

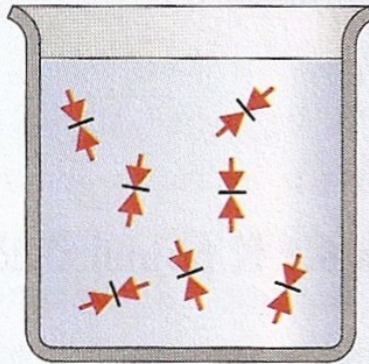
FIZIKA

Predavanje – 2. termin

Tekočine; Termodinamika; Nihanje;
Valovanje; Zvok in svetloba

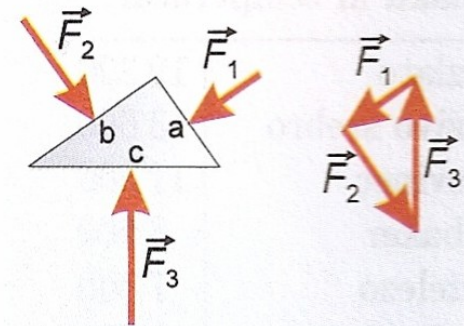
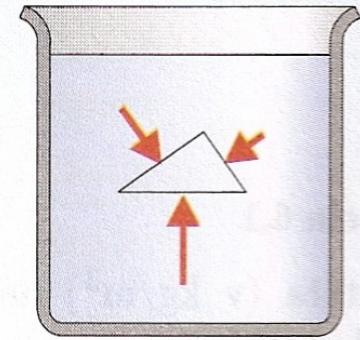
Mehanika tekočin

Tekočine: kapljevine in plini

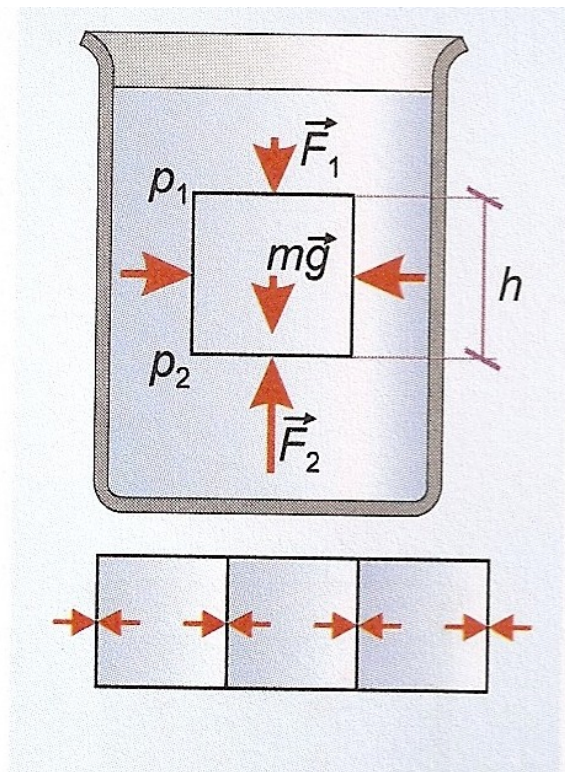


Tlak na izbrani globini enak v vseh smereh.

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

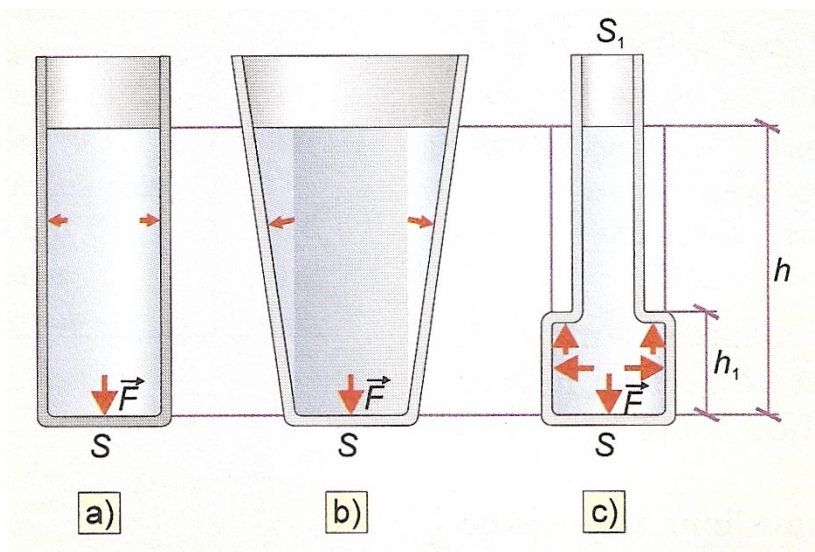


Sila tlaka deluje pravokotno na izbrano ploskev.

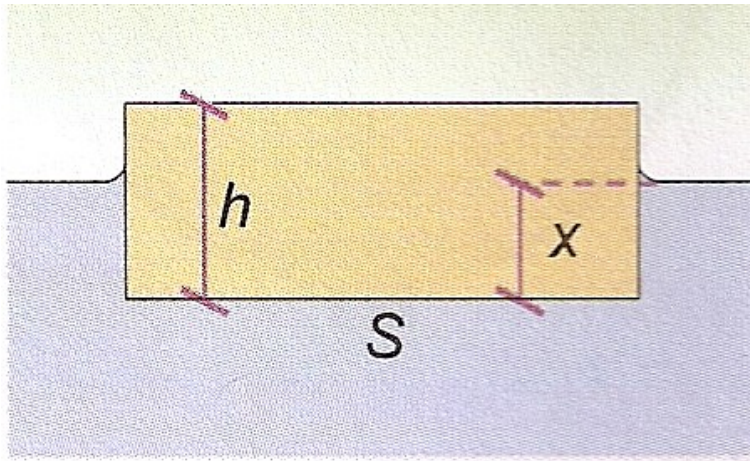


Hidrostaticni tlak:

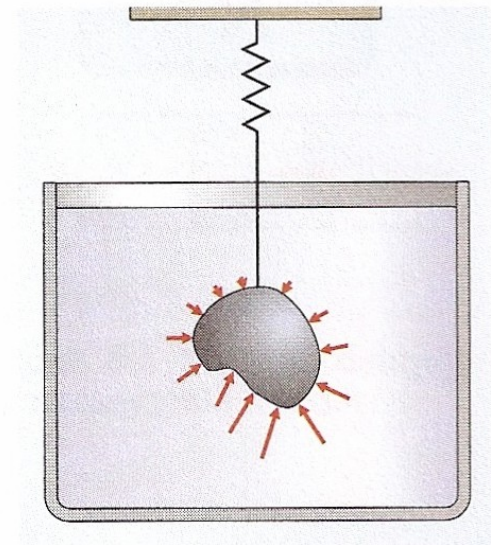
$$p_h = \rho \cdot g \cdot h$$



Tlak ni odvisen od oblike posode



Plavajoča deska.



Vzgon (sila vzgona): vsota vseh sil, s katero okoliška tekočina deluje na potopljeno telo

$$F_{\text{vzg}} = \rho_i \cdot g \cdot V_i$$

Arhimedov zakon:

Vzgon je nasprotno enak teži izpodrinjene tekočine

Kroglica iz stiropora in kroglica iz železa imata enaki prostornini. Ko ju spustimo v posodo z vodo, železna kroglica potone na dno, stiroporna pa plava. Katera izjava je pravilna?

- A Vzgon na kroglico iz stiropora je večji od vzgona na kroglico iz železa.
- B Vzgon na kroglico iz stiropora je manjši od vzgona na kroglico iz železa.
- C Vzgon na kroglico iz stiropora je enak vzgonu na kroglico iz železa.
- D Na voljo je premalo podatkov, da bi lahko primerjali vzgon, ki deluje na kroglici.

Merjenje krvnega tlaka



Primer meritve z živosrebrnim merilnikom krvnega tlaka

Sistolični tlak: $h = 120 \text{ mmHg}$

$$p = \rho_{\text{Hg}} \cdot g \cdot h$$

$$p = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,12 \text{ m}$$

$$p = 16,3 \text{ kPa}$$

- Hitra pretvorba: 7,5 mm Hg ustreza tlaku 1 kPa.
- Tlak lahko merimo tudi z vodnim stolpcem
(v pljučih lahko ustvarimo tlak od 100 cmH₂O do 200 cm H₂O).

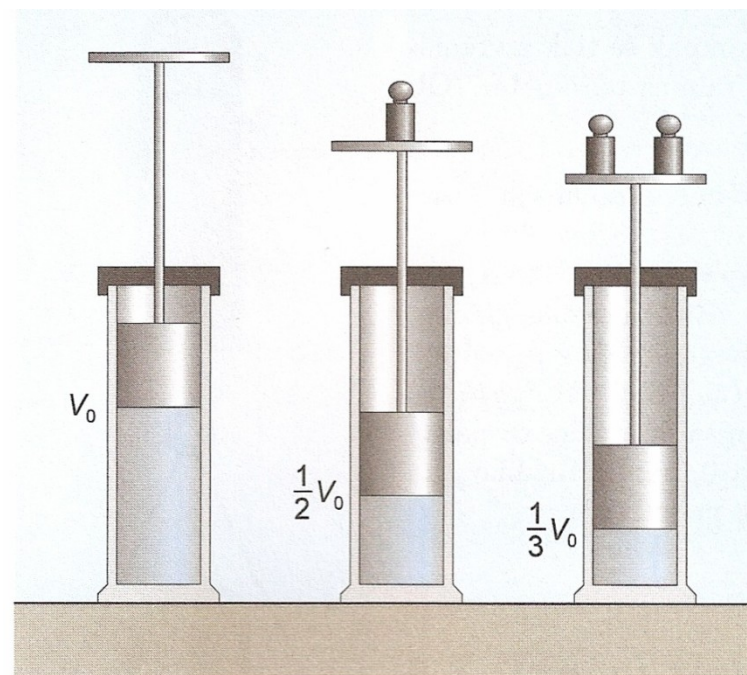
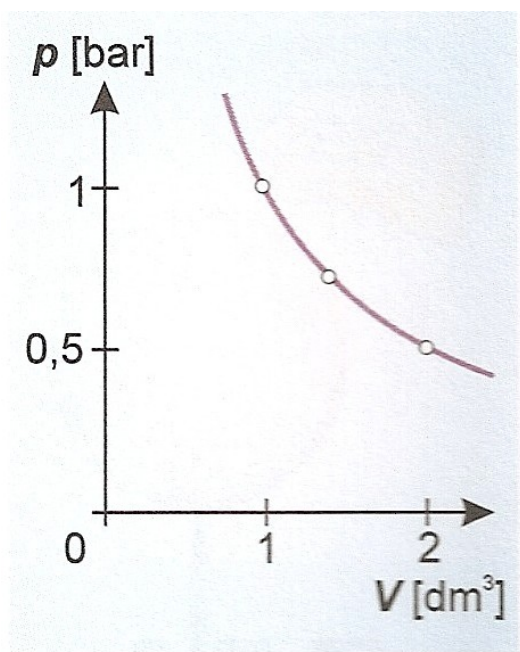
Stisljivost – plinska enačba

$$\frac{\Delta V}{V} = -\chi \Delta p \quad \chi - \text{stisljivost} \quad [Pa^{-1}]$$

Plinska enačba pri $T = \text{konst}$

Boylov zakon

$$pV = p_0V_0 = \text{konst}$$

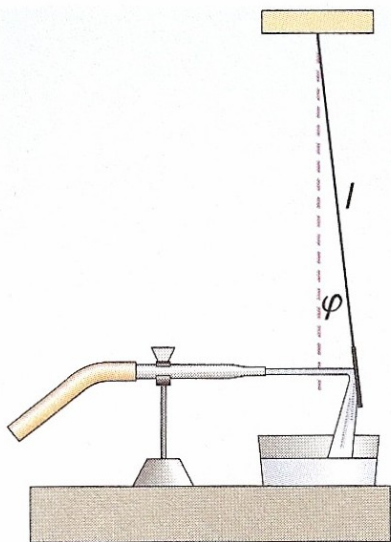


Odvisnost tiaka od prostornine

Z izbrano maso plina opravimo izotermno spremembo. Katera od spodnjih trditev o tlaku plina pri tej spremembi je pravilna?

- A Tlak plina je premo sorazmeren s prostornino plina.
- B Tlak plina je obratno sorazmeren s prostornino plina.
- C Tlak plina ni odvisen od prostornine plina.
- D Tlak plina se pri raztezanju eksponentno zmanjšuje.

Sila curka

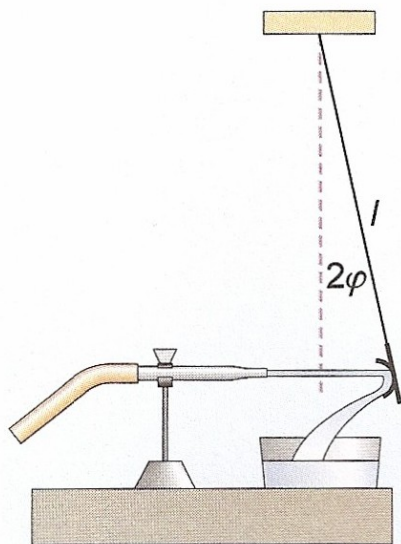


Masni tok $\Phi_m = \frac{m}{t}$ $[kg / s]$

Prostorninski tok $\Phi_V = \frac{V}{t}$ $[m^3 / s]$

Masni tok $\Phi_m = \rho \Phi_V$ $[kg / s]$

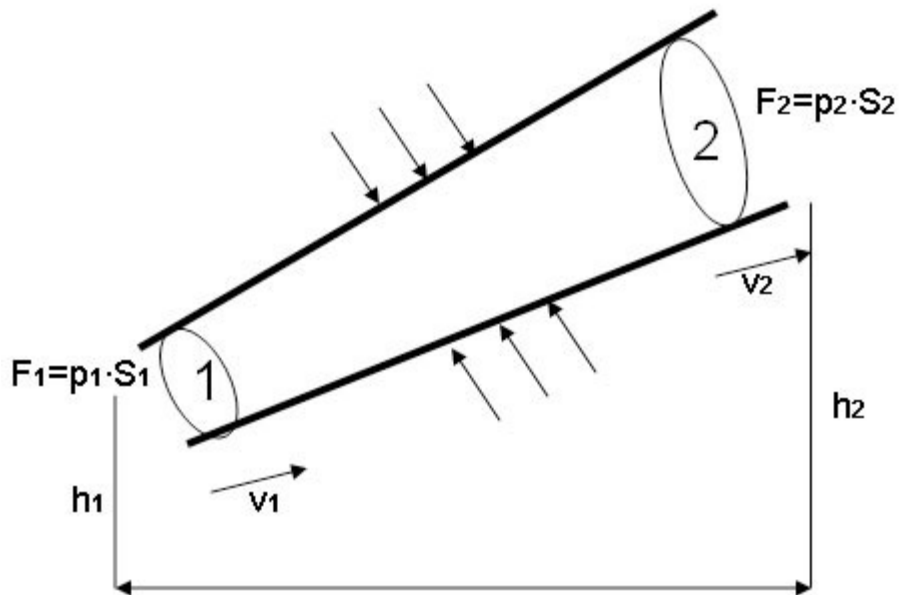
Sila curka $\vec{F} = -\Phi_m \Delta \vec{v}$ $[N]$



Silo curka lahko merimo z nihalom.
Zgoraj: Voda odteka z majhno hitrostjo
Spodaj: curek se odbije.

Bernoullijev zakon

Pri pretakanju neviskozne tekočine po ceveh velja Bernoullijev zakon:



$$A = \Delta W_k + \Delta W_p$$

$$\Delta p \cdot \Delta V = \frac{1}{2} \cdot \Delta m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot \Delta m \cdot v_1^2 + \Delta m \cdot g \cdot h_2 - \Delta m \cdot g \cdot h_1$$

$$(p_2 - p_1) \cdot \Delta V = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \Delta V \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \Delta V \cdot v_1^2 + \rho \cdot \Delta V \cdot g \cdot h_2 - \rho \cdot \Delta V \cdot g \cdot h_1$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2$$

Temperatura

- Kinetična energija posamezne molekule je zaradi pogostih trkov od molekule do molekule različna, zato lahko merimo le **povprečno kinetično energijo molekul**. V ta namen vpeljemo termodinamično količino – **temperaturo, ki je merilo za termično stanje snovi**.
- Izpeljava za idealne pline:

$$\bar{W}_k = konst \cdot T$$

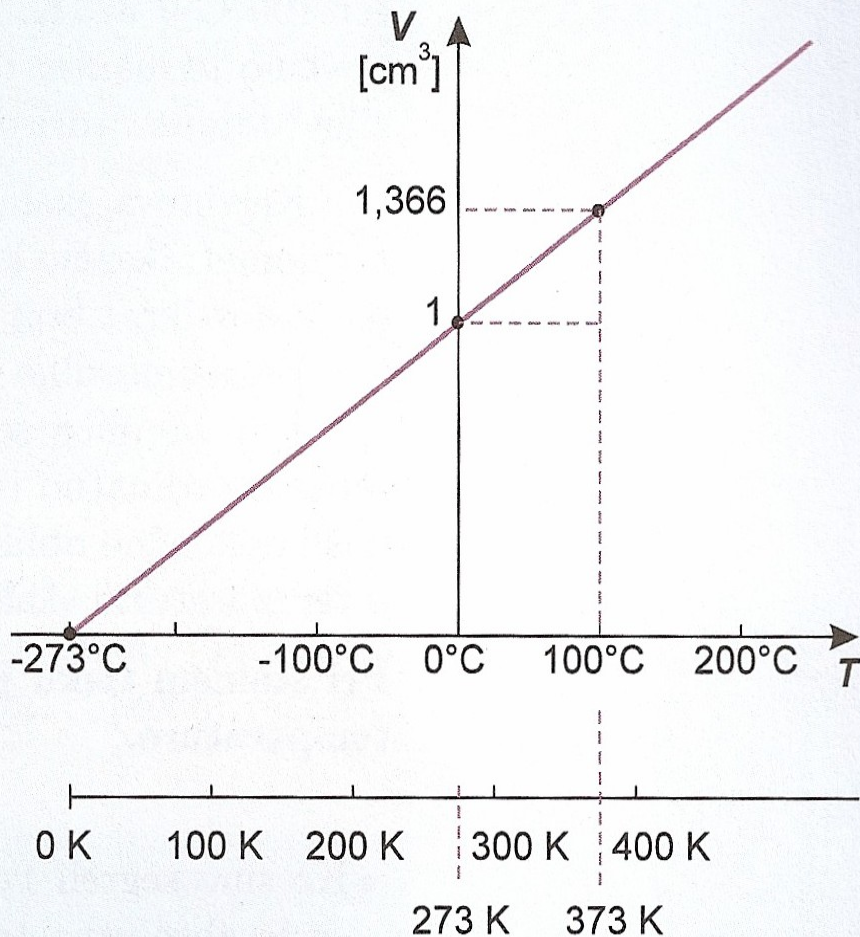
k – Boltzmanova konstanta

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$\bar{W}_k = \frac{3}{2} kT$$

Priprave za merjenje temperature so termometri (alkoholni, živosrebrni, plinski, elektronski).

Absolutna temperatura



Graf kaže spremembo prostornine plina pri stalnem pritisku v odvisnosti od temperature

Absolutna temperatura [$^{\circ}\text{K}$]

$$0^{\circ}\text{K} = -273^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T[{}^{\circ}\text{K}] = \Delta T[{}^{\circ}\text{C}]$$

Prostornina teles je odvisna od T

Relativni raztezek: $d l / l = \alpha d T$

α - dolžinska razteznost

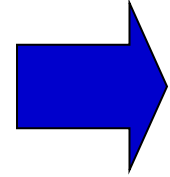
Relativna sprememba volumna: $d V / V = \beta d T$

β - volumnska razteznost

PLINSKI ZAKONI

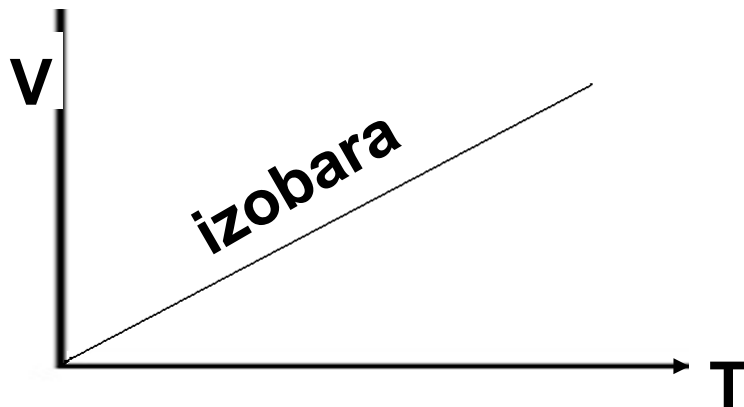
Začetno stanje plina je podano s termodinamičnimi spremenljivkami (V, T, tlak-p)

1.) $p = \text{konstanten}$ (izobarna sprememba)



$$\frac{V}{T} = \frac{V_1}{T_1} \quad \longrightarrow \quad V = \frac{V_1}{T_1} \cdot T$$

Gay – Lussacov zakon



$V - T$; ? sorazmerje

2.) $T = \text{konstantna}$ (izotermna sprememba)

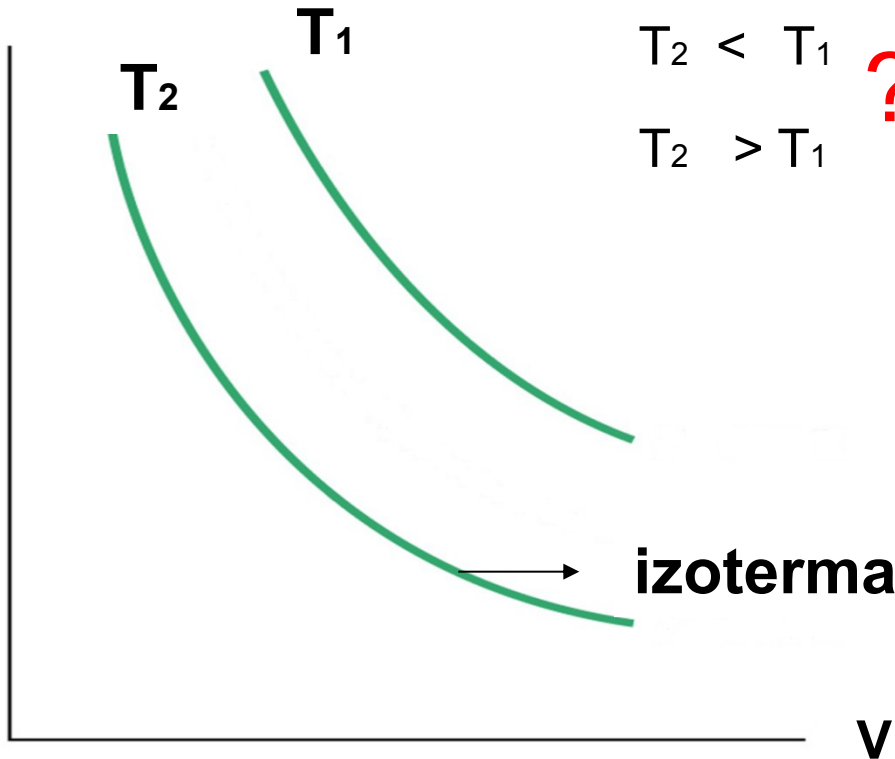


$$p \cdot V = p_1 \cdot V_1 \quad \downarrow \quad p = p_1 \cdot V_1 \cdot \frac{1}{V}$$

Boyllov zakon

$p - V$: ? sorazmerje

p



Vsaka točka na izotermi ima enako temperaturo.

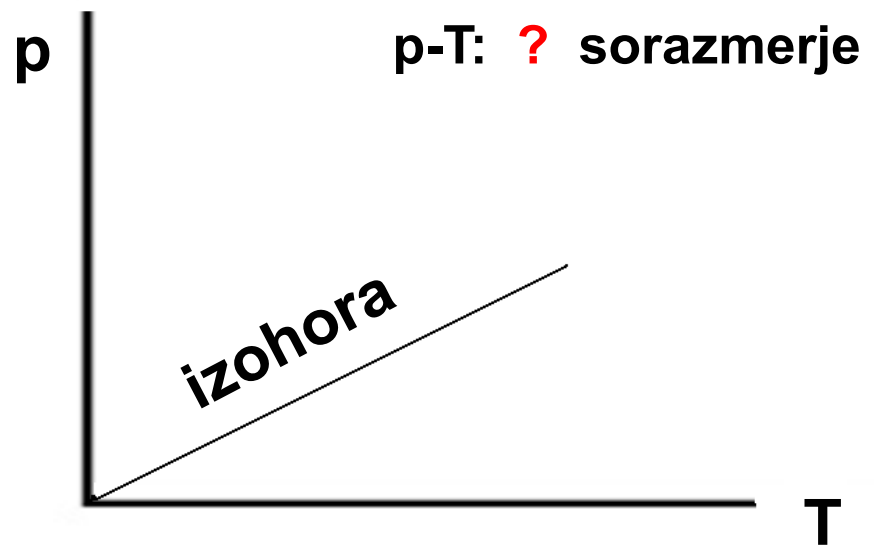
Iz teh dveh zakonov lahko izpeljemo plinsko enačbo:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1}$$

***Izohorna sprememba:**

V = konstanten 

$$\frac{p}{T} = \frac{p_1}{T_1} \quad \longrightarrow \quad p = \frac{p_1}{T_1} \cdot T$$



SPLOŠNA PLINSKA ENAČBA:

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

splošna plinska konstanta $R = 8317 \text{ J/K}$

$$m = N \cdot m_1$$

$$M = N_A \cdot m_1$$

Avogadrovo število $6,02 \cdot 10^{26}$

$$p \cdot V = \frac{N \cdot m_1}{N_A \cdot m_1} \cdot R \cdot T$$

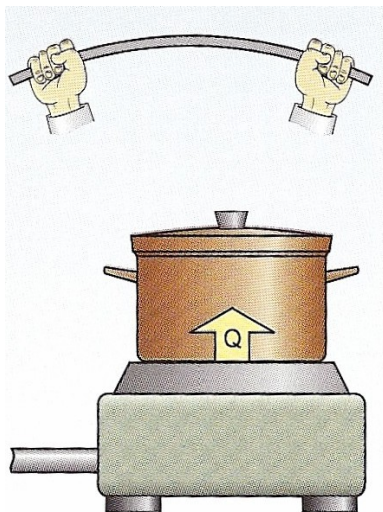
$$k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

(Boltzmanova konstanta)

$$p \cdot V = N \cdot k \cdot T$$

Helij ima pri tlaku p_1 temperaturo T_1 . Stisnemo ga na tretjino začetne prostornine. Pri tem se temperatura podvoji. Kolikšen je zdaj tlak helija?

TOPLOTA - Energija



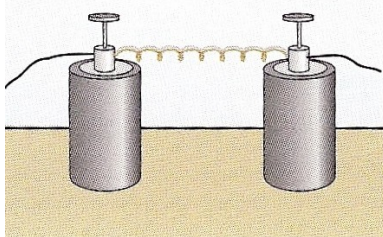
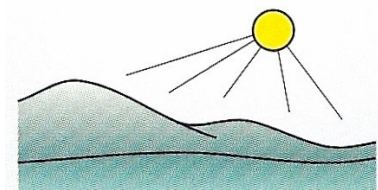
Toplota Q je tisti delež energije, ki ob dotiku brez dela preide s toplejšega na hladnejše telo.

Celotna sprememba energije telesa

$$\Delta W = A + Q$$

$$W = W_k + W_p + W_n \quad \text{Celotna energija telesa}$$

Notranja energija je kinetična in potencialna energija mikroskopske strukture (molekul, atomov) telesa



$$\Delta W = A$$

Sprememba energije toplotno izoliranega telesa je enaka prejetemu delu

Načini segrevanja: mehko žico segrevamo s prepogibanjem, torej z delom; lonec dobiva toploto od grelca; površje Zemlje se segreva, ko nanj sije Sonce; žico lahko segrejemo z električnim tokom.

ENERGETIKA PRI ČLOVEKU

- z vnosom hrane v telo le temu povišamo notranjo energijo
- v ravnovesju velja:

$$\Delta E = \Delta A + \Delta Q$$

- ΔA :
- mehansko delo: (kontrakcija mišic, gibanje celic in organelov)
 - reakcije sinteze: (produkcija novih esencialnih molekul potrebnih za rast in obnavljanje organizma)
 - transport snovi preko membran celic in organelov
 - znotrajcelična in medcelična signalizacija
 - razgradnja
 - (energijske zaloge v obliki glikogena in maščob)

ENERGIJSKI TOK METABOLIZMA

energijski tok metabolizma = (mehanska) moč (P) + oddan toplotni tok

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\Delta A}{\Delta t} + \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

OKSIDACIJA V KALORIMETRU

- glavni vir energije pri človeku so maščobe, ogljikovi hidrati in beljakovine
- PRIMER: **oksidacija glukoze**: (energijska vrednost za 100 g glukoze je 380 kcal)



- 1 mol glukoze (180 g) se spaja s 6 moli O_2 (192 g). Pri tem se sprosti 2.8 MJ toplote.

- energija, ki se sprosti na 1 liter porabljenega O_2 : 21 kJ/liter O_2**

(saj 6 molov O_2 zavzame volumen $6 \times 22,4$ litrov = 134,4 litrov)

- podobno vrednost dobimo tudi za maščobe in beljakovine (20 kJ/liter O_2 ; 18 kJ/liter O_2)

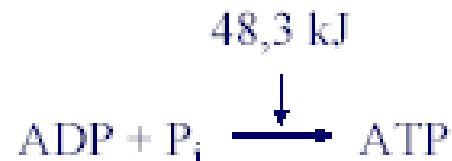
pri 1 litru porabljenega O_2 se torej v povprečju sprosti približno 20 kJ energije

OKSIDACIJA V TELESU

- poteka v mitohondrijih

Izračun za oksidacijo 1 mola glukoze: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6H_2O + 6CO_2 + 2,88 \text{ MJ}$

2,88 MJ  $\sim 1,33 \text{ MJ toplote}$
 $\sim 1,55 \text{ MJ je za celice uporabne energije v obliki ATP}$
(32 molekul ATP)



IZRAČUN ENERGIJSKEGA TOKA METABOLIZMA

UPORABA: če izmerimo prostornino porabljenega kisika na časovno enoto (t.j. razliko med prostornino vdihanega in izdihanega kisika) lahko določimo energijski tok metabolizma ($\Delta E/\Delta t$):

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\Delta V_0}{\Delta t} \cdot 20 \frac{kJ}{l}$$

PORABA KISIKA IN ENERGIJSKI TOK METABOLIZMA

Preglednica 2. Povprečna poraba kisika in sproščena energija metabolizma na časovno enoto pri vsakdanjih opravilih (za 65 kilogramskega moškega)

Aktivnost	poraba kisika (l/min)	povprečen energijski tok metabolizma (W)
spanje	0,24	80
seđenje	0,34	120
poučevanje	0,60	210
hoja(5 km/h)	0,76	265
kolesarjenje(15 km/h)	1,14	400
igranje tenisa	1,26	440
prsno plavanje(1,6 km/h)	1,36	475
drsanje(15 km/h)	1,56	545
kolesarjenje(21 km/h)	2,00	700
igranje košarke	2,28	800
kolesarjenje(45 km/h)	4,60	1600

Uspešnost športnikov je odvisna od zmožnosti maksimalne porabe kisika na kg telesne teže v časovni enoti.

Telesna pripravljenost	maksimalna poraba kisika ml/(min·kg)
zelo slaba	28
slaba	34
zadovoljiva	42
dobra	52
odlična	70

IZKORISTEK ČLOVEKA

IZKORISTEK: $e = \frac{P}{\Delta E / \Delta t}$ = mehanska moč/energijski tok metabolizma

- izkoristek pri kolesarjenju: ~ 25 % (za treniranega kolesarja)
 - energijski tok metabolizma: 1600 W
 - oddana moč: 400 W
- izkoristek ni konstanten (odvisen od dolžine korakov pri teku, temperature okolice, vlažnosti, spola, utrujenosti...)

Preglednica 6. Izkoristek pri nekaterih delih

	Izkoristek (%)
kolesarjenje	20
plavanje (na površini)	2
plavanje (pod vodo)	4
potiskanje avtomobila	17
parni stroj	17
bercinski motor	38

ENERGIJSKA VREDNOST ŽIVIL

Preglednica 3. Energijska vrednost hrane (za 100 g)

Hrana	specifična sežigna toplota (MJ/100 g)	hrana	specifična sežigna toplota (MJ/100 g)
svinjska mast	3.76	sir (povprečno)	1.67
maslo (85% masti)	3.26	moka	1.34
slanina	2.71	med	1.34
majoneza	3.20	marmelada	1.05
meso (20-30% belj.)	0.83-2.93	fižol, grah	1.04
čokolada	2.09	kruh	0.84
šunka	1.71	krompir	0.67
sladkor	1.68	sadje, mleko, pivo, vino	0.21-0.25
orehi	2.42	viski	1.10

• 1 kcal je energija, ki je potrebna, da 1 kg vode segrejemo za 1 K.

$$\begin{aligned}
 Q &= mc\Delta T = \\
 &= 1 \text{ kg} \cdot 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 1 \text{ K} = \\
 &= 4,2 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

• **PRETVORBA kcal v kJ: 1 kcal = 4.2 kJ**

REGULACIJA TELESNE TEMPERATURE

- to regulacijo so razvili višji organizmi, da so postali neodvisni od okolja
- termoregulacijski mehanizem omogoča, da reakcije v telesu potekajo pri optimalnih pogojih
- za ohranitev telesne temperature je potrebno telesu dovajati energijo v obliki hrane
- v prebavnem traktu se hrana razgradi na osnovne komponente:
 - škrob in C-hidrati → enostavni sladkorji
 - beljakovine → aminokisliline
 - maščobe → maščobne kisline
- te snovi kri prenese do celic, kjer poteka oksidacija
- energija pridobljena pri oksidaciji se lahko porabi za delovanje organizma (še prej se pretvori v celici uporabno obliko, tj. ATP), lahko se shrani (npr. v obliki glikogena), del energije pa se pretvori v toploto

REGULACIJA TELESNE TEMPERATURE

•preprost izračun kaže, da je potrebno toploto, ki se proizvaja pri metabolizmu hrane, odvesti iz telesa, če bi bilo le to izolirano

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} \approx 0,5 \frac{K}{h}$$

NAČINI ODDAJANJA TOPLOTE

- S SEVANJEM (sevanje “črnega” telesa)
- S KONVEKCIJO (prenos toplote z enega mesta na drugo z gibanjem ogrete snovi - zrak, ki se nad kožo segreje, se dvigne in nadomesti ga hladnejši zrak)
- S PREVAJANJEM (povzroča ga gradient temperature)
- Z IZHLAPEVANJEM (odvisna predvsem od relativne vlažnosti okolice)
- Z DIHANJEM, Z IZTREBKI, Z URINOM

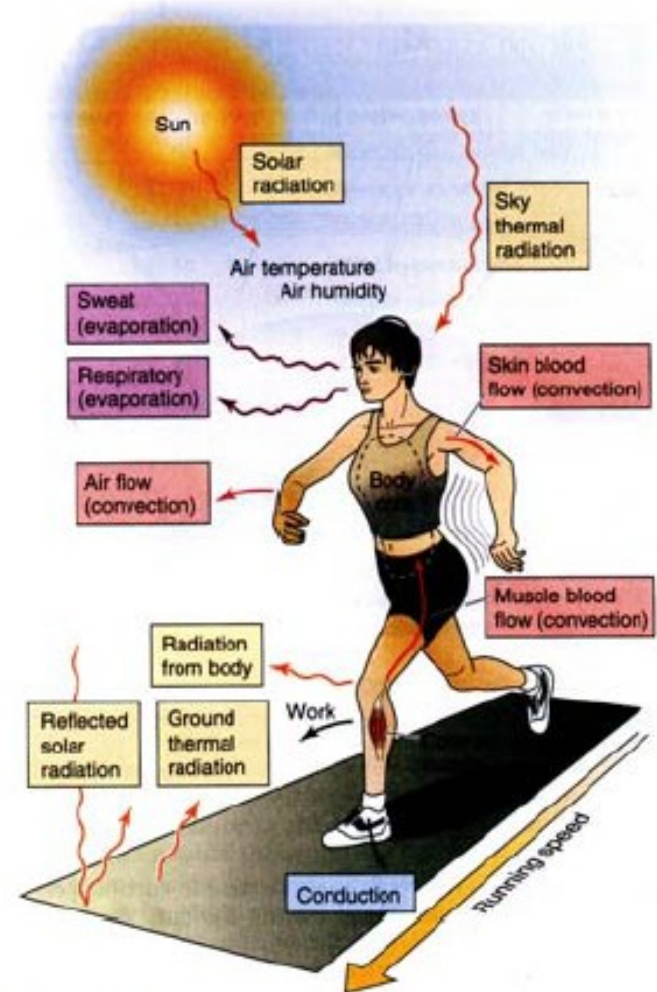


FIGURE 58-2. Model of energy transfer from the body to environment.

SEVANJE ČRNEGA TELESA

Vsa telesa prejemajo toploto in jo oddajajo s sevanjem.

Najboljši sevalci → t.i. ČRNA TELESA (absorbirajo vso vpadlo sevanje)

Slabi sevalci → tisti, ki vso vpadlo sevanje odbijajo
(belo pobarvana telesa)

*Človeško telo dober sevalec, seva kot črno telo

Telesa z dovolj visoko T → oddajajo vidno svetlobo

*Če telo segrejemo na 600K → Rdeča barva

*Če telo segrejemo na 1000K → Rumena svetloba

STEFANOV ZAKON

Izsevana gostota toplotnega (svetlobnega) toka s površine črnega telesa:

$$j = \sigma \cdot T^4$$

- gostota sv. toka je premosorazmerna s četrto potenco T

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \rightarrow \text{Stefanova konstanta}$$

- **V okolju z enako temperaturo je sevanje, ki ga telo oddaja, v ravnovesju s sevanjem, ki ga telo prejema od okolice**
- **Če se telo nahaja v okolici z drugačno temperaturo (sevanje v okolici ni zanemarljivo), lahko izračunamo bilanco toka:**

$$P = \sigma \cdot S \cdot (T^4 - T_0^4)$$

T - T telesa

T_0 - T okolice

- $T_0 < T$ **telo izseva več toplote, kot jo prejme**
- $T_0 > T$ **telo izseva manj toplote, kot jo prejme**

SPEKTER ČRNEGA TELESA

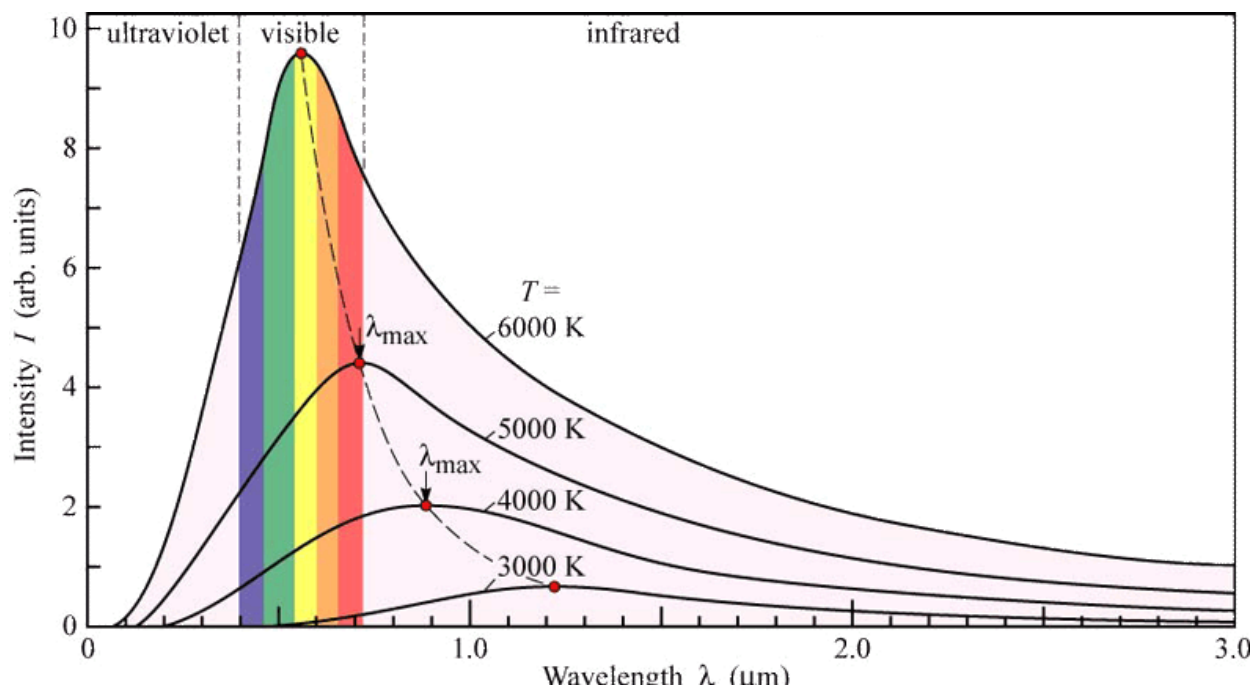
Planckov zakon – oblika spektra!

Wienov zakon - povezuje temperaturo in valovno dolžino, pri kateri spekter doseže maksimum:

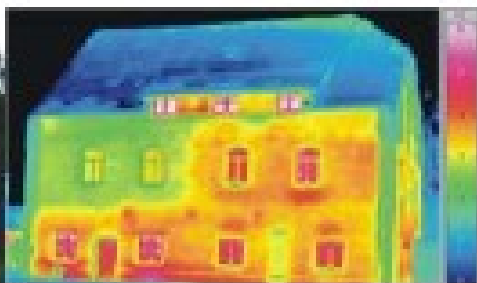
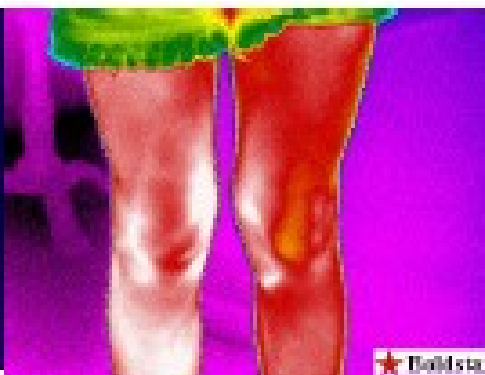
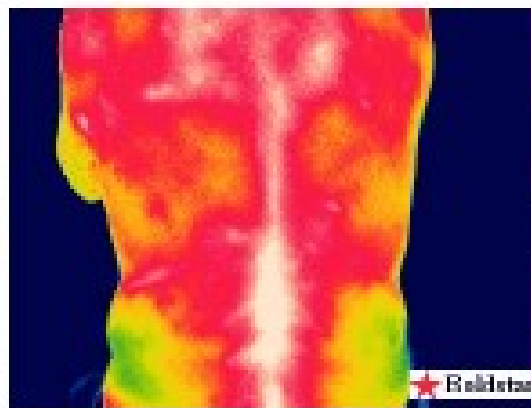
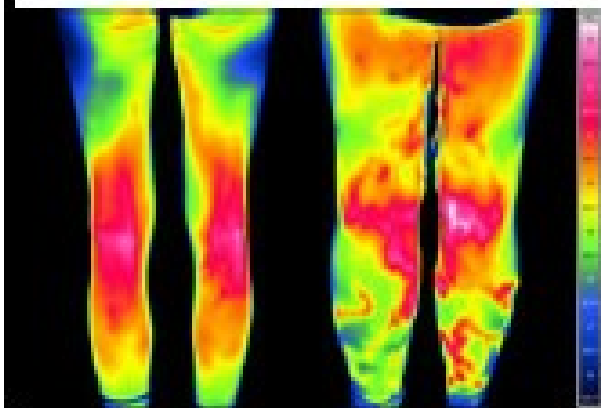
$$\lambda_m \cdot T = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ mK (Wienova konstanta)}$$



meter Kelvin!!



TERMOGRAFIJA - DRUGI PRIMERI V MEDICINI IN TEHNIKI



KONVEKCIJA

•konvekcija zaradi toka krvi:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = 14,5 S \sqrt{v} \Delta T$$

• S je površina kapilar: $\sim 160 \text{ m}^2$

• v je povprečna hitrost krvi v kapilarah: \sim nekaj mm/s

•konvekcija na površini kože: $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = LS(T - T')$

• L znaša pri mirnem ozračju $9,6 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{hK})$ (vrednost odvisna od hitrosti zraka)

• S je efektivna površina kože

KONVEKCIJA

	Dejanska temperatura (°C)						
	30	20	10	0	-10	-20	-30
Hitrost vetra (m/s)	Ekvivalentna temperatura (°C)						
2	30	20	10	0	-10	-20	-30
5	29	17	5	7	-19	-31	-43
10	29	15	1	-13	-27	-40	-54
15	29	14	-1	-16	-30	-45	-60
20	28	13	-2	-17	-32	-48	-63

PREVAJANJE

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kS \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

SNOV	PREVODNOST (W/cmK)
Zrak	0,0002388
H ₂ O (20°C)	0,0058615
Cu	4,1449320
Tkivo	0,0020093
Krznolpuh	0,0000419

Tabela 10. Prikaže nekaj različnih prevodnosti merjenih v W/cmK

- prispeva zelo majhen delež, če smo oblečeni
 - do izraza pride pri neposrednem stiku s hladno okolico (hladna kopel, stik podplatov s hladnimi tlemi ali rok s hladnimi predmeti)

IZHLAPEVANJE - EVAPORACIJA

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\Delta m}{\Delta t} q_i$$

- $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ je hitrost izločanja znoja
- q_i - je izparilna toplota vode = 2,24 MJ/kg

DIHANJE

- z dihanjem oddamo približno 15 % vse toplote

FAKTORJI, KI VPLIVAJO NA ODDAJANJE TOPLOTE

•KOLIČINA ODDANE TOPLOTE JE ODVISNA OD:

•TOPLOTNE IZOLIRANOSTI TELESA,

•FIZIČNE AKTIVNOSTI,

•TEMPERATURE OKOLICE,

•VLAŽNOSTI,

•GIBANJA ZRAKA.

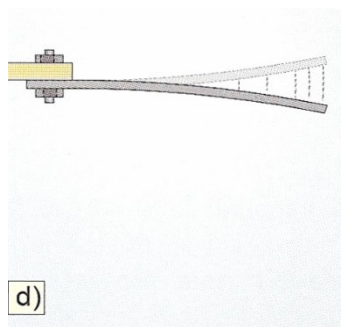
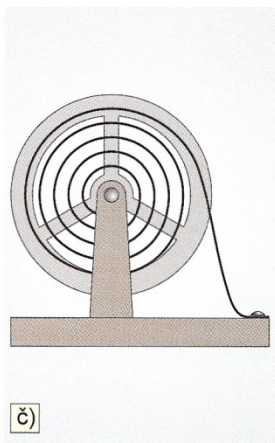
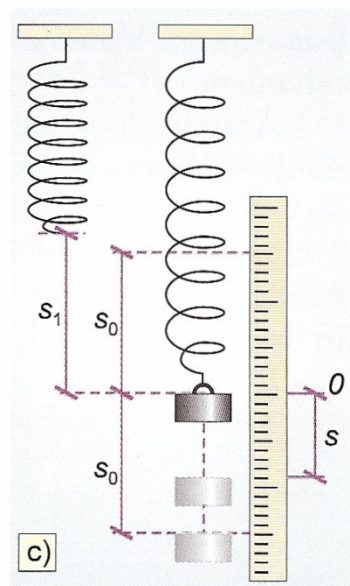
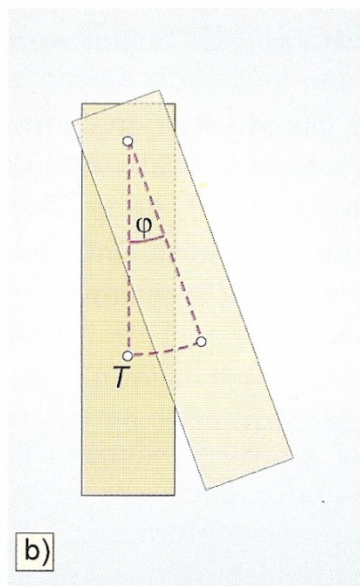
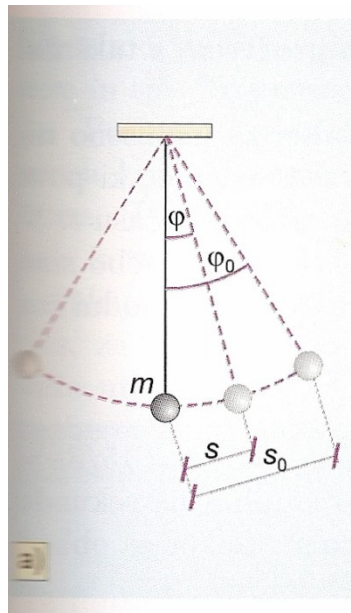
V preglednici 10 so podane izmerjene procentualne vrednosti za oddajane toplote z opisanimi načini, pri določenih pogojih.

Preglednica 10.

	Študiranje pri 22 °C	sončenje pri 32 °C	sprehajanje pri -18 °C
oblečeni del telesa	85%	15%	95%
oddan toplotni tok	170W	400W	400W
delež oddane toplote:			
s sevanjem	21	8	8
s prevajanjem in konvekcijo	67	10	50
z izparevanjem	10	80	2
z dihanjem	2	2	40

NIHANJE

- Nihanje je enakomerno ponavljajoče se oziroma periodično gibanje.
- V vsakdanjem življenju se srečujemo s številnimi nihali.
- Nihajo lahko viseča telesa, ko jih izmaknemo iz ravnovesne lege, gugalnice, nihajna vrata, strune, električni naboji...
- Obravnavali bomo harmonična nihanja, kjer se odmik spreminja s časom sinusno.



Razna nihala:

a) in b) težni nihali, c) nihalo na vijačno vzmet (pri 0 je ravnovesna lega uteži), i) nihalo na polžasto vzmet, d) vpet jeklen trak.

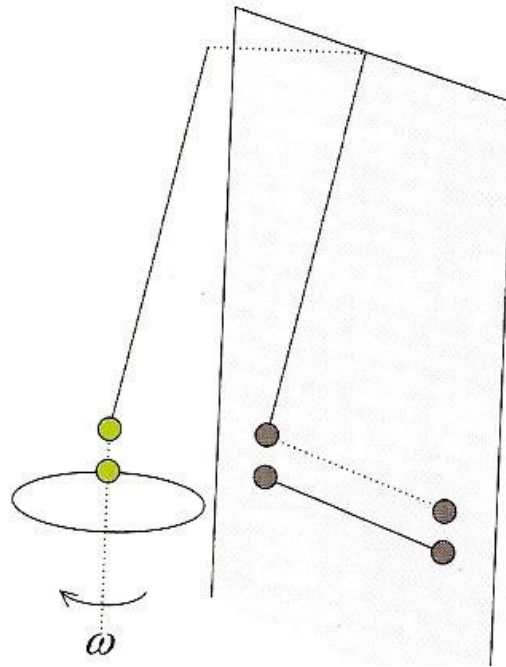
Osnovni pojmi:

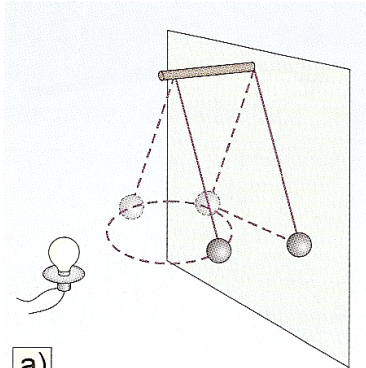
- Nihaj – pot, ki jo naredi nihajoče telo iz ene skrajne lege v drugo in nazaj
(N – število nihajev)
- Nihajni čas (t_0) – čas enega nihaja
- Frekvenca – število nihajev na časovno enoto
- Amplituda (s_0) - maksimalni odmik od ravnovesne lege

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{t_0} \left[\frac{1}{s} = Hz \right]$$

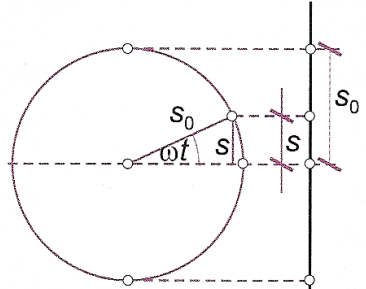
ODMIK NIHAJOČEGA TELESA

- Pri obravnavi nihanja si pomagamo s pravokotno projekcijo kroženja:

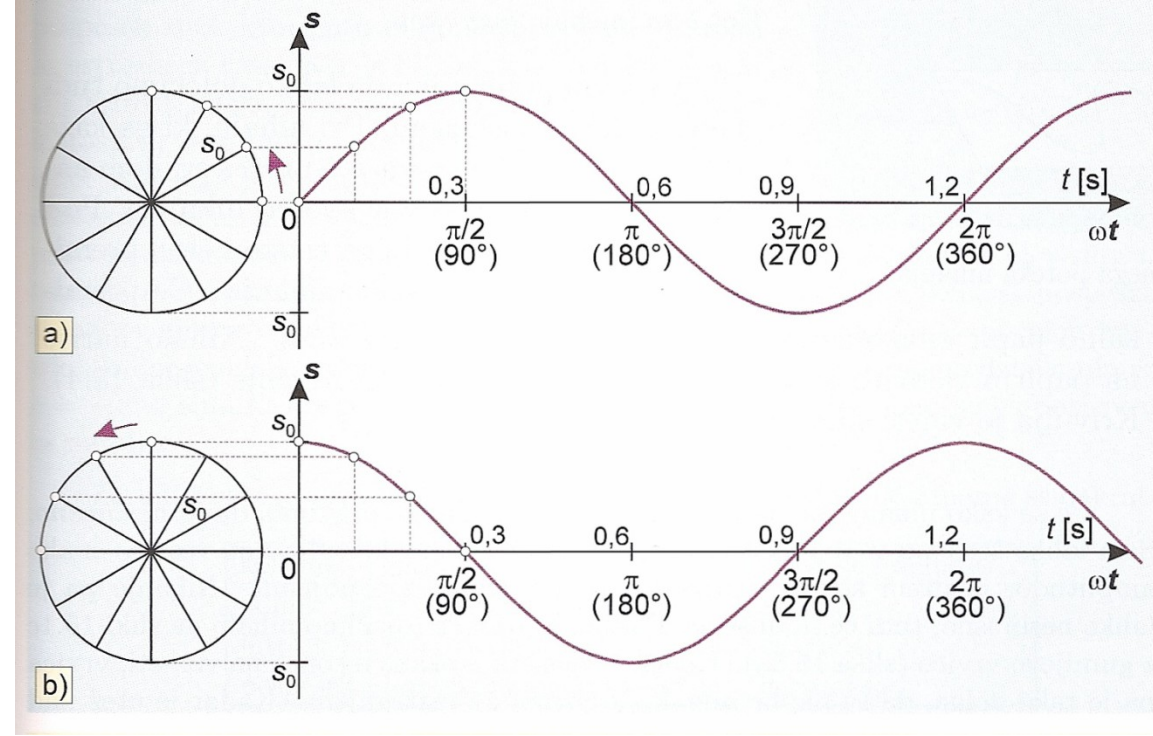
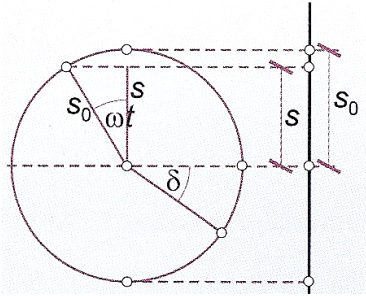




a)



b)



Grafa funkcij: $s = s_0 \sin \omega t$

in : $s = s_0 \cos \omega t$

Maksimalna hitrost in maksimalni pospešek pri nihanju:

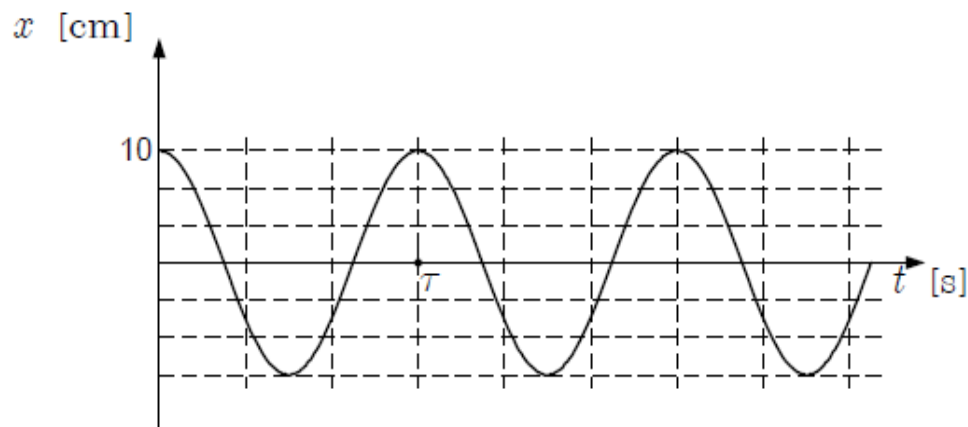
$$v_0 = s_0 \cdot \omega$$

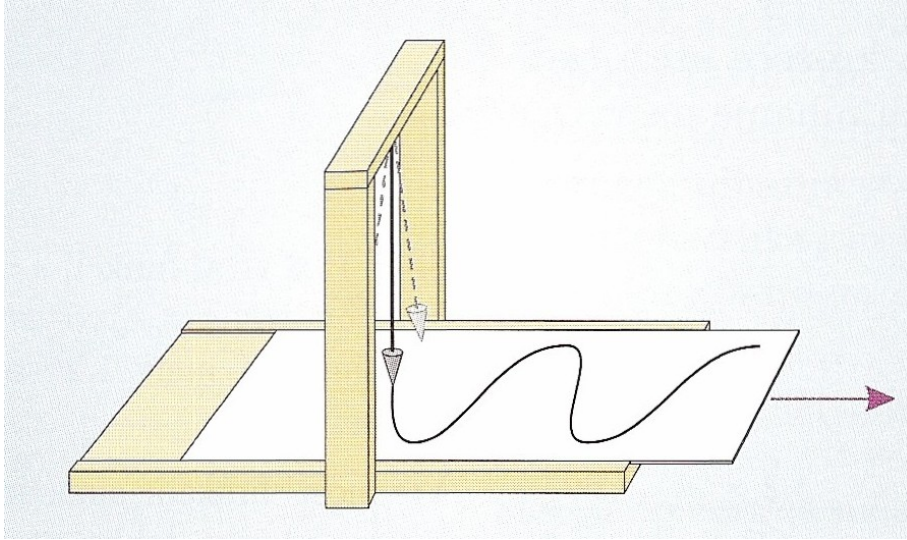
$$\omega = 2\pi\nu$$

$$a_0 = -s_0 \cdot \omega^2$$

Spodnji graf kaže časovno odvisnost odmika nihala od njegove ravnovesne lege. Kaj velja za hitrost in pospešek nihala v trenutku, ki je na grafu označen s τ ?

- A Hitrost nihala je največja, pospešek nihala je enak nič.
- B Hitrost nihala je nič, pospešek nihala je največji.
- C Hitrost nihala je nič, pospešek nihala je enak nič.
- D Hitrost in pospešek nihala sta največja.





Ugotavljanje časovnega poteka nihanja.

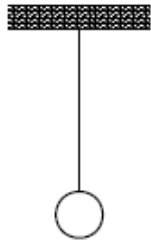
Nihajni čas matematičnega
(nitnega) nihala

$$t_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

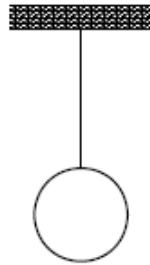
Nihalo na vijačno vzmet:

$$t_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

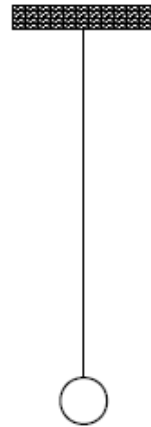
Slika kaže štiri različna nitna nihala.
Katero nihalo ima najdaljši nihajni čas?



A



B



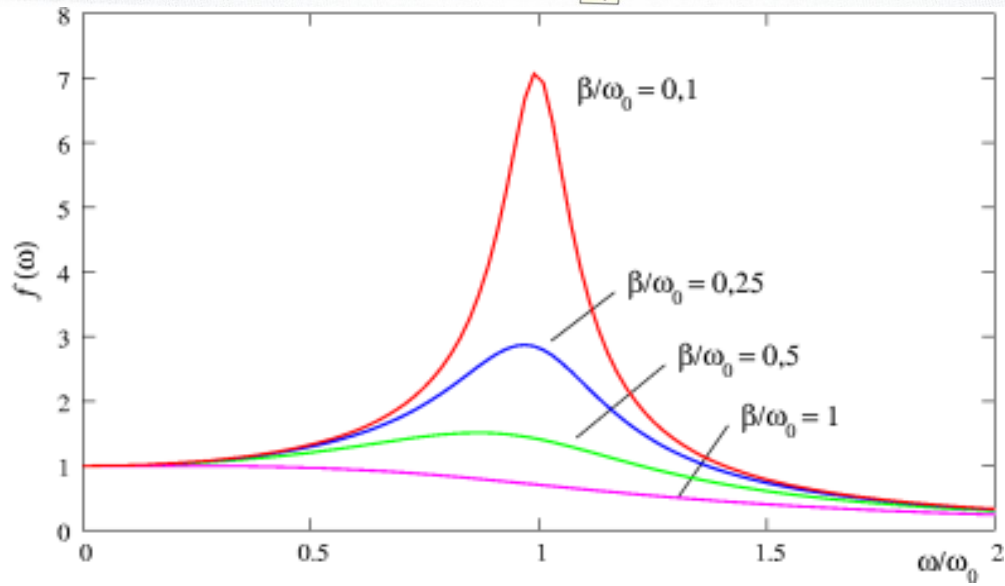
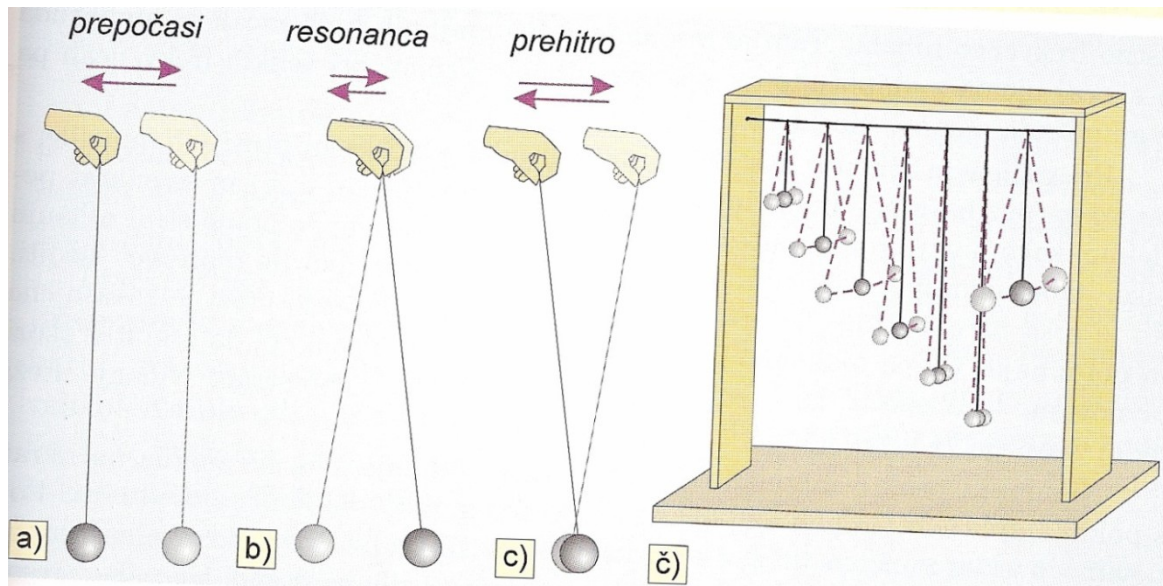
C



D

VSILJENO NIHANJE

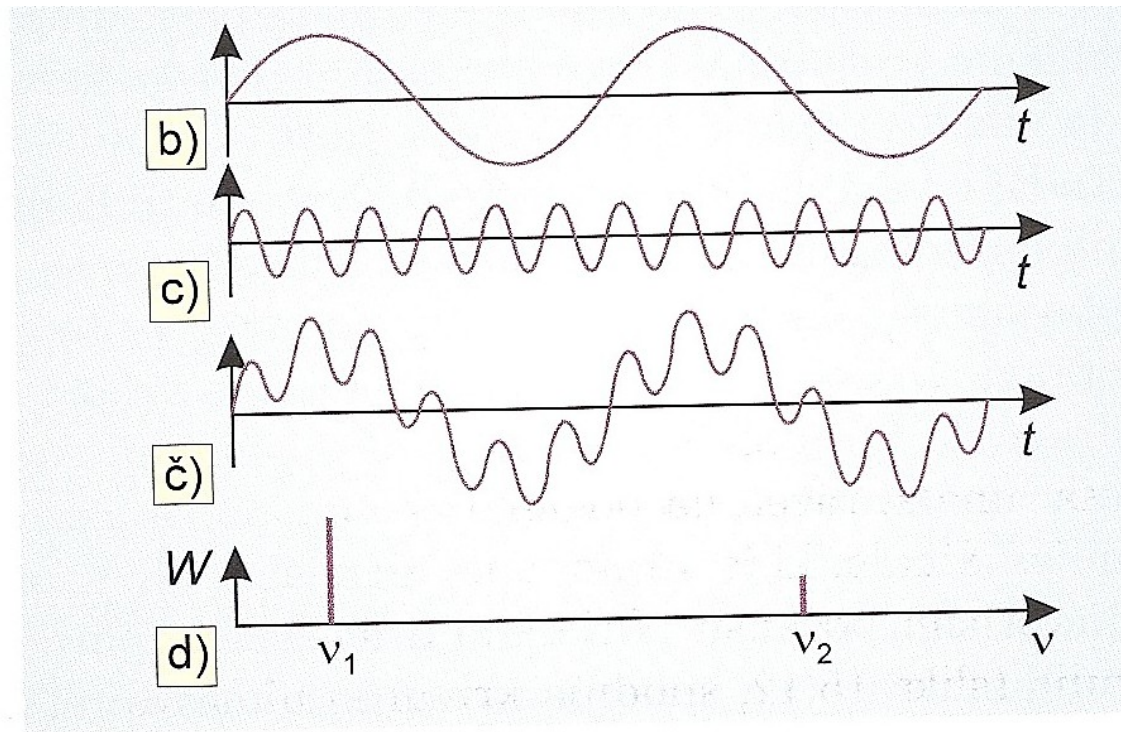
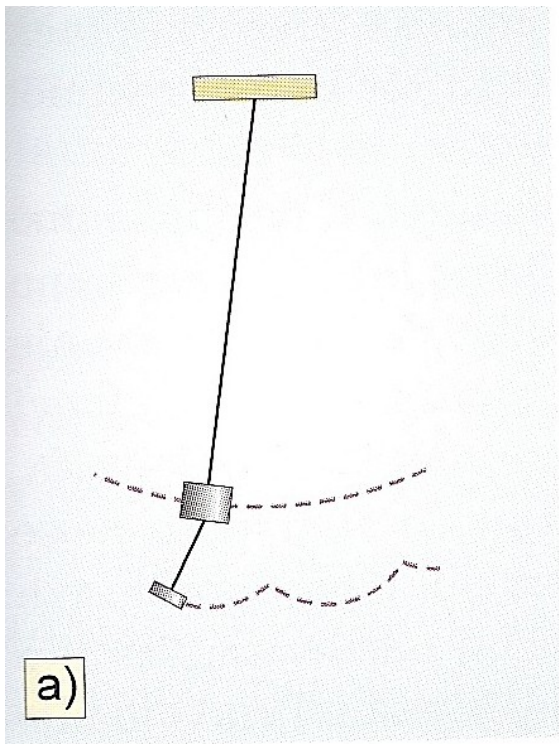
- O vsiljenem nihanju govorimo takrat, kadar nihalu dovajamo energijo.
- Kadar se vsiljena in lastna frekvenca nihala ujemata, nihalo niha z maksimalno amplitudo.
- Pojavu pravimo resonanca.



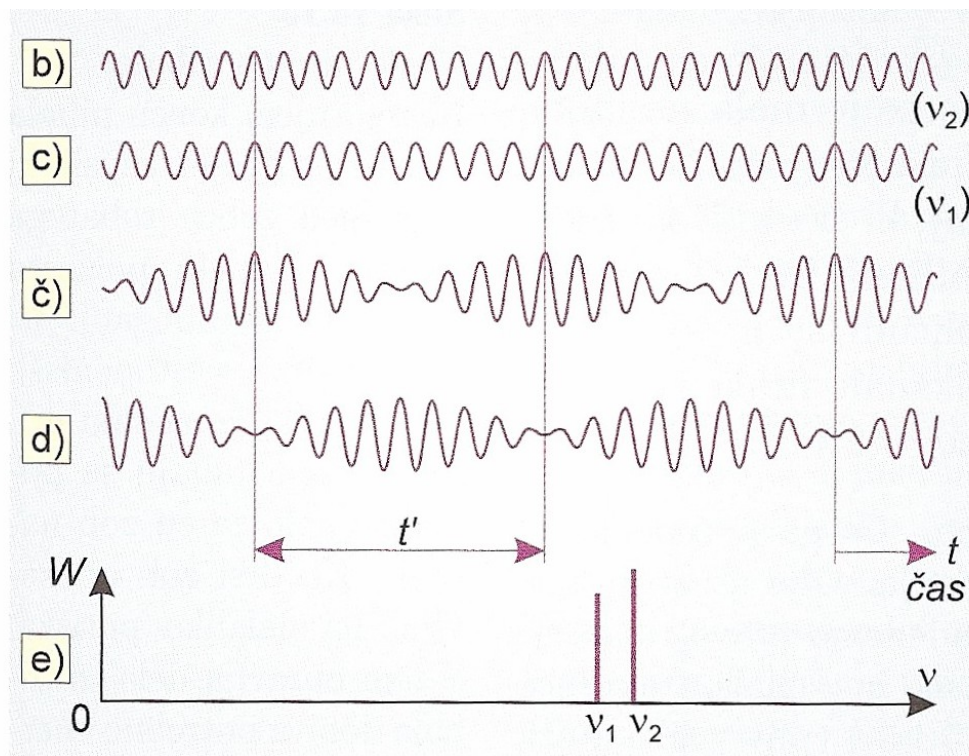
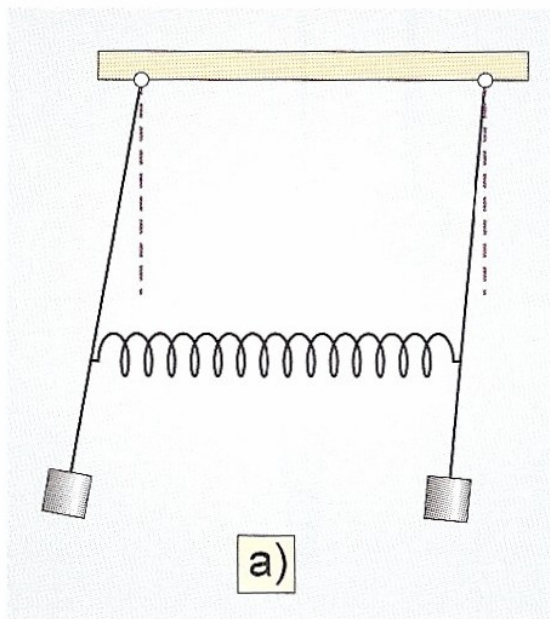
Bioresonanca - ???

V katerem primeru bo nitno nihalo v resonanci?

- A Nihalo je v resonanci, če je amplituda nihala enaka dolžini nihala.
- B Nihalo je v resonanci, če je frekvenca nihanja veliko večja od lastne frekvence nihala.
- C Nihalo je v resonanci, če nihala ne zavira zračni upor.
- D Nihalo je v resonanci, če mu vsiljujemo nihanje s frekvenco, ki je enaka njegovi lastni frekvenci.



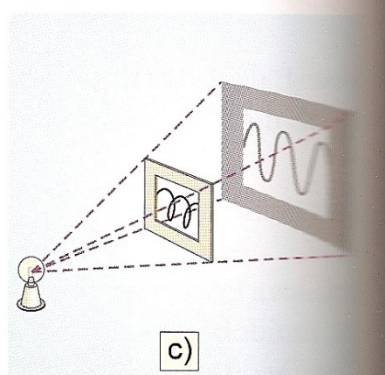
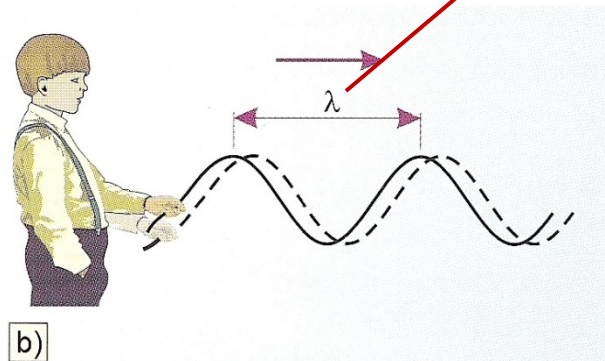
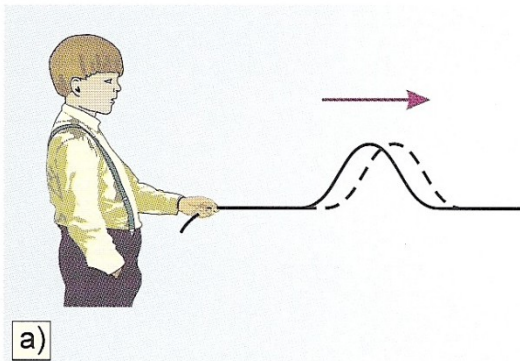
- a) primer sestavljenega nihala
- b) in c) dva načina sinusnega nihanja
- č) nesinusno nihanje tega nihala
- d) spekter tega nihanja



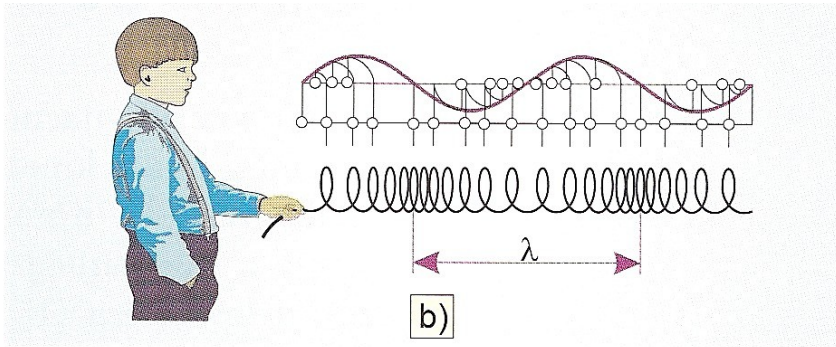
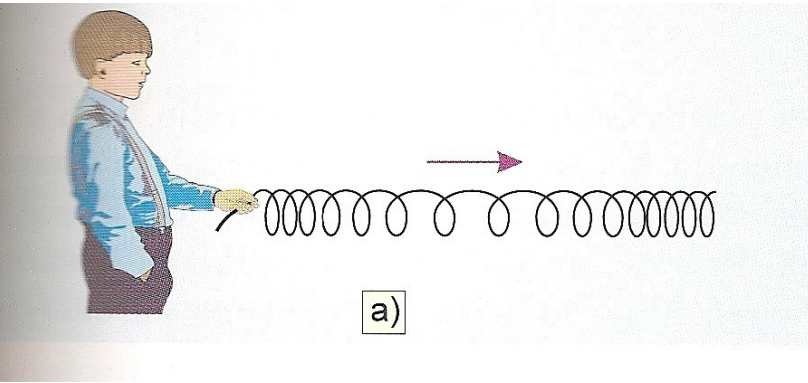
- a) drug primer sestavljenega nihala
- b), c) sinusno nihanje
- č), d) utripajoče nihanje
- e) spekter tega nihanja

VALOVANJE; ZVOK IN SVETLOBA

Nastanek mehanskega valovanja ↗ valovna dolžina!

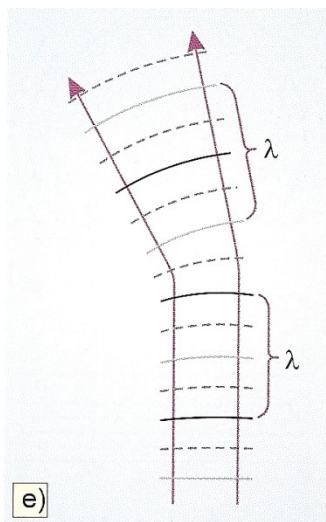
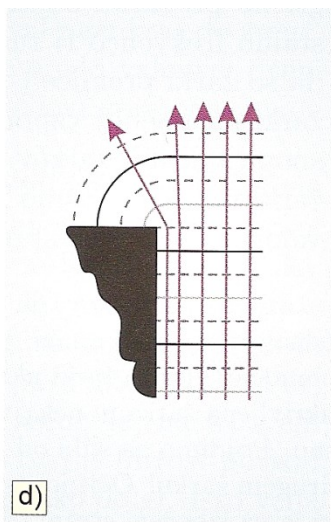
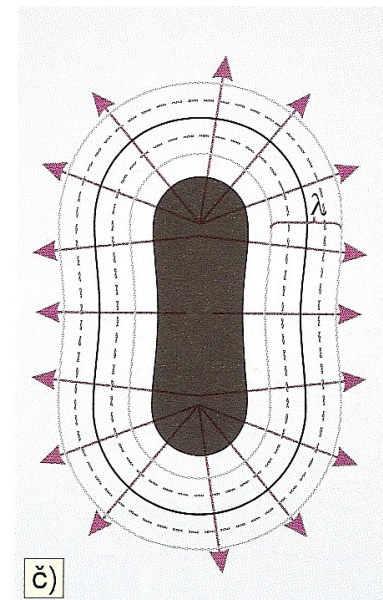
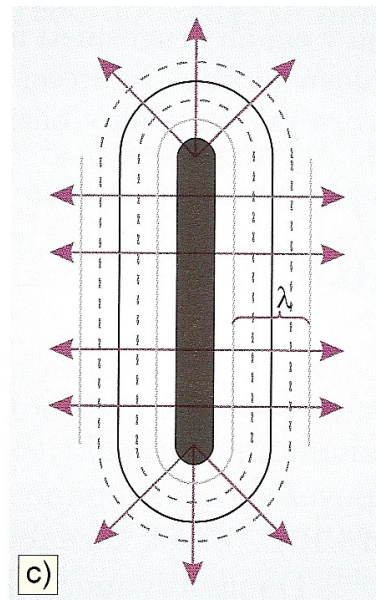
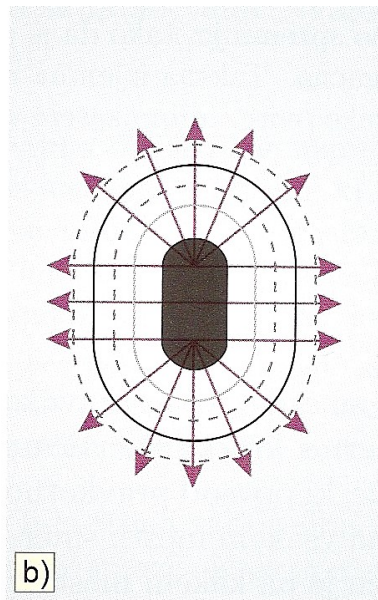
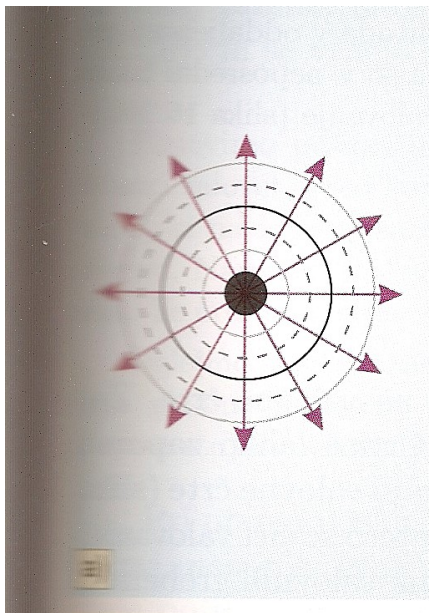


Transverzalno potujoče valovanje



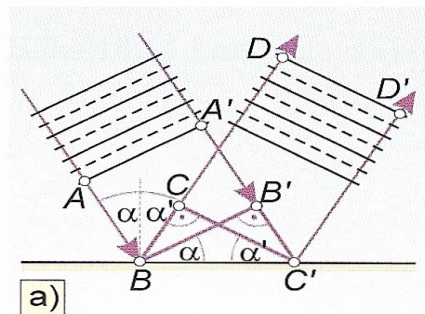
Longitudinalno potujoče valovanje

Valovne črte in žarki:

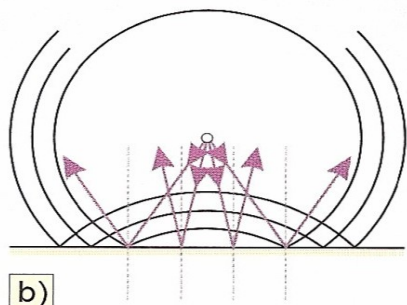


Lastnosti valovanja

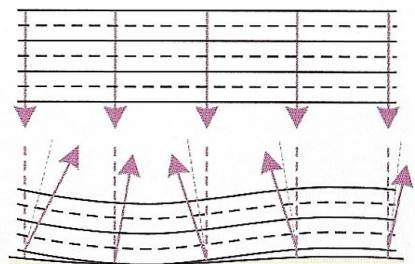
Odboj valovanja



a)

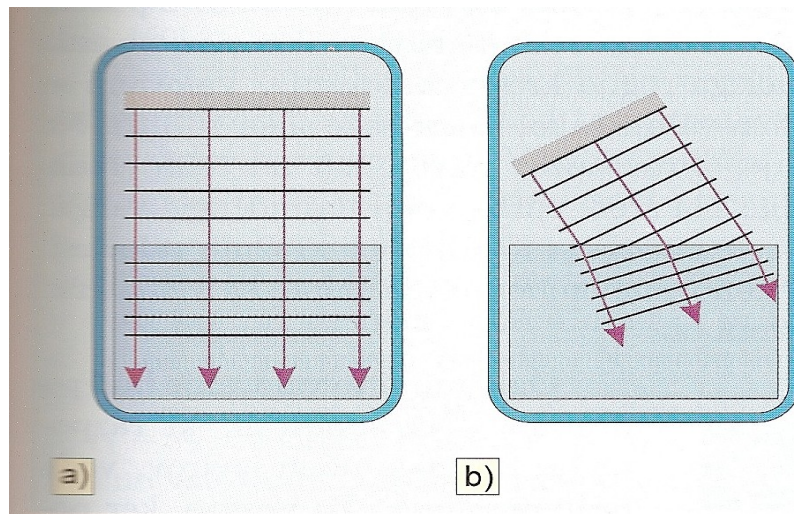


b)



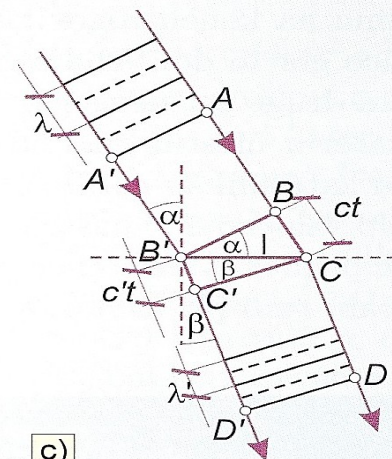
c)

Lom valovanja



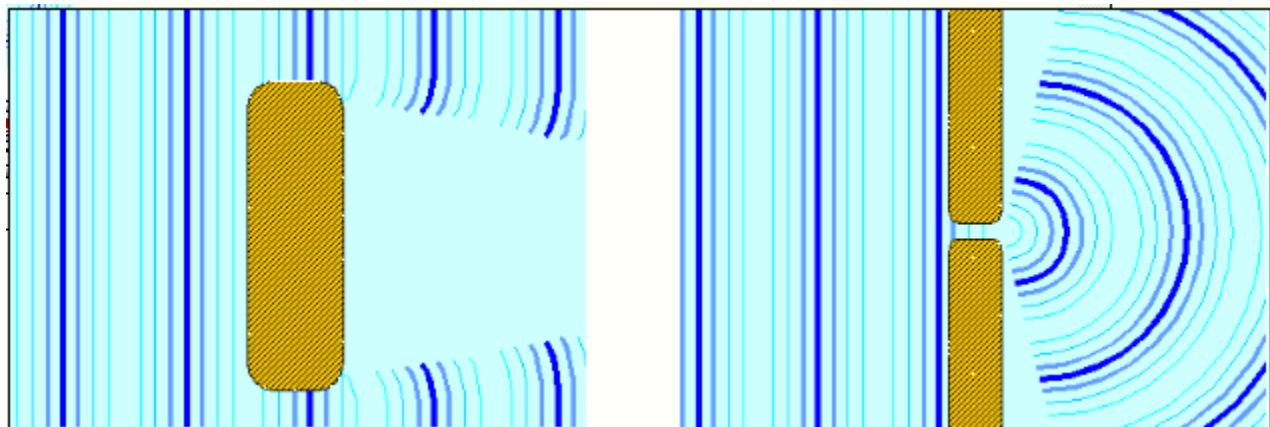
a)

b)



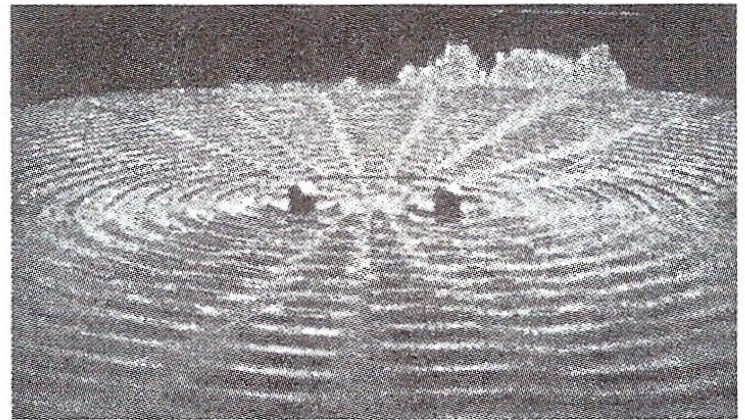
c)

Uklon valovanja

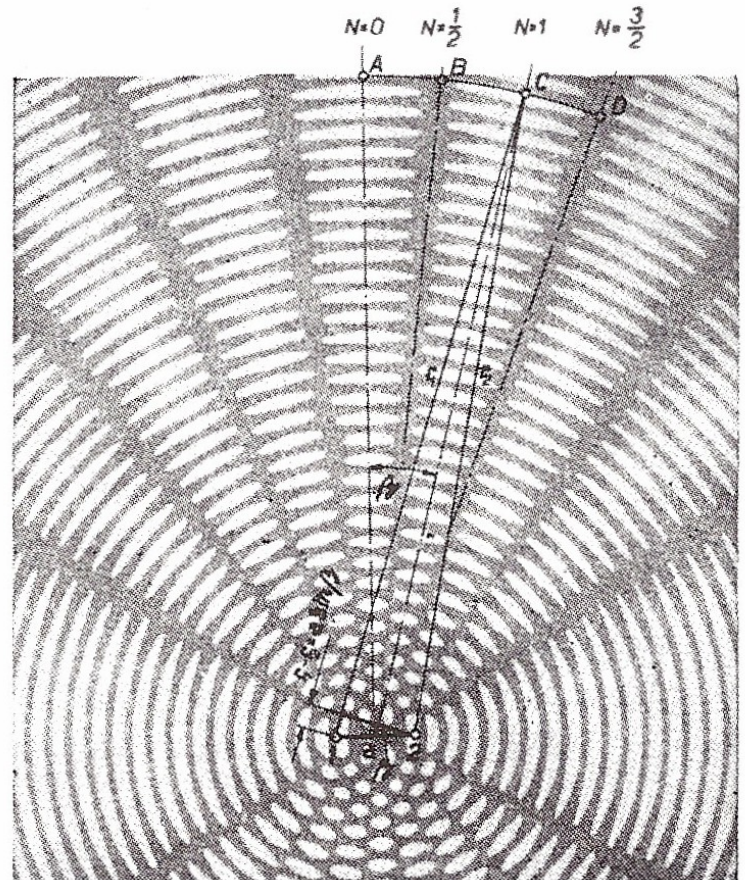


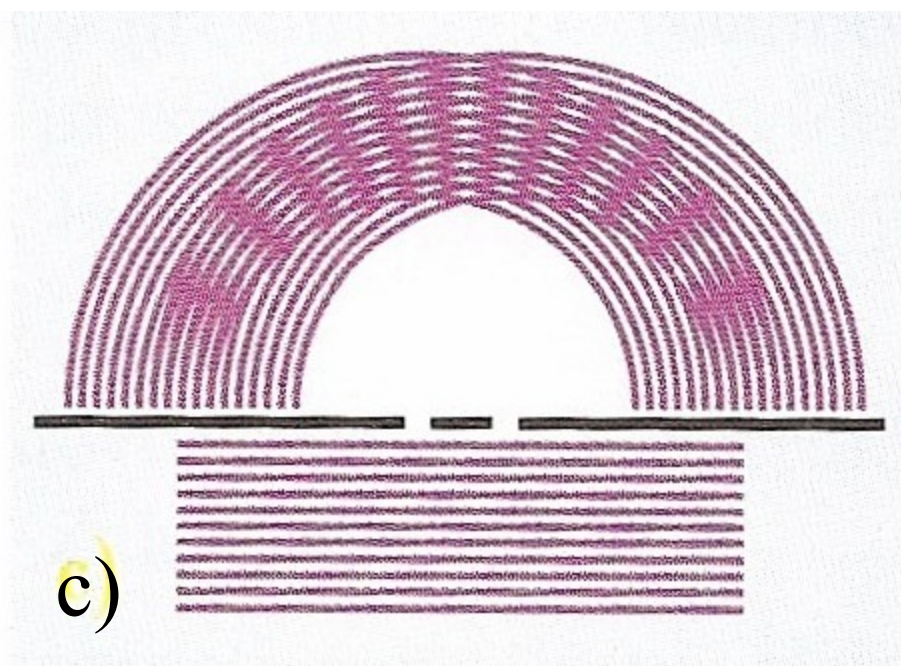
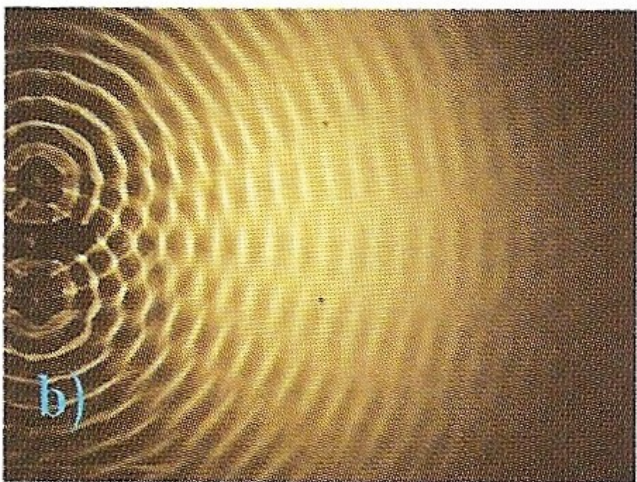
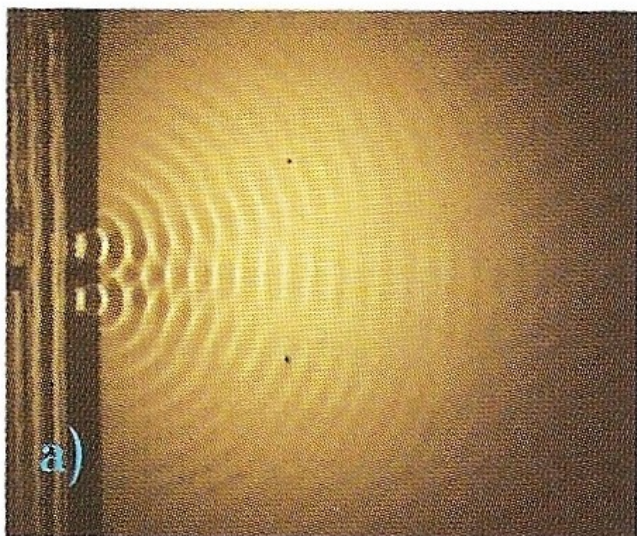
a)

Interferenca valovanj iz dveh sočasno nihajočih točkastih izvirov.



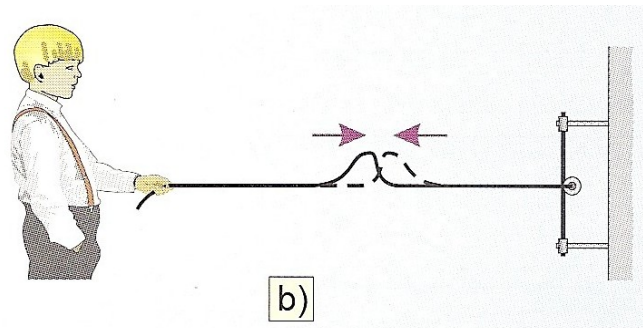
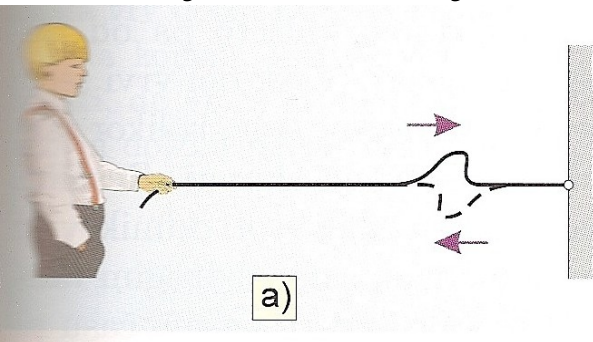
b)



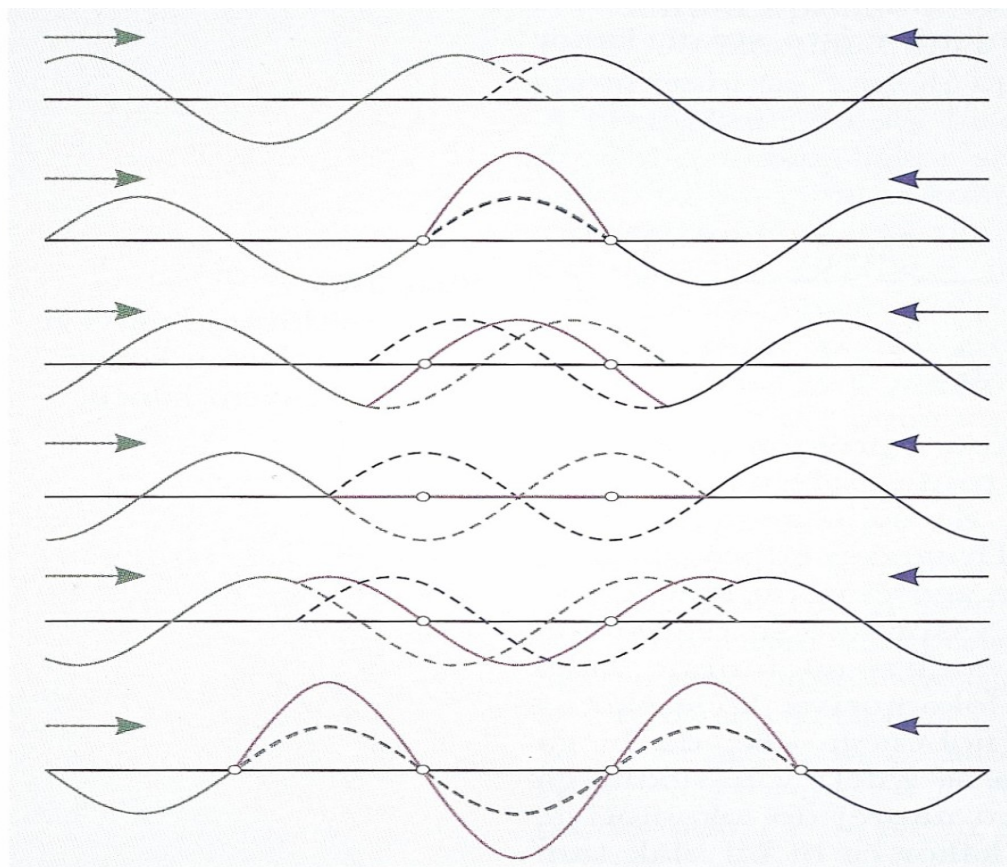
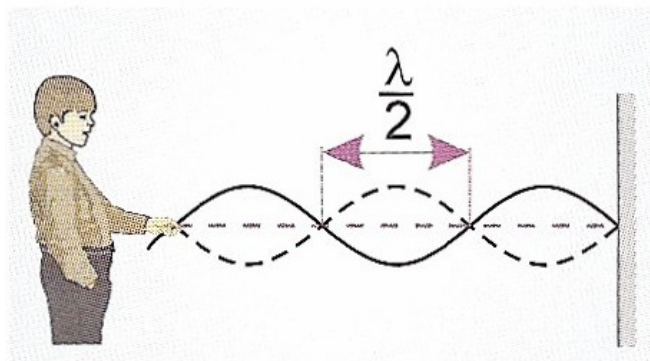


a), c) Prehod valovanja skozi dve odprtini,
b) valovanje pri dveh izvirih.

Stoječe valovanje vrvi



Odboj valovanja na vrvi:
a) na pritrjenem koncu,
b) na gibljivem koncu.



Nastanek stoječega valovanja iz dveh potujočih

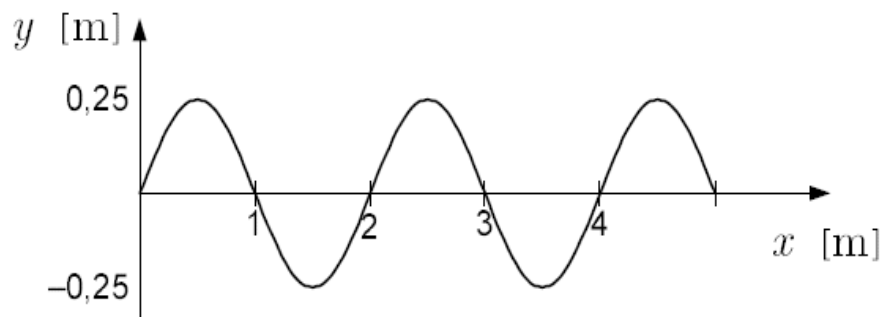
Risba kaže trenutno sliko sinusnega valovanja na vrvi. Kolikšni sta amplituda (y_0) in valovna dolžina (λ) tega valovanja?

A $y_0 = 0,50 \text{ m}$, $\lambda = 1,0 \text{ m}$

B $y_0 = 0,25 \text{ m}$, $\lambda = 1,0 \text{ m}$

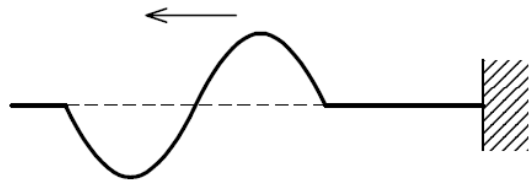
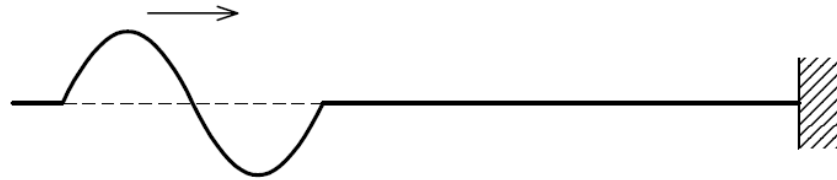
C $y_0 = 0,50 \text{ m}$, $\lambda = 2,0 \text{ m}$

D $y_0 = 0,25 \text{ m}$, $\lambda = 2,0 \text{ m}$

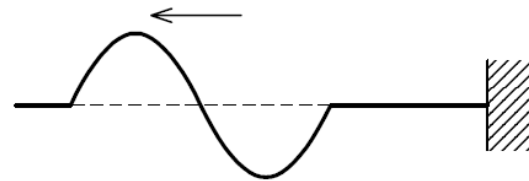


NALOGA:

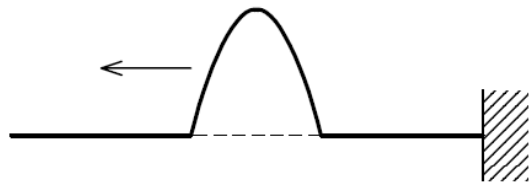
Sinusni val potuje proti pritrjenemu koncu vrvi tako, kakor kaže slika. Katera od naslednjih slik kaže obliko vrvi po odboju vala od stene?



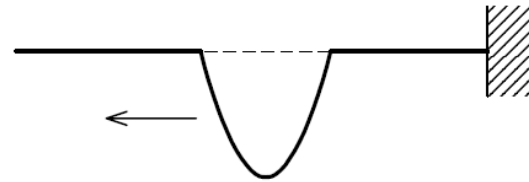
A



B



C

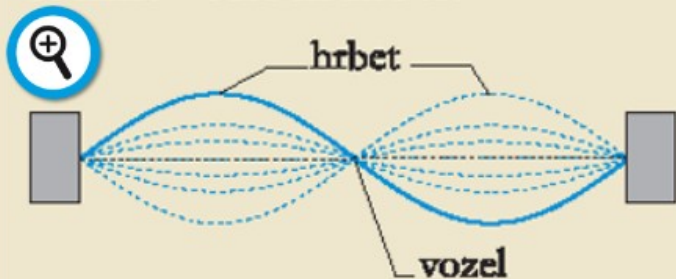


D

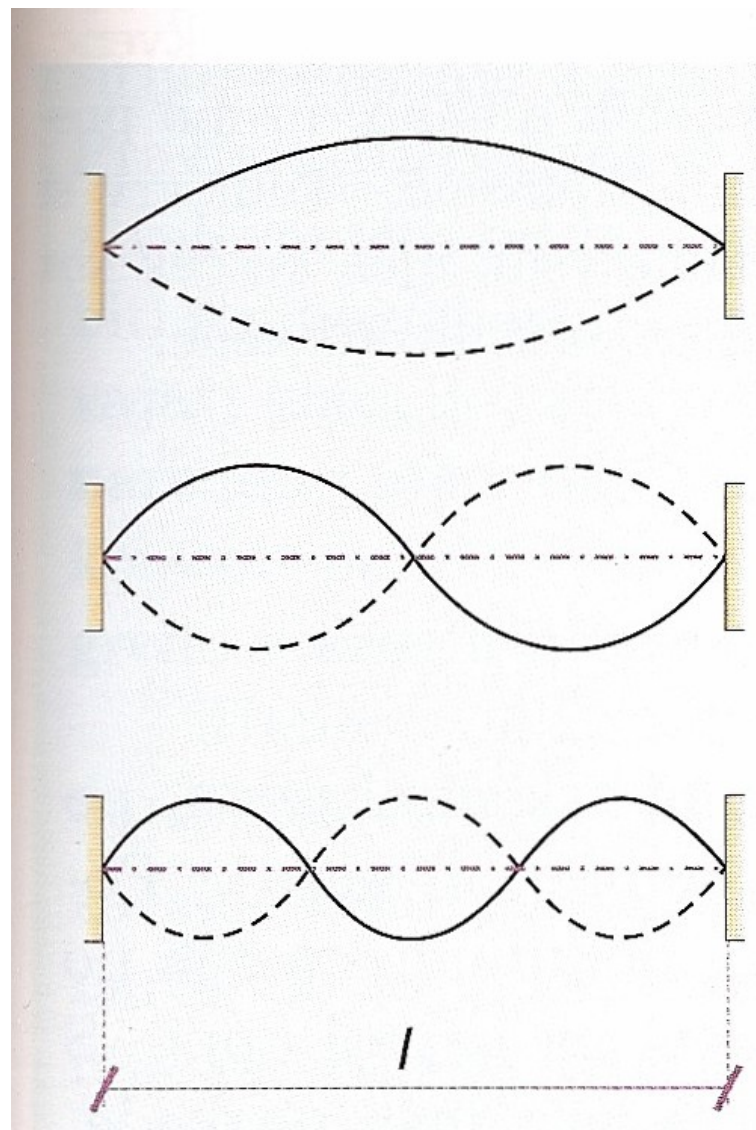
STOJEČE VALOVANJE (npr. na struni)

STOJEČE VALOVANJE

Valovanje, ki nastane s sestavljanjem delnih valovanj, ki potujejo v nasprotni smeri in imajo enako frekvenco. V valovanju ločimo vozle in hrbte.



Slika 6.15: Eno od možnih stoječih valovanj strune.



☉ Struna lahko niha z OSNOVNO frekvenca in VIŠJE – HARMONSKIMI frekvencami (lastne frekvence strune!) – **slika, učbenik, str. 162!**

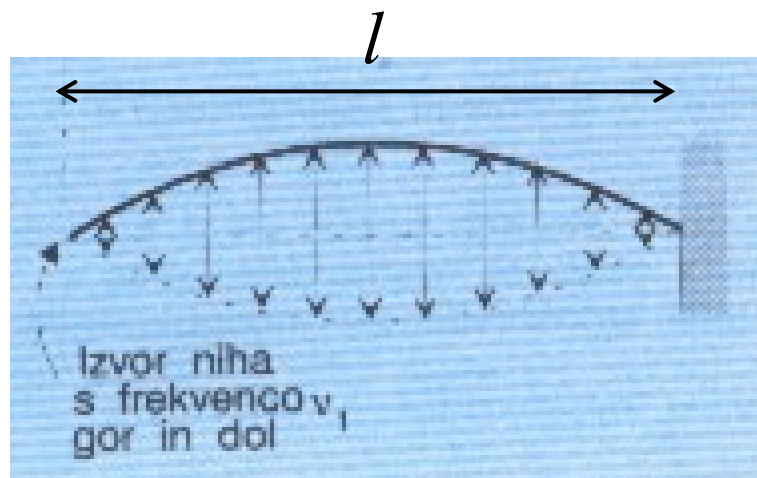
Osnovna frekvenca:

$$l = \frac{\lambda}{2} \quad \lambda = 2l$$

$$v_0 \rightarrow c, l$$

$$c = v_0 \cdot \lambda \quad v_0 = \frac{c}{\lambda}$$

$$v_0 = \frac{c}{2l}$$

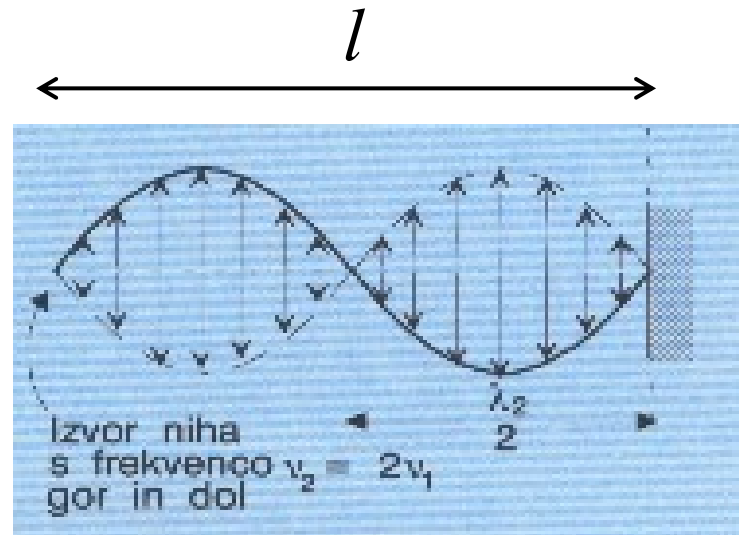


Prva višja harmonska frekvenca:

$$l = \lambda_1$$

$$v_1 = \frac{c}{\lambda_1} \quad v_1 = \frac{c}{l}$$

$$v_1 = 2 \cdot v_0$$



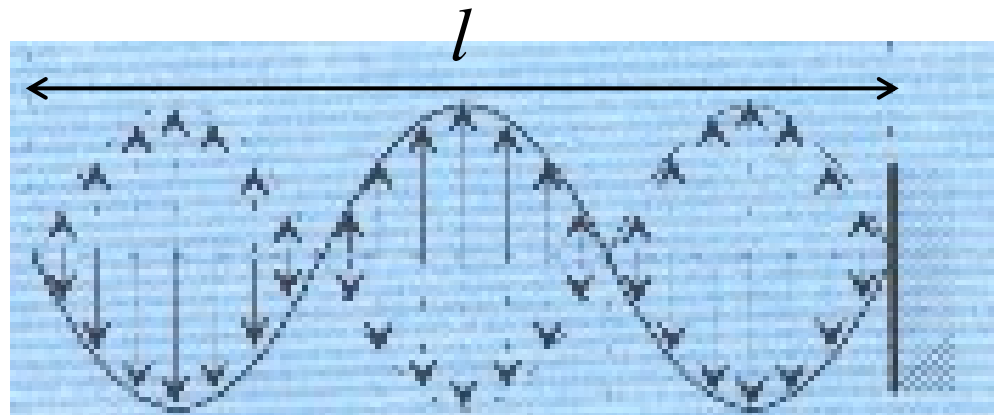
Druga višja harmoniska
frekvencija:

$$v_2 = \frac{c}{\lambda}$$

$$v_2 = \frac{3c}{2l}$$

$$v_2 = 3 \cdot v_0$$

$$v_0 : v_1 : v_2 = 1 : 2 : 3$$



$$\lambda = \frac{2}{3} \cdot l \quad l = \frac{3\lambda}{2}$$

FIZIKA

Predavanja

2. del : **Valovanje: zvok in svetloba**

Valovanje - zvok in svetloba

Zvok:

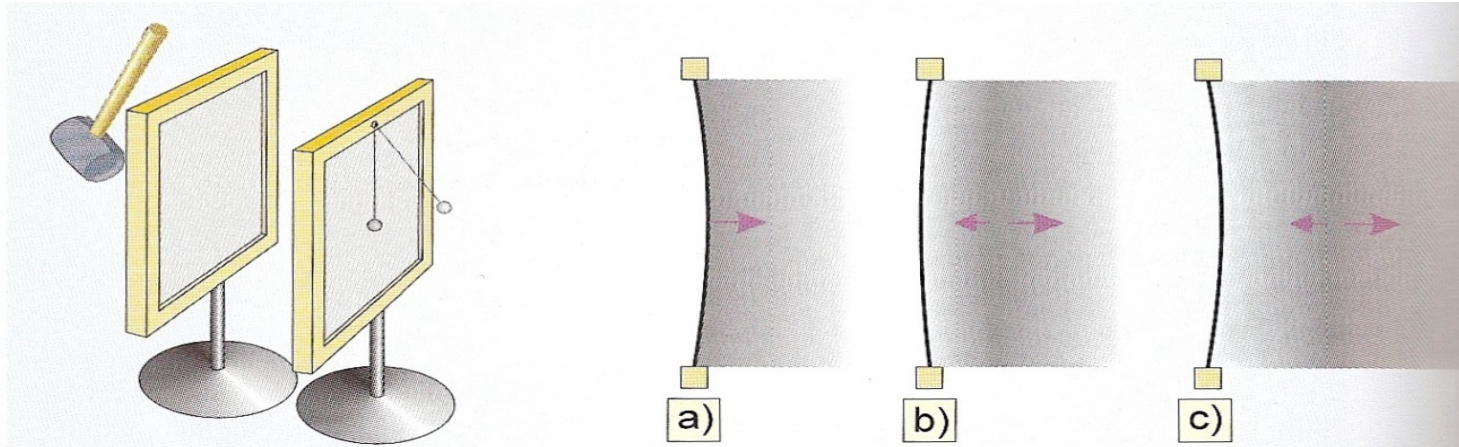
- osnovne fizikalne zakonitosti
- uporaba v diagnostiki in terapiji

Svetloba:

- osnovne fizikalne zakonitosti
- uporaba v diagnostiki in terapiji

Zvok

Je longitudinalno (vzdolžno) valovanje, ki se širi v snovi v obliki zgoščin in razredčin.



Nastanek in razširjanje zvoka

Levo: opni kot zvočilo in kot sprejemnik zvoka

Desno: zgoščine in razredčine pred opno ob različnih trenutkih

- lahko se širi samo v snovi
- hitrost zvoka je odvisna od stisljivosti snovi, po kateri se širi, gostote in temperature

Snov	T(°C)	c (m/s)	Snov	T(°C)	c (m/s)
Guma	20	50	Živo srebro	20	1450
Zrak	0	331	Svinec	20	2650
Helij	0	965	Led	0	3300
Vodik	0	1284	Medenina	20	3500
Morska voda	17	1530	Jeklo	20	5000
Navadna voda	25	1500	Aluminij	20	5100

•PLIN:

$$c = \sqrt{\kappa \frac{RT}{M}}$$

•TRDNINA:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho\chi}}$$

Hitrost zvoka skozi različne snovi:

Snov	c [m/s]
zrak	330
voda (20°C)	1480
maščoba	1450
kri	1570
mišice	1580
kosti	3500
mehko tkivo (povprečno; voda, kri, mišice)	1540

- Zvok je valovanje, zato zanj veljajo lastnosti valovanja (odboj, lom, uklon, interferenca), razen:

Zvoka se **ne da polarizirati**, ker lahko polariziramo le transverzalno valovanje.

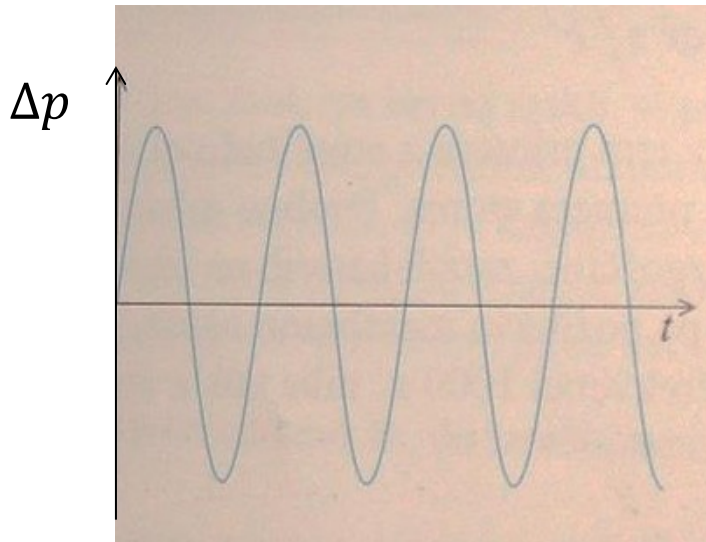
Glede na velikost frekvenc ločimo:

- INFRAZVOK: pod 20 Hz
- **ČLOVEK: 20 Hz – 20 000 Hz**
- ULTRAZVOK: nad 20 000 Hz

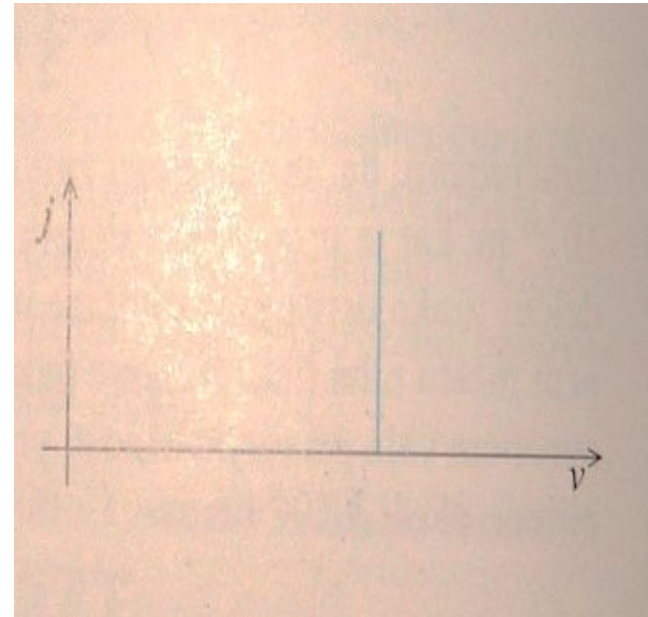
VRSTE ZVOKA

- TON oddajajo glasbene vilice. Gre za sinusno zvočno valovanje.

Časovni graf zvočnega tlaka:



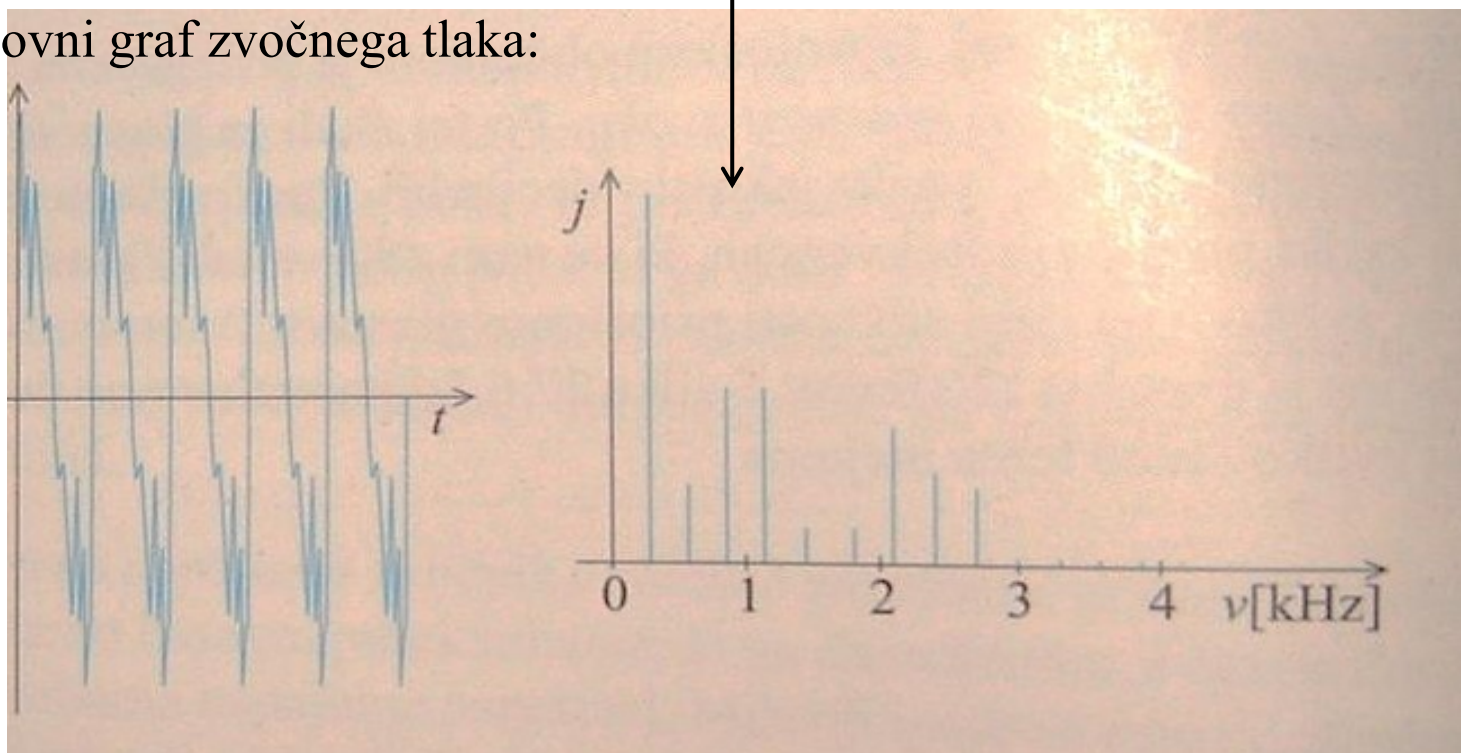
Spekter tona določata frekvenca (ν) in gostota energijskega (zvočnega) toka-**j**:



- ZVEN (več tonov) oddajajo glasbeni instrumenti. Gre za periodično valovanje. Spekter je črtast (osnovni ton + višje harmonični toni).

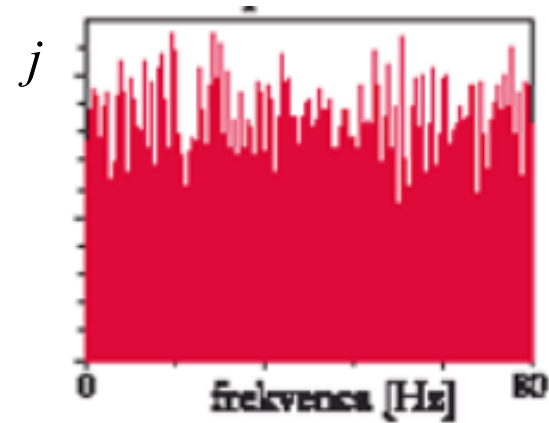
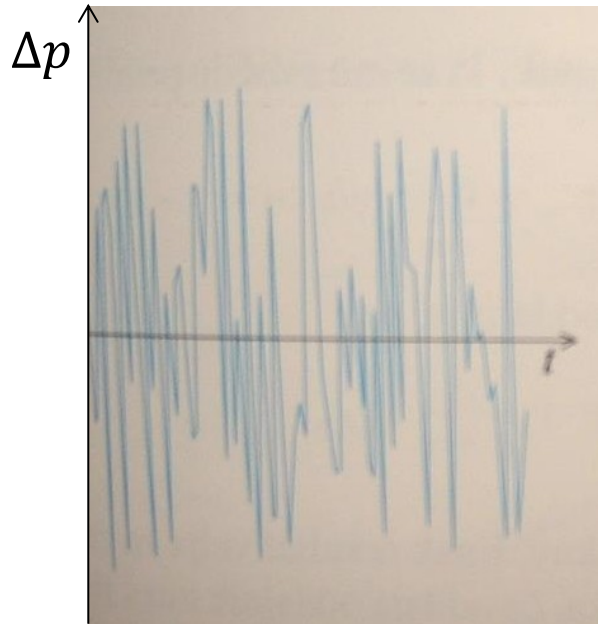
Časovni graf zvočnega tlaka:

Δp



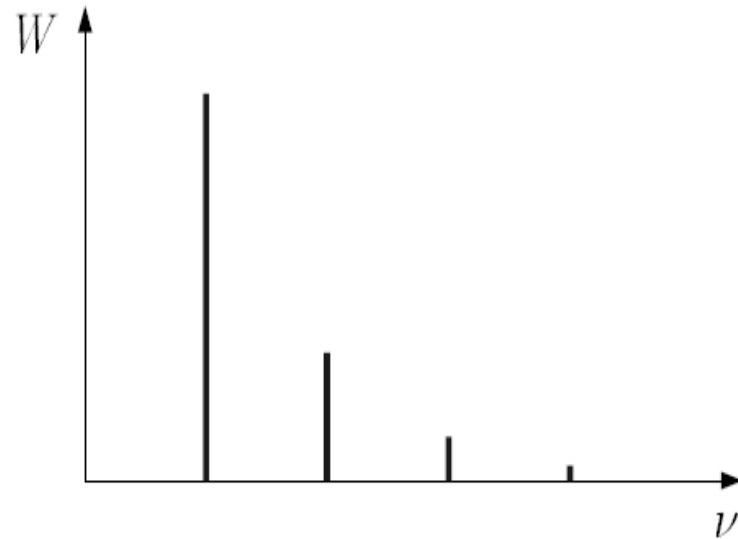
- ŠUM je neperiodičen zvok. **Spekter** je zvezen (frekvence se prelivajo ena v drugo – ne da se jih ostro ločiti).

Časovni graf zvočnega tlaka:

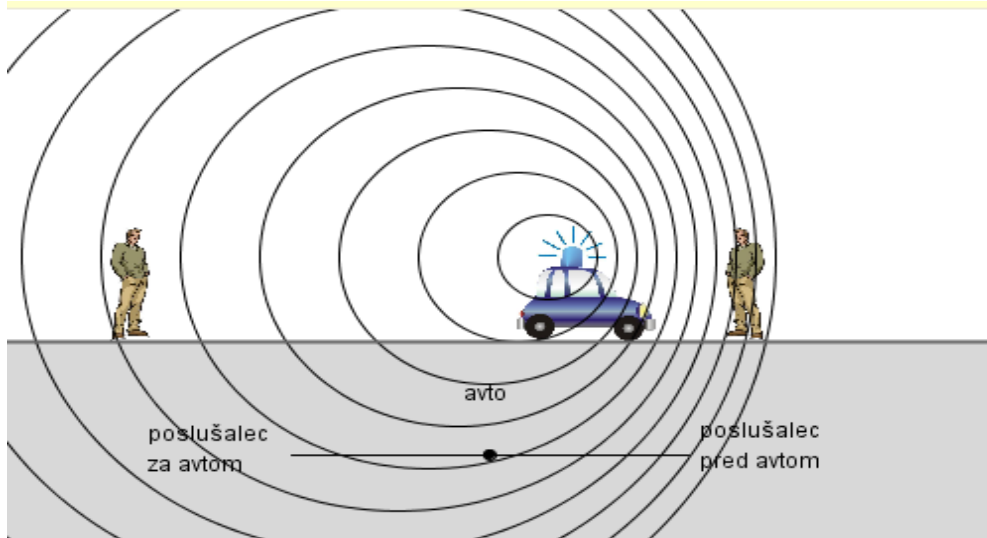


Kakšen zvok predstavlja spekter, ki ga kaže spodnja slika?

- A Ton.
- B Zven.
- C Šum.
- D Pok.



DOPPLERJEV EFEKT



ν frekvenca izvora
 ν' frekvenca sprejemnika
 c hitrost zvoka
 v hitrost
izvora/sprejemnika

Do efekta pride kadar se izvor zvoka giblje, sprejemnik pa miruje ali obratno.

- **Izvor se giblje, poslušalec miruje (vlak!)**

a) izvor se približuje:
$$\nu' = \frac{\nu_0}{1 - \frac{v}{c}}$$

b) izvor se oddaljuje:
$$\nu' = \frac{\nu_0}{1 + \frac{v}{c}}$$

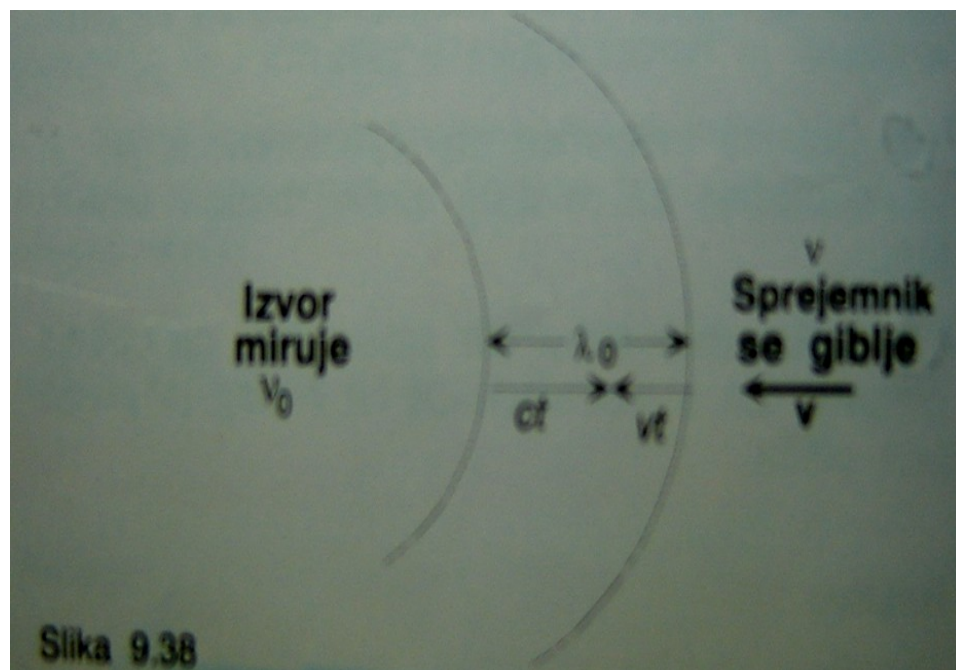
- Izvor miruje, poslušalec se giblje (koncert!)

a) sprejemnik se približuje:

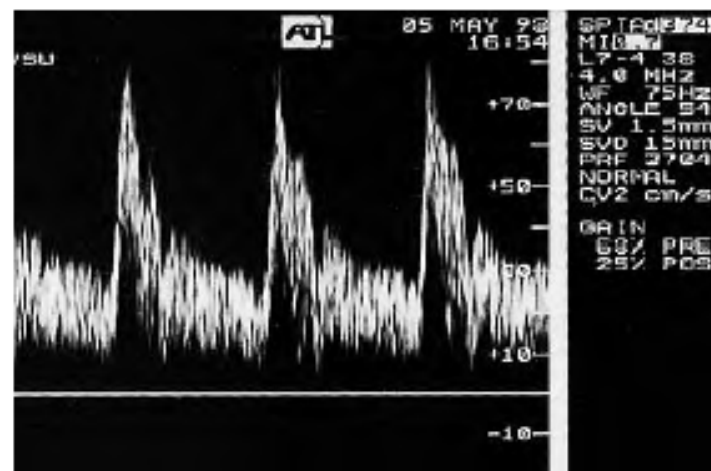
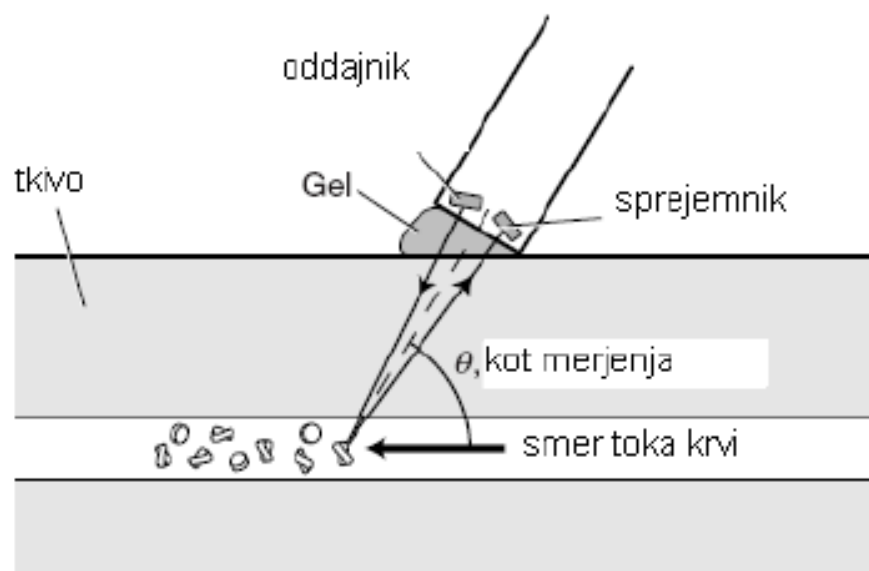
$$v' = v_0 \left(1 + \frac{v}{c} \right)$$

b) Sprejemnik se oddaljuje:

$$v' = v_0 \left(1 - \frac{v}{c} \right)$$



Dopplerjev pojav pri merjenju hitrosti krvi:



- Oddajnik je najprej mirujoči izvor valovanja, krvne celice pa premikajoči se sprejemniki.
- Del ultrazvočnega valovanja se nato odbije od krvnih celic, ki so v tem primeru premikajoči se oddajniki valovanja, sprejemnik pa miruje.
- Pri tem pride dvakrat do Dopplerjevega pojava.

•UPORABA DOPPLERJEVEGA EFEKTA PRI MERITVAH Z ULTRAZVOKOM

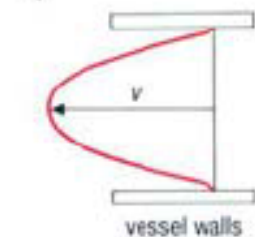
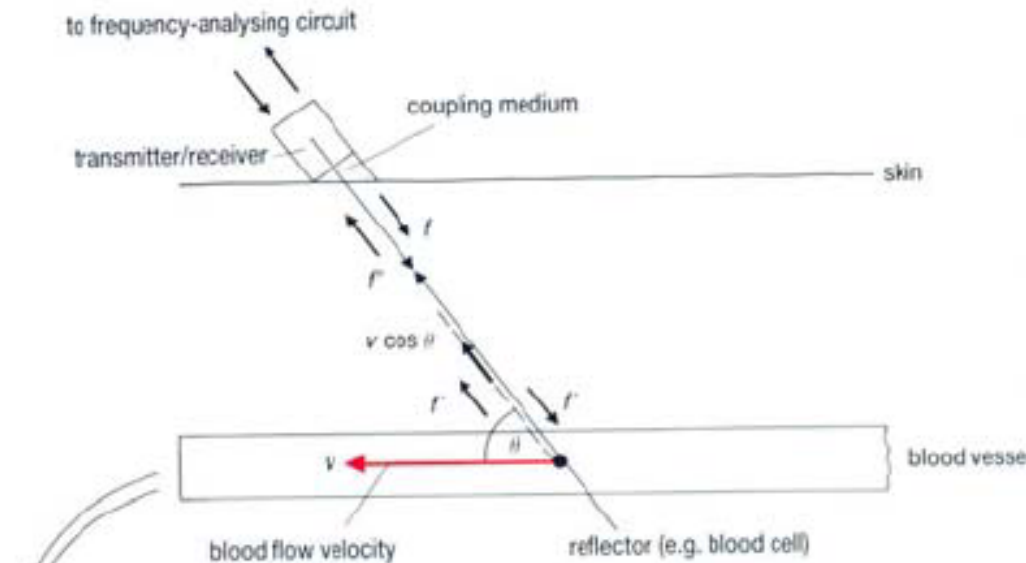


Fig 8.11 Doppler blood flow measurement.

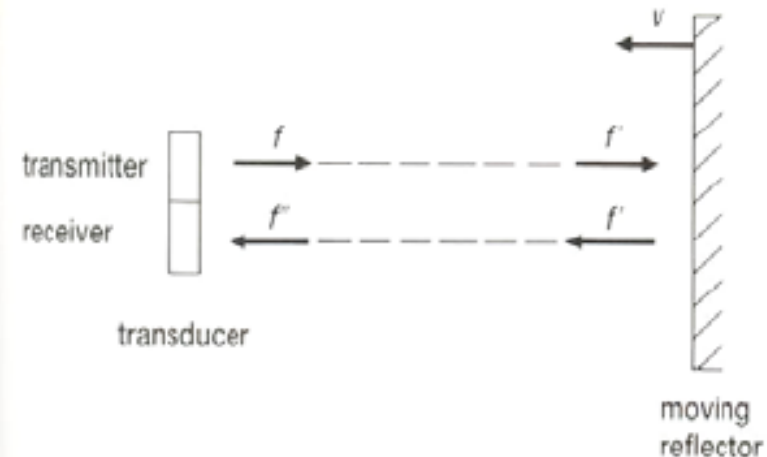


Fig 8.10 Doppler shift from a moving reflector.

$$\Delta f = f - f'' = \frac{2vf \cos \theta}{c}$$

f - frekvenca oddanega UZ

f' - frekvenca UZ, ki jo prejema in hkrati oddaja krvne celice

f'' - frekvenca prejetega UZ

•OBČUTLJIVOST UŠESA IN MEJA SLIŠNOSTI

fon- subjektivna mera za glasnost

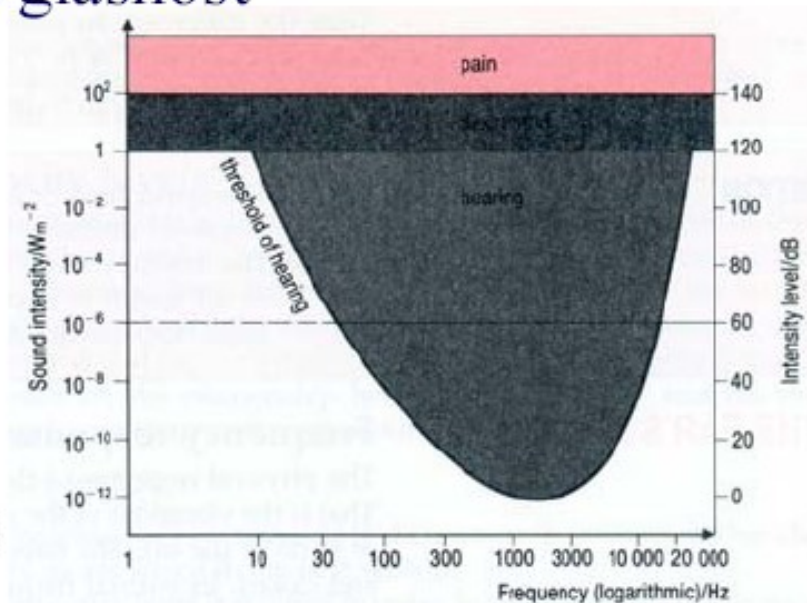
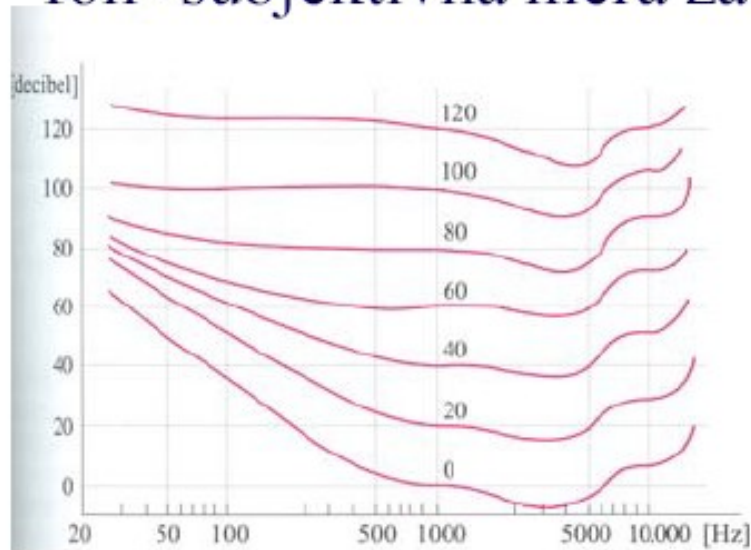


Fig 3.4 The frequency response of the average ear.

Definicija jakosti zvoka
v decibelih:

$$I [dB] = 10 \cdot \log \frac{j}{j_0} ; j_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2} \text{ pri } 1000 \text{ Hz}$$

•HRUP – (vrednosti so v fonih)

DOPUSTNE EKVIVALENTNE RAVNI HRUPA ZA NEMOTENO DELO PRI POSAMEZNIH VRSTAH DEJAVNOSTI⁴

a – maksimalna urna

b – maksimalna
povprečna

Zap. št.	VRSTA DEJAVNOSTI	Dopustna ekvivalentna raven hrupa na delovnem mestu v dB(A)	
		a	b
1	Najzahtevnejšo mentalno delo.	45	40
2	Pretežno mentalno delo, pri katerem je potrebna velika koncentracija in/ali ustvarjalno mišljenje ali so potrebne daljnoročne odločitve, sejne dvorane, pouk v šolah, zdravniški pregledi in posegl, znanstveno delo, raziskave, razvoj programov, zahtevnejša pisarniška dela, telefonske centrale.	55	45
3	Enostavna pisarniška in njim primerljiva dela, prodaja, zahtevna montaža in njej primerljiva pretežno fizična dela, zahtevno krmiljenje	65	55
4	Manj zahtevno krmiljenje sistemov, manj zahtevna fizična dela, ki zahtevajo zbranost in pazljivost in njim podobna dela.	70	60
5	Pretežno rutinska fizična dela, ki zahtevajo slušno spremljanje okolja.	80	75
6	Noseče ženske	80	55

ZVOK		ULTRAZVOK
20 – 20.000 Hz Standardna $f = 1$ kHz	frekvenca, f	20.000 – 10^9 Hz Standardna $f = 1$ MHz (v medicini so tipične vrednosti 2 MHz-15 MHz)
v vodi 1500 m/s	hitrost širjenja v snovi, c	v vodi 1500 m/s
1,5 m	valovna dolžina, λ (v vodi)	1,5 mm (uporabno pri slikanju – večja ločljivost)
v vodi 0,3 W/m ²	gostota energijskega toka, j ($y = 10^{-7}$ m)	v vodi 3×10^5 W/m ² (uporabno za segrevanje tkiv)
v vodi 10 ³ Pa	tlačne spremembe v snovi, p ($y = 10^{-7}$ m)	v vodi 10 ⁶ Pa (uporabno za čiščenje kirurškega materiala)
6×10^{-4} m/s	hitrosti delcev v snovi, v ($y = 10^{-7}$ m)	0,6 m/s
4 m/s ²	pospeški delcev snovi, a ($y = 10^{-7}$ m)	4×10^6 m/s ² – posledica delovanja velikih sil (uporabno pri izparilnikih – trganje vodikovih vezi v vodi)

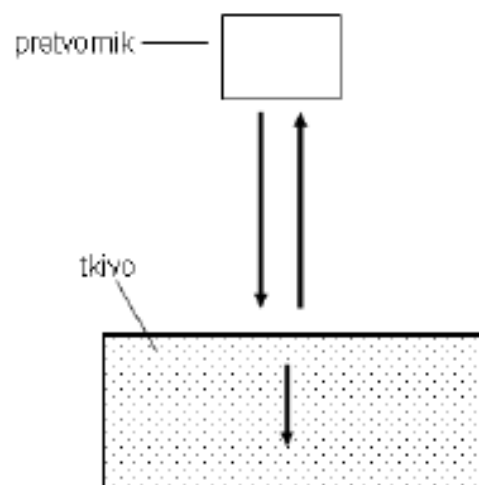
ULTRAZVOK:

Lastnosti UZ valovanja:

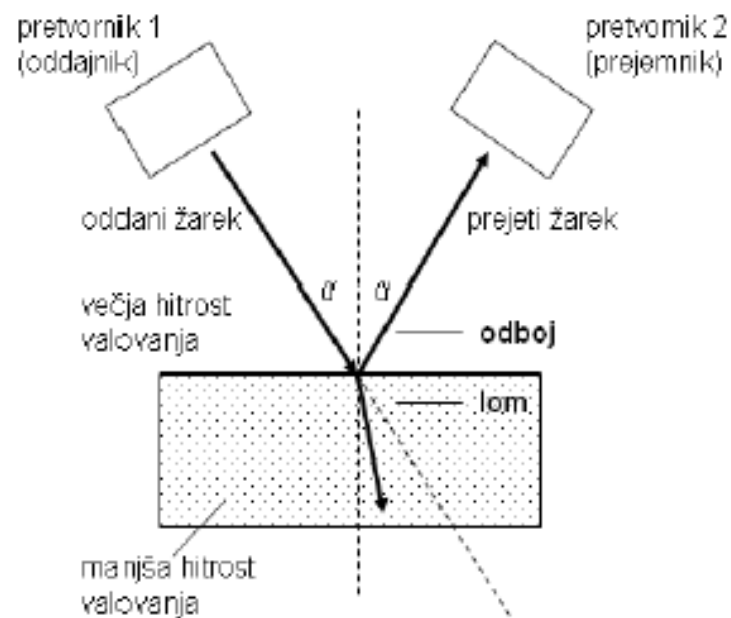
a) odboj – odbojni zakon

b) lom – lomni zakon

a)

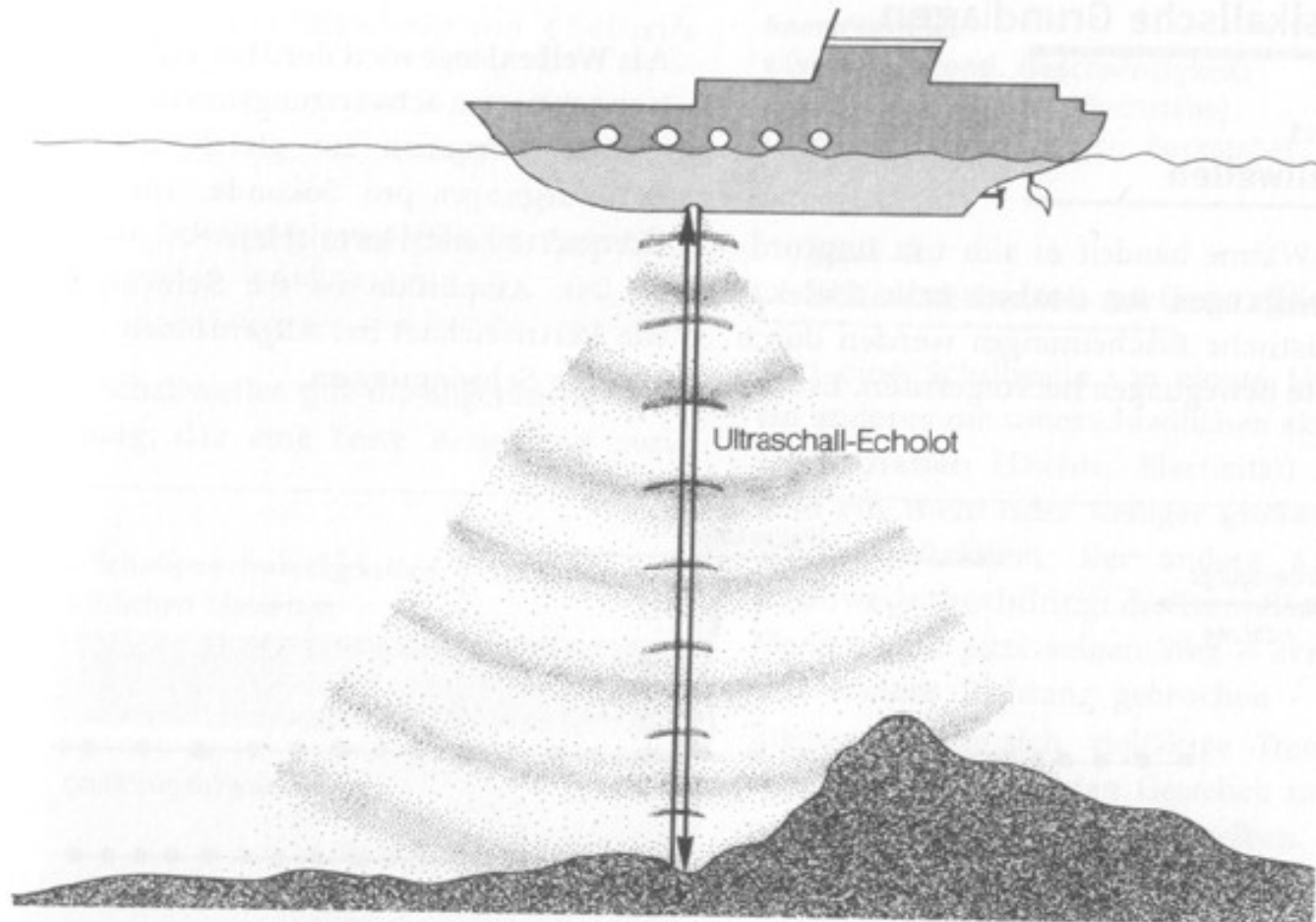


b)



Osnovna ideja: merimo čas,
v katerem se vrne oddani signal.

$$s = c \cdot t$$



- različna tkiva imajo različne akustične lastnosti, ki jih izraža značilna akustična impedanca, ki pomeni razmerje med trenutnim tlakom in trenutno hitrostjo delcev v tkivu
- tkiv z enakima akustičnima impedancama ultrazvočno ne moremo ločiti, sta ultrazvočno homogeni

•AKUSTIČNA IMPENDANCA

Snov	Akustična impedanca Z [Mrayl]	Hitrost valovanja v snovi c [m/s]	Gostota ρ [kg/m ³]
Zrak [25°C]	0,0004	343	1.168
Voda [20°C]	1,48	1480	997
Maščoba	1,38	1450	951
Srčna mišica (Myocardium)	1,62	1550	1053
Kri	1,61	1550	1043 - 1057
Jetra	1,65	1570	
Lobanjska kost	6,00	3360	1900
Aluminij	17,00	6420	2700

Akustična impedanca:

$$Z = \rho \cdot c$$

Hitrost UZ v mehkem tkivu
(povprečno) : $c = 1540$ m/s

Odbojnost (R) in prepustnost (T) UZ

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

$$T = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

Primeri:

1. $Z_1 = Z_2$; $R=0$; $T=1$ \longrightarrow **enaki akustični impedanci!**

2. $Z_1 \ll Z_2$; $R \sim 1$ valovanje se skoraj v celoti odbije

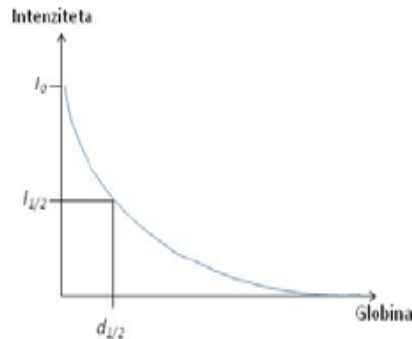
3. $Z_2 \ll Z_1$; $R \sim 1$ valovanje se skoraj v celoti odbije

Mejni ploskvi	Količina odbitega valovanja med dvema mejnima ploskvama (R)
mišice / kri	0,03
mehko tkivo / voda	0,05
maščoba / mišice	0,10
kosti / mišice	0,64
mehko tkivo / zrak	0,995

Absorpcija UZ valovanja

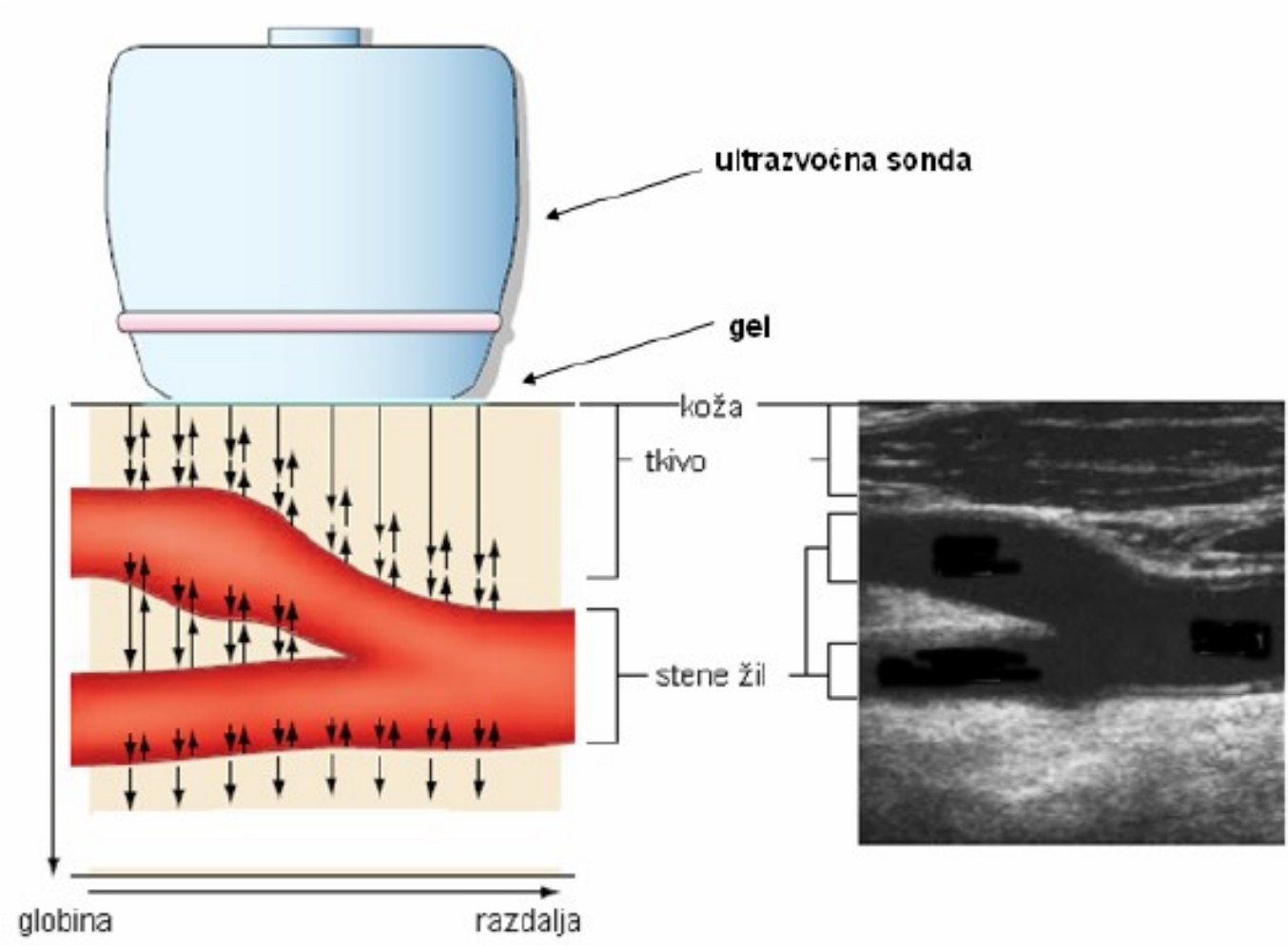
$$p(x) = p_0 e^{-\alpha x}$$

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\alpha}$$

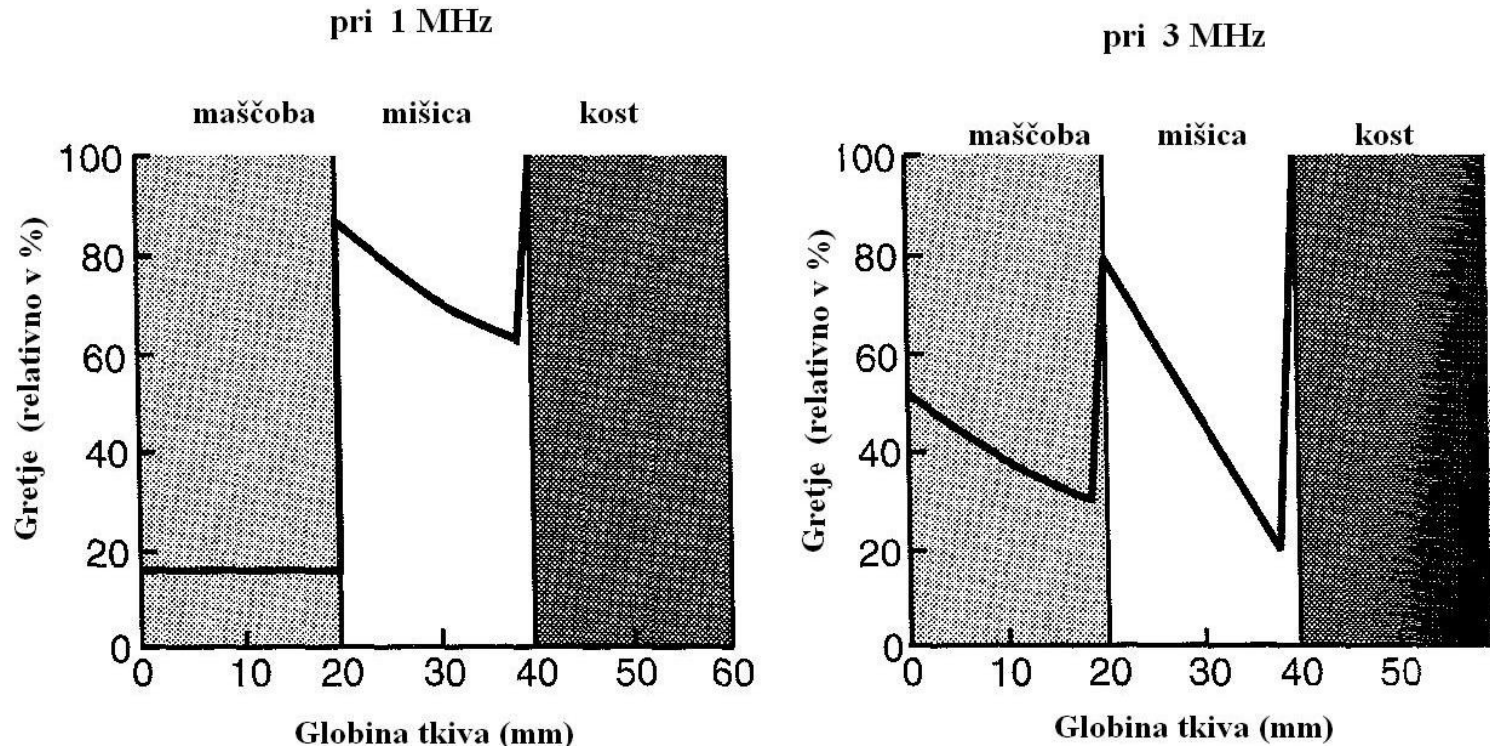


Snov	Oslabitveni (absorpcijski) koeficient pri 1MHz [dBcm⁻¹]	Hitrost valovanja c [m/s]
voda (20°C)	0,2	1492
maščoba	60	1450
kri	20	1530
mišice	150	1545 - 1630
kosti	1000	2700 - 4100
mehko tkivo	70	1540

Ultrazvočna slika:



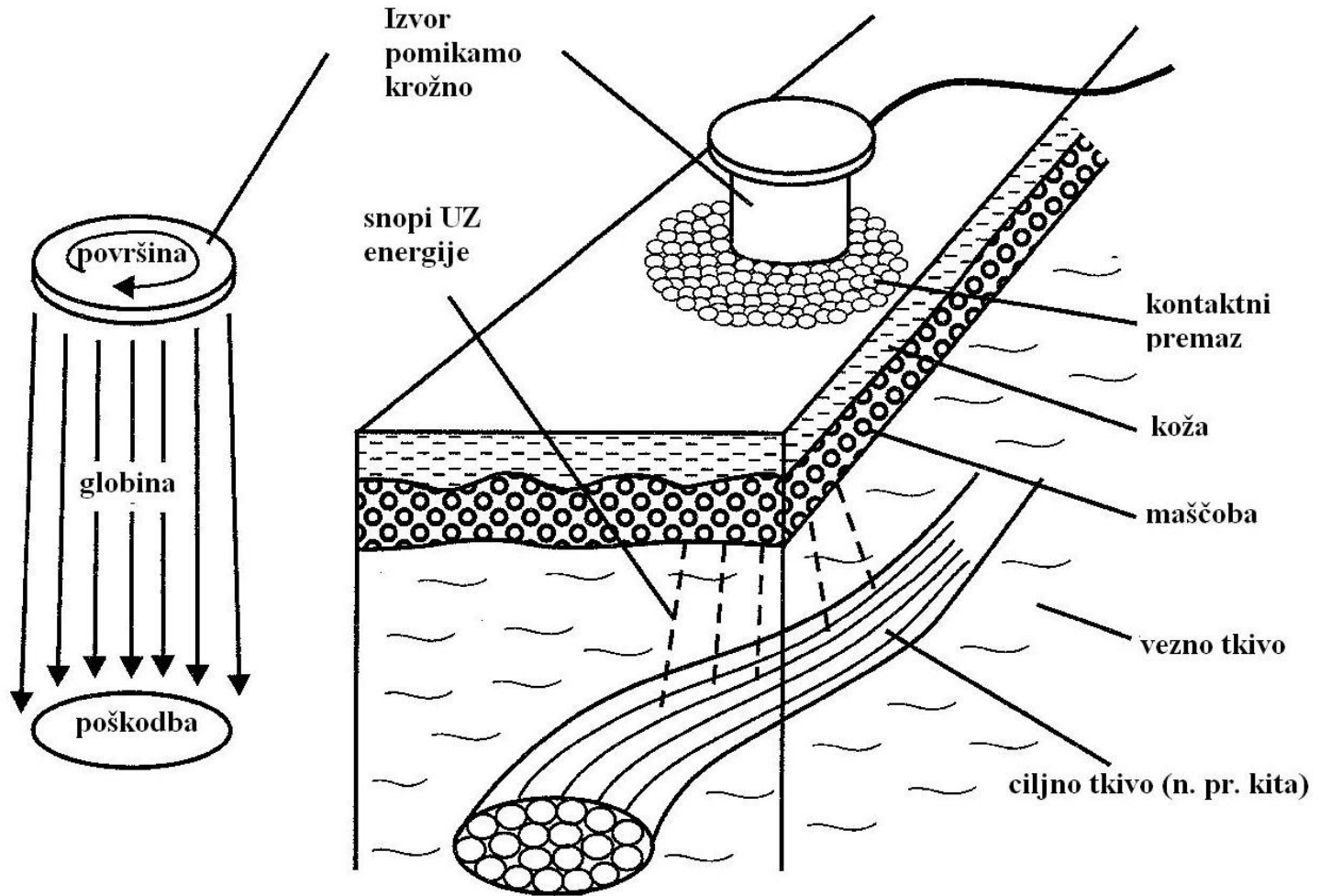
Gretje telesnih tkiv z UZ različnih frekvenc



Relativno gretje različnih tkiv: maščevja, mišice in kosti (100%) z dvema različnima frekvencama

Tehnika UZ terapije

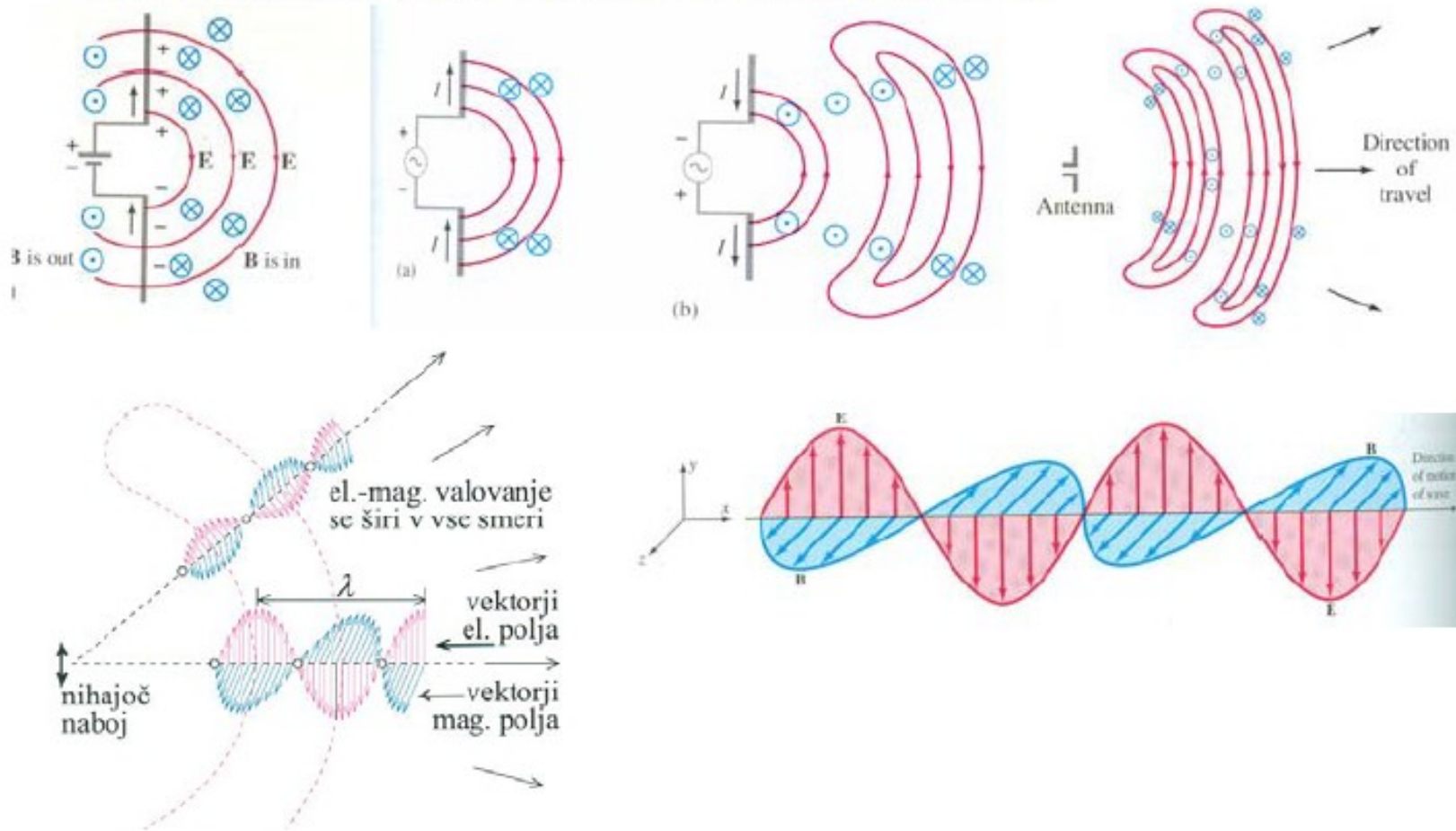
Pri UZ terapiji je poleg tehnike izvajanja pomembno poznati lastnosti tkiv, njihovo lokacijo in prizadetosti



Svetloba
(vidna in
infrardeča
svetloba)

SVETLOBA KOT ELEKTROMAGNETNO VALOVANJE

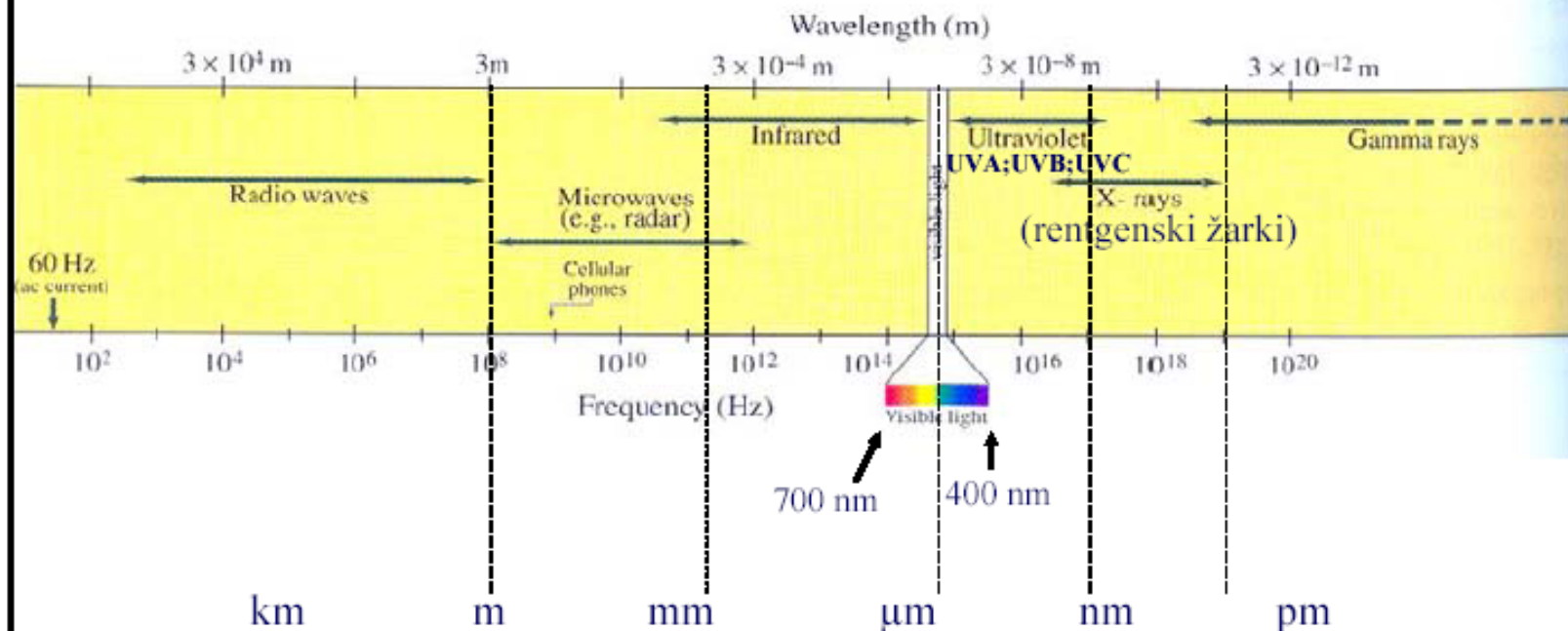
• NASTANEK EM VALOVANJA NA DIPOLNI ANTENI:



SPEKTRI EM VALOVANJA

• HITROST ŠIRJENJA EM VALOVANJA: $c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$; $c = \nu \lambda$

• ENERGIJA EM VALOVANJA: $E = h \nu = \frac{hc}{\lambda}$; $hc = 1240 eV nm$

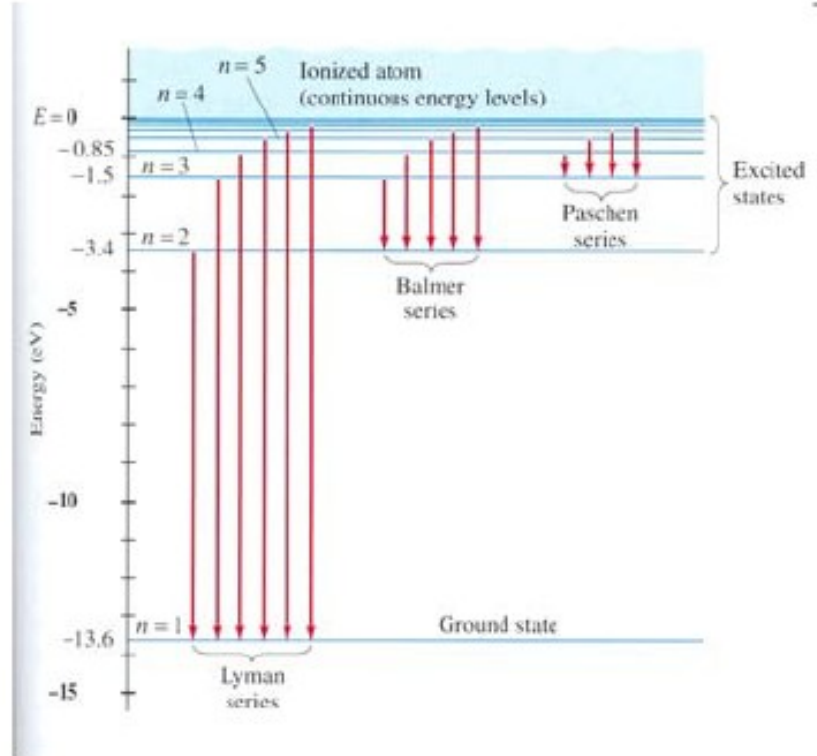
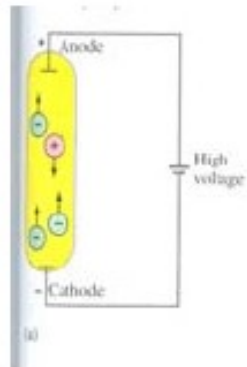


Izvor svetlobe

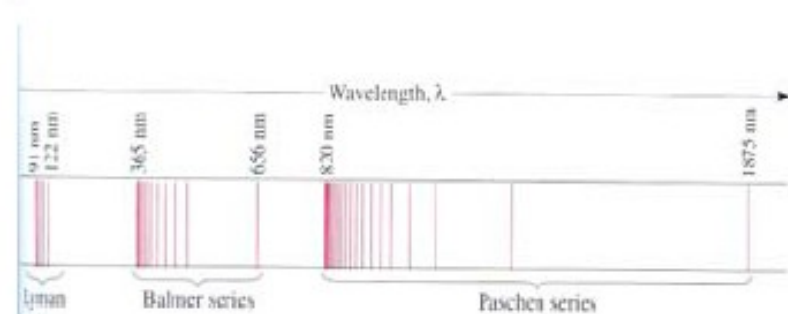
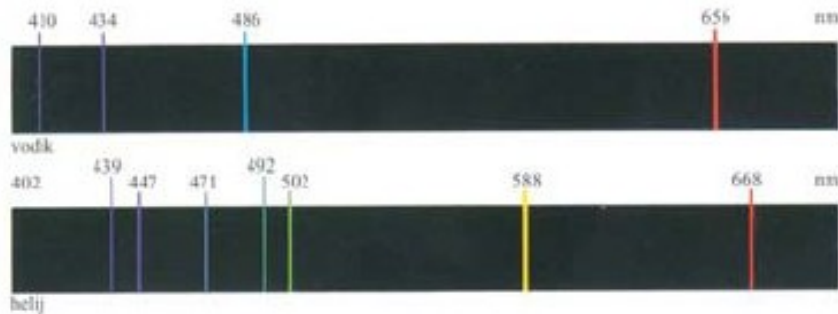
SEVANJE IN SPEKTER RAZREDČENIH PLINOV

•ENERGIJA n-tega STANJA
ELEKTRONA V ATOMU VODIKA:

$$E_n = \frac{1}{n^2} E_1 ; E_1 = -13,6 eV$$



•ČRTASTI EMISIJSKI SPEKTER



SEVANJE TRDNIH TELES

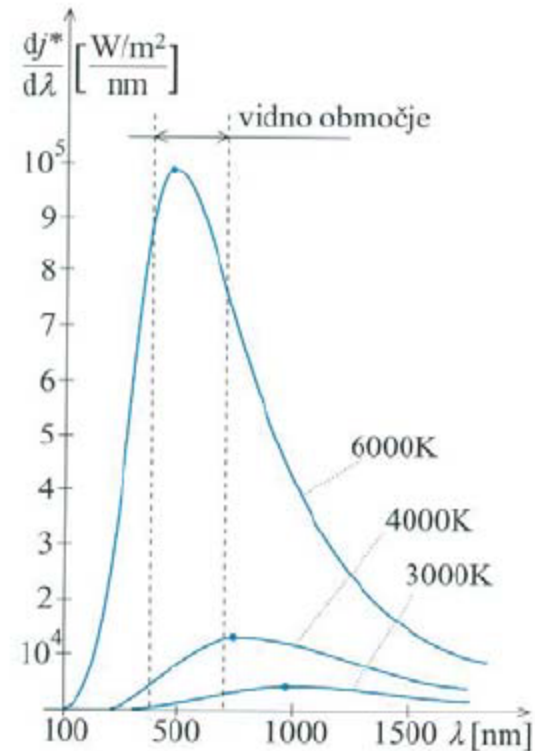
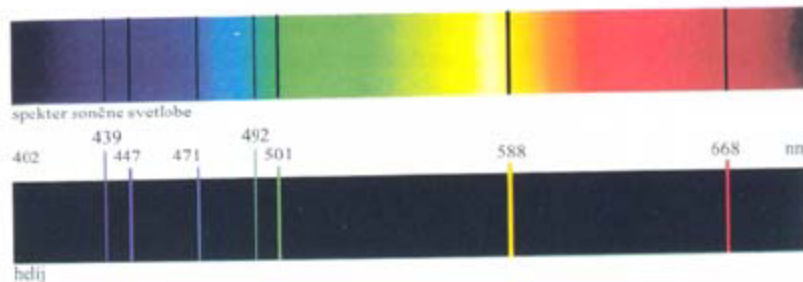
- STEFANOV ZAKON ZA SEVANJE ČRNEGA TELESA

$$j = \sigma T^4; \quad \sigma = 5,7 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

- WIENOV ZAKON:

$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{konstanta}$$

- **zvezni spekter sončne svetlobe**; črte so posledica absorpcije svetlobe v Sončevi atmosferi, ki vsebuje Helij



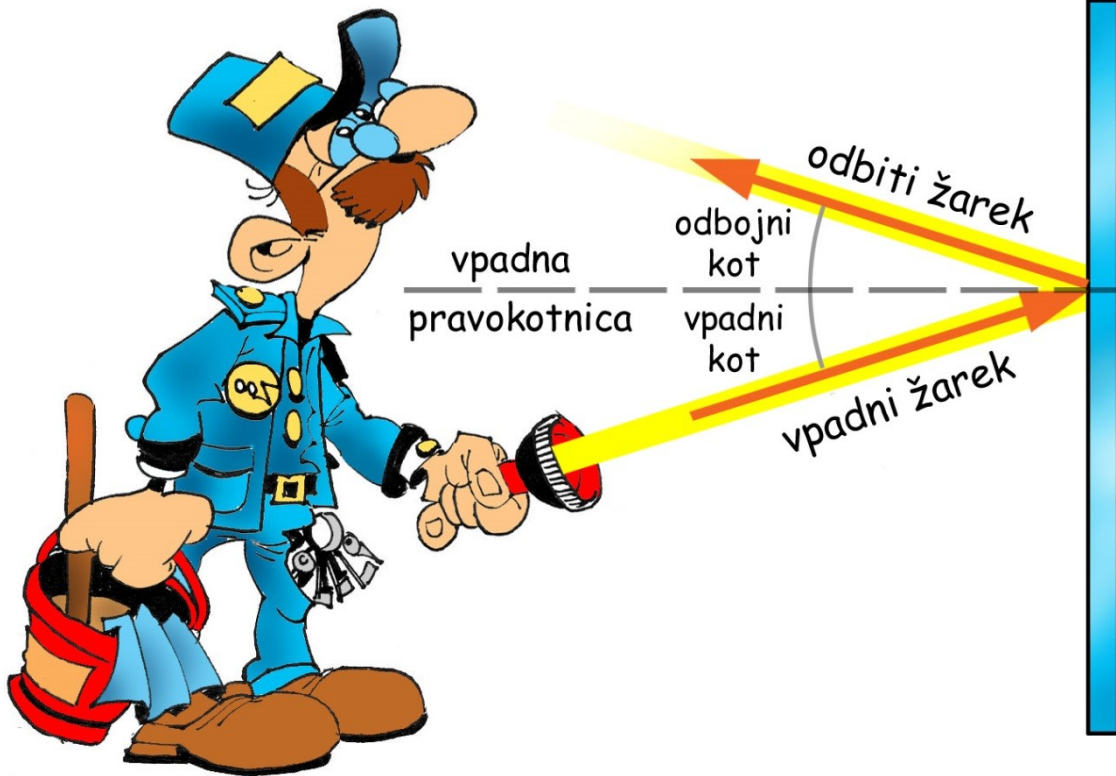
Slika 30.5 spekter svetlobe črnega telesa pri različnih temperaturah

ODBOJ IN LOM SVETLOBE

1.) ODBOJ

$$\alpha = \beta$$

**ODBOJNI
ZAKON**



2.) LOM

- Svetloba se pri prehodu iz vakuumu v snov upočasni, zato definiramo LOMNI KOLIČNIK (n) kot kvocient med hitrostjo svetlobe v vakuumu in hitrostjo svetlobe v snovi.

$$c_0 = 300000 \frac{km}{s} = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

(svetloba!)

$$n = \frac{c_0}{c} \quad (1 \text{ ali več kot } 1)$$

$$\text{npr: H}_2\text{O} \rightarrow n = 1,33 = \frac{4}{3} \quad c = \frac{3}{4} c_0$$

Snov, ki ima večji lomni količnik je optično gostejša, snov z manjšim lomnim količnikom je optično redkejša.

LOMNI ZAKON: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$

(velja tudi za zvok! – zgled:
*lom zvoka pri prehodu iz
zraka v vodo*)

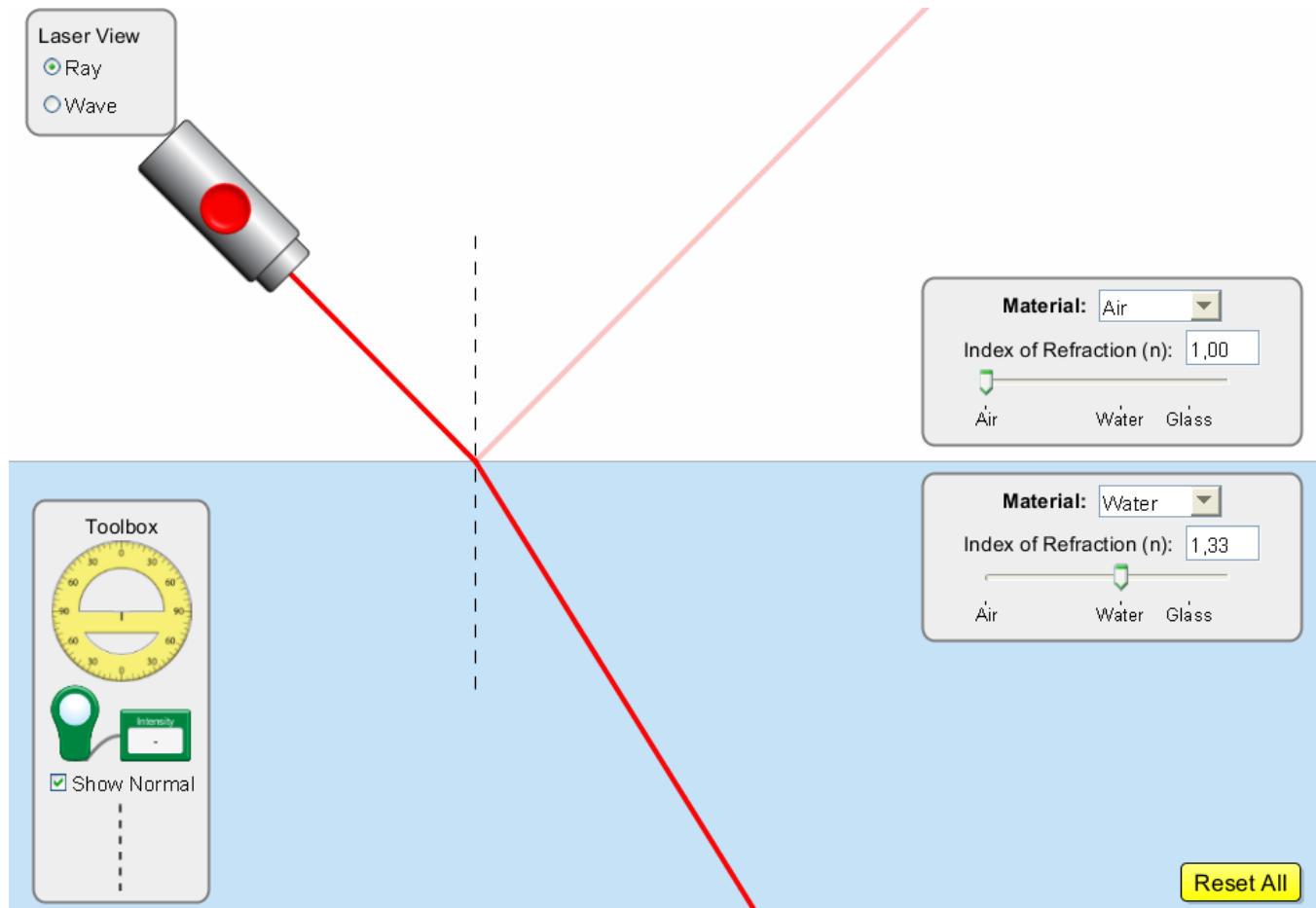
$$c_1 = \frac{c_0}{n_1}$$

$$c_2 = \frac{c_0}{n_2}$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

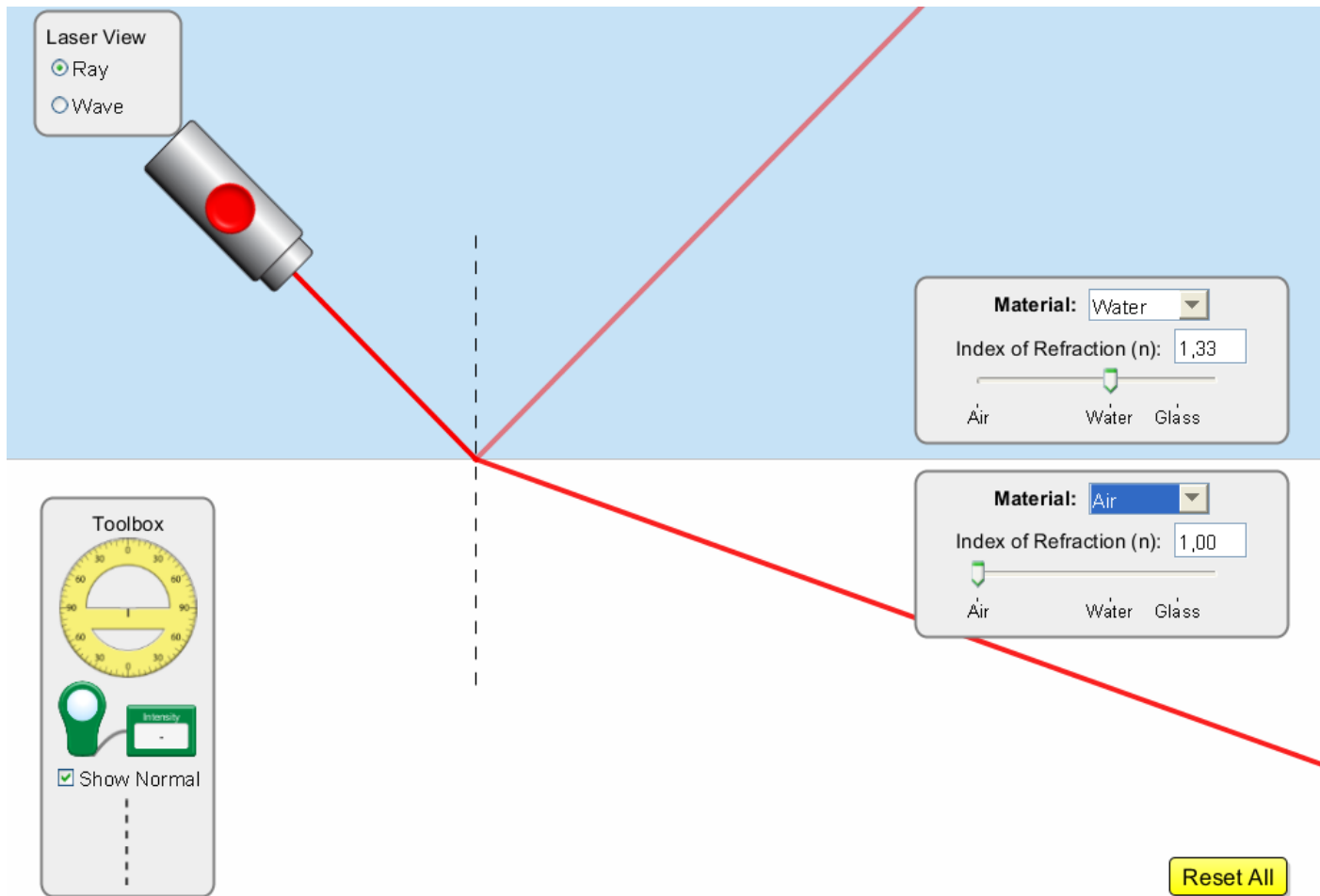
Pri prehodu svetlobe iz optično redkejše snovi v optično gostejšo se žarek lomi _____ (dopolni!).

$$n_2 > n_1 \quad \beta < \alpha$$



Pri obratnem prehodu (iz optično gostejše v redkejšo snov) se žarek lomi _____ (dopolni!).

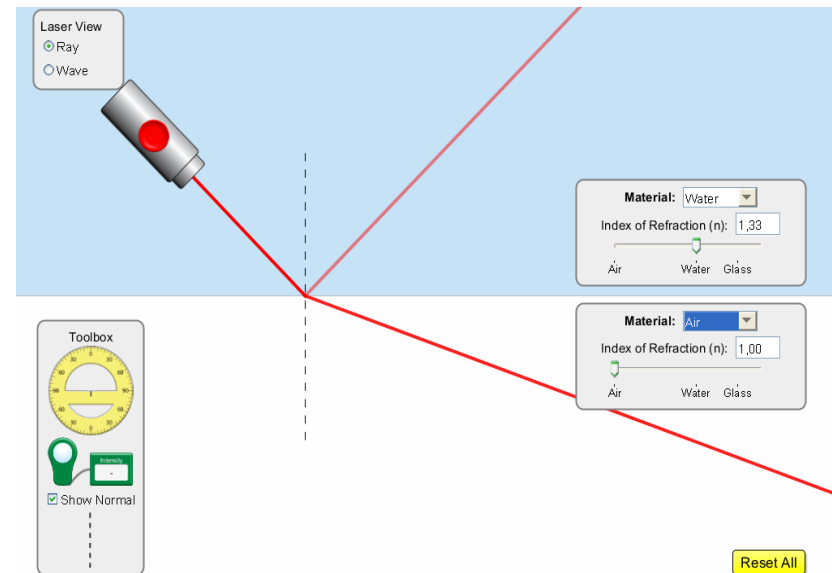
$$n_2 < n_1 \quad \beta > \alpha$$



- POPOLNI ODBOJ: do njega pride pri prehodu svetlobe iz optično _____ v optično _____ snov

- Pri $\alpha_m: \beta = 90^\circ$

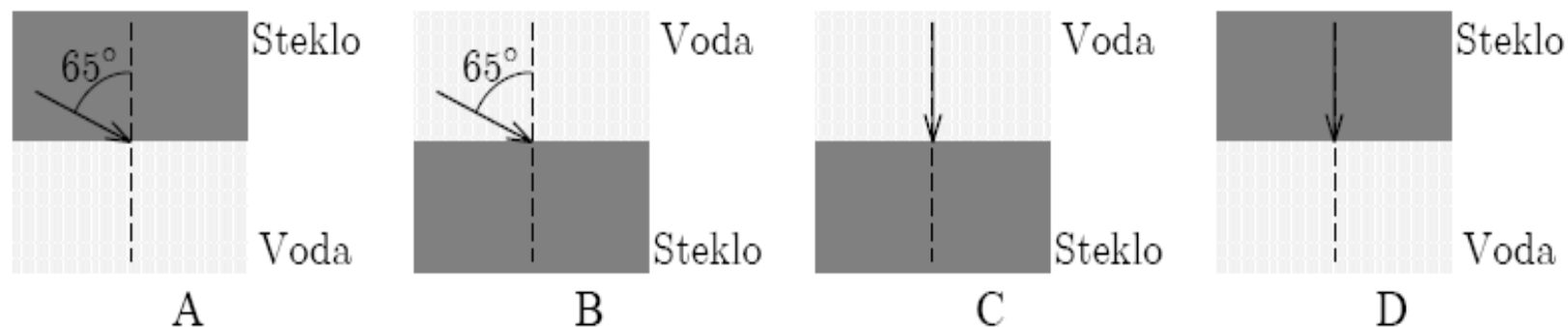
↑
kot popolnega odboja



$$\frac{\sin \alpha}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\sin \alpha_m = \frac{n_2}{n_1}$$

Lomni količnik stekla je $1,50$, lomni količnik vode pa $1,33$. V katerem primeru pride do popolnega odboja pri vpadu svetlobe na mejo med snovema?

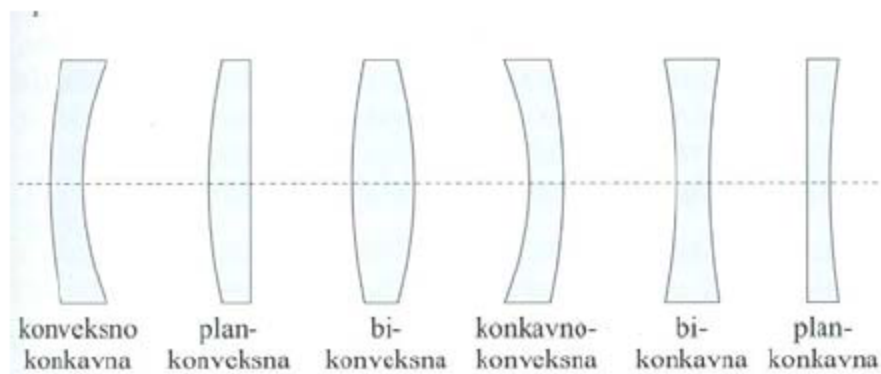


SVETLOBA - GEOMETRIJSKA OPTIKA

f – goriščna razdalja leče

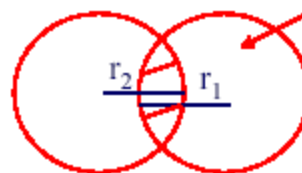
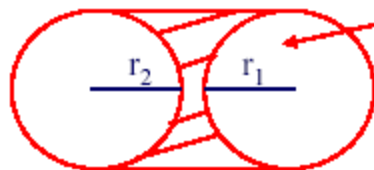
$1/f$ – lomljivost leče [m^{-1} =dptr (dioptrija)]

•VRSTE LEČ

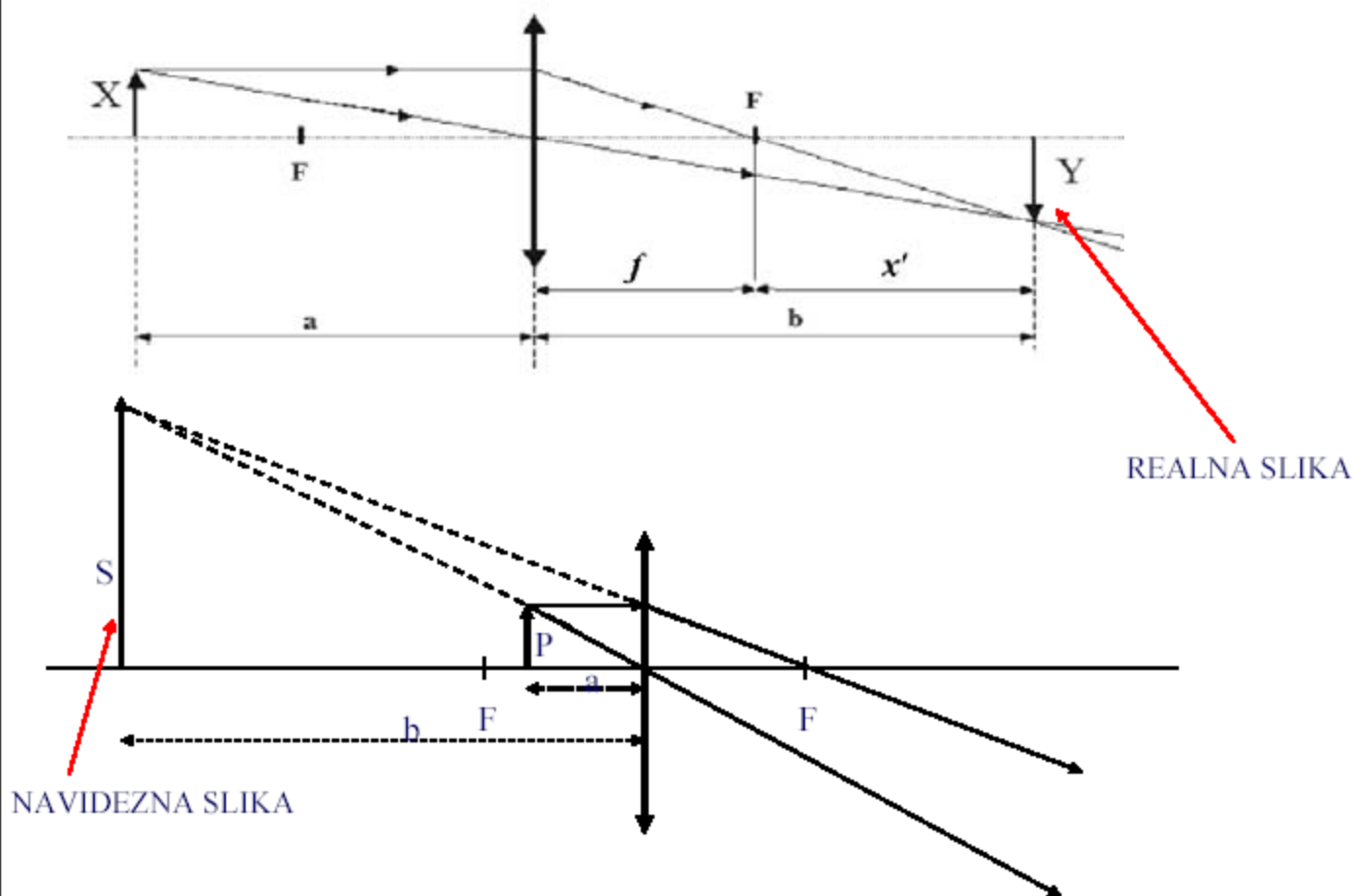


$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

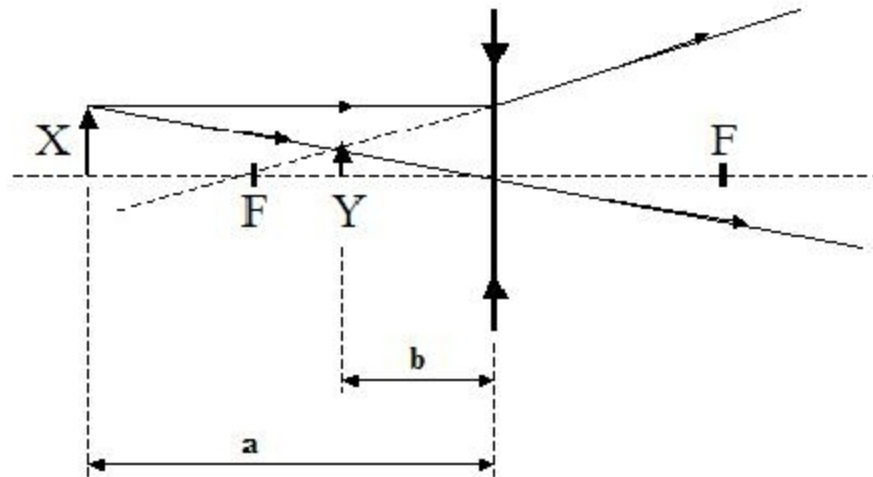
$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$



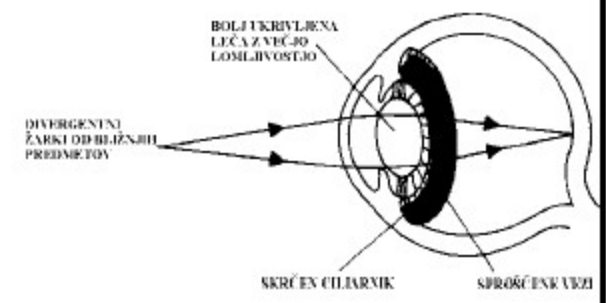
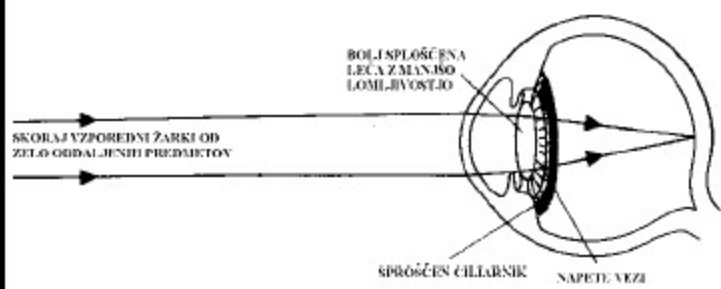
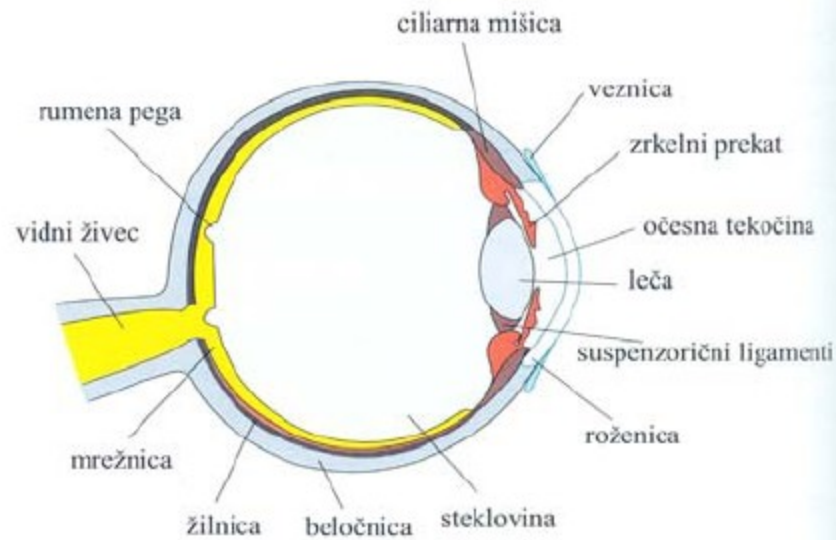
•PRESLIKAVE PREKO KONVEKSNE-ZBIRALNE LEČE
($f > 0$; $a > 0$; $b > 0$ -realna slika / $b < 0$ -navidezna slika)



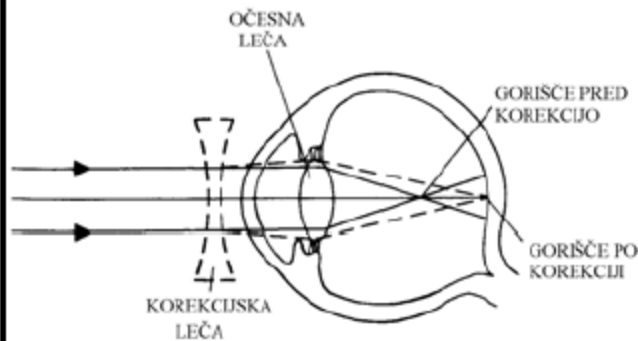
•PRESLIKAVE PREKO KONKAVNE - RAZPRŠILNE LEČE
($f < 0$; $a > 0$; $b < 0$)



OKO



KRATKOVIDNOST



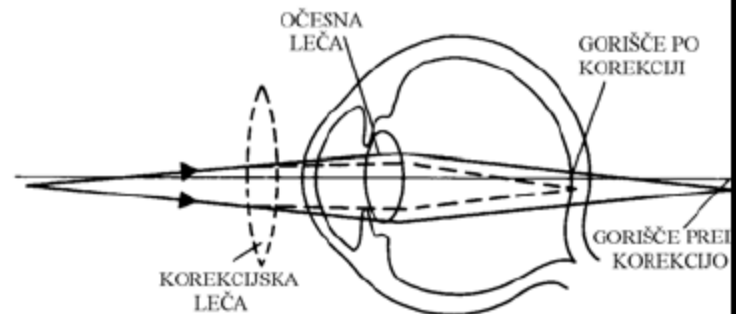
- Zelo oddaljeni predmeti se preslikajo pred mrežnico (premajhna goriščna razdalja (prevelika lomljivost leče) ali predolgo zrklo)
- Vidi jasno do določene razdalje (npr: 35 cm).
- Rešitev:

Daljnovidnost popravimo z razpršilno lečo.

Primer: $a = \infty, b = -35 \text{ cm}$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-0,35 \text{ m}} = -2,9 \text{ dptr}$$

DALJNOVIDNOST



- Bližnji predmeti se preslikajo za mrežnico (prevelika goriščna razdalja (premajhna lomljivost leče) ali prekratko zrklo)
- Vidi jasno od določene razdalje dalje (npr: 1 m.)
- Rešitev:

Kratkovidnost popravimo z zbiralno lečo.

Primer: $a = 25 \text{ cm}, b = -1 \text{ m}$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{0,25 \text{ m}} + \frac{1}{-1 \text{ m}} = 3 \text{ m}^{-1} = 3 \text{ dptr}$$

TERMOGRAFIJA - SLIKANJE Z IR KAMERAMI

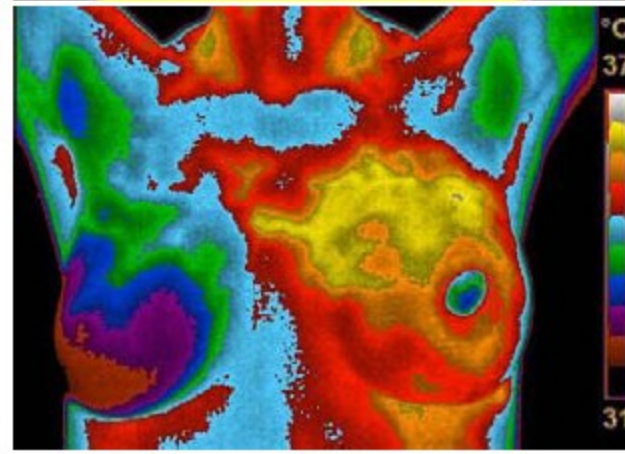
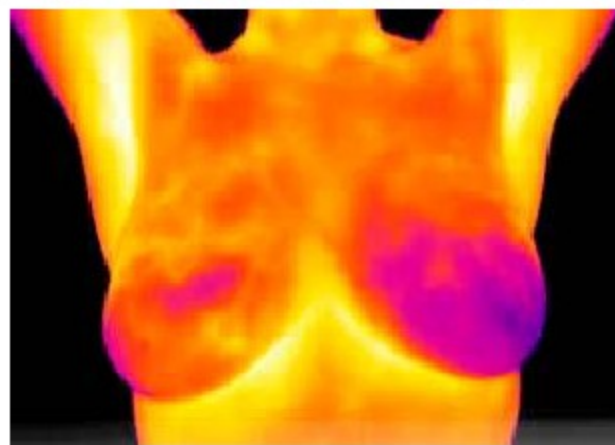
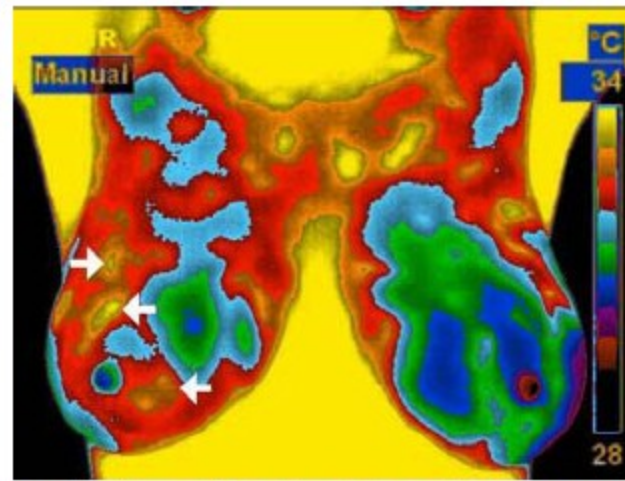
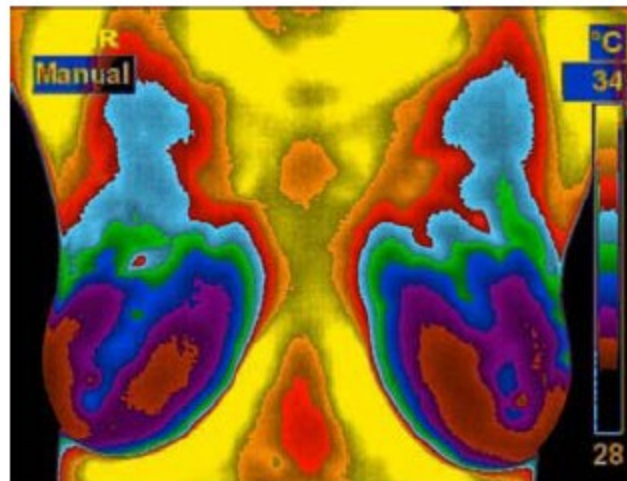
•APLIKACIJA V MEDICINI:

- ZGODNJE ODKRIVANJE RAKA NA DOJKI NA PODLAGI SPREMEMB V KRVNEM OBTOKU
- ODKRIVANJE VNETNIH STANJ
- ODKRIVANJE NEPRAVILNE PREKRVAVITVE....

•PREDNOSTI PRED DRUGIMI METODAMI:

- NEBOLEČA
- NEINVAZIVNA
- POCENI
- NAJHITREJE SE DA UGOTOVITI ZGODNJI STADIJ RAKA
- 90% NATANČNOST

TERMOGRAFIJA - ZGODNJE ODKRIVANJE RAKA NA DOJKI



TERMOGRAFIJA - RAČUNALNIŠKA OBDELAVA SLIK

