Fakultet za fizičku hemiju
Univerziteta u Beogradu

FIZIKA III

2019./2020.

Fakultet za fizičku hemiju
Univerziteta u Beogradu

FIZIKA III

VAZNA NAPOMENA
Ove prezentacije su nerecenzirane i nelektorisane. Predvidjene su kao pomocno sredstvo na predavanju.

D. P.

2019./2020.

Studijski program **: Osnovne akademske studije fizičke hemije**

Status predmeta**: Obavezni**

Broj ESPB**: 6**

Uslov**: položeni svi ispiti iz prethodnog semestra**

Cilj predmeta

Predmet je treći deo opšteg kursa fizike Talasi, optika i osnovi teorije relativnosti.

Ishod predmeta

Posle položeneog predmeta Fizika III student je stekao osnovu za slušanje kurseva Atomska spektroskopija, Molekulska spektroskopija i dr.

*

Teorijska nastava: 4 (3+1)

Praktična nastava: 2

Metode izvođenja nastave

Predavanja, računske i eksperimentalne vežbe, konsultacije

Ocena znanja (maksimalni broj poena 100)

Predispitne obaveze	poena	**Završni ispit**	poena
aktivnost u toku predavanja	**5**	pismeni ispit	**-**
praktična nastava	**20**	usmeni ispit	**50**
kolokvijum-i	**25**	....	
seminar-i	**-**		

Sadržaj predmeta

Teorijska nastava

Mehanički talasi
Elektromagnetni talasi
Geometrijska optika

- **a. Svetlost i optički fenomeni**
- ***b*. Ogledala, sočiva i optički instrumenti**

Talasna optika
Osnovi teorije relativnosti

- **Lorencove transformacije**
- **Osnovne veličine mehanike prostora Minkovskog**
- **Pojam opšte teorije relativnosti**

Praktična nastava se sastoji od
sedam eksperimentalnih vežbi.

Mehanički talasi 1/2

Oscilatorno kretanje - **obnavljanje iz Fizike I**

Periodični procesi, vrste oscilacija

Prosto harmonijsko kretanje

Energija oscilatornog kretanja

Matematičko, fizičko i torziono klatno

Prigušene oscilacije

Prinudne oscilacije

Slaganje oscilacija istog pravca i perioda

Slaganje oscilacija istog pravca i bliskih učestanosti - IZBIJANJE

Slaganje međusobno ortogonalnih oscilacija

Mehanički talasi 2/2

Talasno kretanje – mehanički talasi

Talasne pojave

Transferzalni talas i longitudinalni talasi

Talasni front

Opšti oblik talasne jednačine

Brzina transverzalnog talasa

Brzina longitudinalnog talasa

Pojam grupne brzine

Energija talasa. Gustina energije.

Hajgensov princip

Difrakcija

Stojeći talasi

Doplerov efekat

Furijeova analiza

Periodični procesi, vrste oscilacija - obnavljanje iz Fizike I

- Periodični procesi su česti u prirodi (smena dana i noći, kretanje Meseca oko Zemlje, smena godišnjih doba i dr.)
- Mnogi procesi vezani za objekte stvorene od strane čoveka takođe su periodični (npr. rad klipova u motorima)
- Svi procesi koj se ponavljaju posle određenog vremena nazivaju se periodični procesi

  važna napomena: pomenuto VREME NE MORA BITI KONSTANTNO
- Uslov bi se neko kretanje (u opštem smislu) moglo smatrati periodičnim je da se REDOSLED PROMENA U SVAKOM NAREDNOM PONAVLJANJU NA ISTI NAČIN

  ”u širem smislu ” znači da veličine koje imaju oscilatorni karakter, tj. ”koje osciluju” ne moraju biti mehaničke; npr.
- Uslov bi se neko kretanje (u opštem smislu) moglo smatrati periodičnim je da se REDOSLED PROMENA U SVAKOM NAREDNOM PONAVLJANJU NA ISTI NAČIN
- DEF PERIODA - komentar !!!! ****

Literatura – nepotpun spisak

Kurepa, Purić, Osnovi fizike, Naučna knjiga , Beogard, 1991. godine
oscilacije, talasi

Belić, Fizika I za studente fizičke hemije, Beograd, 1996., Fizički fakultet
oscilacije, talasi

Friš, Timorijeva, Kurs opšte fizike, Zavod za izdavanje udžbenika, Beograd, 1969.
oscilacije, talasi

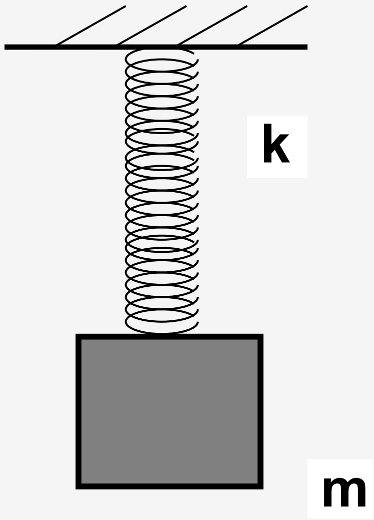
Božin, Elektromagnetizam i optika, Beograd, Studentski trg, 1997.

Hecht, Optics, International Edition, 2002.

Sirs, Optika, Naučna knjiga, Beograd, 1963.

- Jednostavan primer tela koje vrši oscilatorno kretanje je kod tela obešenog o oprugu

- Telo se nalazi u ravnotežnom položaju kada je njegova težina jednaka sili elastičnosti opruge



- Posle pomeranja tela iz ovog položaja u pravcu prostiranja opruge (na gore ili na dole) telo osciluje

- Oscilacije se vrše pod dejstvom sile koja ”teži” da telo vrati u ravnotežni položaj - RESTITUCIONE SILE
- AMPLITUDA je najveće rastojanje (u opštem smislu) od ravnotežnog položaja
- ELONGACIJA je svako rastojanje od ravnotežnog položaja
- PERIOD **T** je vreme za koje
- Frekvencija **ν** je brojno jednaka broju oscilacija u jedinici vremena

$$\nu = 1/T$$

1Hz

****

VRSTE OSCILACIJA

v. napomenu

a. pod dejstvom sile srazmerne elongaciji
SLOBODNE OSCILACIJE

b. pod dejstvom periodično promenljive spoljne sile
PRINUDNE OSCILACIJE

c. pod a. i b.

napomena: na telo koje osciluje mogu delovati
i druge sile (npr. sila otpora sredine)
PRIGUŠENE ili AMORTIZOVANE OSCILACIJE

Prosto harmonijsko kretanje

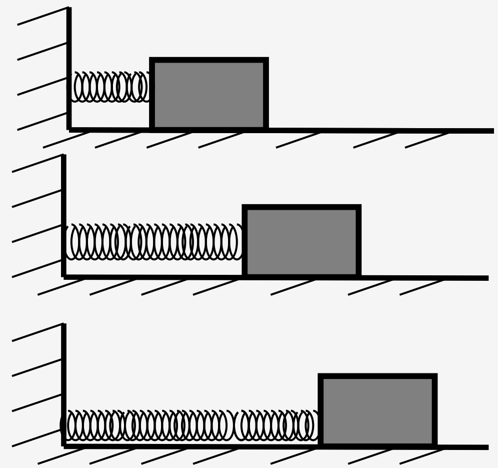
- Na telo obešeno o oprugu deluju u svakom trenutku dve sile: težina tela i sila deformacije opruge; jednostavniji primer je telo vezano za oprugu u sistemu kao na slici

Das Bild kann zurzeit nicht angezeigt werden.

- Trenje između opruge i tela je zanemarljivo

- JEDINA SILA koja deluje na telo je **sila elastičnosti opruge**

- II Njutnov zakon za telo na slici je



$$ma = m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx \Longrightarrow \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0 \xrightarrow[\text{jednačine}]{\text{rešavanjem diferencijalne}} x(t) = x_0 \cdot \cos(\varpi_0 t + \varphi)$$

x_0 amplituda

ϖ_0 kružna frekvencija

φ fazni ugao; početna faza

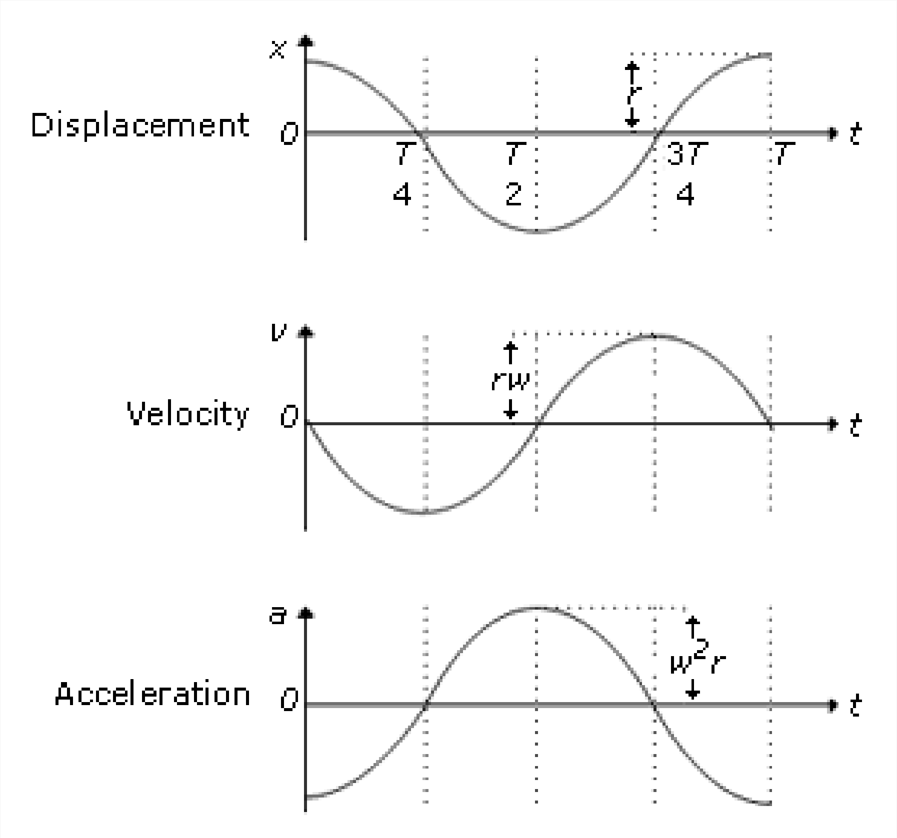
$$\varpi_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Mehanički talasi
Oscilatorno kretanje

$$x(t) = x_0 \cdot \cos(\varpi_0 t + \varphi)$$

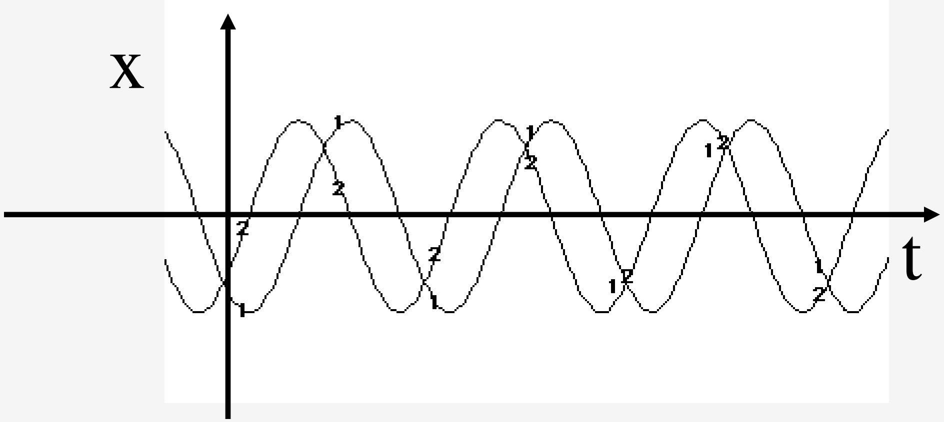
$$v(t) = -\varpi_0 x_0 \cdot \sin(\varpi_0 t + \varphi)$$

$$a(t) = -\varpi_0^2 x_0 \cdot \cos(\varpi_0 t + \varphi)$$



⇨ ***fazni ugao***

razlika u faznom uglu ima poseban značaj kod ***slaganja*** dve ili više ***oscilacija*** (v. dalje)



Energija oscilatornog kretanja

⇨ Energija tela koje vrši SLOBODNE, tj. **HARMONIJSKE** oscilacije je

$$E_{ukupna} = E_{mehanička} + E_{potencijalna}$$

napomena: termin “potencijalna energija “ označava tzv. ELASTIČNU POTENCIJALNU ENERGIJU

* ne treba je mešati sa gravitacionom potencijalnom energijom

⇨ Potencijalna energija tela u tački sa elongacijon x se moze izračunati kao rad sile elastičnosti “na putu od ravnotežnog položaja do date tačke”, tj.

$$E_p = \int_0^x kx\,dx = \frac{kx^2}{2}$$

⇨ **Kinetička energija** tela koje vrši harmonijske oscilacije ukupna mehanička energija je

$$E_p = \frac{mv^2}{2}$$

⇨ Korišćenjem ranije navedenih relacija za x(t) i v(t) pokazuje se da je **ukupna mehanička energija tela koje vrši harmonijske oscilacije konstantna** i iznosi

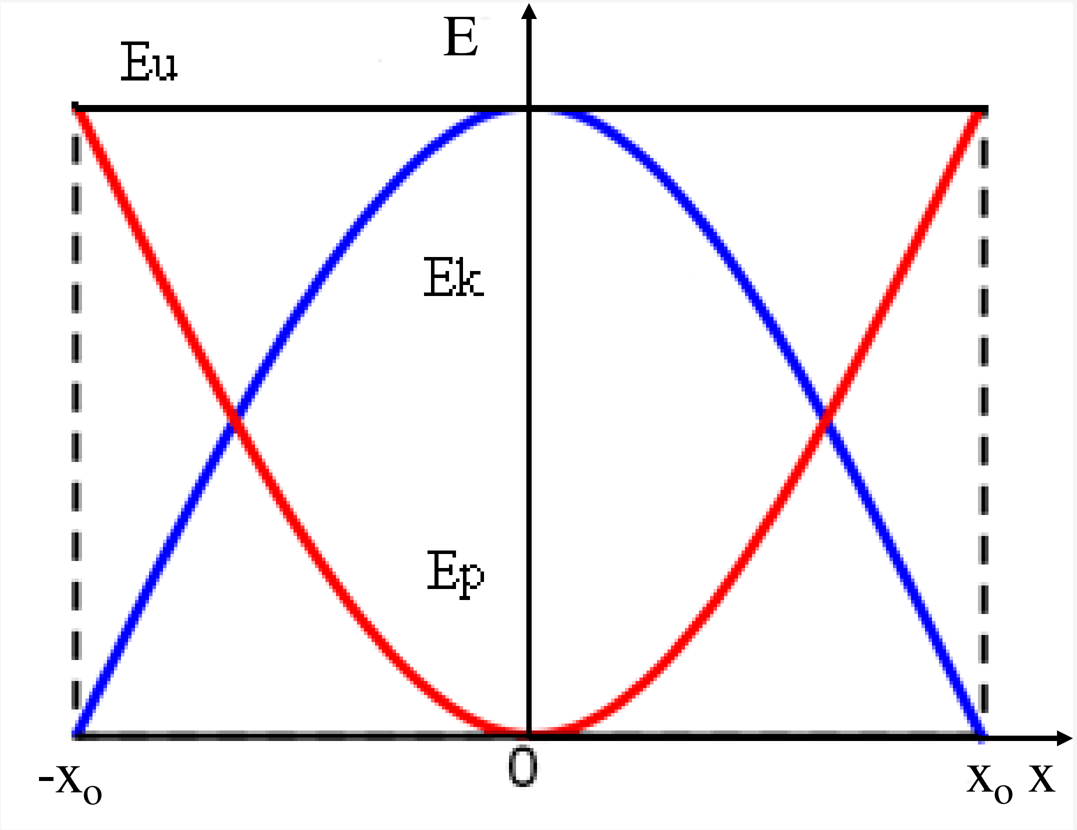
$$E_u = \frac{k{x_0}^2}{2}$$

AMPLITUDNI POLOŽAJ

$$Eu = E_p$$

RAVNOTEŽNI POLOŽAJ

$$Eu = Ek$$



Matematičko, fizičko i torziono klatno

⇨ Osnovna razlika između primera tri tela koje harmonijski osciluju je

A. sila koja ima ulogu restitucione sile i

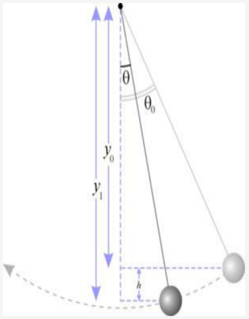
B. veličina čija se zavisnost od vremena analizira

MATEMATIČKO KLATNO

A. Komponenta gravitacije nomalna na pravac niti o koju je telo obešeno

B. Ugao otklona niti od ravnotežnog položaja

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$



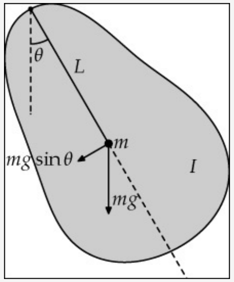
l dužina klatna

FIZIČKO KLATNO

A. *Kao kod m. k.*

B. Ugao otklona "prave" koja sadrži tačku vešanja i centar mase tela

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



I moment inercije tela u odnosu na osu oko koje osciluje,

l rastojanje tačke vešanja i centre mase tela

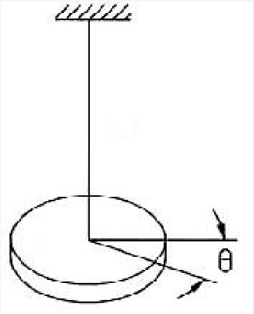
m masa tela

TORZIONO KLATNO

A. Torziona sila

B. Ugao uvrtanja žice

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



I moment inercije tela u odnosu na osu oko osciluje,

c toziona konstanta žice

Prigušene oscilacije

- Oscilovanje kod koga se amplituda oscilovanja SMANJUJE sa vremenom naziva se **prigušeno** ili **amortizovano**
- Brzina zaustavljanja se meri ***stepenom amortizacije*** koji zavisi od količnika dve uzastopne amplitude oscilovanja
- II Njutnov zakon za telo koje vrši prigušene oscilacije glasi

$$ma = m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx - b\frac{dx}{dt}$$

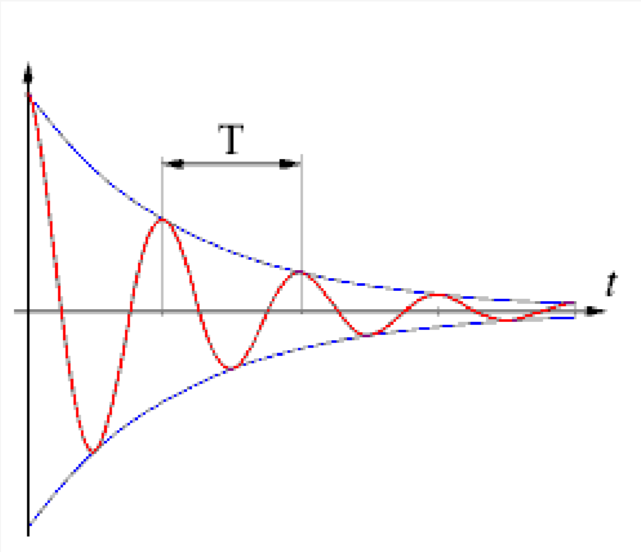
gde je

–**bv** sila trenja

Rešavanjem ove diferencijalne jednačine se dobija

$$x(t) = A_0 e^{-\beta t}\cos(\varpi t + \alpha)$$

Amplituda je OPADAJUĆA FUNKCIJA VREMENA



⇨ Analogno izvođenju kod harmonijskih oscilacija dobijaju se izrazi za v(t) i a(t)

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\varpi_0^2 - \beta^2}}$$

$$\varpi^2 = \varpi_0^2 - \beta^2$$

$$\beta = \frac{b}{2m}$$

dekrement prigušenja $\lambda = \beta T$

vreme života oscilovanja $\tau = 1/\lambda$

Prinudne oscilacije

⇨ Pod dejstvom ***periodično promenljive spoljne sile*** telo vrši **prinudne oscilacije**

Ako prinudna sila ima oblik

$$F = F_0 \cos(\Omega t)$$

II Njutnov zakon za telo koje vrši prigušene oscilacije glasi

$$ma = m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx - b\frac{dx}{dt} + \frac{F_0}{m}\cos(\Omega t)$$

Rešavanjem ove diferencijalne jednačine se dobija

Slika 11.20 PURIC 159

$$x(t) = A_0 e^{-\beta t}\cos(\varpi t + \alpha) + A\cos(\Omega t + \Theta)$$

Prvi član eksponencijalno opada sa vremenom i relativno brzo se može zanemariti, tako da jedvačina stacionarnog oscilovanja glasi

$$x(t) = A\cos(\Omega t + \Theta)$$

⇨ Analogno izvođenju kod harmonijskih oscilacija dobijaju se izrazi za v(t) i a(t)

- Pomoću daljeg rešavanja diferncijalne jednačine dobija se

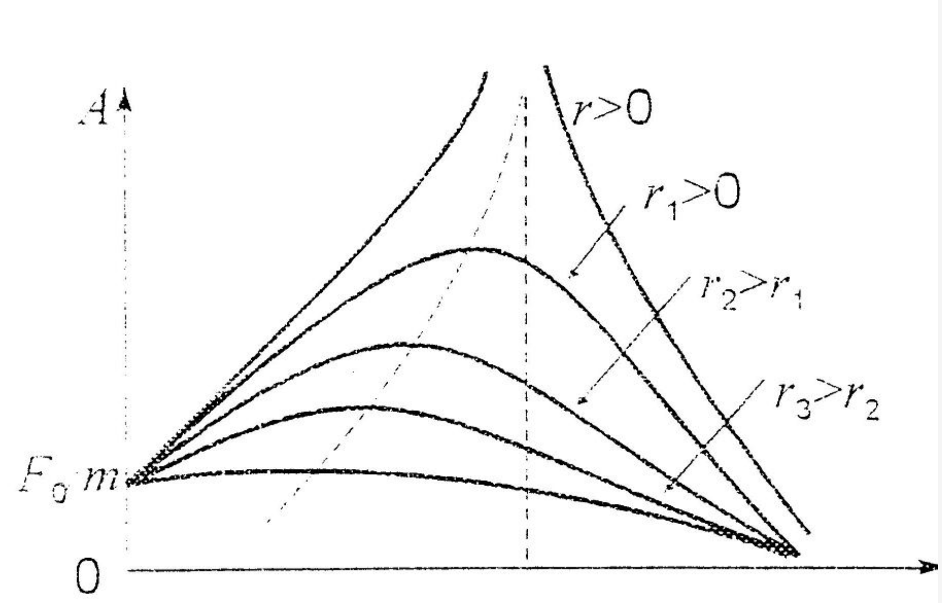
$$\tan\Theta = -\frac{2\beta\Omega}{\varpi_0^2 - \Omega^2} \qquad A = \frac{F_0}{m\sqrt{\left(\omega_0^2 - \Omega^2\right)^2 + 4\beta^2\Omega^2}}$$

- **REZONANCIJA** – važan pojam u više oblasti fizike i nauke uopšte; primeri

$$\Omega = \omega_0 \Rightarrow A = A_{max}$$

- Ako nema prikušenja, tj. u idealizovanom slučaju amplituda oscilovanja pri rezonanci postaje beskonačna, tj. ”ima singularitet”

Slika 10.18 s152 BELIC



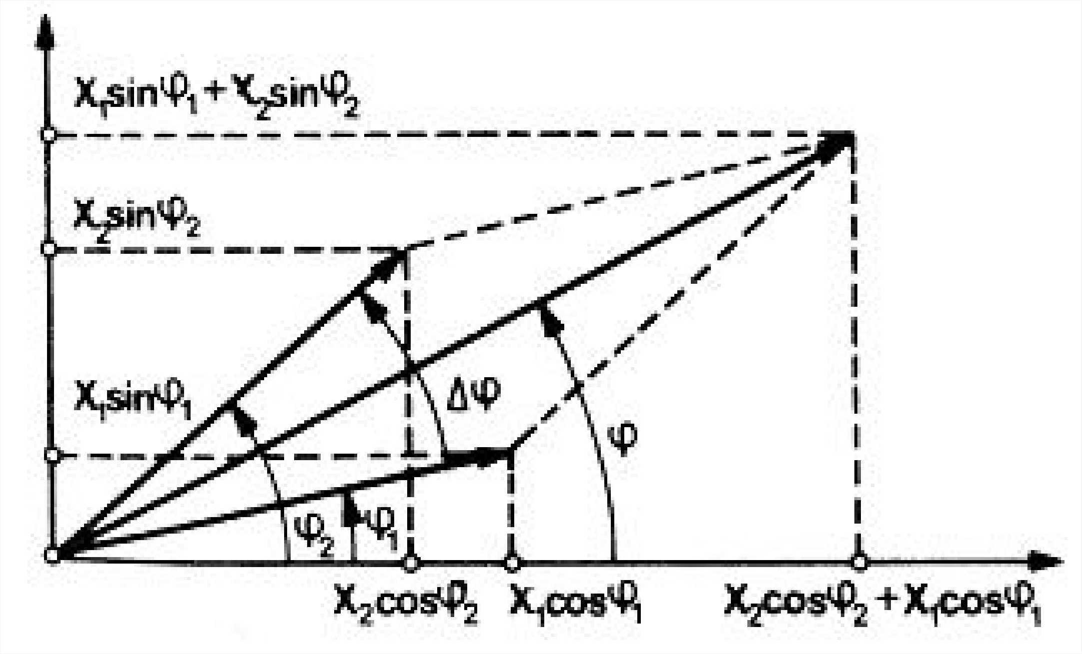
Slaganje oscilacija istog pravca i perioda

$$x(t) = x_{01} \cdot \cos(\varpi_0 t + \varphi_1) + x_{02} \cdot \cos(\varpi_0 t + \varphi_2)$$

⇨ Primenom fazorskog metoda dobija se x(t) $x(t) = x_0 \cos(\varpi t + \varphi)$

$$x_0^2 = x_{01}^2 + x_{02}^2 + 2x_{01}x_{02}\cos[\pi - (\varphi_1 - \varphi_2)] = x_{01}^2 + x_{02}^2 + 2x_{01}x_{02}\cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

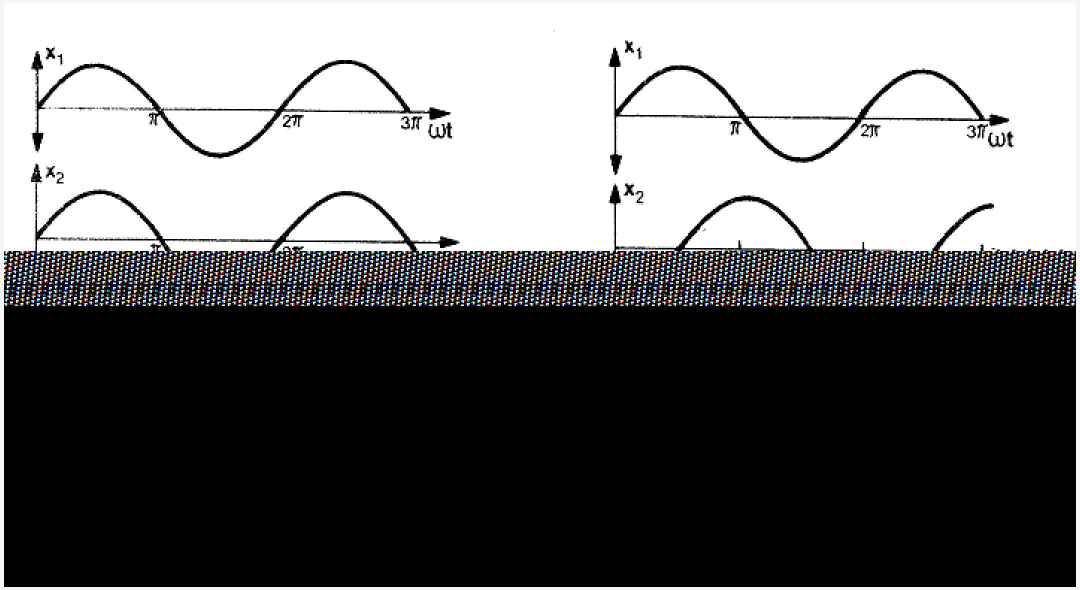
$$\tan\varphi = \frac{x_{10}\sin\varphi_1 + x_{20}\sin\varphi_2}{x_{10}\cos\varphi_1 + x_{20}\cos\varphi_2}$$



Mehanički talasi

Oscilatorno kretanje

Slaganje oscilacija istog pravca i perioda 2



PURIC

Slika 11.23 i 11.24
162

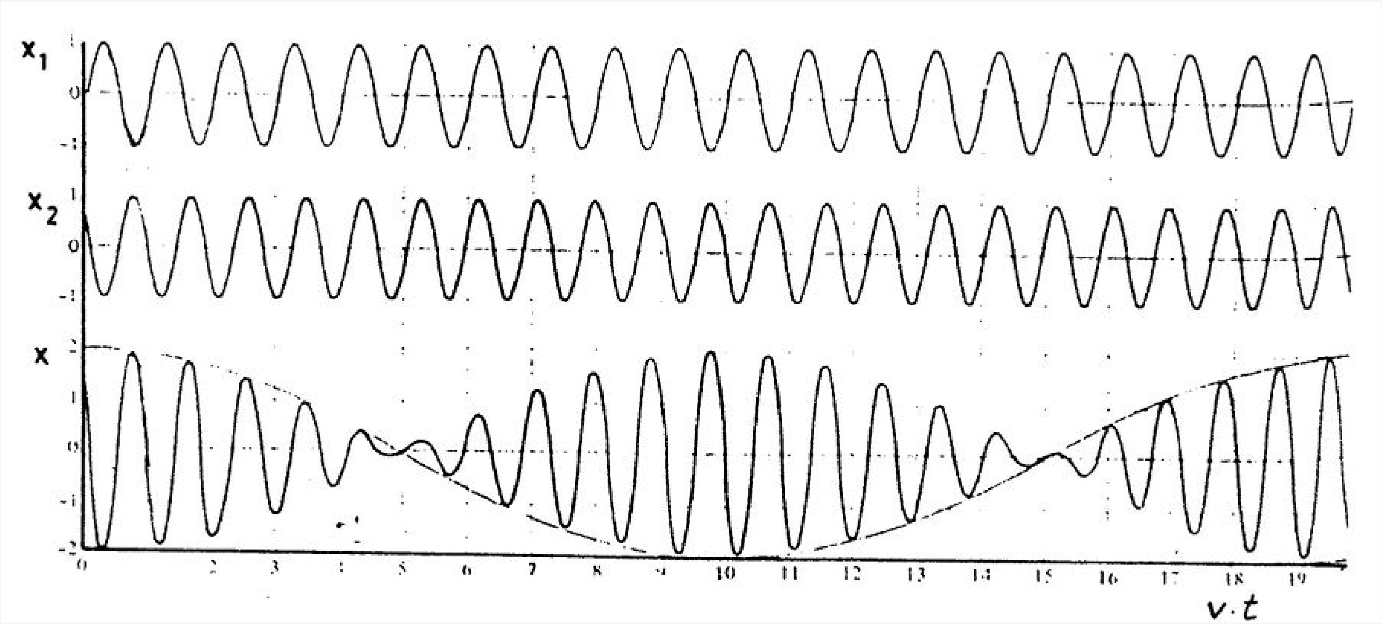
PURIC

Slika 11.25 163

Slaganje oscilacija istog pravca i bliskih učestanosti - IZBIJANJE

$$x_1(t) = x_0 \cdot \cos[(\varpi + \Delta\varpi)t] \qquad x_2(t) = x_0 \cdot \cos[(\varpi - \Delta\varpi)t]$$

$$x(t) = 2x_0 \cdot \cos(\Delta\omega t)\cos\omega t = B \cdot \cos\omega t$$



Slika 11.29 PURIC strana 165

Slaganje međusobno ortogonalnih oscilacija

$$x(t) = x_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi_2) \qquad y(t) = y_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)$$ **ISTE UČESTANOSTI !!!!**

Jednačina putanje

$$\frac{x^2}{x_0^2} + \frac{y^2}{y_0^2} - 2\frac{x}{x_0}\frac{y}{y_0}\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1)$$ **ISTE UČESTANOSTI !!!!**

$\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi k$ k=1,2,3... ***linearno polarizovano*** oscilovanje

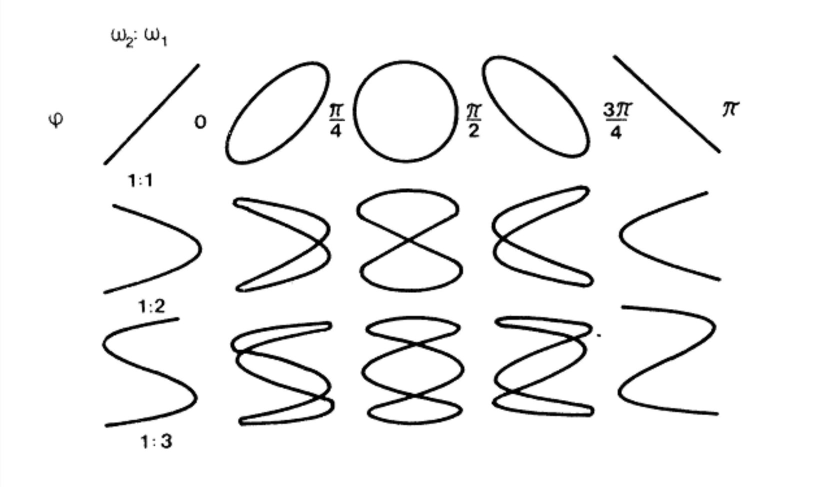
$\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi(k+1)$ k=1,2,3... takođe l. p. o.

$\varphi_2 - \varphi_1 = \pi/2$ k=1,2,3... ***eliptično polarizovano*** oscilovanje;

za $x_0 = y_0$ kružno (cirkularno) polarizovanje

Lisažuove (Lissajous) figure

- iste amplitude !!!! -

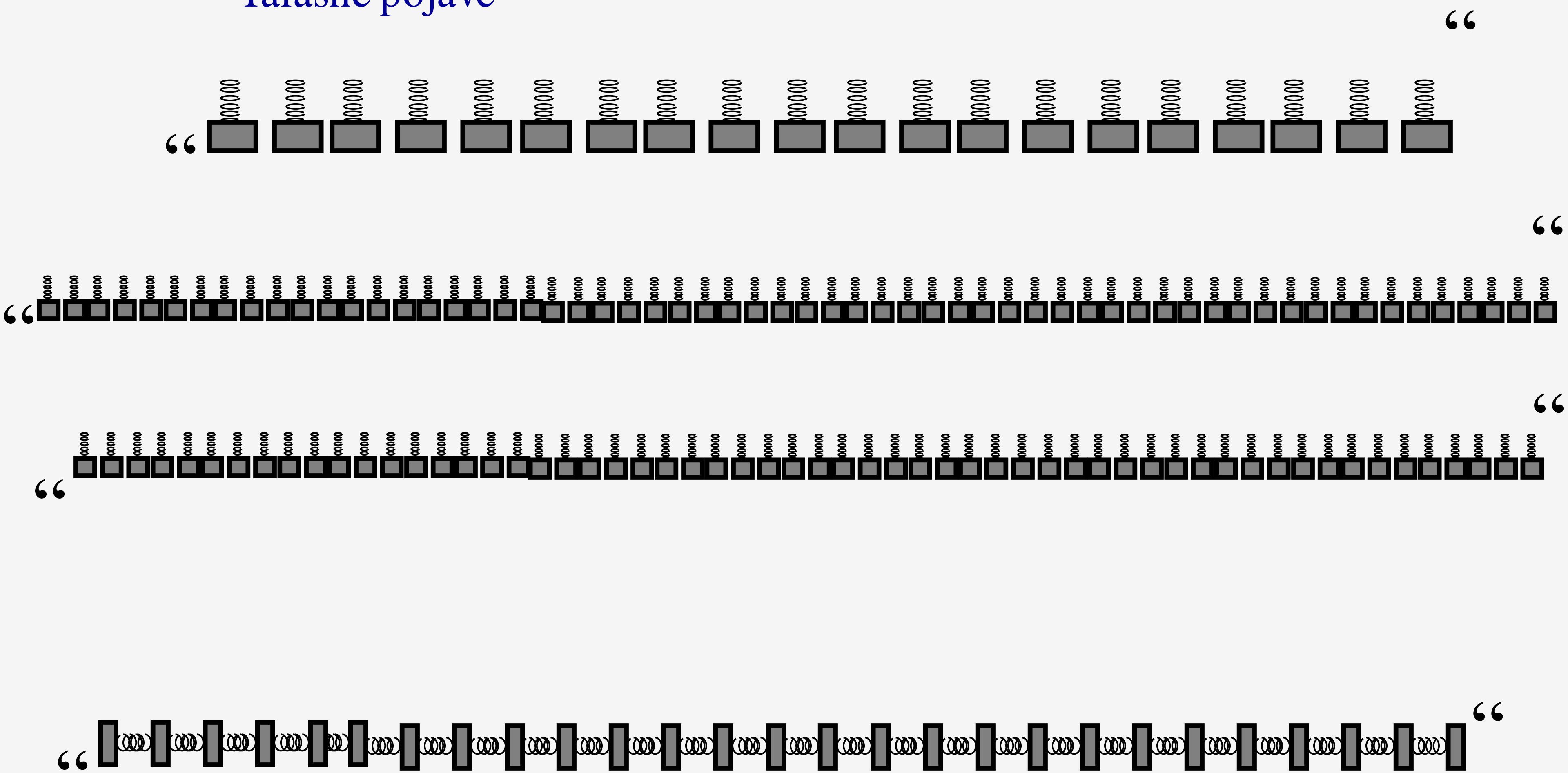


PURIC 166

Slika 11.30

Talasno kretanje – mehanički talasi

Talasne pojave

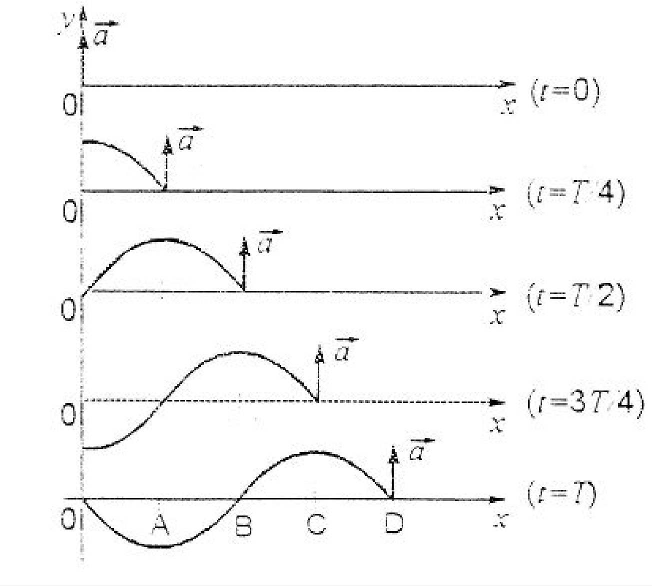


- Ako je telo koje osciluje u vezi sa drugim telima, kroz ceo sistem dolazi do prostiranja oscilatornog kretanja
- Ovakav način prenošenja poremećaja naziva se ***talasno kretanje***, a sama pojava ***talas***
- Sredina kroz koju se prenosi talas NE KREĆE SE KAO CELINA u pravcu prostiranja talasa; ***svaka od čestica materijalne sredine osciluje oko svog ravnotežnog položaja***
- ”Talasnim kretanjem se prenosi ENERGIJA, a ne MATERIJA”
- Kretanje čestice koja se nalazi u elastičnoj sredini se prenosi na susedne čestice – oscilovanje susednih čestica je u svojoj osnovi *prinudno oscilovanje*
- Frekvencija oscilovanja je ista kao i pobudnog, sa tom razlikom što postoji FAZNO KAŠNJENJE
- Telo kroz koje se prostire talas se može tretirati kao ***sistem spregnutih oscilatora***

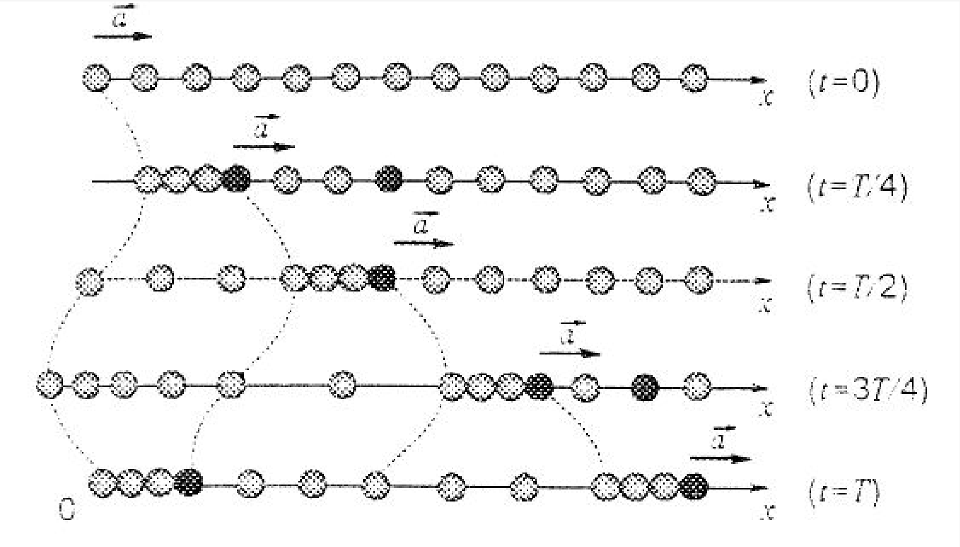
****

Transferzalni i longitudinalni talasi

- Pravac u kome se oscilovanje prenosi naziva se pravac prostiranja talasa
- TRANSFERZALNI talas - delići osciluju normalno na pravac prostiranja talasa
- LONGITUDINALNI talas - delići osciluju duž pravca prostiranja talasa
- Čvrsta tela - longitudinalni i transferzalni talasi
- Tečnosti i gasovi – samo longitudinalni talasi

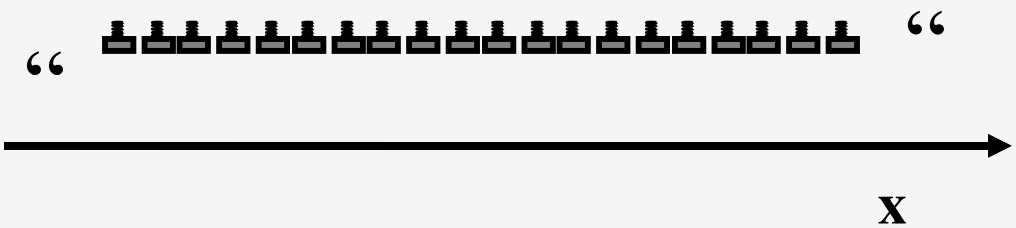


BELIC slika 11.1 153



BELIC slika 11.2. 154

- U slučaju kvazikontinualne aproksimacije tela kroz koje se prostire talas, postoji neprebrojivo mnogo oscilatora “po jedinici dužine tela koje osciluje” (npr. u slučaju zategnute žice)
- “numerisanje” oscilatora se vrši pomoću kontinualne promenljive, npr. x



x – osa je i pravac prostiranja talasa

- Za potpuno kinematičko opisivanje talasnog kretanja potrebno je poznavati funkciju

$$\mathbf{y=f(x,t)}$$

“elongacija oscilatora u trenutku t”

“definiše položaj oscilatora koji se posmatra”

Oznake

c brzina prostiranja talasa, **FAZNA BRZINA**

k talasni broj

$v=dy/dt$ brzina oscilovanja pojedinog delića sredine

Implus, tj. poremećaj formiran u trenutku t_1 u trenutku t_2 će biti pomeren duž x-ose za $\mathbf{c(t_2-t_1)}$

$$f(x_2,t_2)=f(x_1,t_1)$$

$$x_2=x_1+c(t_2-t_1),\ \text{tj.}\ x_2-ct_2= x_1-ct_1$$

$$f(x_1-ct_1)=f(x_2-ct_2)$$

Za oscilator sa **$x=0$** važi **$y=-Y\sin(\omega t)$**

Sinusna funkcija mora opisivati položaj ma koje čestice, tj. za proizvoljno x

$$y=f(x-ct)=[Y\sin(x-ct)\omega/c],\ \text{tj.}$$

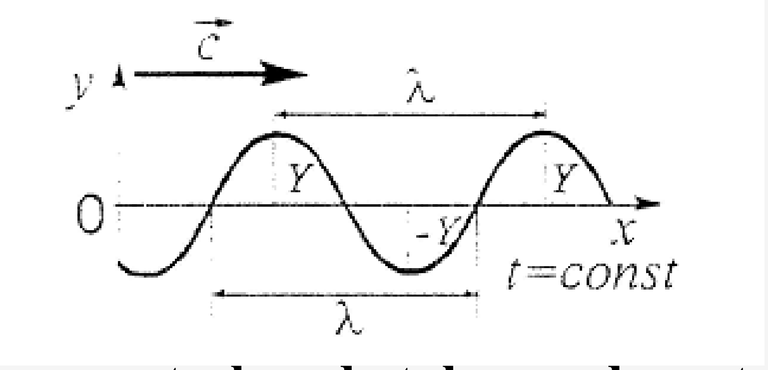
$$y=Y\sin(kx-\omega t),\quad k=\omega/c$$

talasna funkcija

podsinusna veličina je faza talasa

TALASNA DUŽINA je *najkraće* **rastojanje dve čestice u istoj fazi oscilovanja**

oznaka λ



Belic 11.4 155.

PERIOD oscilovanja je vreme potrebno da talas pređe rastojanje jednako talasnoj dužini

oznaka T

KRUŽNA UČESTANOST (KRUŽNA FREKVENCIJA)

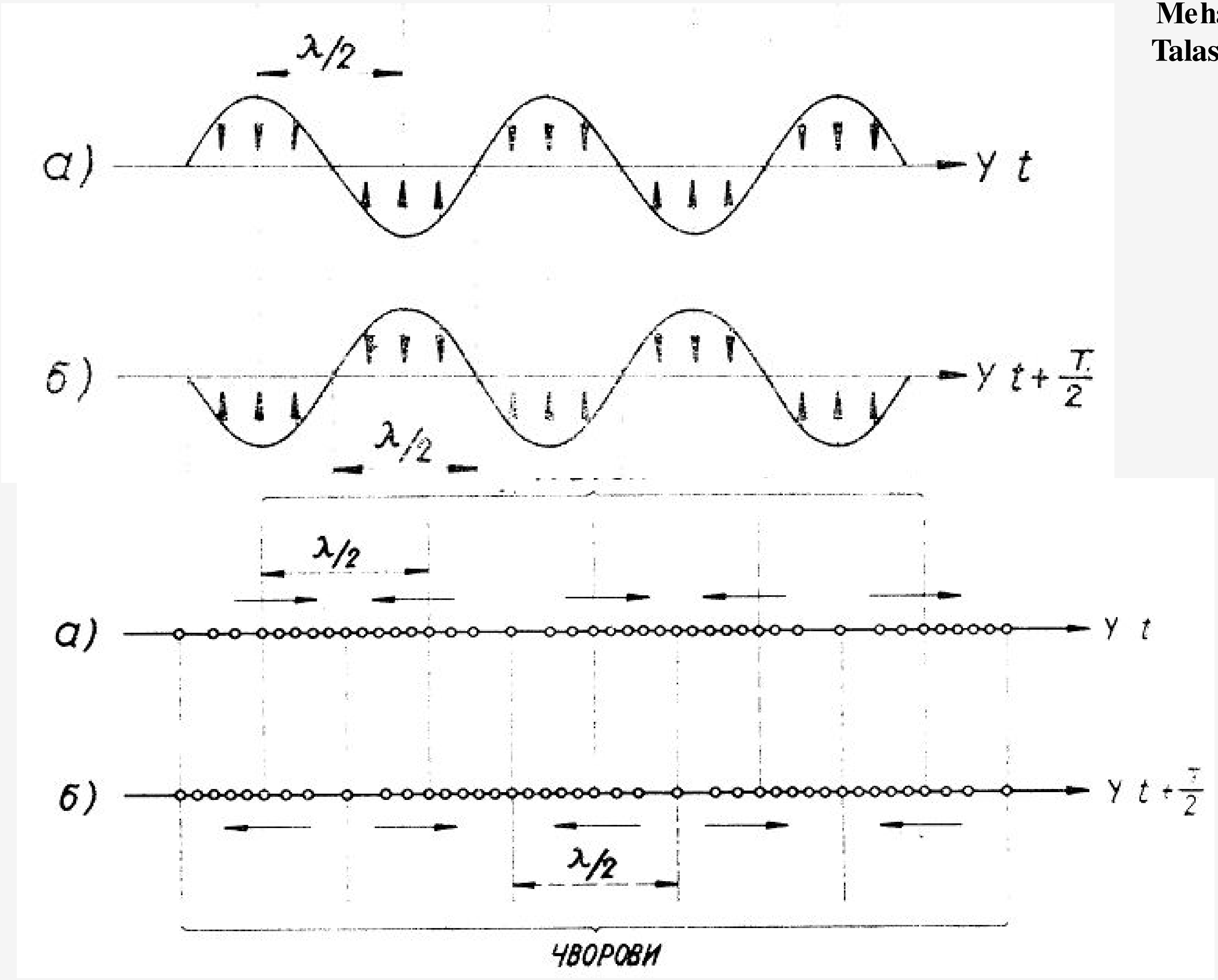
$$\omega=2\pi/T$$

UČESTANOST (FREKVENCIJA)

$$\nu=1/T \qquad [\mathrm{Hz}]$$

$$c=\lambda/T=\lambda\nu$$

Mehanički talasi
Talasno kretanje

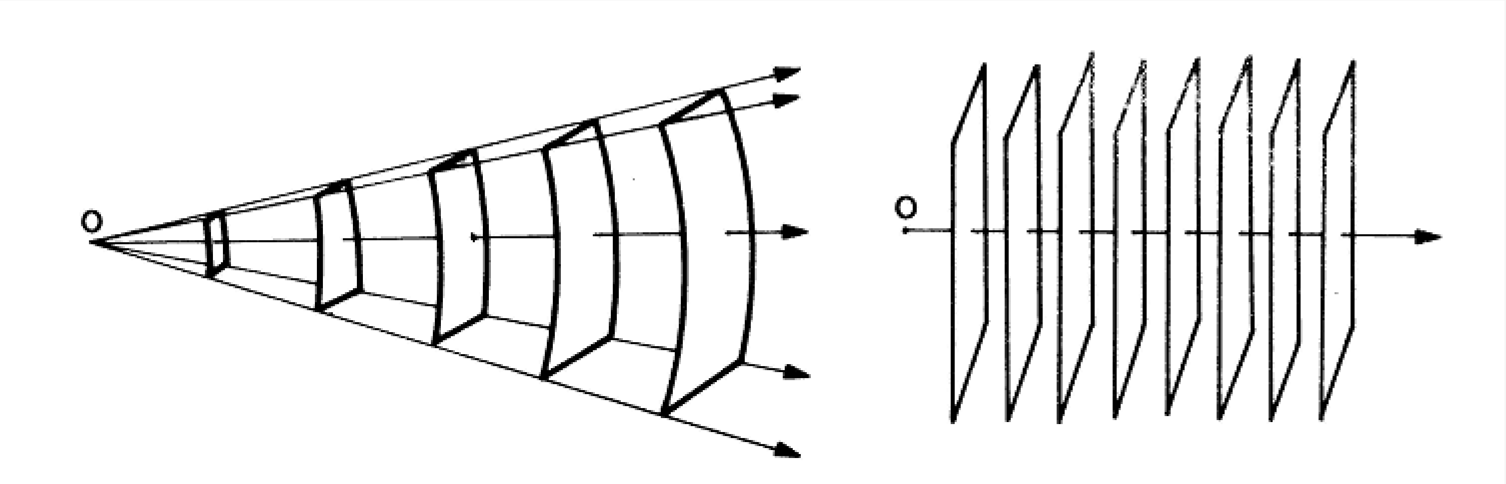


SLIKE 227 i 228 FRIS TIMORIJEVA 382 i 383

Talasni front je geometrijsko mesto svih *tačaka* u prostoru u istoj fazi oscilovanja *
potrebno dodatno objasnjenje

- ⇨ ova površina se udaljava od mesta nastanka talasa
- ⇨ Talasni front je uvek **normalan na pravac prostiranja talasa**
- ⇨ Kod 3D talasa t. f. može biti ravan, sfera ili deo srefe i td.

PURIC slika 12.9 174



* **Talasni front** je geometrijsko mesto svih *tačaka* do kojih je u trenutku t “doslo” oscilovanje

Opsti oblik talasne jednačine

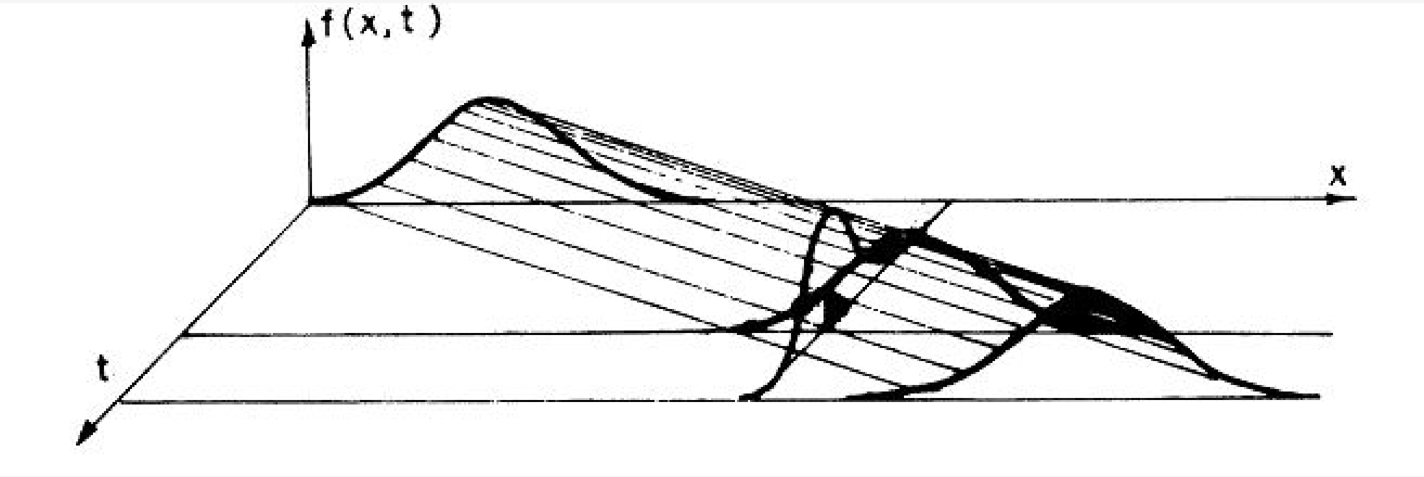
Ako se j-na $y=Y\sin(kx-\omega t)$

dvostruko parcijalno diferencira po t i po x dobija se

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\omega^2 Y \sin\left(kx - \omega t\right) \qquad \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = -k^2 Y \sin\left(kx - \omega t\right)$$

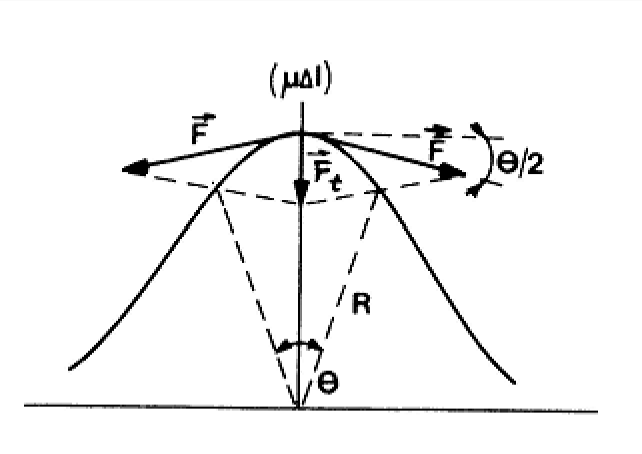
Iz ove dve relacije sledi izraz koji se naziva **talasna jednačina**

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$



Slika PURIC 12.13 177

Brzina transferzalnog talasa



Slika PURIC 12.14 178

μ masa jedinice dužine žice
Δl dužina elementa žice čije se kretanje posmatra
μΔl masa oscilatora (element žice) koji se posmatra

Ukupna sila koja deluje na element užeta je $F_t = 2F\sin(\theta/2)$

Za male uglove $\sin\alpha = \alpha$, tako da sledi $F_t = 2F\theta/2 = F\theta = F\Delta l/R$

$\mathbf{F_t = F_{cp}}$, tj. $F\dfrac{\Delta l}{R} = \mu \Delta l \dfrac{v^2}{R}$ ⟹ $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$

\- KRAJ PRVOG TERMINA -