

FIZIKA

Predavanja

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

Valovanje: zvok in svetloba

Zvok:

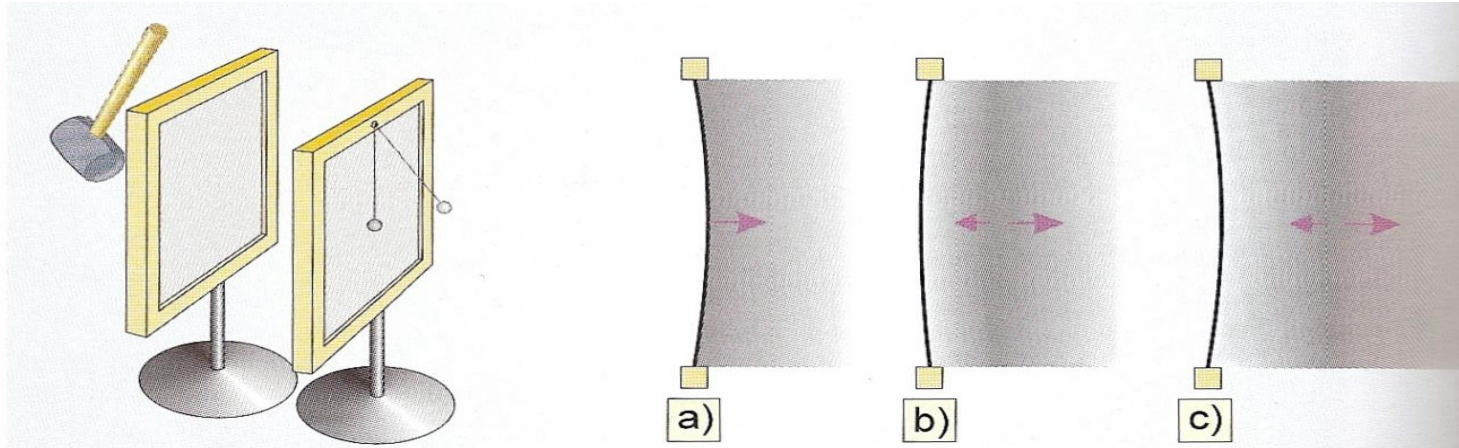
- osnovne fizikalne zakonitosti
- uporaba v diagnostiki in terapiji

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:

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

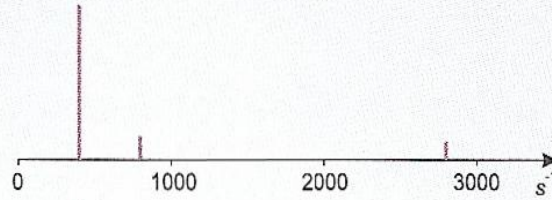
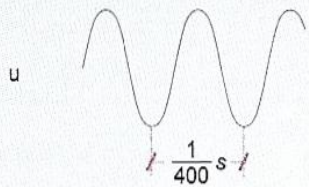
•TRDNINA:

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

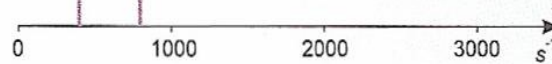
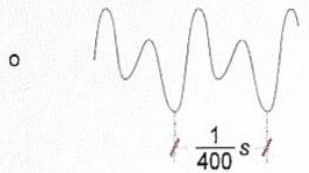
Hitrost zvoka skozi različne snovi:

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

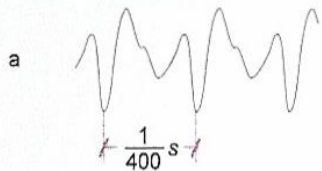
Spekter zvoka



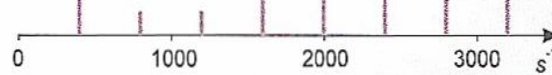
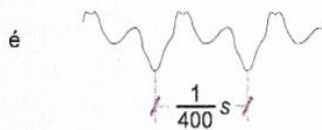
u → **Ton**



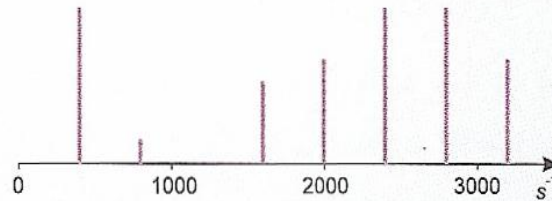
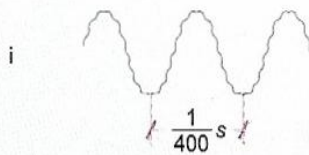
o → **Zven**



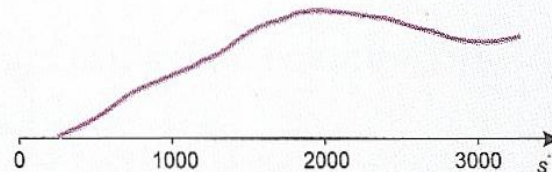
a



é

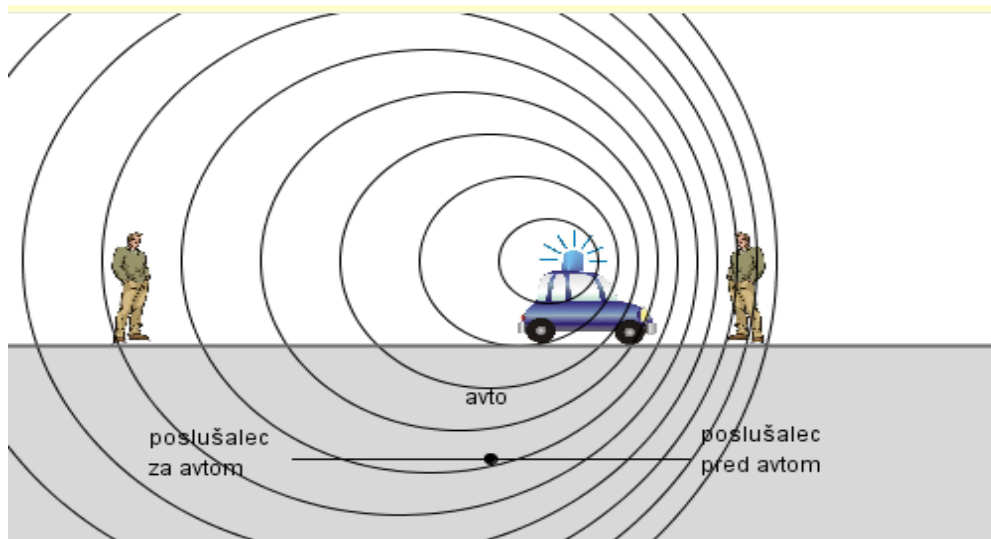


i



s → **Šum**

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:
$$\nu' = \frac{\nu_0}{1 + \frac{v}{c}}$$

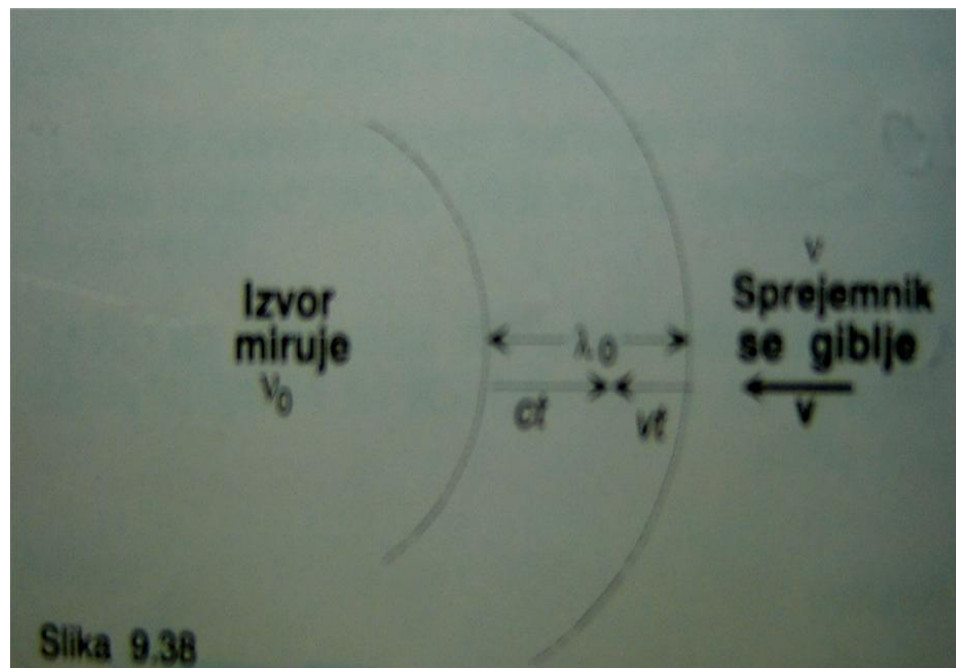
- Izvor miruje, poslušalec se giblje (koncert!)

a) sprejemnik se približuje:

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

b) Sprejemnik se oddaljuje:

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



•UPORABA DOPPLERJEVEGA EFEKTA PRI MERITVAH Z ULTRAZVOKOM

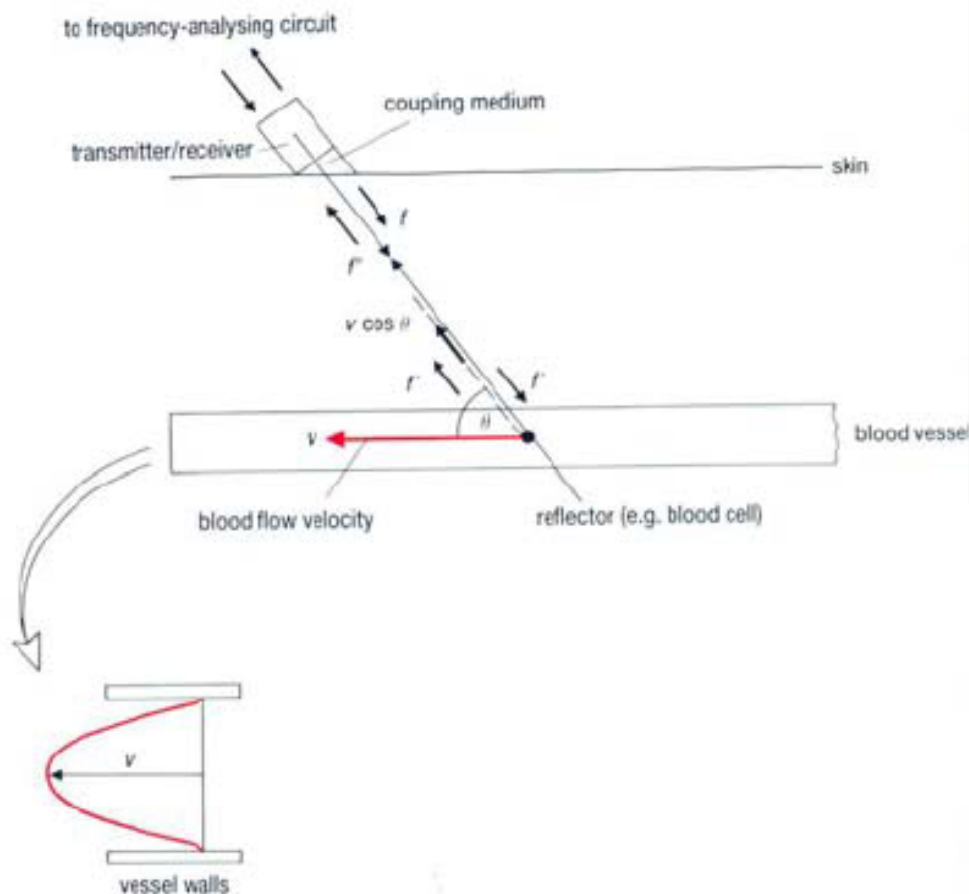


Fig 8.11 Doppler blood flow measurement.

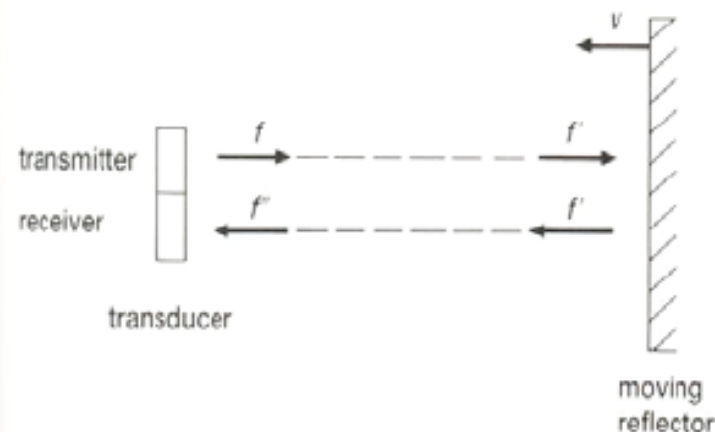


Fig 8.10 Doppler shift from a moving reflector.

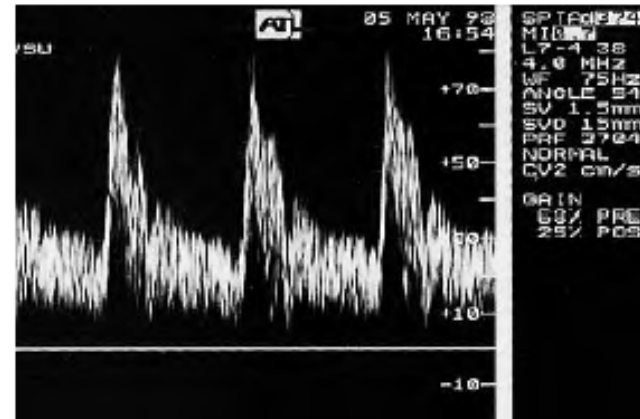
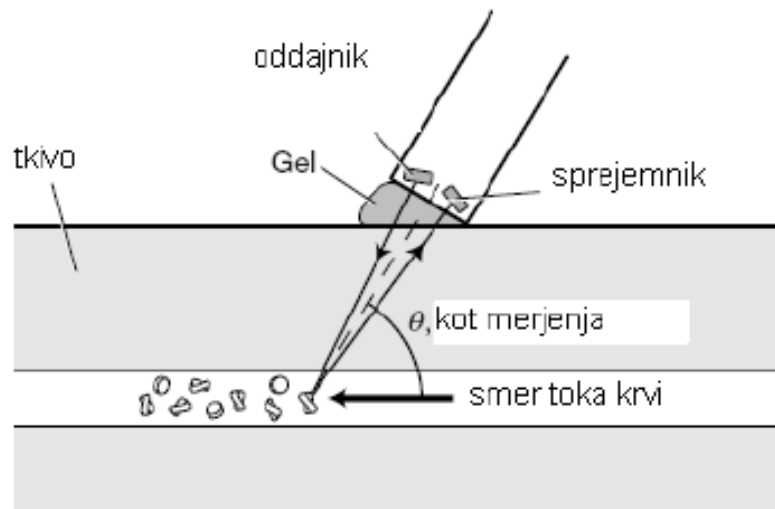
$$\Delta f = f - f'' = \frac{2vf \cos \theta}{c}$$

f - frekvenca oddanega UZ

f' - frekvenca UZ, ki jo prejemajo in hkrati oddajajo krvne celice

f'' - frekvenca prejetega UZ

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.

•OBČUTLJIVOST UŠESA IN MEJA SLIŠNOSTI

fon- subjektivna mera za glasnost

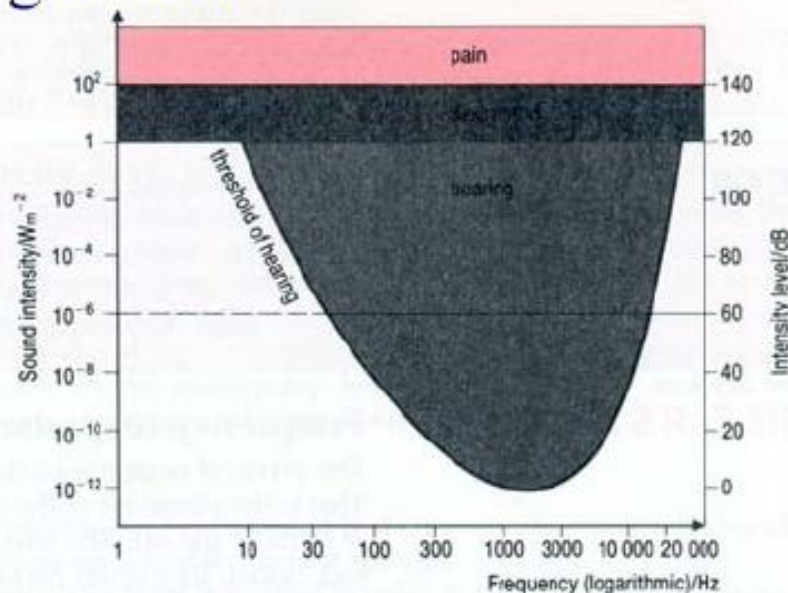
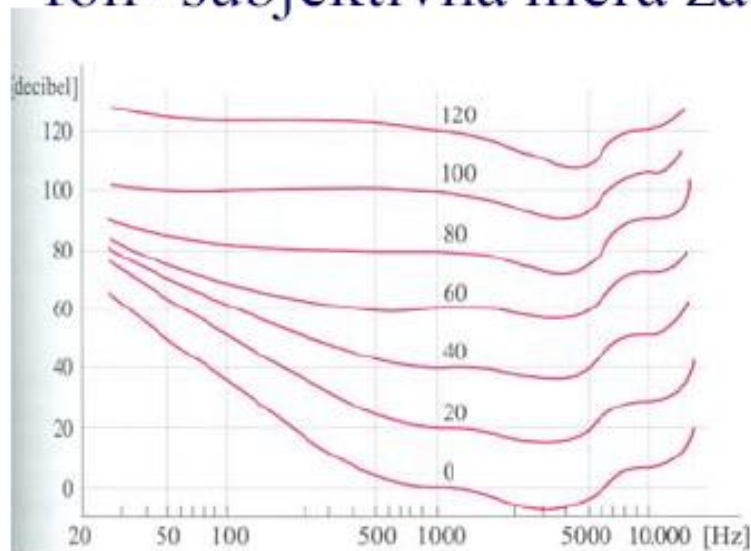


Fig 3.4 The frequency response of the average ear.

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 DEJAVNOSTI*

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 posegi, 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

a – maksimalna urna

b – maksimalna
povprečna

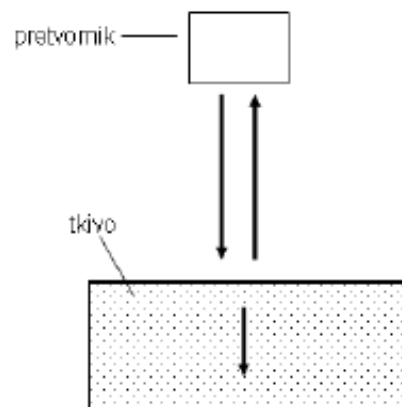
ZVOK		ULTRAZVOK
20 – 20.000 Hz Standardna $f = 1$ kHz	frekvenca, f	20.000 – 10^9 Hz Standardna $f = 1$ MHz (v medicini so tipične vrednosti 2 MHz-15 MHz)
v vodi 1500 m/s	hitrost širjenja v snovi, c	v vodi 1500 m/s
1,5 m	valovna dolžina, λ (v vodi)	1,5 mm (uporabno pri slikanju – večja ločljivost)
v vodi 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)

Lastnosti UZ valovanja:

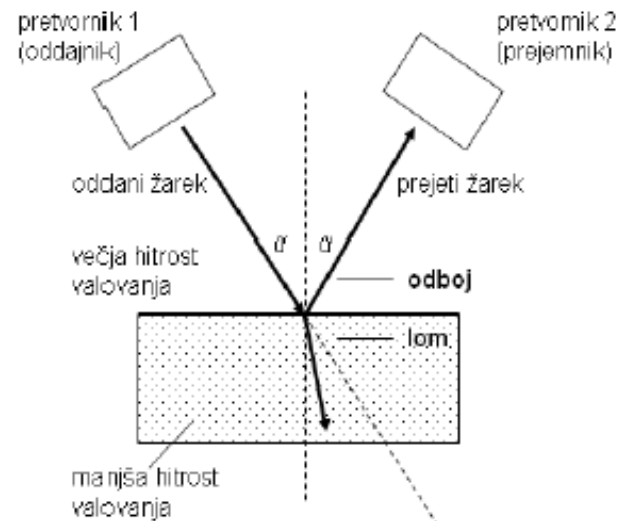
a) odboj – odbojni zakon

b) lom – lomni zakon

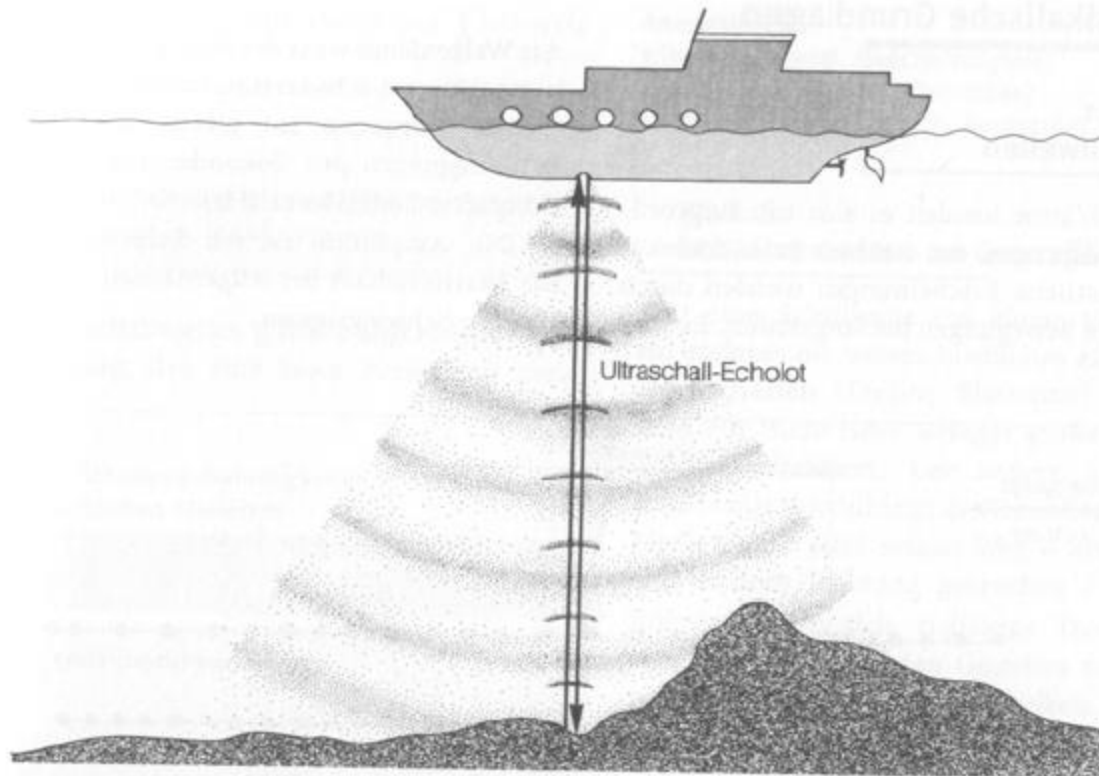
a)



b)



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



•AKUSTIČNA IMPENDANCA

Snov	Akustična impedanca Z [Mrayl)	Hitrost valovanja v snovi c [m/s]	Gostota ρ [kg/m³]
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

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

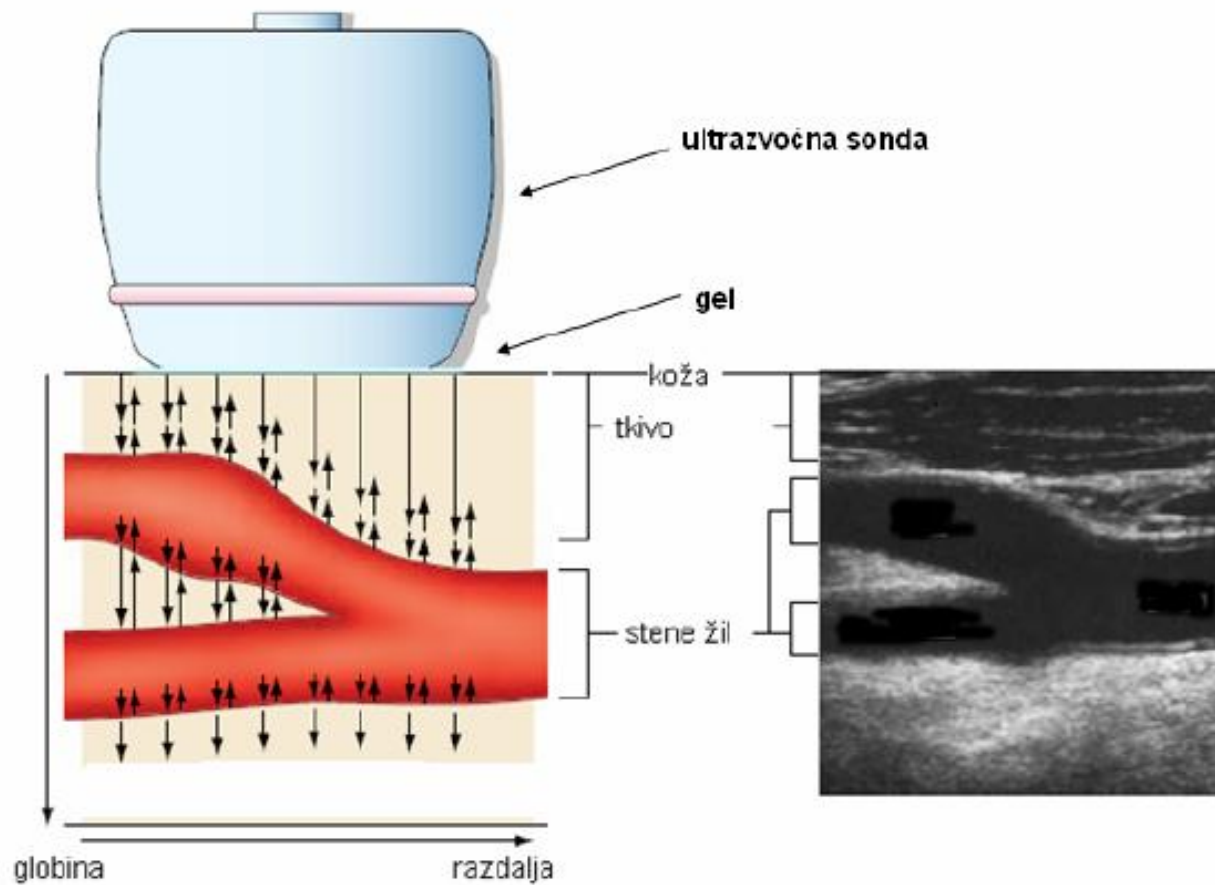
$$T = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

Primeri:

1. $Z_1 = Z_2$: $R=0$; $T=1$
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

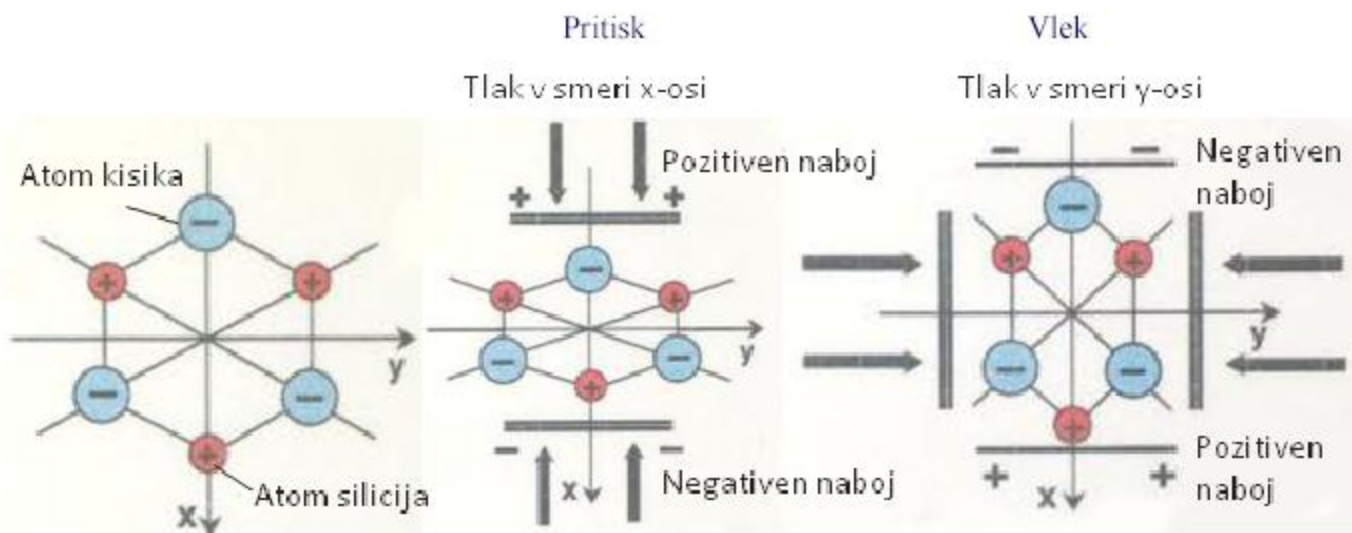
Ultrazvočna slika:



•DELOVANJE ULTRAZVOČNEGA PRETVORNIKA

**Piezo pojav: mehanska deformacija ustvari električno napetost in
električna napetost ustvari deformacijo**

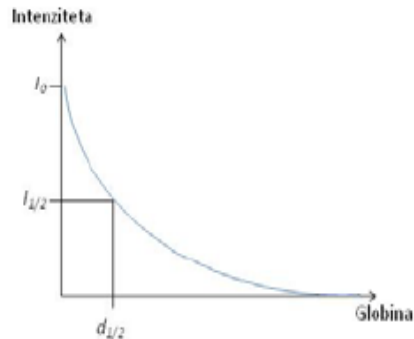
Zato lahko piezo kristal deluje kot oddajnik in sprejemnik ultrazvoka



Absorpcija UZ valovanja

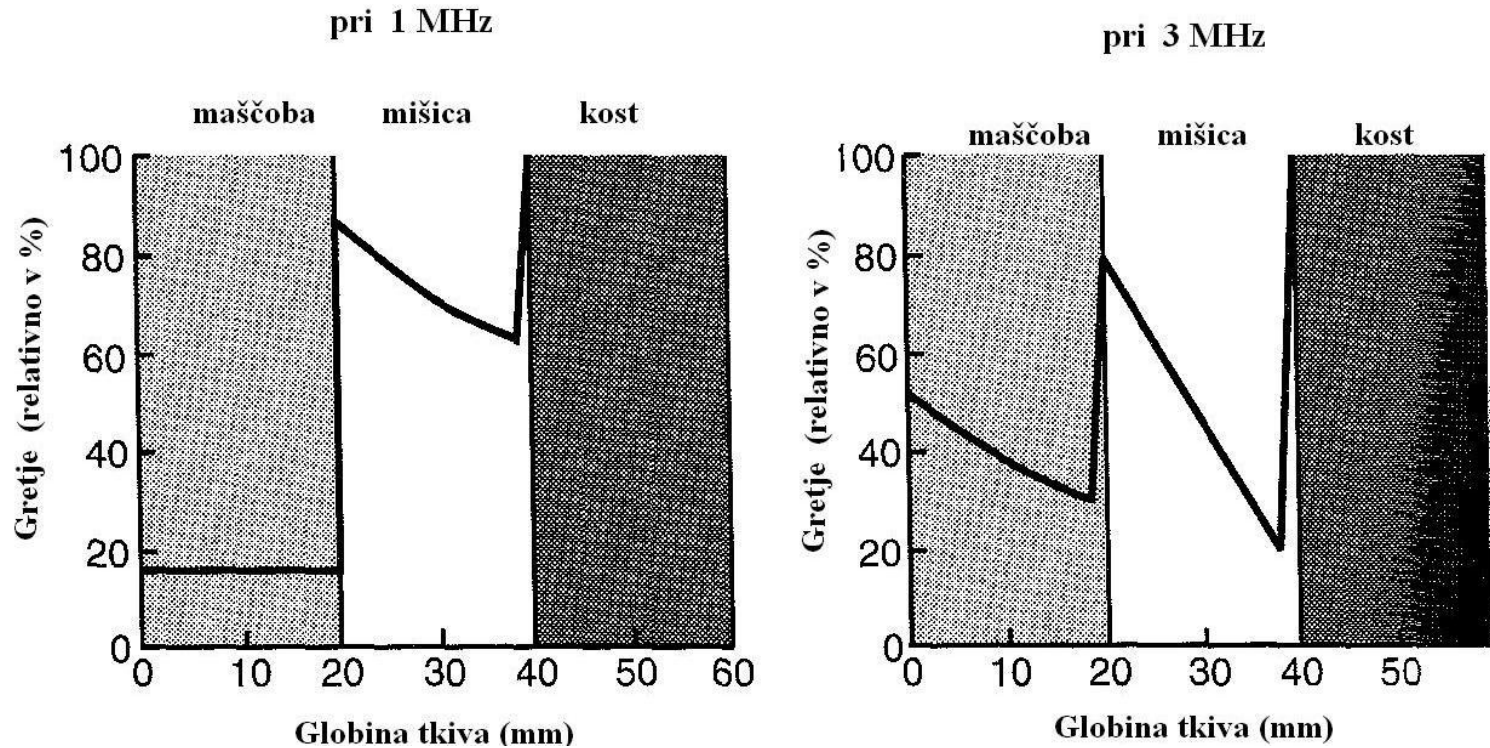
$$p(x) = p_0 e^{-\alpha x}$$

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



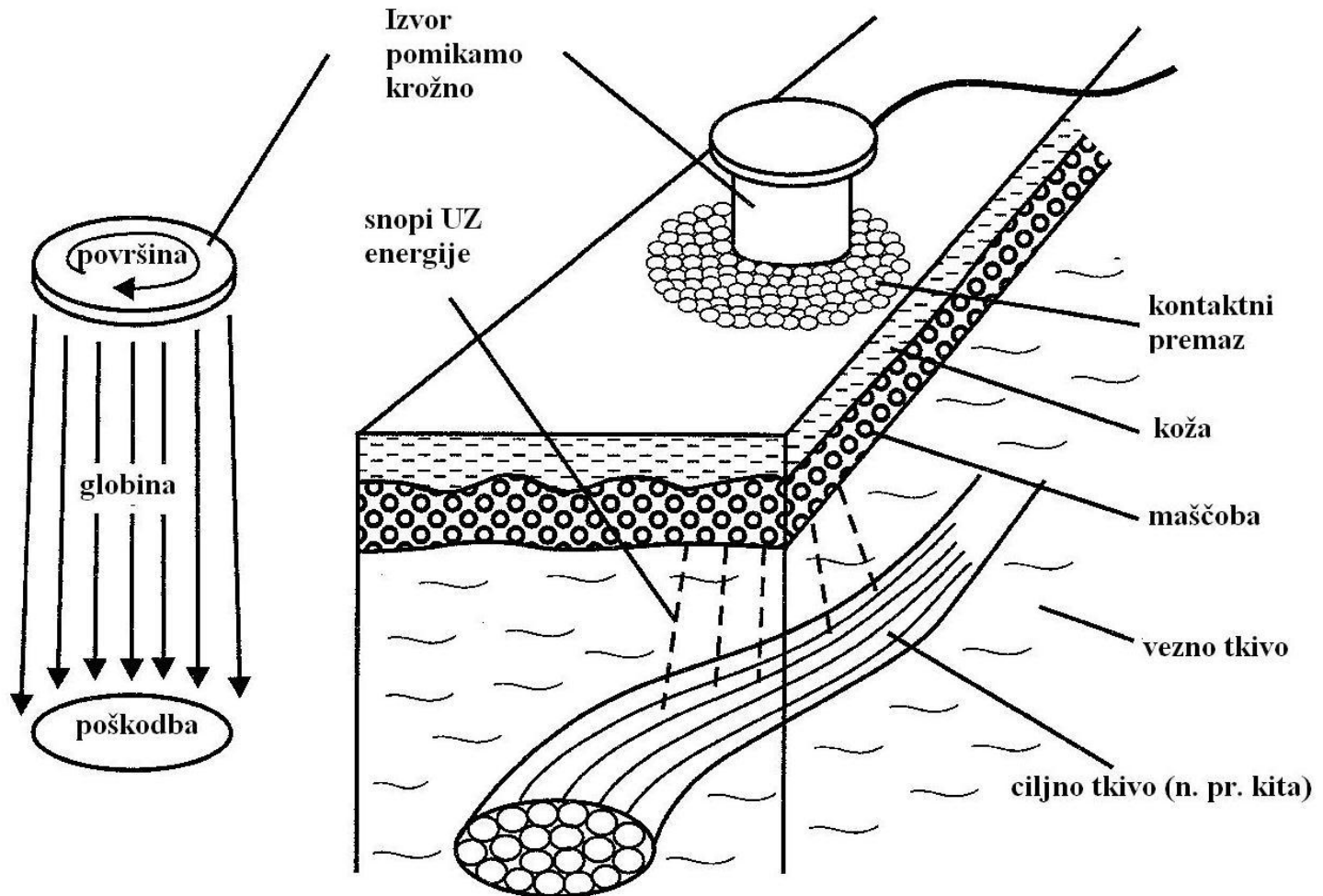
Snov	Oslabitveni (absorpcijski) koeficient pri 1MHz [dBcm⁻¹]	Hitrost valovanja c [m/s]
voda (20°C)	0,2	1492
maščoba	60	1450
kri	20	1530
mišice	150	1545 - 1630
kosti	1000	2700 - 4100
mehko tkivo	70	1540

Gretje telesnih tkiv z UZ različnih frekvenc



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

Tehnika UZ terapije

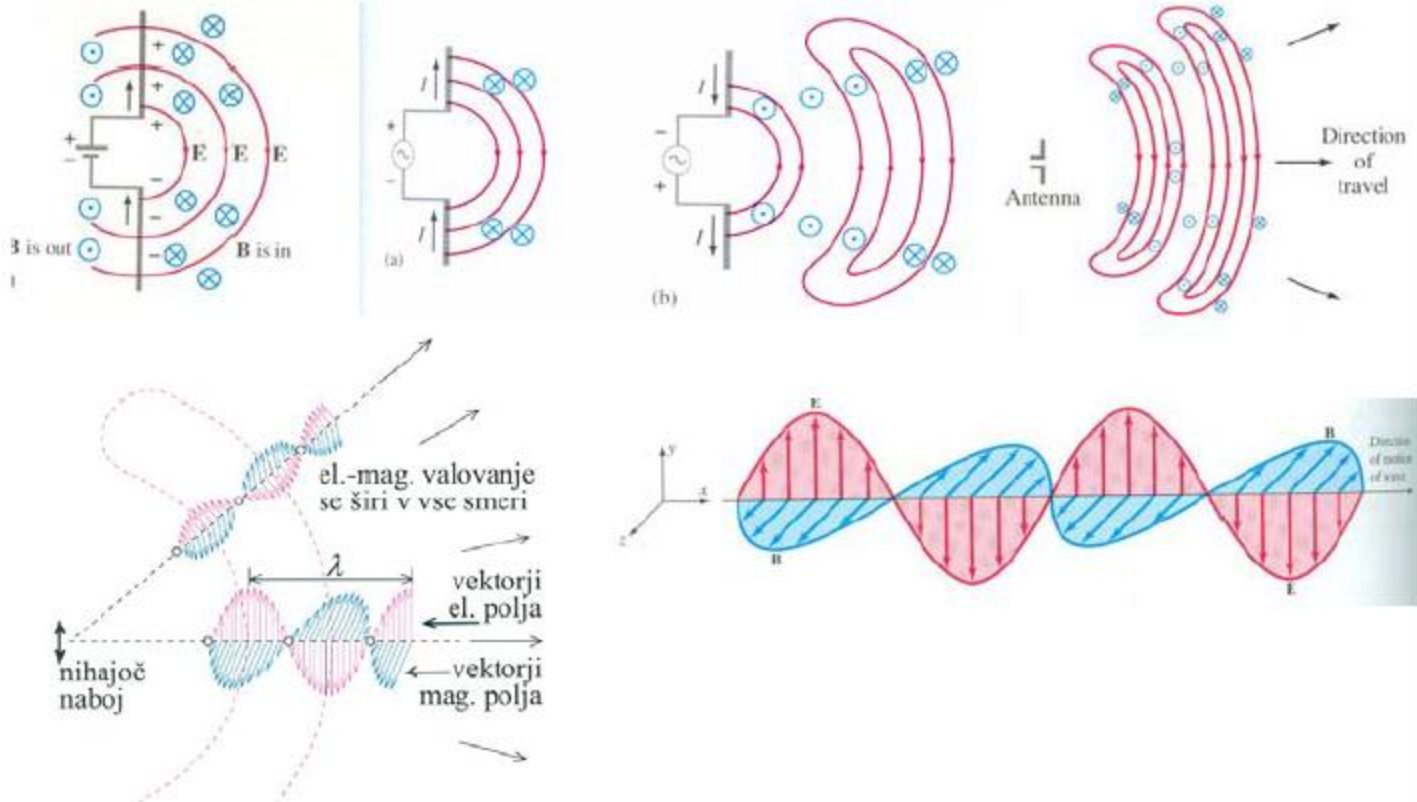


Pri UZ terapiji je poleg tehnike izvajanja pomembno poznati lastnosti tkiv, njihovo lokacijo in prizadetosti

Svetloba
(vidna in
infrardeča)

SVETLOBA KOT ELEKTROMAGNETNO VALOVANJE

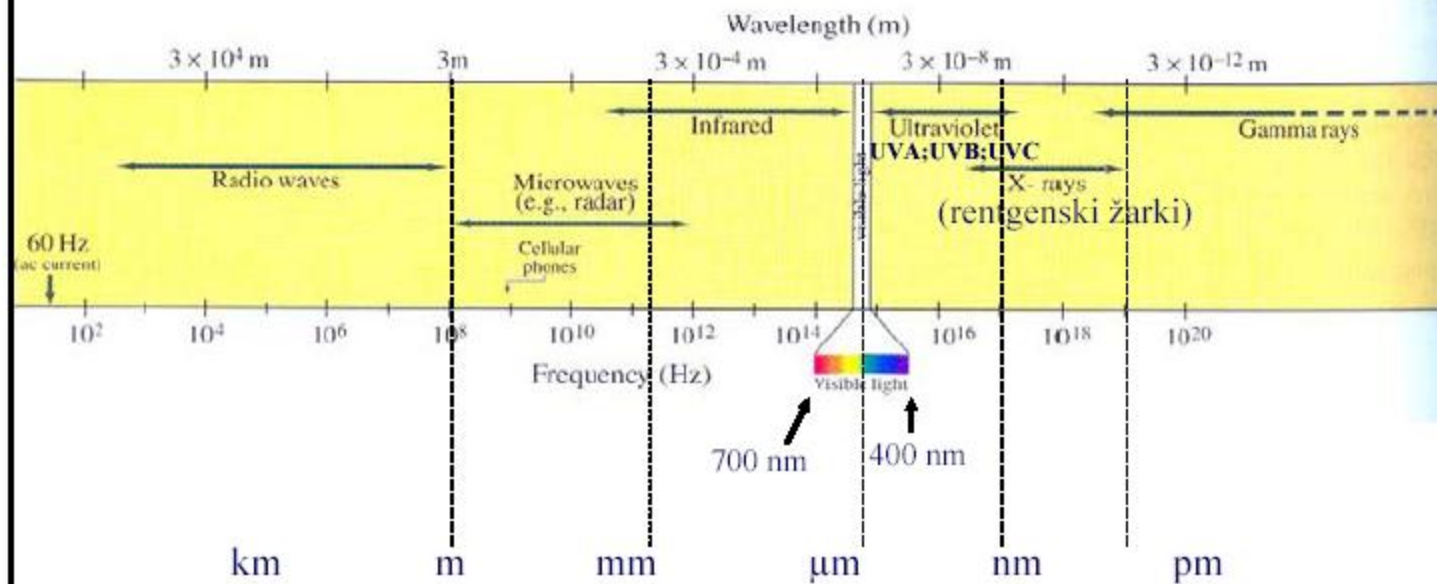
• NASTANEK EM VALOVANJA NA DIPOLNI ANTENI:



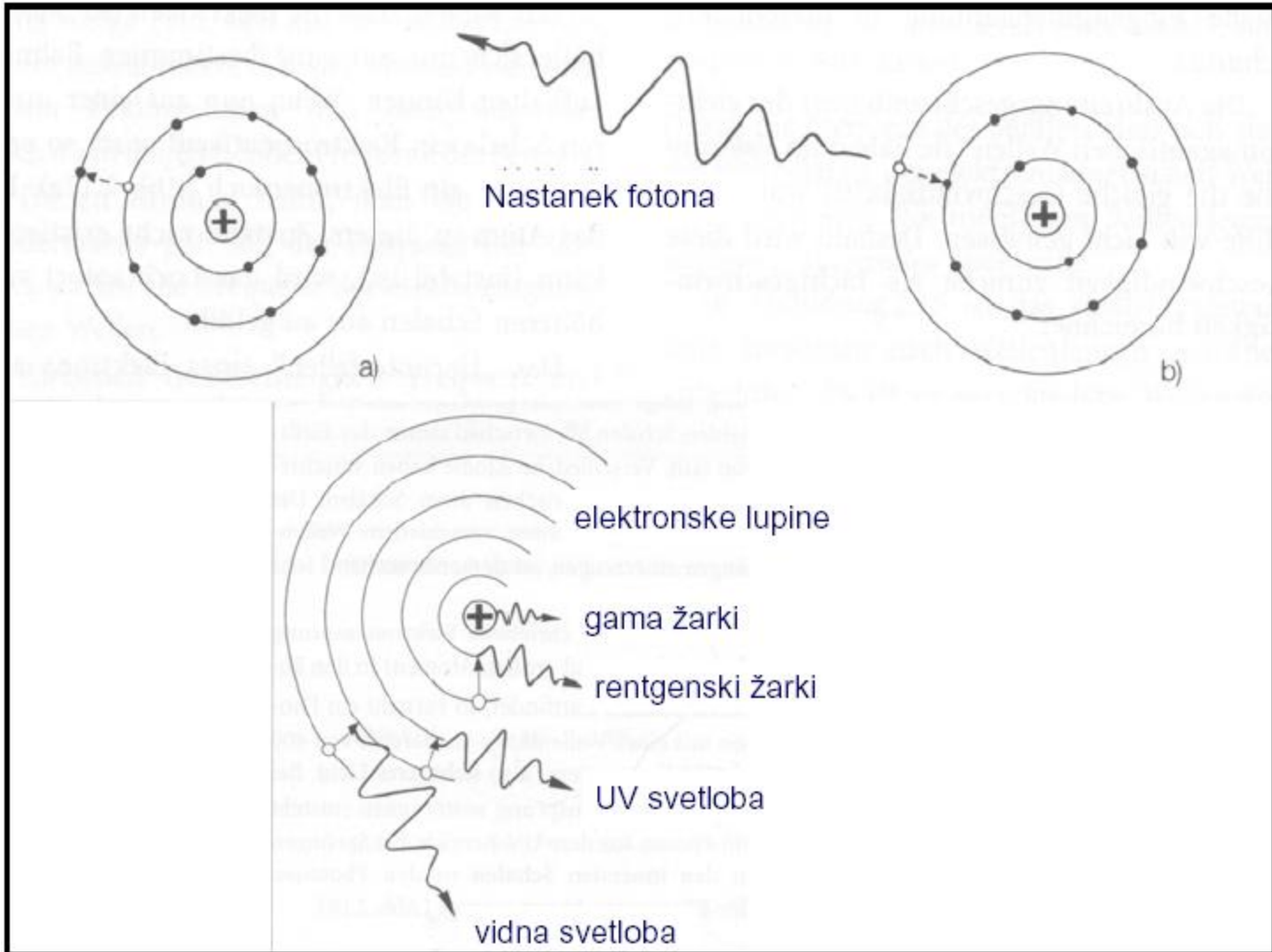
SPEKTRI EM VALOVANJA

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

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



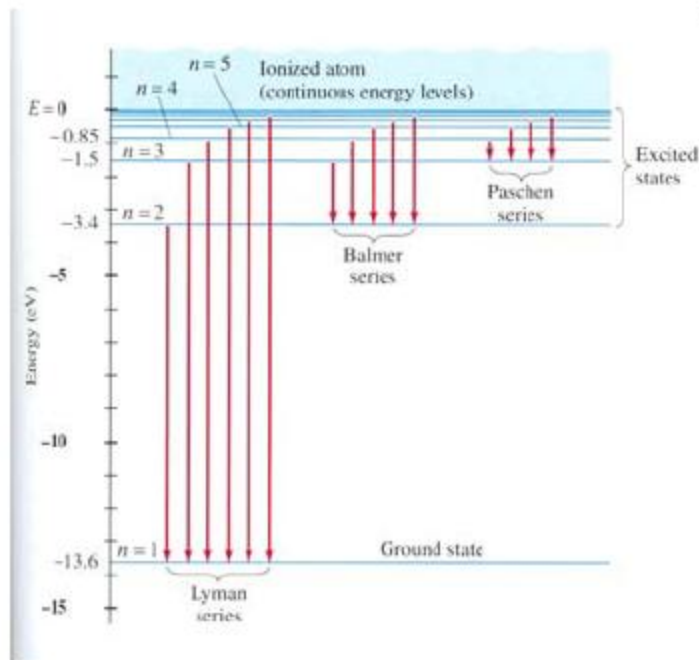
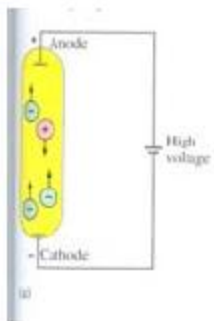
Izvor svetlobe



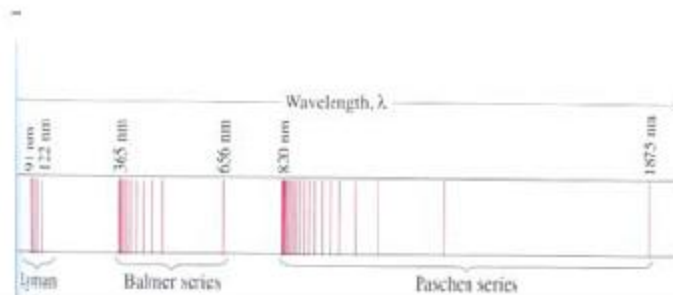
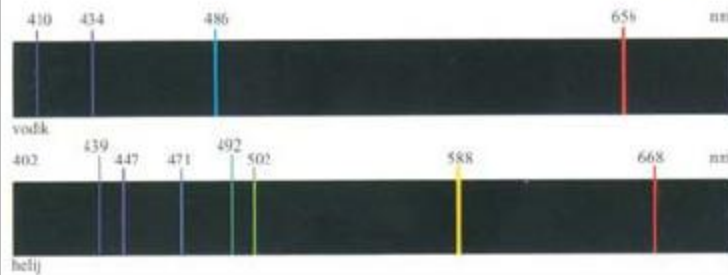
SEVANJE IN SPEKTER RAZREDČENIH PLINOV

•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

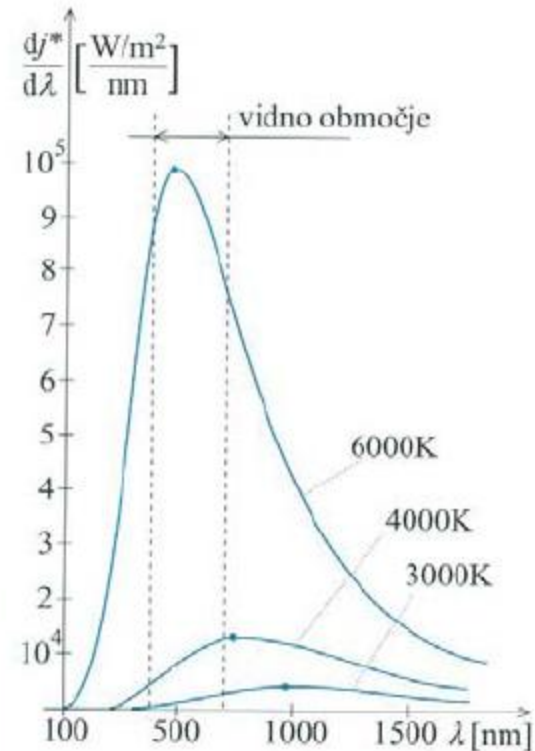
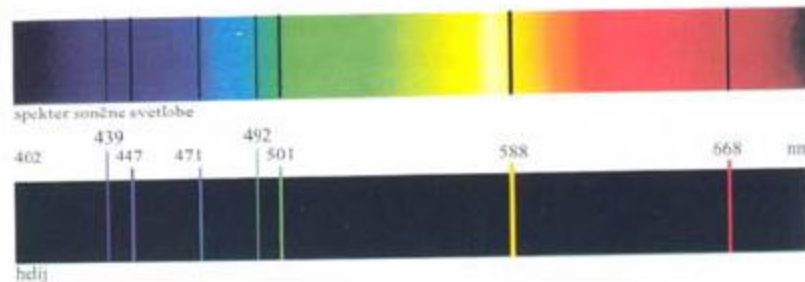
- STEFANOV ZAKON ZA SEVANJE ČRNEGA TELESA

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

- WIENOV ZAKON:

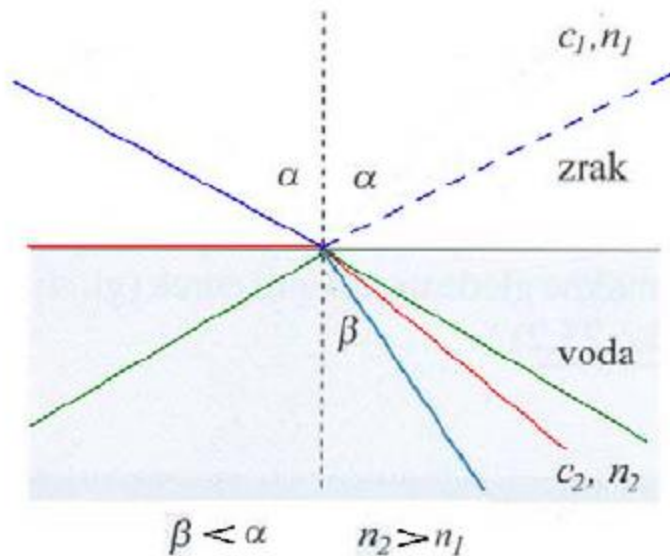
$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{konstanta}$$

• **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

- LOM IN TOTALNI ODBOJ NA PREHODU SVETLOBE IZ VODE V ZRAK

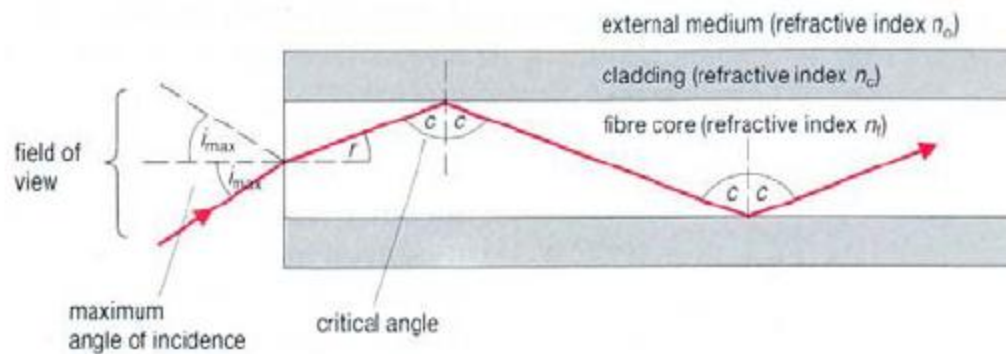


$$n_{\text{zrak}} = 1$$

$$n_{\text{voda}} = 1.33$$

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

TOTALNI ODBOJ IN OPTIČNI VODNIK:

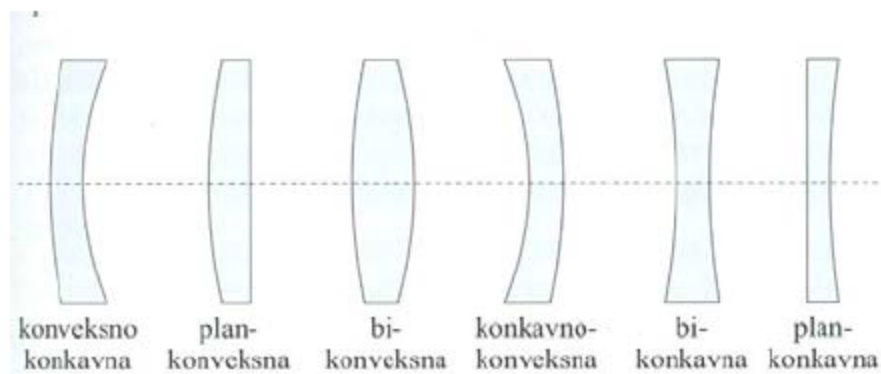


SVETLOBA - GEOMETRIJSKA OPTIKA

f – goriščna razdalja leče

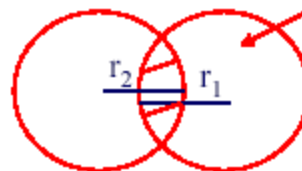
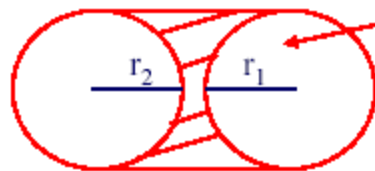
$1/f$ – lomljivost leče [m^{-1} =dptr (dioptrija)]

•VRSTE LEČ

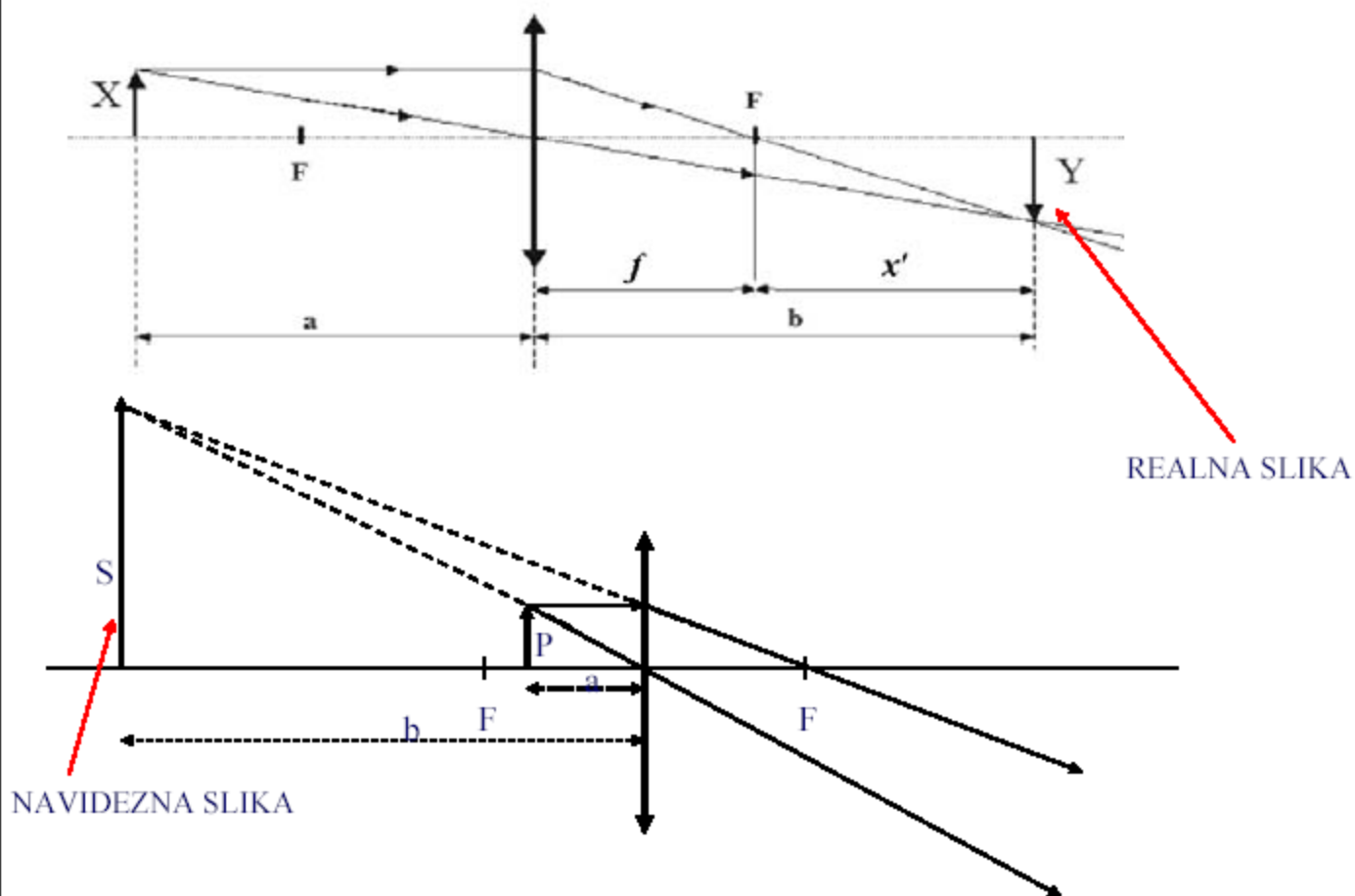


$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

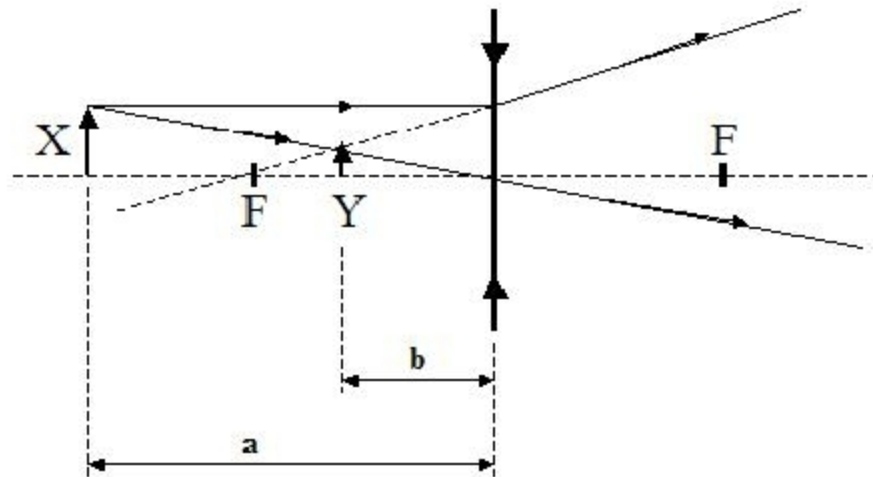
$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$



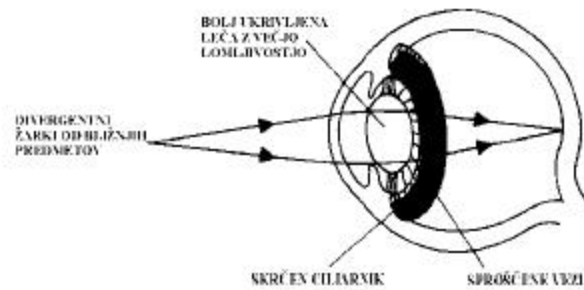
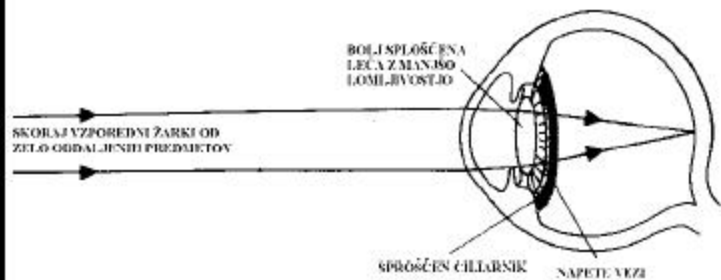
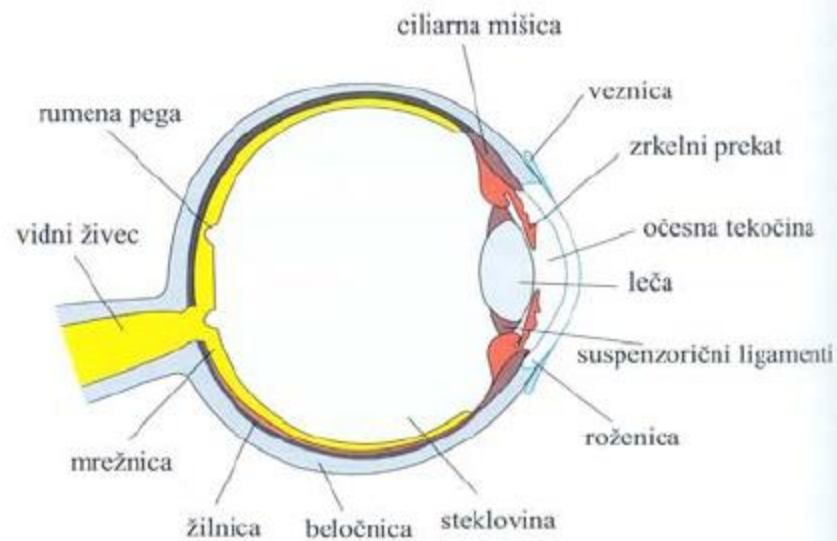
•PRESLIKAVE PREKO KONVEKSNE-ZBIRALNE LEČE
($f > 0$; $a > 0$; $b > 0$ -realna slika / $b < 0$ -navidezna slika)



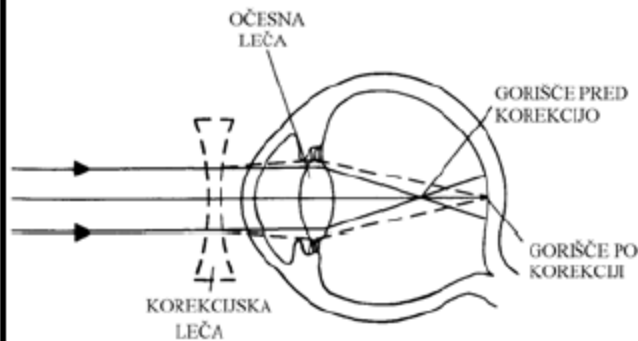
•PRESLIKAVE PREKO KONKAVNE - RAZPRŠILNE LEČE
($f < 0$; $a > 0$; $b < 0$)



OKO



KRATKOVIDNOST



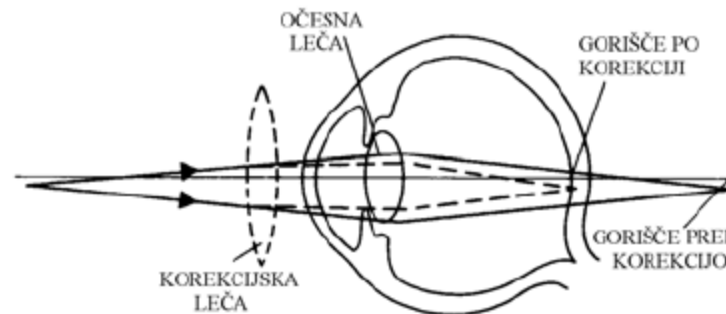
- Zelo oddaljeni predmeti se preslikajo pred mrežnico (premajhna goriščna razdalja (prevelika lomljivost leče) ali predolgo zrklo)
- Vidi jasno do določene razdalje (npr: 35 cm).
- Rešitev:

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

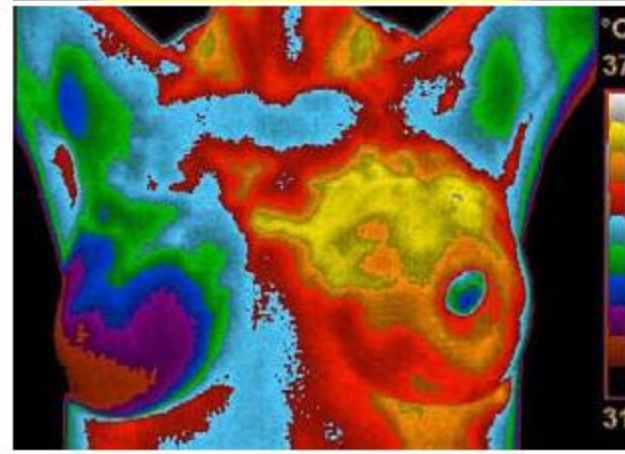
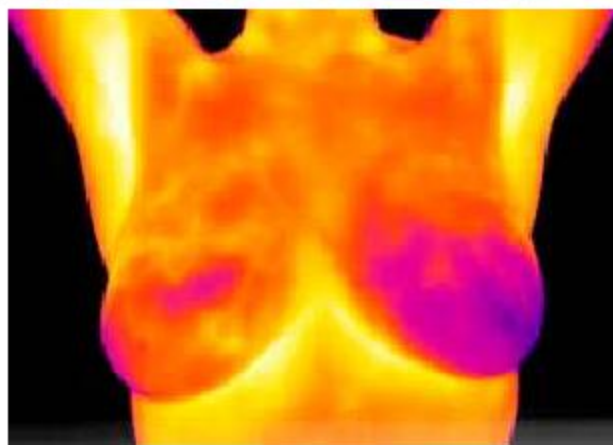
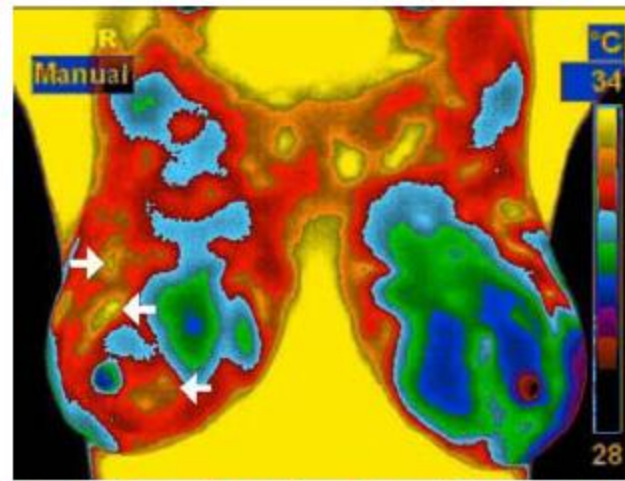
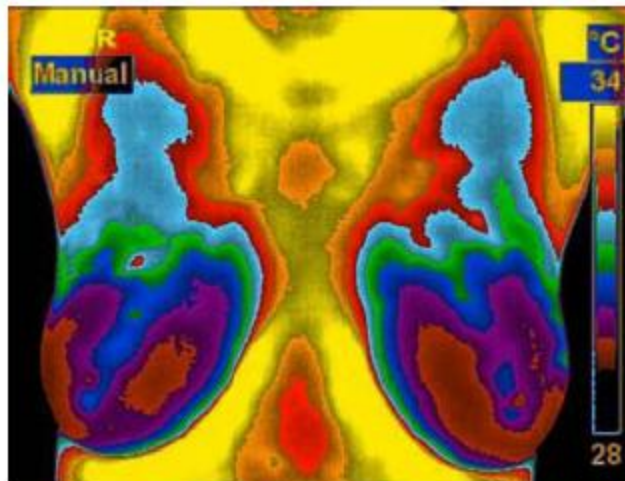
•APLIKACIJA V MEDICINI:

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

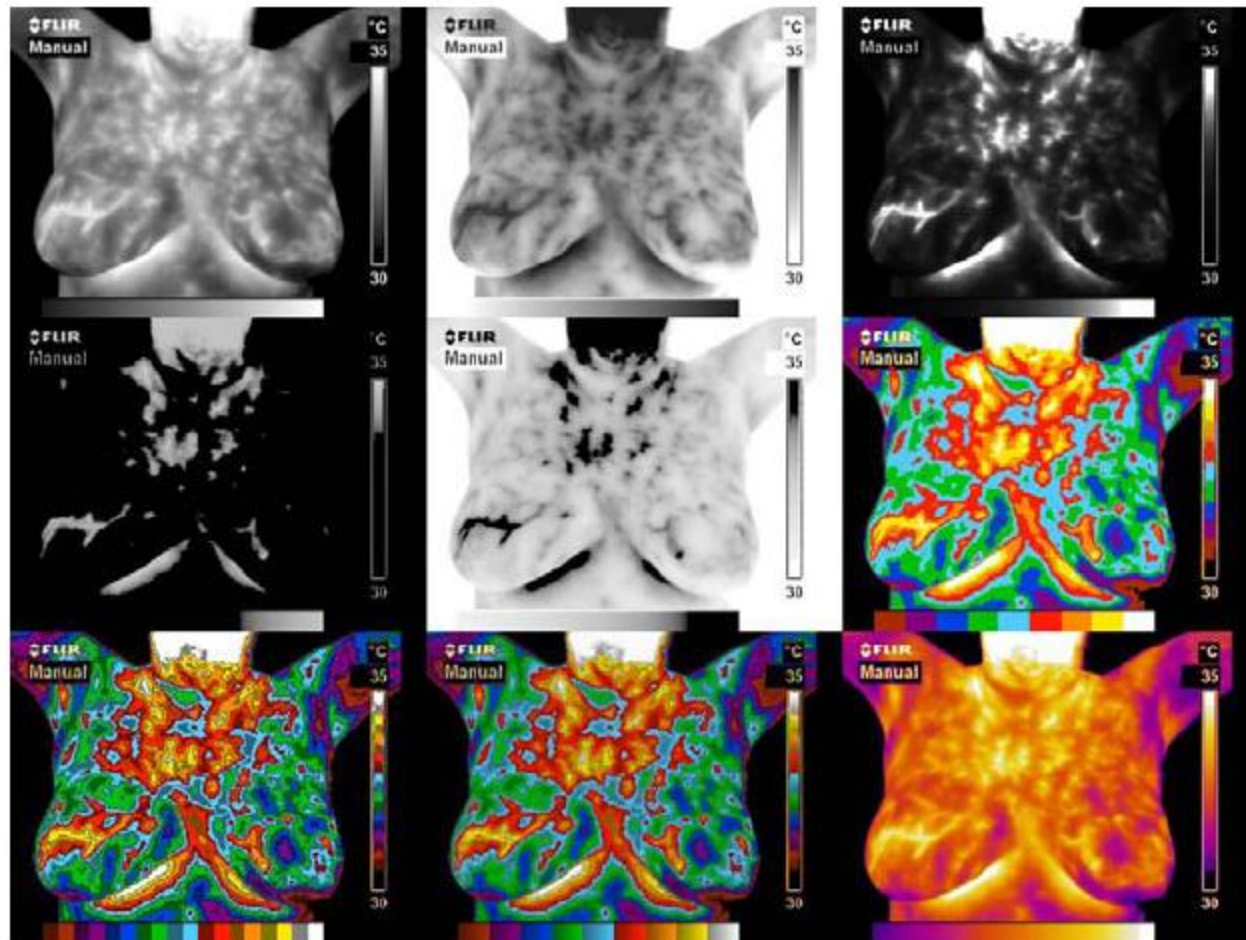
•PREDNOSTI PRED DRUGIMI METODAMI:

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

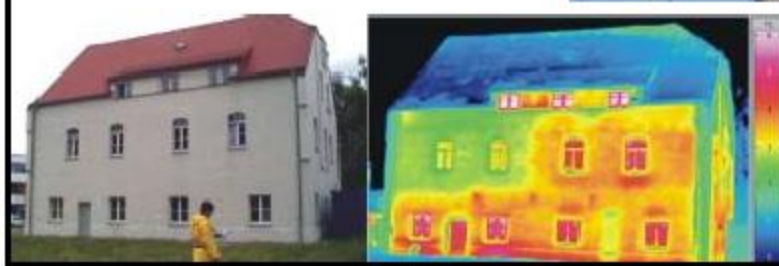
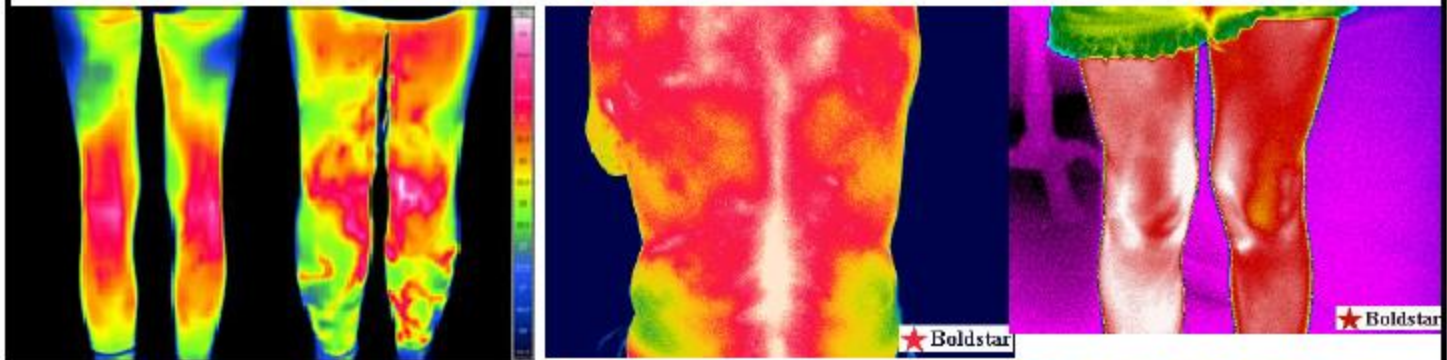
TERMOGRAFIJA - ZGODNJE ODKRIVANJE RAKA NA DOJKI



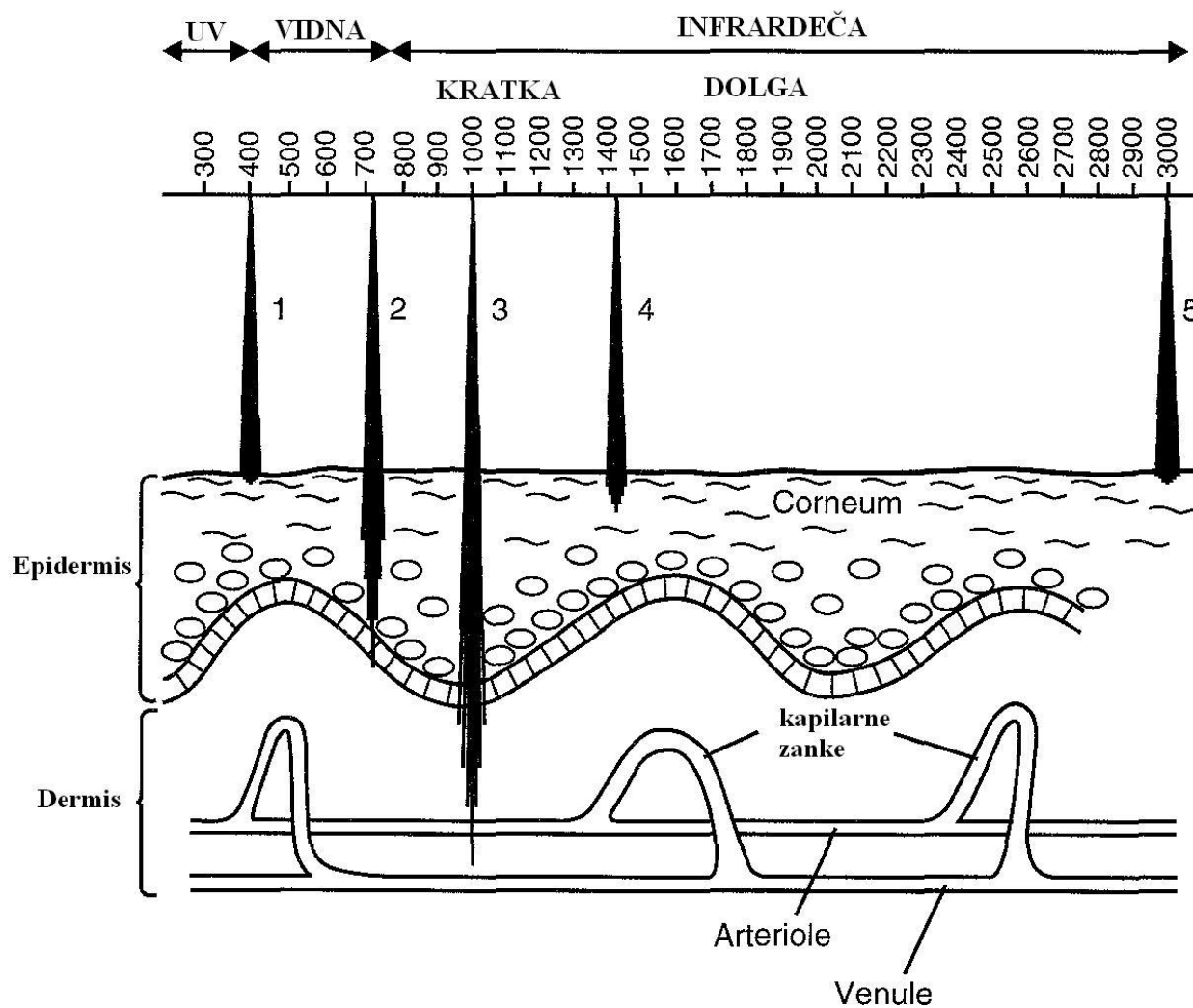
TERMOGRAFIJA - RAČUNALNIŠKA OBDELAVA SLIK



TERMOGRAFIJA - DRUGI PRIMERI V MEDICINI IN TEHNIKI



Učinki vidne in IR svetlobe na kožne strukture



Temperaturni potek v koži pri obsevanju z IR svetlobo

