz vakuum.

EMT, prostiru se i u vakum:

- ▶ Vidljivi i ultraljubičasti
- ▶ Radio i TV
- ▶ Mikrotalasi
- ▶ X zraci
- ▶ Radarski

Electromagnetic waves transport energy through empty space, stored in the propagating electric and magnetic fields.

Magnetic field variation is perpendicular to electric field.



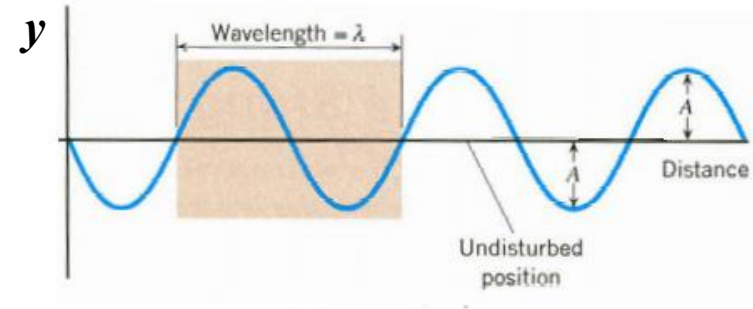
A single-frequency electromagnetic wave exhibits a sinusoidal variation of electric and magnetic fields in space.

Prostiranje talasa u elastičnoj sredini

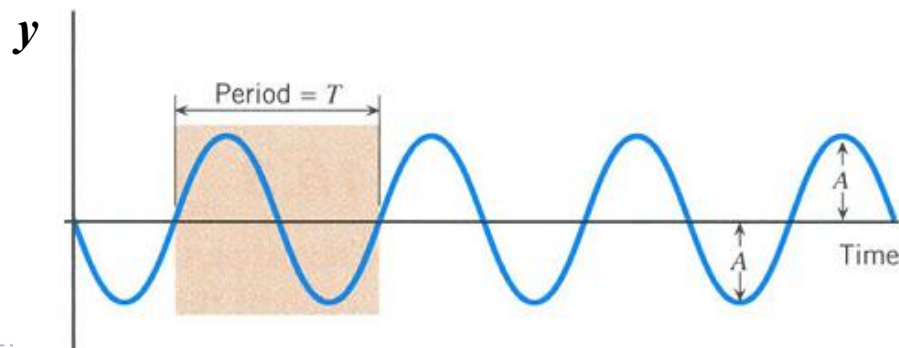
- Sinusoidalni talas je slučaj kada svaka tačka elastične sredine u kojoj se prostire talas vrši harmonijske oscilacije oko ravnotežnog položaja sa elongacijom:

$$y_i = y_{i0} \sin(\omega t + \phi_i)$$

- Rastojanje između dva najbliža delića koji osciluju u istoj fazi (ili im se faze razlikuju za 2π) je **talasna dužina** λ .



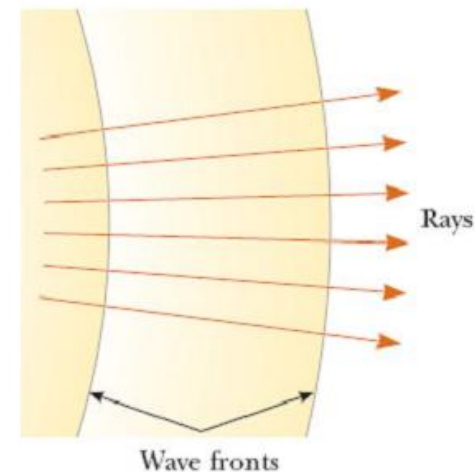
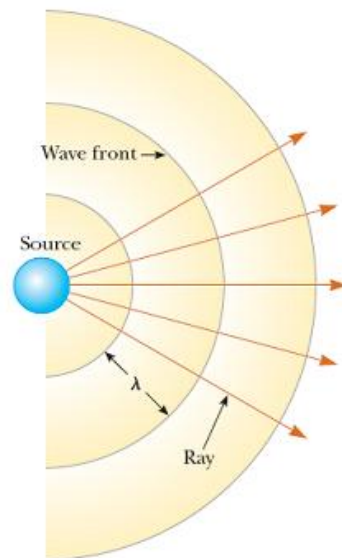
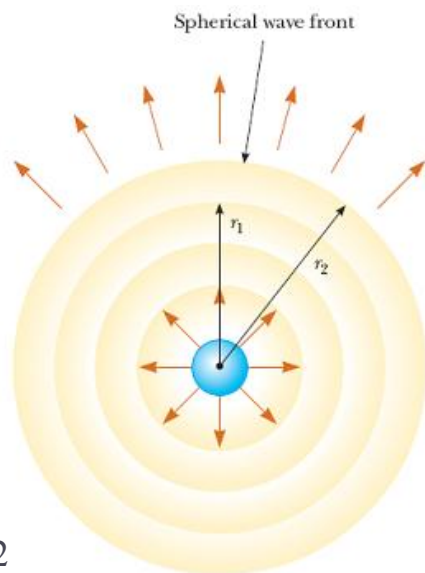
- Talasni poremećaj prelazi put od jedne talasne dužine dok delići sredine izvrše jednu oscilaciju (za vreme T), pa je brzina prostiranja talasa (**fazna brzina**):



$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu$$

Prostiranje talasa u elastičnoj sredini

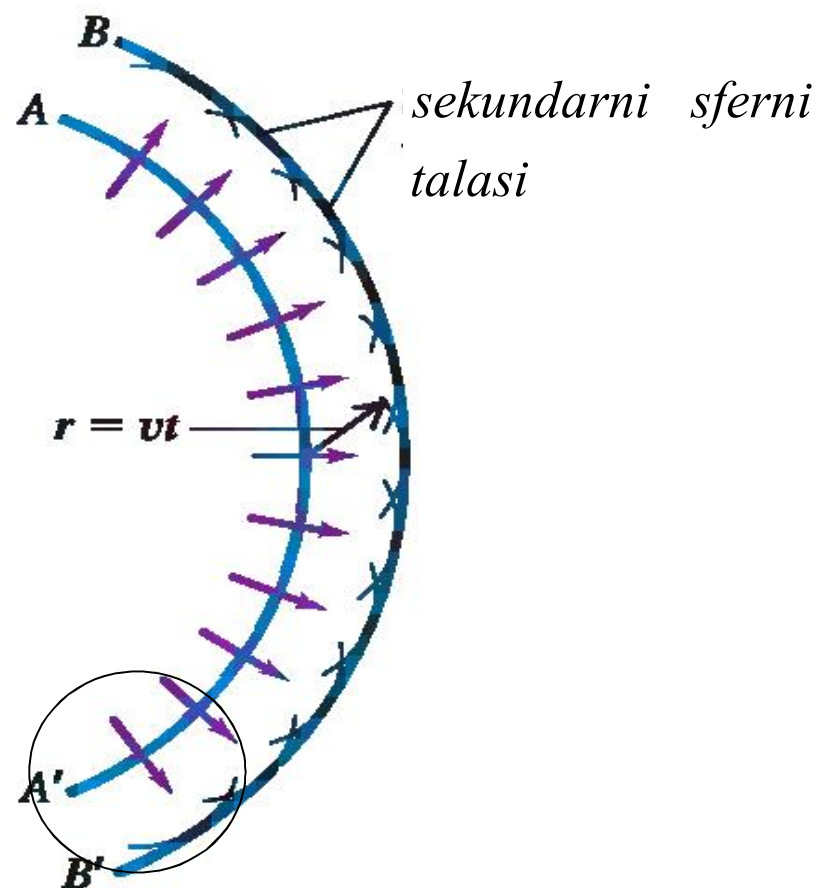
- Površina koja spaja tačke do kojih je stigao talasni poremećaj je **talasni front**.
- U homogenoj i izotropnoj sredini talasni front ima oblik sfere.
- Ako je talasni front ravan, reč je o ravnom talasu. Na velikoj udaljenosti od izvora talasa i sferni talas ima ravan talasni front.
- **Hajgensov princip:** Svaka tačka elastične sredine do koje je stigao talasni front može se smatrati novim izvorom talasa.



HAJGENSOV PRINCIP

Osnova Hajgensove teorije talasa je postupak geometrijske konstrukcije koji omogućuje da se kaže gde će se nalaziti dati talasni front u bilo kom budućem trenutku ako se zna njegov sadašnji položaj. Ova konstrukcija se zasniva na Hajgensovom principu koji glasi:

Sve tačke talasnog fronta predstavljaju tačkaste izvore sekundarnih sfernih talasa. Posle vremena t , novi položaj talasnog fronta će biti površina koja tangira sekundarne sferne talase-obvojnica tih sekundarnih talasa. Pomoću ovog principa može se izvesti i zakon odbijanja i prelamanja.



Jednačina progresivnog talasa

- **Progresivni talas** je talas koji se u celoj elastičnoj sredini prostire bez promene pravca ili smera.
- Prostiranjem talasa u nekoj elastičnoj sredini u stanje oscilovanja se dovode sve tačke te sredine i njihova elongacija se opisuje sinusnom (ili kosinusnom) funkcijom za harmonijsko kretanje.
- Zbog kašnjenja u oscilovanju udaljenijih delića sredine u odnosu na izvor talasa, definiše se jednačina koja opisuje vremensku i prostornu zavisnost elongacije delića elastične sredine - **jednačina progresivnog talasa**:

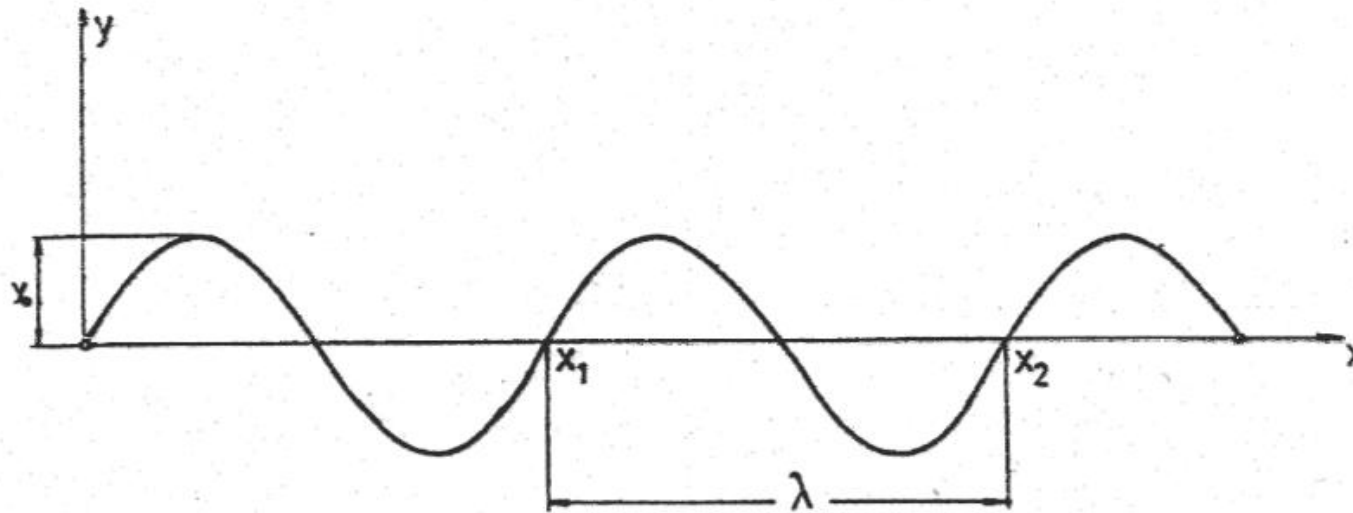
$$y = y_0 \sin(\omega t - \phi) \quad \text{ili} \quad y = y_0 \sin \omega \left(t - \frac{T}{\lambda} x \right)$$

- Ovo je tzv. **talasna funkcija**, koja opisuje elongaciju proizvoljnog delića materijalne sredine, na rastojanju x od izvora talasa u proizvoljnom trenutku t .

▶ 34 ▪ **Početna faza talasa:**

$$\phi = \frac{\omega T}{\lambda} x = \frac{2\pi}{\lambda} x$$

Jednačina progresivnog talasa



- Razlika u fazi za dve tačke elastične sredine: $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1)$

- Delići osciluju u fazi:

$$\Delta\phi = k 2\pi \quad \text{ili}$$

$$\Delta x = x_2 - x_1 = k \lambda$$

rastojanje između tačaka elastične sredine koje su u fazi:

- Delići osciluju u suprotnim fazama:

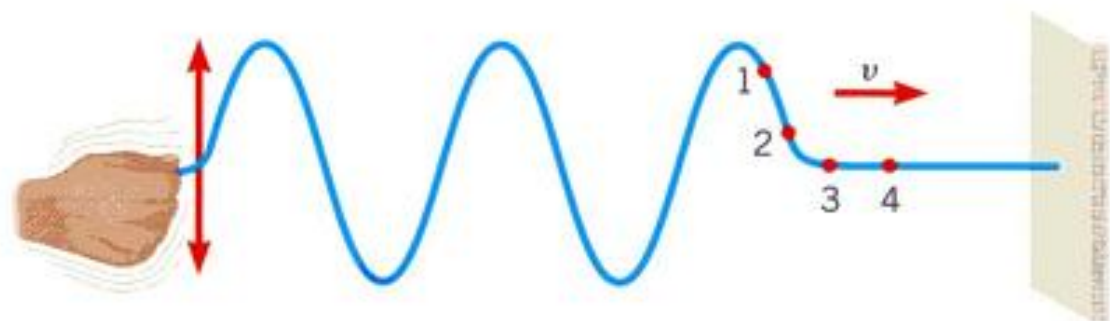
$$\Delta\phi = (2k - 1)\pi \quad \text{ili}$$

$$\Delta x = x_2 - x_1 = (2k - 1) \frac{\lambda}{2}$$

rastojanje između tačaka elastične sredine koje su u suprotnim fazama

Brzina prostiranja talasa

- Brzina prostiranja mehaničkih talasa zavisi od **elastičnih osobina** materijalne sredine kroz koju se prostire.
- Za **trasverzalni talas** koji se prostire kroz zategnutu žicu (F - sila zatezanja žice; $\mu = m/L$ - linijska masa žice), brzina talasa je:



$$c = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$
$$\mu = \frac{m}{l} = \frac{\rho V}{l} = \frac{\rho s l}{l} = \rho s$$

- U opštem slučaju, za **trasverzalni talas** koji se prostire kroz čvrsti materijal (G - modul smicanja materijala; ρ - gustina materijala), brzina talasa je:

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

Brzina prostiranja talasa

- Za **longitudinalni talas** koji se prostire kroz **čvrsto telo** (E - Jangov modul elastičnosti; ρ - gustina tela), brzina talasa je:

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

- Za **longitudinalni talas** koji se prostire kroz **tečnost** (K - koeficijent stišljivosti tečnosti; B - modul elastičnosti; ρ - gustina tečnosti), brzina talasa je:

$$c = \sqrt{\frac{1}{K\rho}} = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad \frac{1}{K} = B$$

- Za **longitudinalni talas** koji se prostire kroz **gas** (κ - adijabatska konstanta; p - pritisak gasa; ρ - gustina gasa), brzina talasa je:

$$c = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}} \quad \kappa = \frac{c_p}{c_v}$$

c_p - specifična toplota, kapacitivnost gasa pri konstantnom pritisku

c_v - specifična toplota pri konstantnom pritisku

Energija talasa

- Elongacija i brzina kretanja čestica (mase m) sredine:

$$y = y_0 \sin \omega t \quad v = \frac{dy}{dt} = y_0 \omega \cos \omega t$$

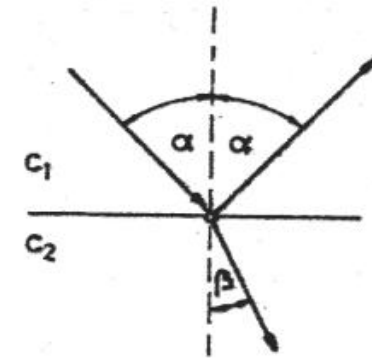
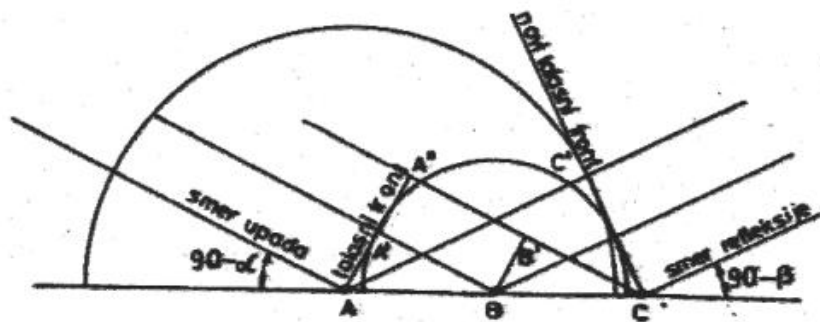
$$E = E_{k \max} = \frac{m v_{\max}^2}{2} = \frac{1}{2} m \omega^2 y_0^2$$

- Gustina energije u talasa:

$$u = nE = \frac{1}{2} \rho \omega^2 y_0^2$$

Osnovne osobine talasnog kretanja. Odbijanje talasa

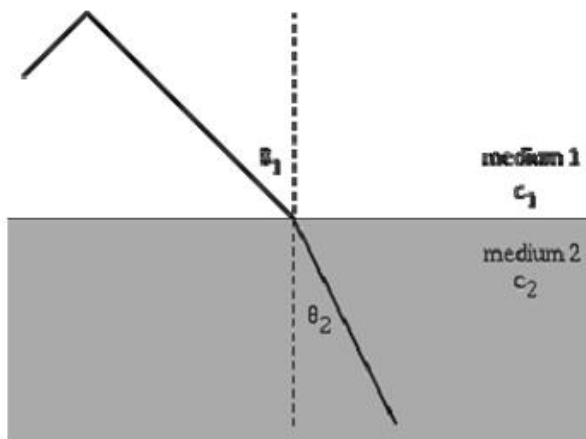
- Ravan talas na granici dve sredine u kojima su brzine prostiranja talasa različite delimično se **odbija**, a delimično **prelama**.



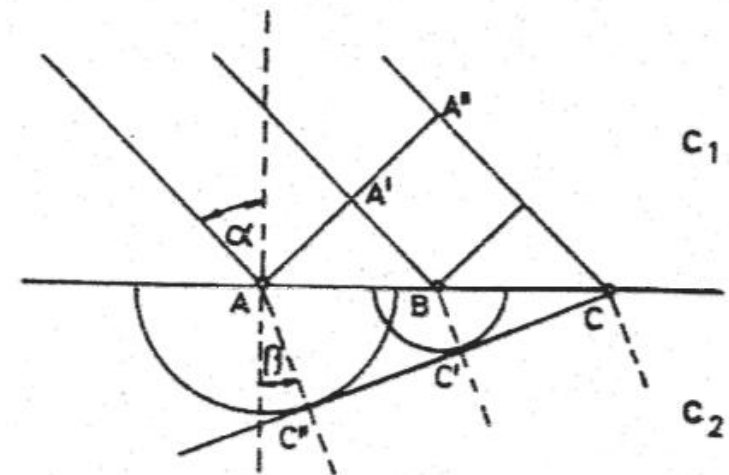
- Odbijanje (refleksija) talasa se objašnjava pomoću **Hajgensovog principa**: Svaka tačka na granici dve elastične sredine do koje je stigao talasni front može se smatrati novim izvorom talasa.
- Novi talasni front (odbijenog talasa) čini zajednička tangenta na sferne talasne frontove koji potiču od tačaka na granici dve sredine.
- Upadni ugao jednak je uglu odbijanja.
- Pravci upadnog i odbojnog talasa leže u istoj ravni.

Prelamanje talasa

- Prelamanje (refrakcija) talasa se dešava na granici dve sredine u kojima se talas prostire različitim brzinama.
- Prema **Hajgensovom principu**, talasni front prelomljenog talasa menja pravac kretanja.
- Novi talasni front (prelomljenog talasa) čini zajednička tangenta na sferne talasne frontove koji potiču od tačaka na granici dve sredine.
- Ako se prelamaju talasi koji sadrže komponente **različite frekvencije**, dolazi do **disperzije** - svaka komponenta se prelama pod različitim uglom.

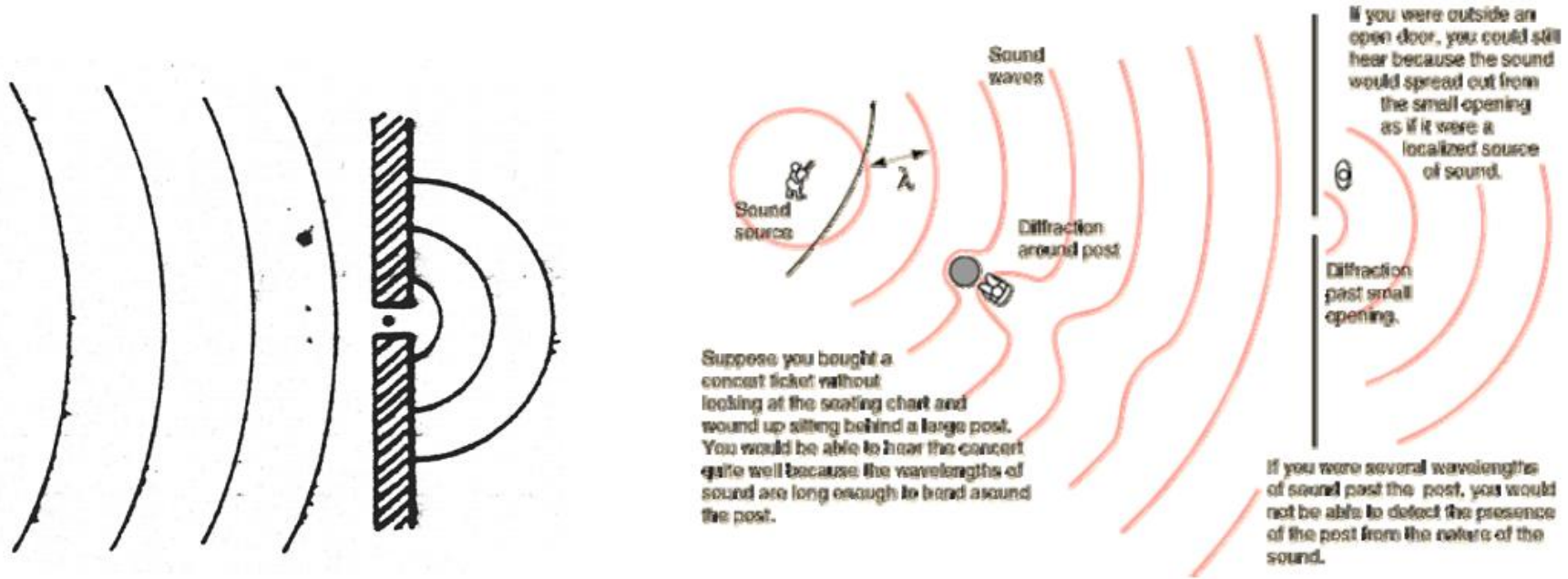


$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$



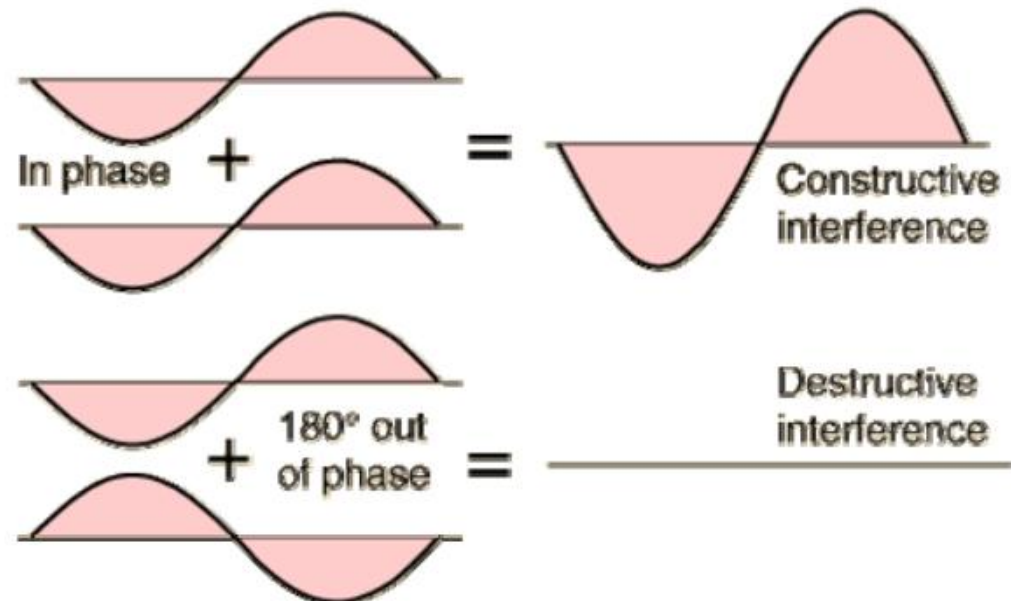
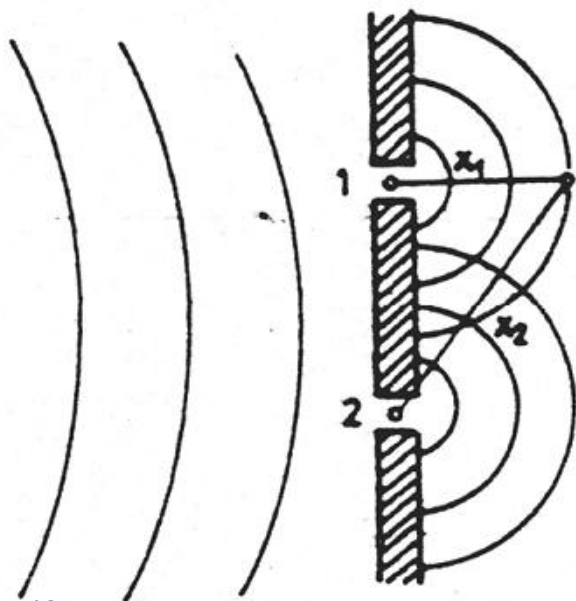
Difrakcija talasa

- Difrakcija talasa je pojava širenja talasa iza prepreka sa pukotinom, odnosno savijanja talasa na preprekama. Talasi skreću sa prvobitnog pravca u istoj elastičnoj sredini.
- Dimenzije pukotine treba da su istog reda veličine kao i talasna dužina.
- Prema **Hajgensovom principu**, svaka tačka pukotine je novi izvor talasa.

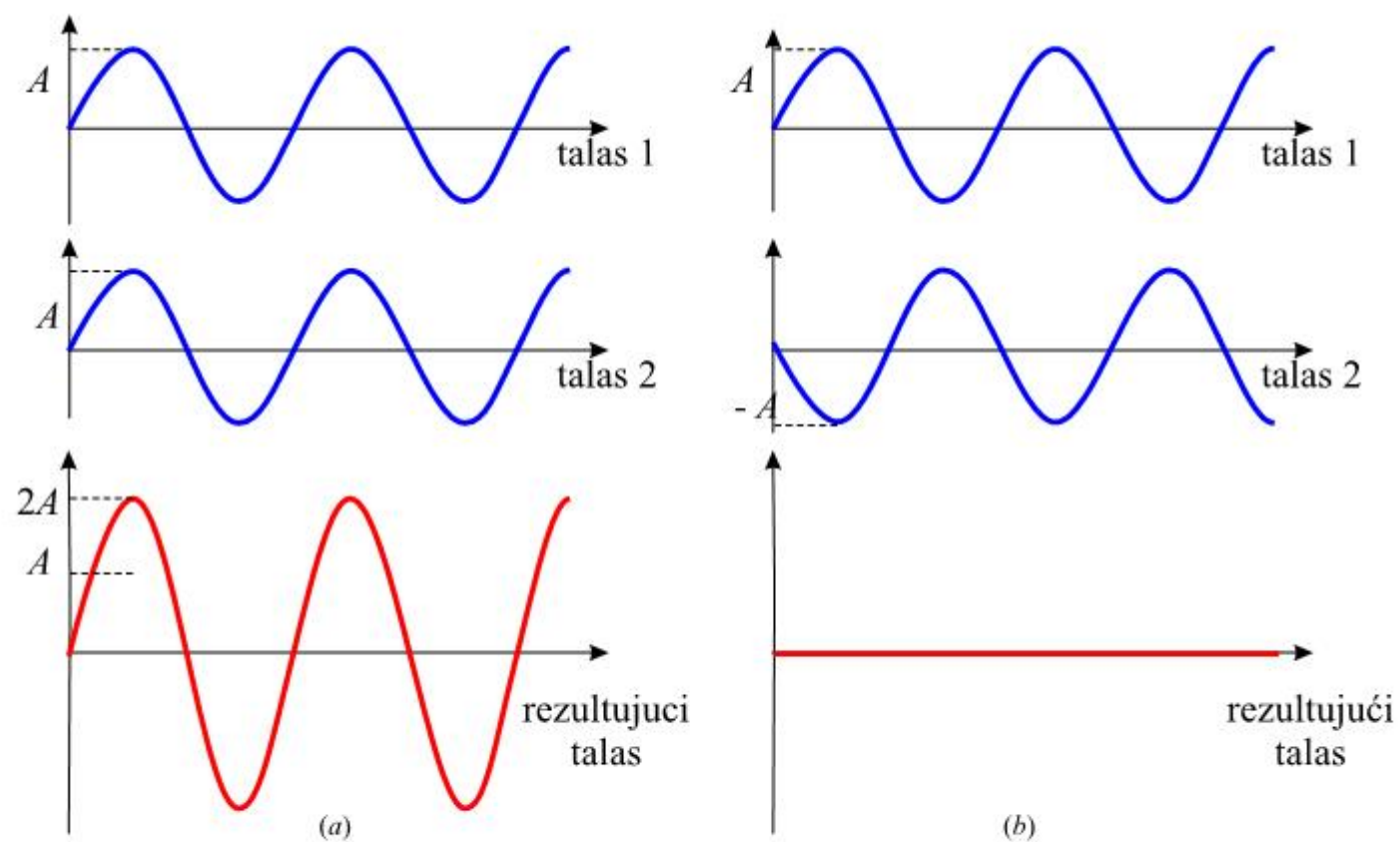


Interferencija talasa

- Interferencija talasa je pojava **slaganja** (superpozicije) talasa koji se prostiru u istoj sredini.
- Interferencija se javlja samo ako postoji **stalna fazna razlika** između talasa koji interferiraju (**koherentni** talasi).
- Interferencija je **konstruktivna**, ako se amplitude sabiraju (talasi u fazi), a **destruktivna** ako se poništavaju (talasi u suprotnim fazama).

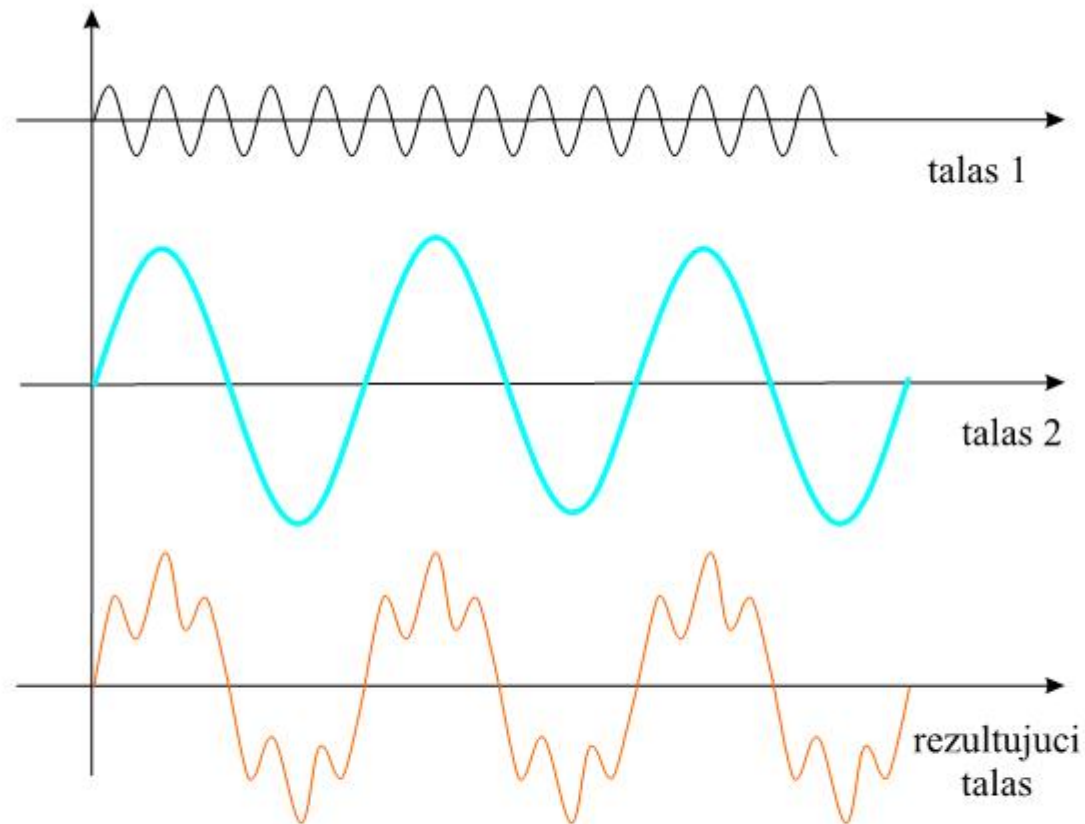


Interferencija talasa



Slika 9.6: Konstruktivna i destruktivna interferencija dva identična progresivna talasa.

Superpozicija talasa

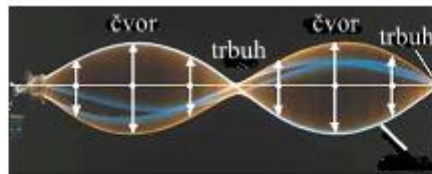


Slika 9.7: Superpozicija dva talasa koja nisu identična. Rezultujuća amplituda je jednaka zbiru amplituda pojedinih talasa.

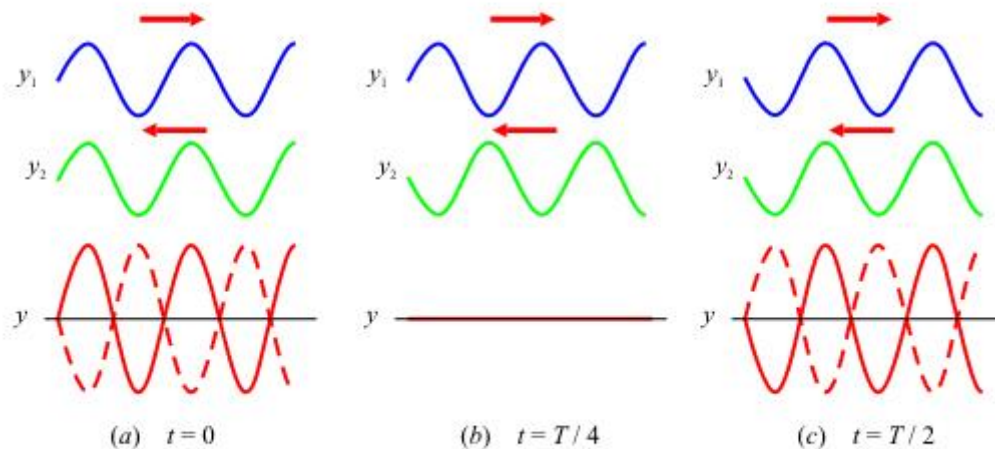
Stojeći talas

Ponekad se dešava da se **talasi ne prostiru** već da se **vibracije odvijaju stalno na istom mestu**. Takvi talasi se na primer mogu videti na površini mleka u časi kada je stavimo u frižider. Vibracije motor frižidera se prenose na času i na mleko u njoj tako da njegova površina osciluje ali se te oscilacije ne prenose.

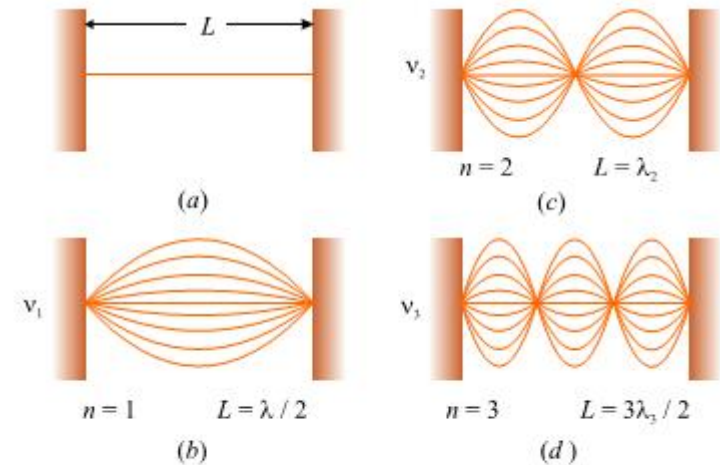
Izgled stojećeg talasa ko ji se dobija od dva individualna progresivna talasa suprotnih smerova



Slika 9.8: Multiflež fotografija stojećeg talasa na žici.



Slika 9.9: Oblik stojećeg talasa u raznim momentima vremena.



Slika 9.10: Normalni modovi na zategnutoj žici dužine L .

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

-
- ▶ https://www.youtube.com/watch?v=8xE_nT3QySo
 - ▶ Rezonance most

A ŠAD KUČI
HIVALA NA PAŽNJI