

VALOVI

Uvod

Energija se može prenositi s jednog mjesta na drugo:

a) Gibanjem čestica (tijela)

b) Valovitim gibanjem

Postoje – mehanički valovi (šire se kroz elastična sredstva)

Elektromagnetski valovi (šire se kroz vakuum)

Longitudinalni \rightarrow ----- \rightarrow k titranje u smjeru širenja vala

Transverzalni \uparrow ----- \rightarrow k titranje okomito na smjer širenja vala

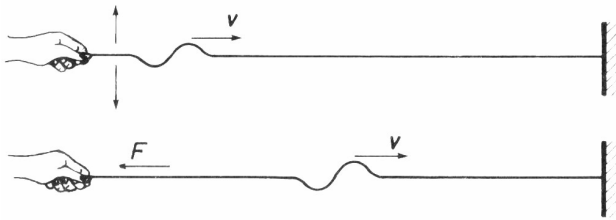
- PROGRESIVNI VAL- valni poremećaj se prenosi progresivnim valom dok čestice titraju oko svojih položaja ravnoteže. Tim poremećajem se prenosi energija

- **STOJNI VAL**

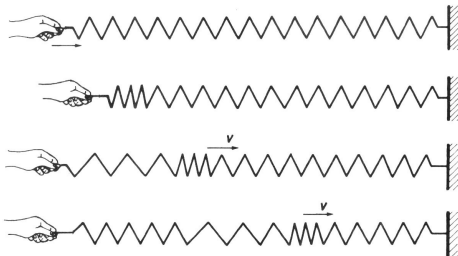
- Kuglasti val
- Ravni val

REDOSLIJED POKUSA:

- Ravni val i kuglasti u kadici vode na grafoskopu;
- Zatim staviti folije s valnim frontama
- Pokazati pomoću zavojnica longitudinalni i transverzalni val
- stojni transverzalni val



a) Transverzalni val na užetu,



b) Longitudinalni val na opruzi

Općenito

Energija se može prenositi s jednog mjesta na drugo:

- a) Gibanjem čestica (tijela)
- b) Valovitim gibanjem

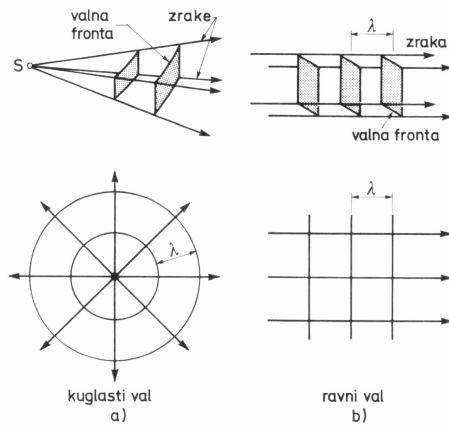
Prenošenje energije pomoću širenja deformacije u nekom sredstvu, a da se sredstvo kao cjelina pri tome ne giba je valovito gibanje. Primjer: Bacimo kamen u vodu, nastaju valovi, prenose deformaciju i energiju, čestice ne putuju s valom. Valovi na vodi sastoje se od progresivnog gibanja brijegova i dolova. Čestice vode titraju oko svog položaja ravnoteže.

Valovi nastaju u izvoru vala. Izvor vala titra. Širenje tog titranja kroz neko sredstvo zove se val.

Mehanički valovi se šire kroz elastična sredstva, dok se elektromagnetski valovi šire kroz vakuum.

U elastičnim tvarima susjedne čestice su međusobno povezane elastičnim silama.

Pomak jedne od čestica iz položaja ravnoteže uzrokuje pomak i njoj susjednih čestica i tako val napreduje kroz sredstvo. Deformacija se ne prenosi trenutno, zbog inercije, nego konačnom brzinom. Čestice pri tome ne putuju kroz sredstvo, već samo deformacija i energija. Razlikujemo brzinu titranja čestica i brzinu titranja vala.



a) Kuglasti, b) ravni val

POKUS:

VALOVI NA VODI

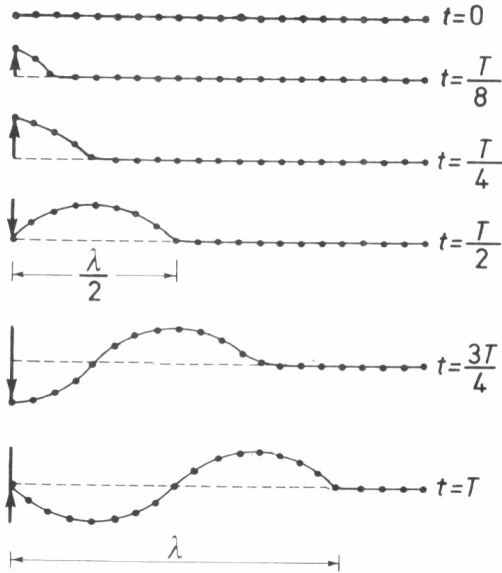
U kadici na grafoskopu izlaze a) kuglasti valovi b) ravni valovi. Vide se jasno fronte vala udaljene u prostoru za jednu valnu duljinu.

MODEL VALA S KUGLICAMA- Vidi se da kuglice stoje na svojim mjestima (x) i zatitraju na svom mjestu u određeno vrijeme. Val – stanje titranja, putuje, a čestice ostaju na svome mjestu i harmonički titraju.

TITRANJE NAPETE ŽICE- TRANSVERZALNI VAL

Nastajanje vala

Izvor vala je na početku žice $x = 0$, i titra : $S(t) = A \sin 2 \pi t/T$,



Širenje vala iz izvora koji titra. Valna duljina.

x je udaljenost točke od izvora vala. Točka na položaju x ima kašnjenje u titranju zadano razlikom u fazi $\Delta\phi$ i $t' = x/v$.

$\Delta\phi = 2\pi x/\lambda$. Za vrijeme jedne periode T , val prijeđe u prostoru jednu valnu

duljine λ faznom brzinom v : $s(x,t) = A \sin 2\pi (t/T - x/\lambda)$

Elongacija $s(x,t)$ žice u vremenu je rješenje valne jednadžbe transverzalnog vala.

$$\lambda = vT,$$

ili, ako umjesto T pišemo $\frac{1}{f}$:

$$v = \lambda f$$

Na element žice dl djeluje sila F_s okomita na x itd. Izvod valne jednadžbe za transverzalni val preskačemo.

$$\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} - \frac{\mu}{F} \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = 0$$

Dobija se:

$$\frac{\partial^2 s}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = 0$$

gdje je $v^2 = F/\mu$ ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$); v je brzina širenja vala kroz žicu.

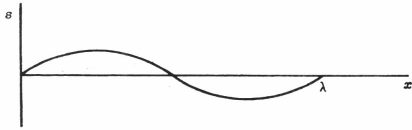
Rješenje valne jednadžbe je harmonički val. On zadovoljava gornju valnu jednadžbu.

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

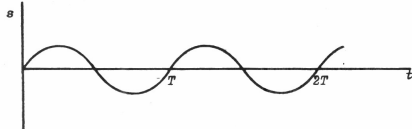
:

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

Slika $s(x)$ za $t=T$ (crtež 37)
 $S(t)$ za $x=0$ (crtež 38) :



Crtež 37.



Crtež 38.

Čestica titra oko položaja ravnoteže : $s(t) = A \sin (\omega t + \phi_0)$
 $\phi_0 = \pi$ $kx = 2\pi / \lambda \cdot \lambda / 2 = \pi$

Brzina titranja čestica sredstva je : $\partial s / \partial t = A \omega \cos (\omega t + \phi_0)$

• REFLEKSIJA VALOVA

Val pada na granicu dva sredstva ; $\mu = dm / dx$ je masa jedinice duljine.

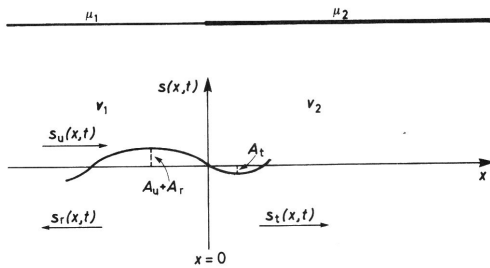
Jednadžbe upadnog $s_u(x,t)$, reflektiranog s_r i transmitiranog s_t vala su:

$$s_u(x, t) = A_u \sin \omega \left(t - \frac{x}{v_1} \right)$$

$$s_r(x, t) = A_r \sin \omega \left(t + \frac{x}{v_1} \right)$$

$$s_t(x, t) = A_t \sin \omega \left(t - \frac{x}{v_2} \right)$$

Val $s_u(x,t)$ je u smjeru $+x$ -osi, a reflektirani $s_r(x,t)$ u smjeru $-x$ -osi.



Slika 2.17. Reflektirani i transmitirani val

$$s_u + s_r = s_t$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (s_u + s_r) = \frac{\partial s_t}{\partial x}$$

Za $x=0$, gornje relacije koje su 1. i 2. rubni uvjet daje:

$$s_u = A_u \sin \omega t, \quad s_r = A_r \sin \omega t \quad \text{ i } \quad s_t = A_t \sin \omega t \quad A_u + A_r = A_t$$

Iz gornjih jednadžbi se dobija:

$$\frac{A_u}{v_1} - \frac{A_r}{v_1} = \frac{A_t}{v_2} \qquad A_r = \frac{v_2 - v_1}{v_1 + v_2} A_u \qquad A_t = \frac{2 v_2}{v_1 + v_2} A_u$$

1. **Refleksija na gušćem sredstvu , masa žice $\mu_1 < \mu_2$** , te je brzina u prvom sredstvu veća nego u drugome, $v_1 > v_2$, zbog ovisnosti

$$v_1 = \sqrt{F/\mu_1} .$$

Iz relacije za amplitude $A_r = - A_i$, uz uvjet da je $v_2 \neq 0$ i $A_t \neq 0$ (val ne prelazi u drugo sredstvo!). dobivamo izraze za upadni i reflektirani val. Reflektirani val ima negativnu amplitudu i zaostaje za upadnim za $\Delta \phi = \pi$, odnosno $\Delta x = \lambda/2$

$$s_u = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v_1} \right)$$

$$s_r = - A \sin \omega \left(t + \frac{x}{v_1} \right)$$

2. **Refleksija na rjeđem sredstvu $\mu_1 > \mu_2$** $v_2 > v_1$

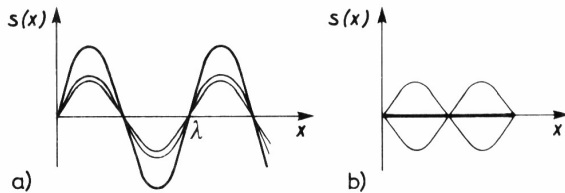
$A_r = A_i$, $v_2 \neq 0$ $A_t \neq 0$, reflektirani val nema skoka u fazi te su elongacije upadnog i reflektiranog vala dane:

$$s_u = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v_1} \right)$$

$$s_r = A \sin \omega \left(t + \frac{x}{v_1} \right)$$

• **STOJNI VAL**

Pojačanje (a) i poništenje valova (b) iste valne duljine i frekvencije prikazana je na slici:



a) Konstruktivna, b) destruktivna interferencija

Interferencija je superpozicija valova iste frekvencije.

Stojni val je interferencija dvaju valova jednake amplitude A i valne duljine λ , koji putuju jedan prema drugome na istom pravcu, i interferiraju u jednom dijelu prostora primjerice na duljini L .

$$s_u = A \sin (\omega t + kx)$$

$$s_r = A \sin (\omega t - kx + \pi) = - A \sin (\omega t - kx)$$

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

Sređivanjem, stojni val se može pisati:

$$s = 2A \sin kx \cos \omega t$$

gdje je $A(x) = 2A \sin kx$

Točke koje stalno miruju su na mjestima $A(x) = 0$. To su čvorovi

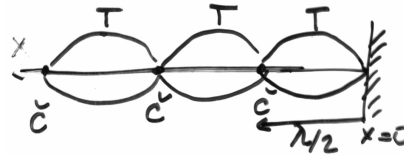
$\sin kx = 0$ znači da je $kx = n\pi$, ($k = 2\pi/\lambda$) odnosno $x = n\lambda/2$, $n=0, 1, 2, \dots$

Prvi čvor je na čvrstom kraju, drugi na $\lambda/2$ od čvrstog kraja, zatim λ , $3\lambda/2$

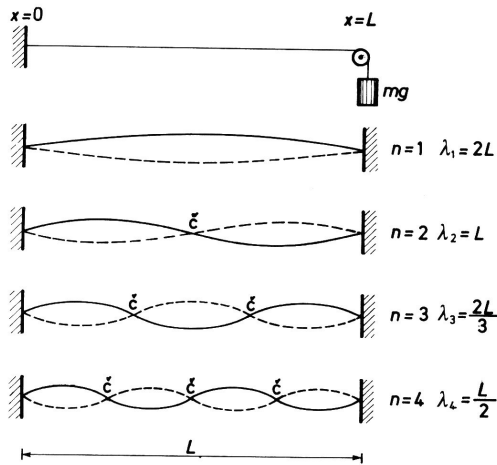
Trbusi su mjesta na kojima je: $\sin kx = \pm 1$. tada je amplituda $A(x) = 2A$

$2\pi x/\lambda = (2n+1)\pi/2$. Tada je $x = (2n+1)\lambda/4$, $n=0, 1, 2$,

Na $x = \lambda/4$ nalazi se prvi trbuh T
na $x = \lambda/2$ nalazi se prvi čvor Č.



TITRANJE NAPETE ŽICE UČVRŠĆENE na 2 kraja $x=0$ i $x=L$



$s(x=0, t) = 0$ $s(x=L, T) = 0$ Na ovim položajima je žica učvršćena i tu su čvorovi .

Dobija se:

$$\sin kL = 0 \quad kL = n\pi \quad L = n \lambda / 2 \quad \lambda = 2L / n \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$n=1 \quad \lambda = 2L ; n=2 \quad \lambda = L ; \quad n=3 \quad \lambda = 2L / 3$$

$$\lambda f = v \quad 2L/n = v/f$$

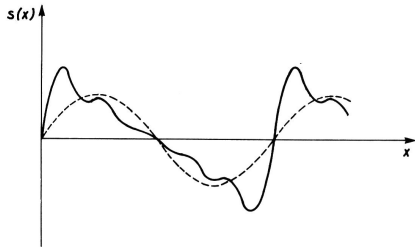
$f_n = n v / 2L$ Ima n -vlastitih frekvencija; f_1 je osnovna frekvencija.

$$f_n = nv/2L = n/2L \sqrt{F/\mu}$$

Kada zatitramo napetu žicu, ona će titrati s više vlastitih frekvencija. Valna funkcija koja opisuje pomak čestica žice je superpozicija svih vlastitih titraja:

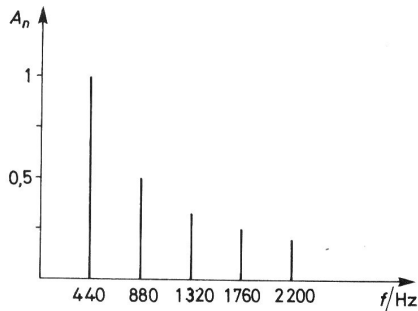
$$s(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos \omega_n t + B_n \sin \omega_n t) \sin k_n x.$$

Ovo je razvoj u Fourierov red funkcije $s(x,t)$.
Boja tona ovisiti će o primjesama viših harmonika tj. o relativnoj veličini pojedinih A_n i B_n



Slika 2.21. Zvučni val koji uz osnovni ton ima i više harmonike. a) Oblik zvučnog vala,

↑a) b)↓



Na slici 2.21 a) prikazan je oblik zvučnog vala frekvencije $f_0 = 440$ Hz (crtkana krivulja) i zvučni val sa udjelom viših harmonika sa slike b) (puna krivulja).

POKUSI:

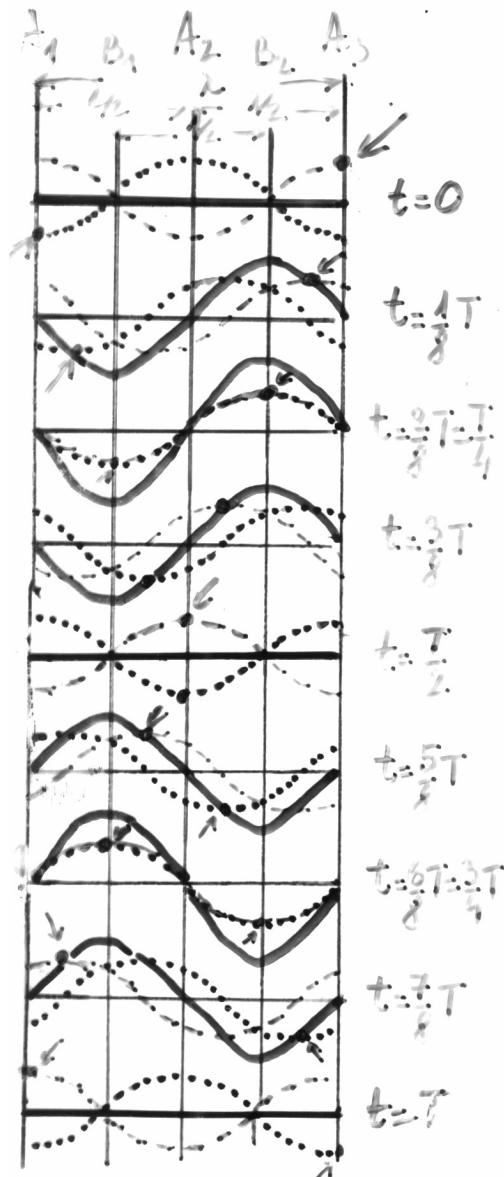
STOJNI VALOVI NA RASTEZLJIVOJ NITI. RASTEZANJEM SE MOŽE DOBITI ODREĐENI BROJ TRBUHA I ČVOROVA. ČVOROCI SU NA KRAJEVIMA. Natezanjem niti se mijenja sila naprezanja koja određuje brzinu vala v . Duljina žice na kojoj transverzalni stojni valovi nastaju je vešekratnik polovice valne duljine : $L = n \lambda / 2$

GEOFON- REGISTRIRANJE ZVUČNIH VALOVA koji se šire kroz zemlju pomoću geofona.

GLAZBENA VILJUŠKA- ZVUČNI VAL b) dvije glazbene viljuške. Udari se dobro čuju, ako na jednu od njih stavimo malu gumicu (time smo malo promijenili frekvenciju titranja za Δf . Frekvencija titranja viljuške je $f_0 = 440$ Hz.)

- **Nastajanje stojnog vala**

Na prikazanoj slici treba gledati rezultatni val:
vidi se da su B_1, B_2 uvijek u titranju....TRBUSI,
 A_1, A_2, A_3 su čvorovi rezultatnog vala, osim za $T/2, T$ i $t=0$



Domaća zadaća:

1. Na mm papiru skicirati nastajanje stojnog vala u razna vremena, tokom jednog perioda T ! Koristite gore danu sliku.