



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet elektrotehnike i računarstva  
**Biomedicinska instrumentacija**



# Biomedicinska instrumentacija

## P11 – Mjerna instrumentacija

za mjerenje električkih i neelektričkih veličina u medicini

Ak.god. 2010./2011.

prof.dr.sc. Ratko Magjarević

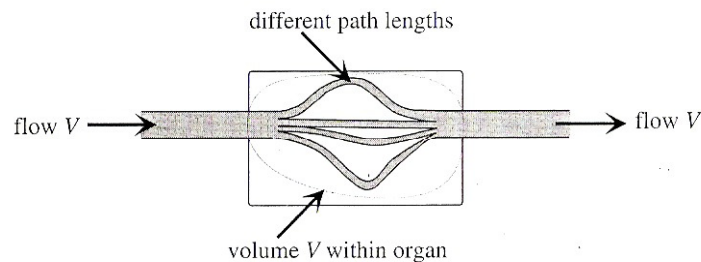


# Mjerna instrumentacija

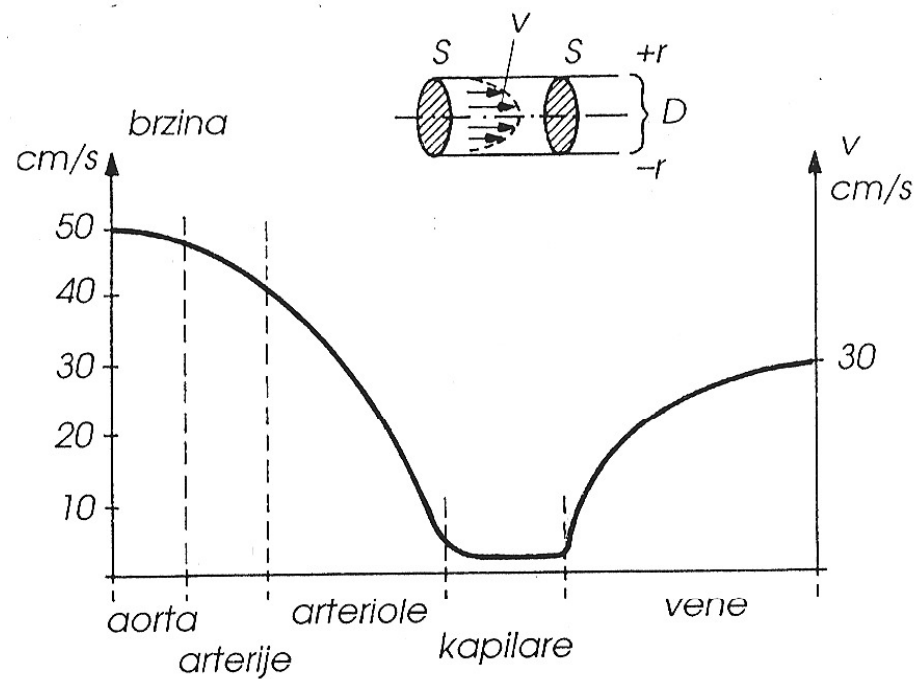
---

- za mjerenje električkih i neelektričkih veličina u medicini-  
PREGLED
  - nastavak predavanja o primjeni ultrazvuka u medicini – neinvazivno mjerenje brzine protoka krvi
- mjerenje bioelektričkih napona – EKG i EEG
- mjerenje tlaka – invazivno
- mjerenje protoka
  - indukcijska metoda
  - metoda jednokratnog ubrizgavanja sredstva
- mjerenje respiracije
  - spirometar
  - pletizmografija

# Profil brzina u krvožilnom sustavu



**Figure 19.1.** The principle of the indicator dilution method. The indicator is injected on the left and the resulting concentration of indicator is measured on the right.



# UZ metode mjerenja protoka

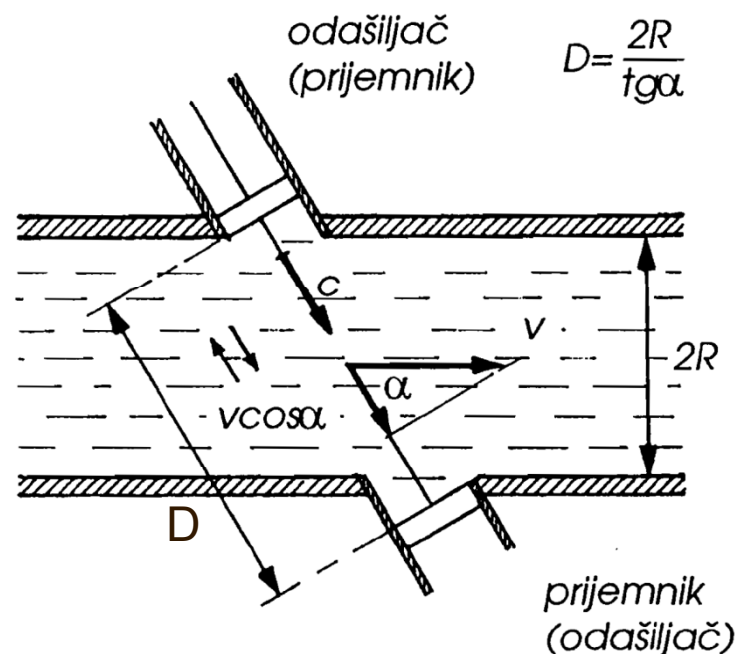
- Mjerenje brzine strujanja krvi temeljena na razlici vremena prolaska

$$t_1 = \frac{D}{c + v \cdot \cos \alpha}$$

$$t_2 = \frac{D}{c - v \cdot \cos \alpha}$$

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{2D \cdot v \cdot \cos \alpha}{c^2 - v^2 \cdot \cos^2 \alpha}$$

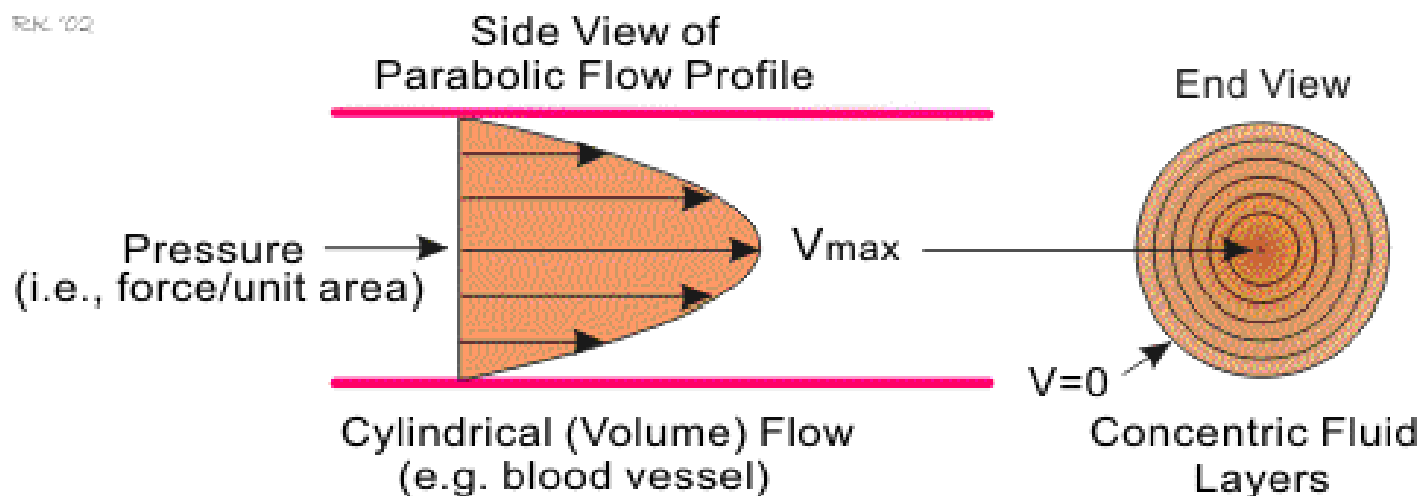
$$\approx \frac{2D \cdot v}{c^2} \cos \alpha \quad \text{UZ } c \gg v$$



gdje je  $c$  brzina širenja ultrazvuka,  $v$  brzina protoka tekućine (krvi u žili), a  $t_i$  vrijeme potrebno da ultrazvuk prijeđe put  $D$  od odašiljača do prijavnika postavljenih na suprotne strane žile promjera  $R$ . Pri tome vektori brzina ultrazvuka i strujanja krvi zatvaraju kut  $\alpha$ .

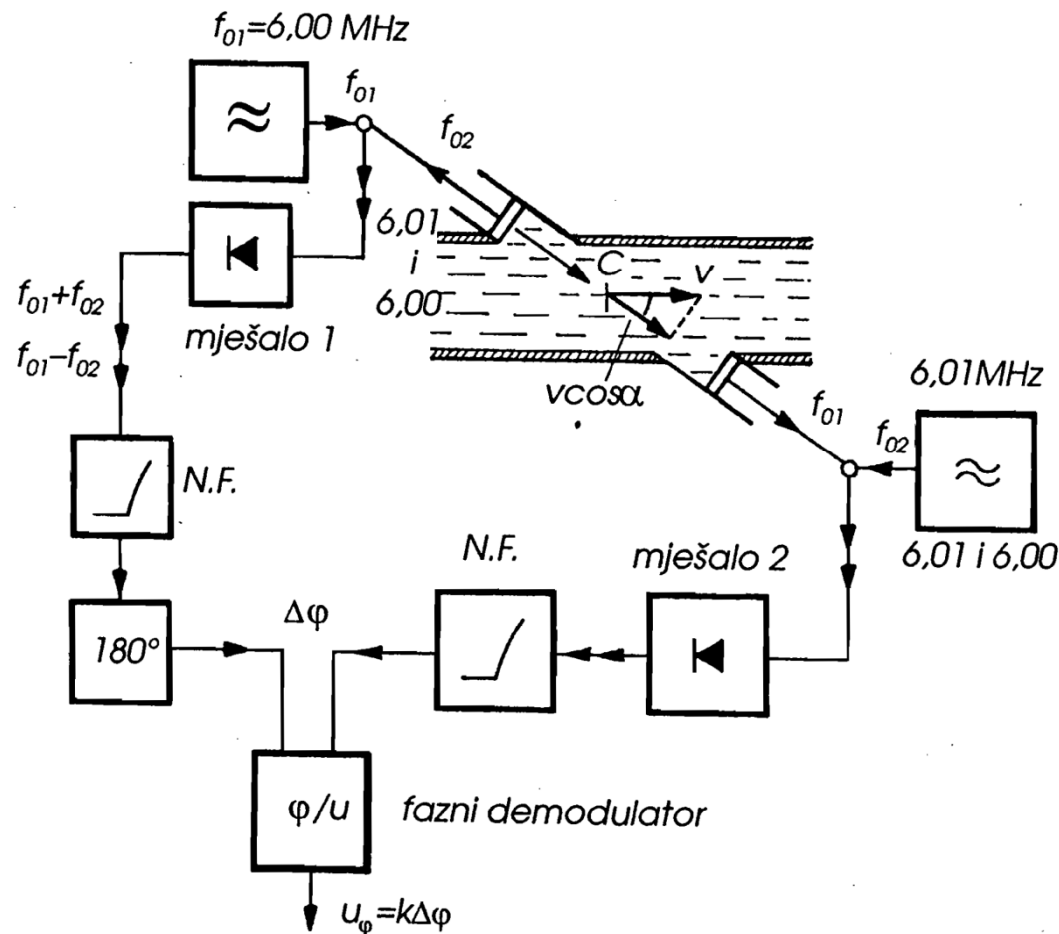
# UZ metode mjerenja protoka

- Brzina  $v$  je srednja brzina krvi. Naime, krv brzina strujanja krvi nije jednaka u sredini žile i pri rubovima. Govorimo o slojevitom (laminarnom) profilu brzine, koji se opisuje parabolom.



# Kont. mjerenje brzine strujanja

- Mjerenje brzine strujanja krvi temeljene na razlici vremena prolaska u kontinuiranom radu



# UZ metode mjerenja protoka

---

- Pri tome se mjerenje razlike u vremenu može svesti na mjerenje razlike u fazi

$$\frac{\Delta \tau}{T} = \frac{\Delta \varphi}{2\pi}$$

$$\Delta \varphi = \frac{4\pi \cdot D \cdot v \cdot f \cdot \cos \alpha}{c^2}$$

$$v = \frac{c^2 \cdot \Delta \varphi}{4\pi \cdot D \cdot f \cdot \cos \alpha}$$

# Diskusija

---

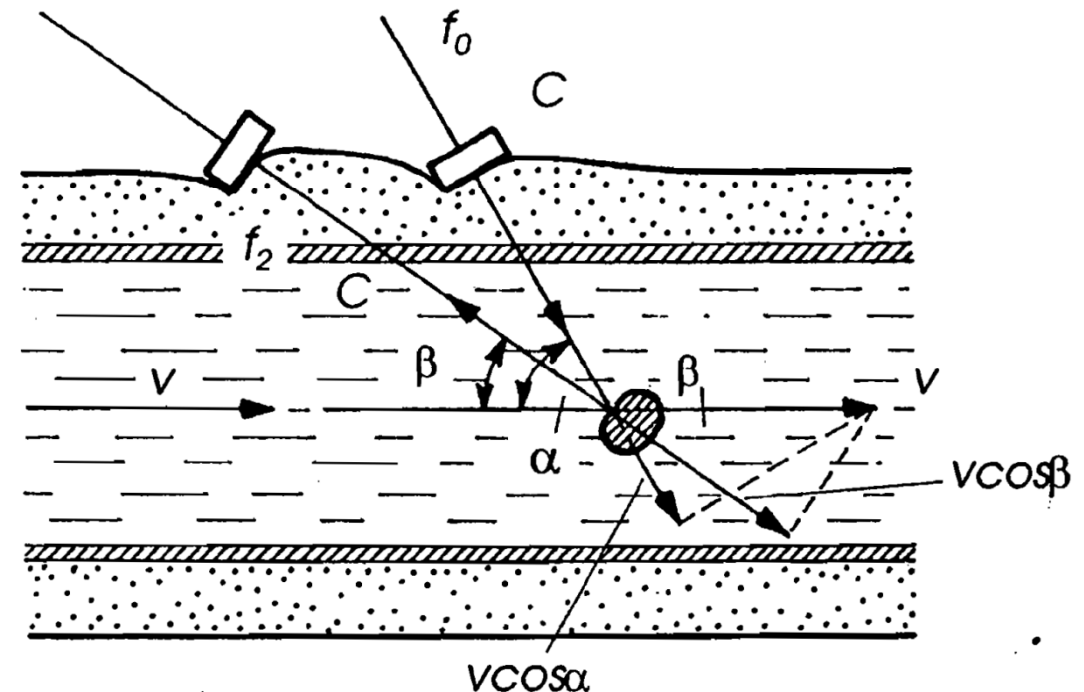
- Koje moguće poteškoće u mjerenju brzine protoka krvi možete uočiti u opisanim metodama?

# Mjerenje protoka Dopplerovim efektom

- Mjerenje brzine strujanja krvi temeljene na Dopplerovom efektu

$$f_2 = f_{pr} \frac{1}{1 + \frac{v}{c} \cos \alpha}$$

$$f_{pr} = f_0 \left( 1 - \frac{v}{c} \cos \beta \right)$$



# Načelo izvedbe uređaja

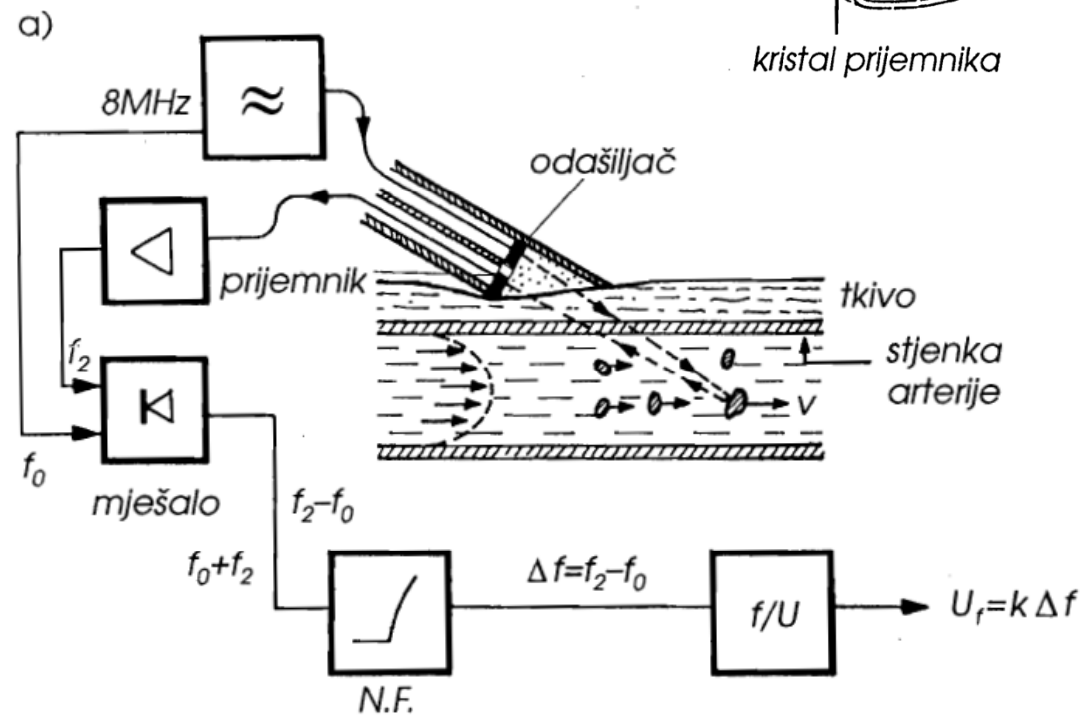
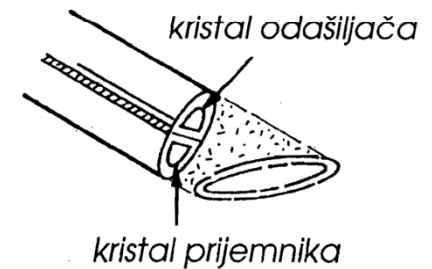
- Izvedba uređaja za mjerenje strujanja krvi temeljene na Dopplerovom efektu

$$f_2 = f_0 \frac{1 - \frac{v}{c} \cos \beta}{1 + \frac{v}{c} \cos \alpha}$$

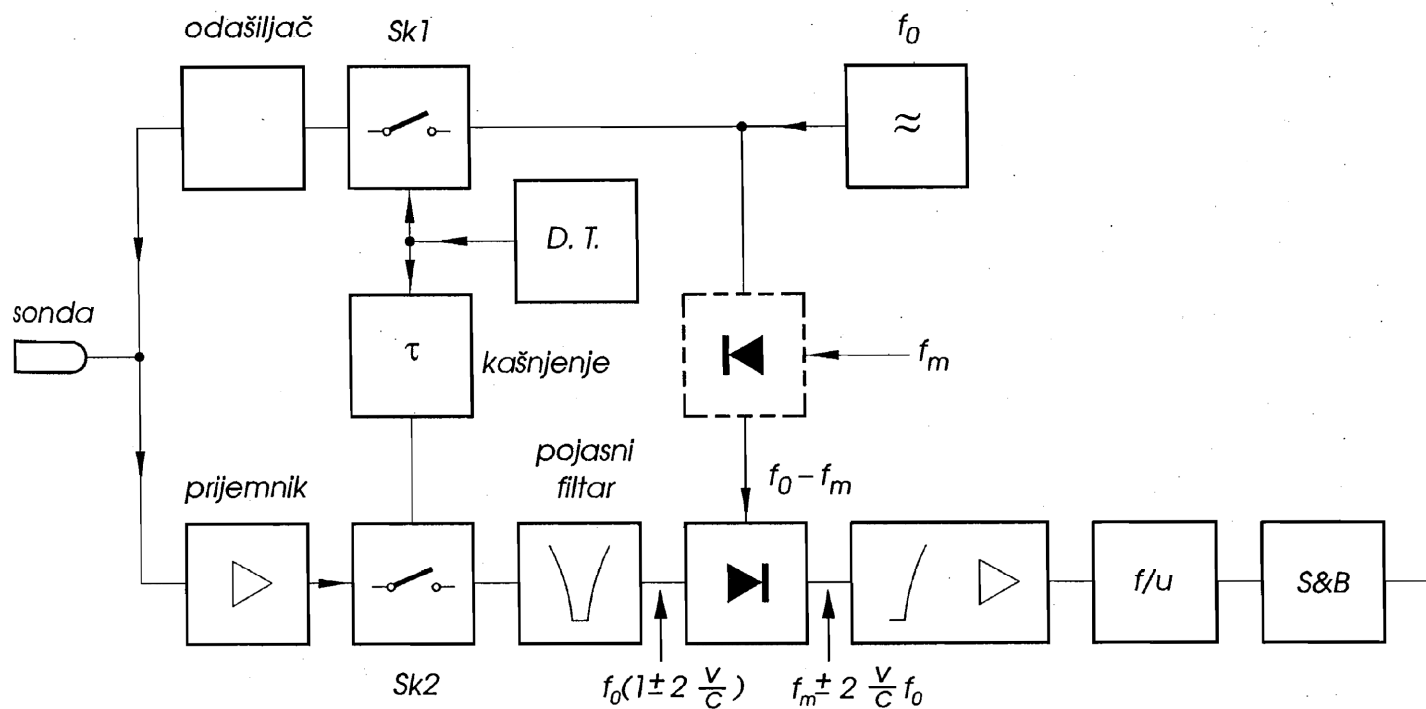
$$\Delta f = f_2 - f_0$$

$$= f_0 \left[ \frac{1 - \frac{v}{c} \cos \beta}{1 + \frac{v}{c} \cos \alpha} \right]$$

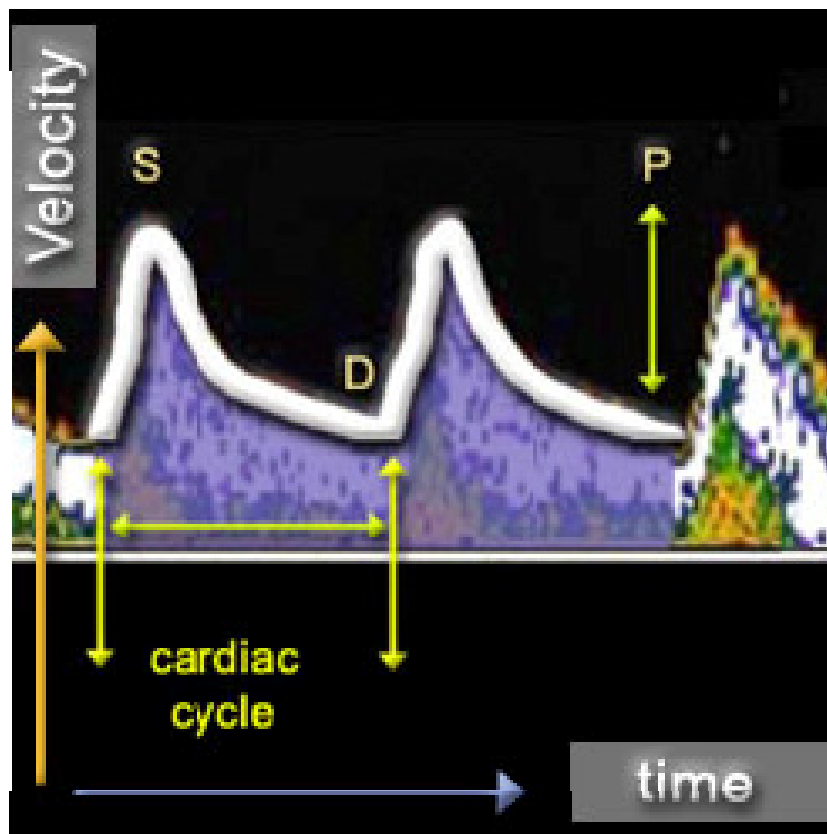
$$= f_0 \frac{c}{v} (\cos \alpha + \cos \beta)$$



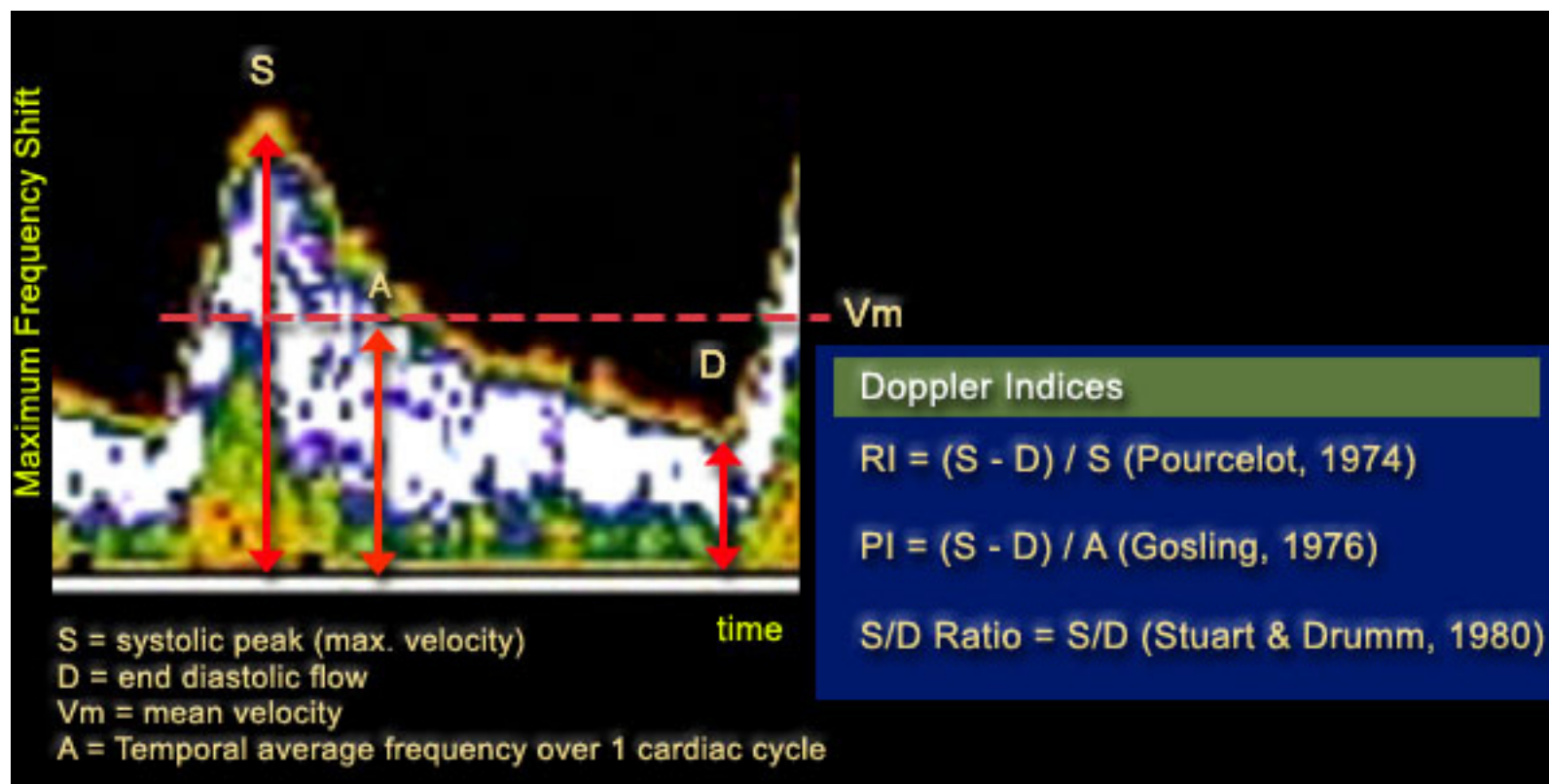
# Blok shema



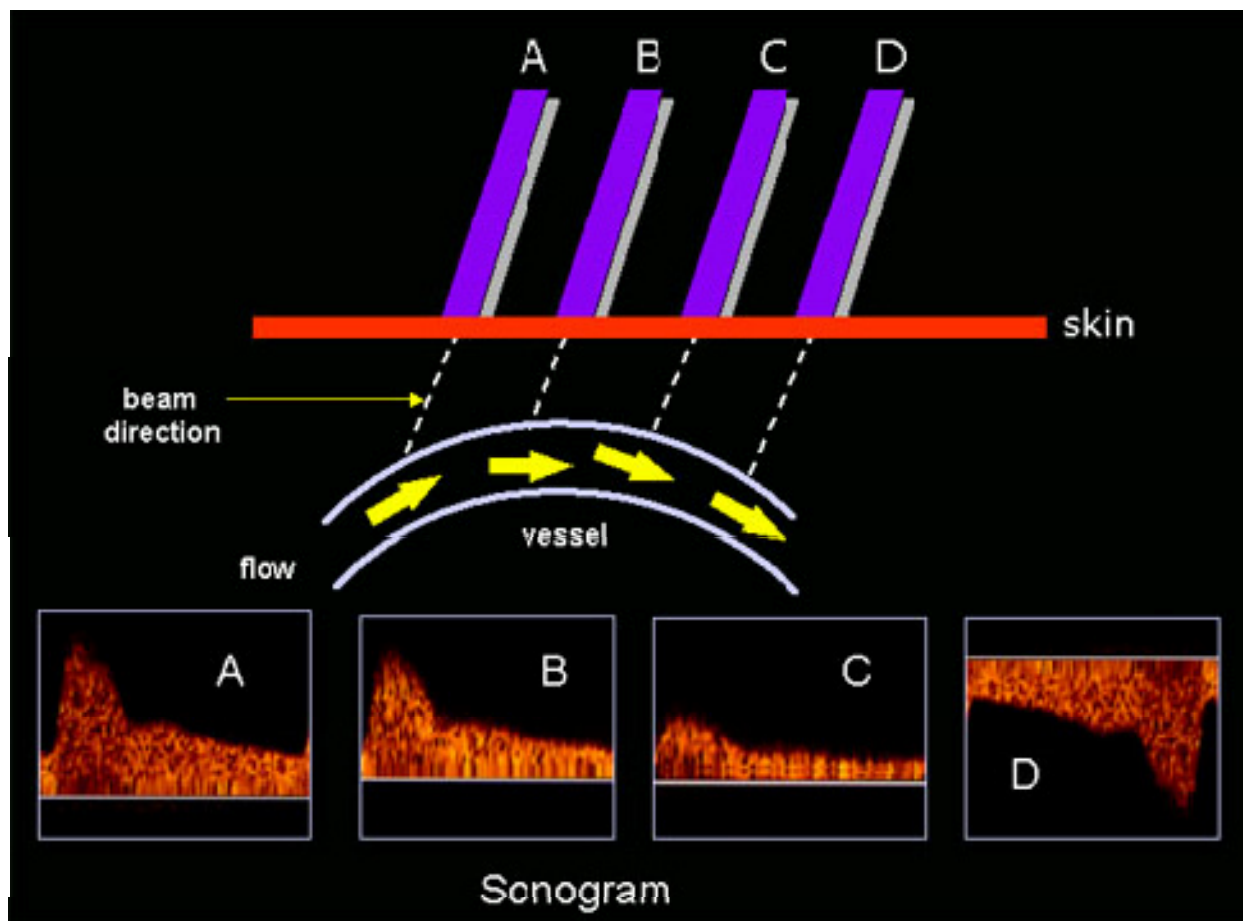
- Promjena brzine tijekom srčane kontrakcije (srčanog ciklusa)



## ➤ Neki parametri mjerenja brzine protoka



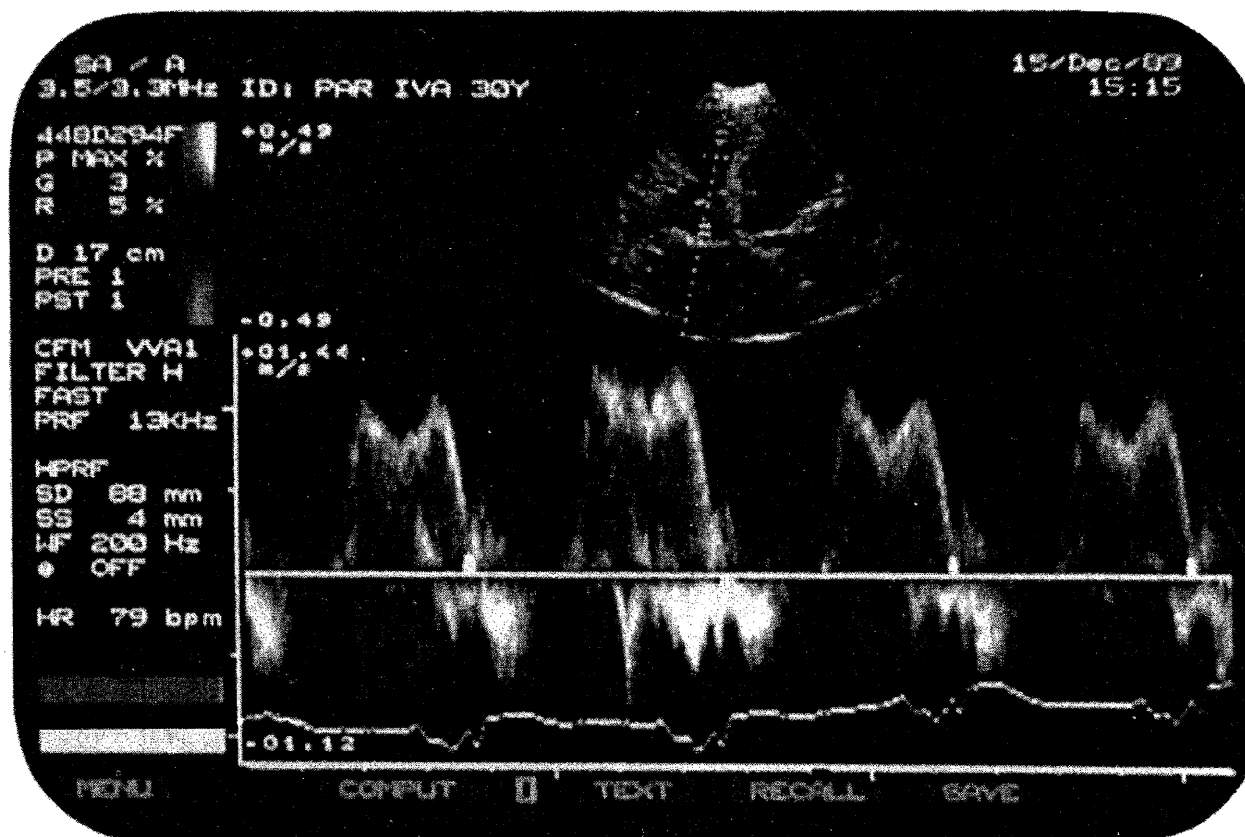
# Ovisnost prikaza brzine o kutu

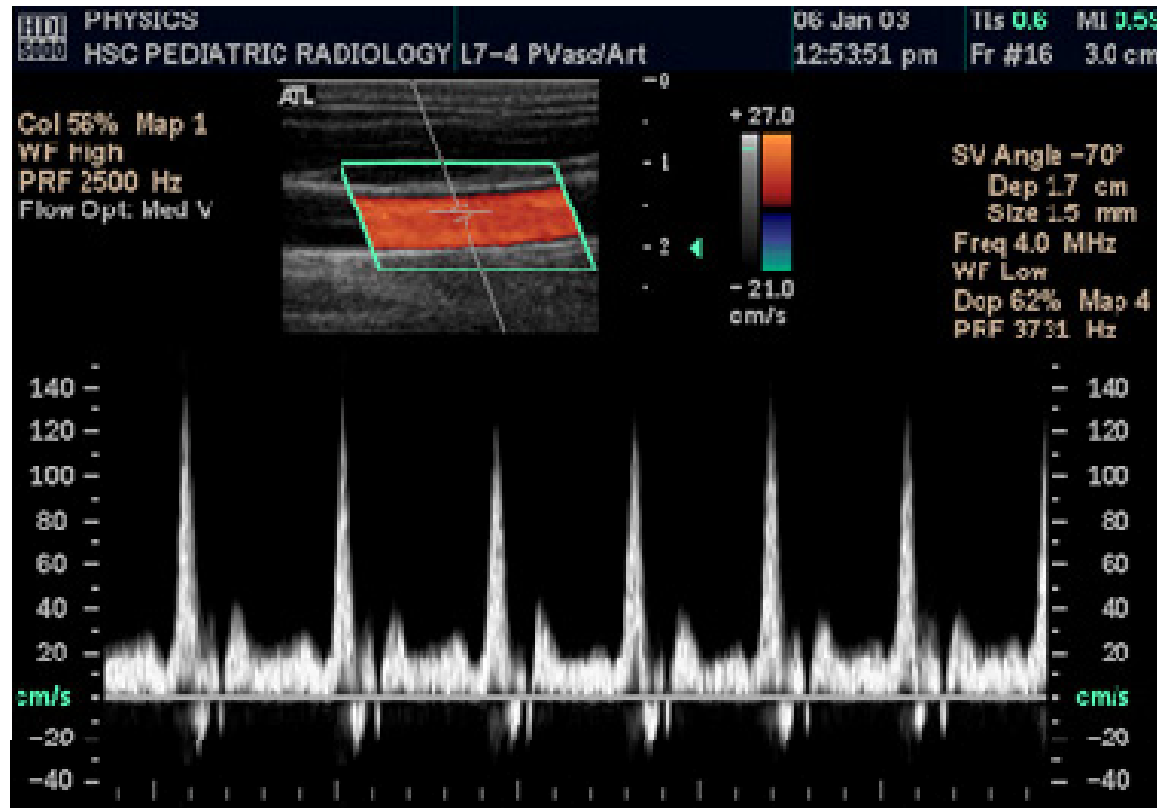


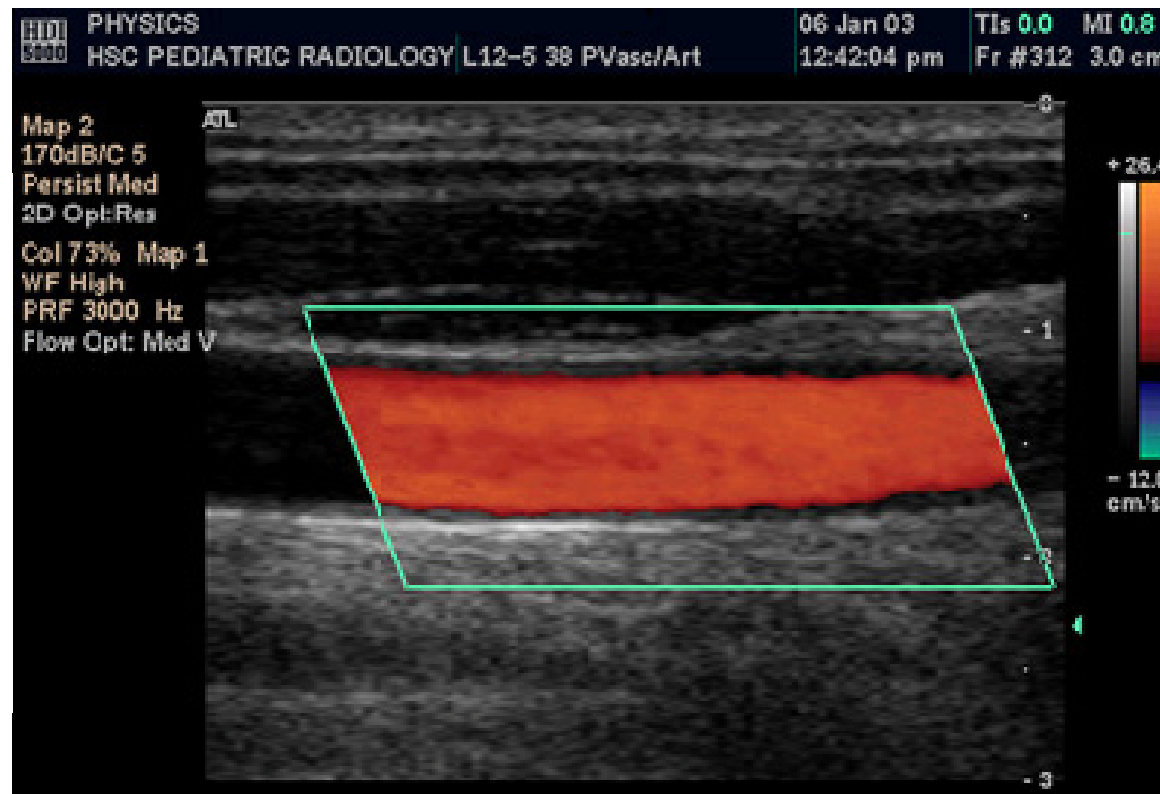
- Ovisnost prikaza brzine o kutu ultrazvučne sonde u odnosu na trajektoriju brzine. **(A)** i **(B)** Signal razlike frekvencija izraženiji je ako je smjer ultrazvuka pod oštrim kutom u odnosu na smjer gibanja krvi. Kut između ultrazvučne zrake i trajektorije brzine protoka je blizu  $90^\circ$ , pa je signal **(C)** mali. U slučaju **(D)** krv se udaljava od izvora ultrazvuka, pa je signal negativan.

# Dopplerov efekt

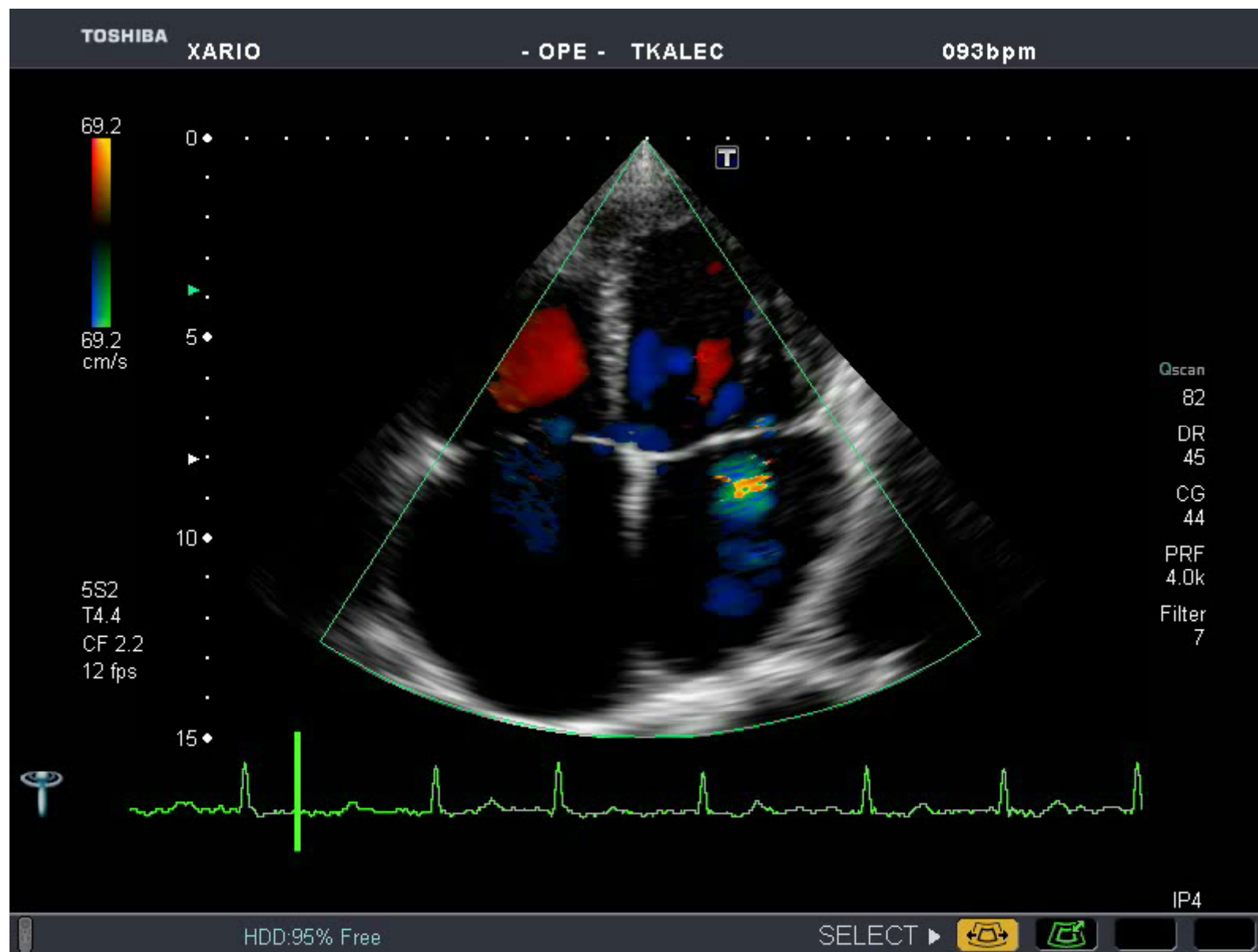
- Sektorski prikaz s pravcem duž kojeg je proveden impulsni Doppler

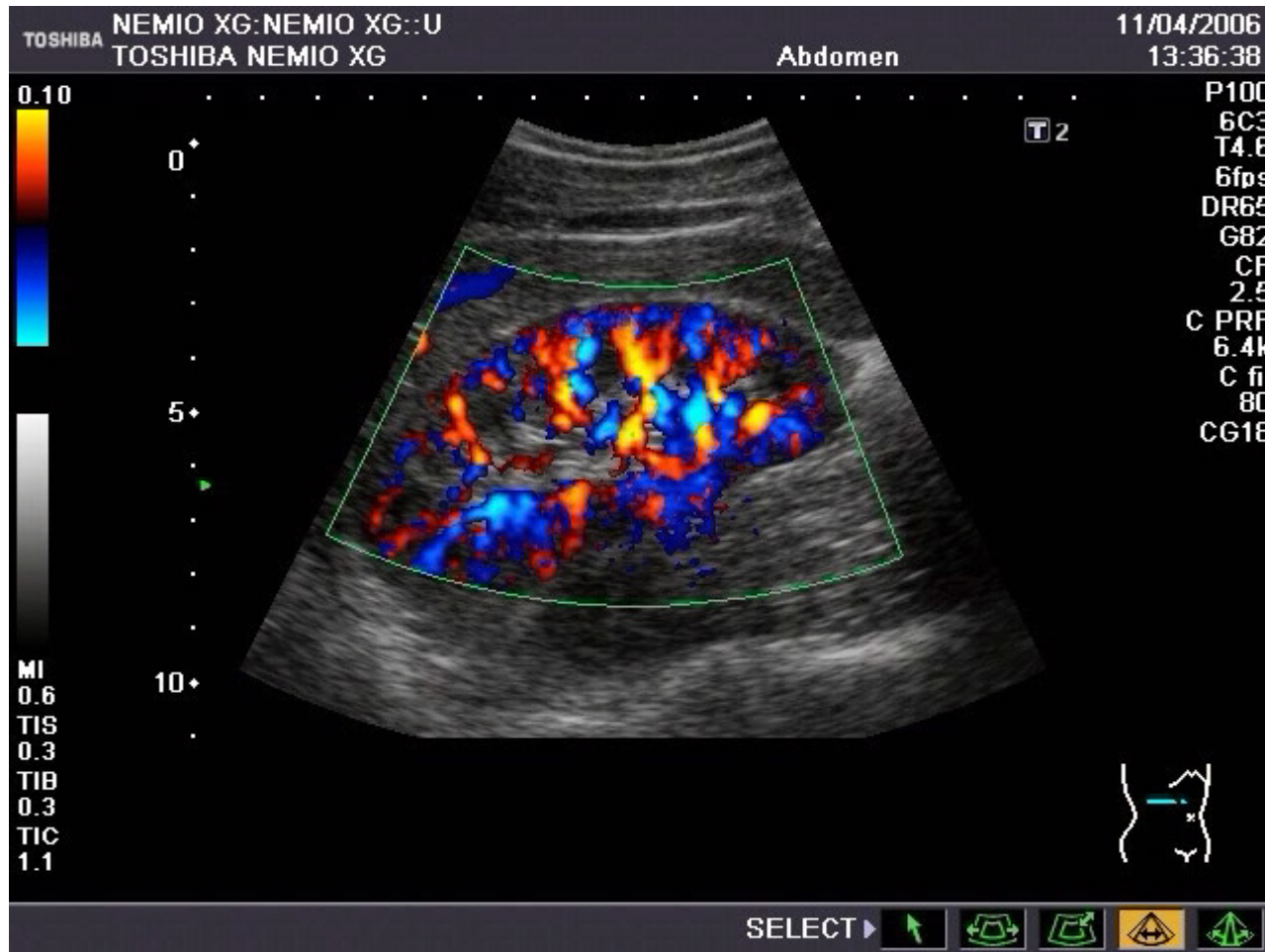






# UZV uz mjerenje protoka





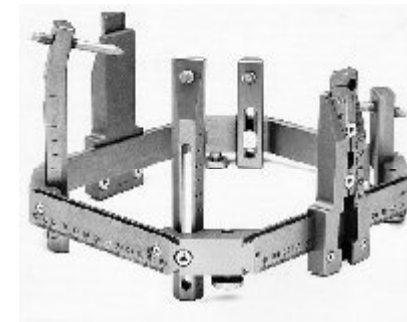
# Literatura:

---

- Šantić, A., "Biomedicinska elektronika", Školska knjiga, Zagreb, 1995
- Breyer, B., "Medicinski dijagnostički ultrazvuk", Školska knjiga, Zagreb, 1991
- Brown, BH., Smallwood, RH., et al., "Medical Physics and Biomedical Engineering, IoP Press, Bristol, 1999

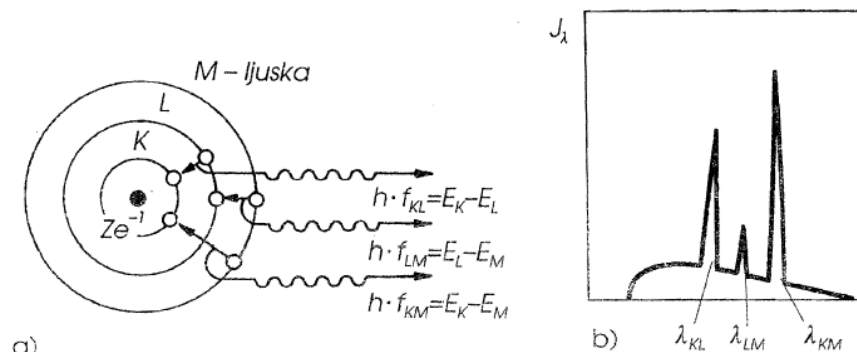
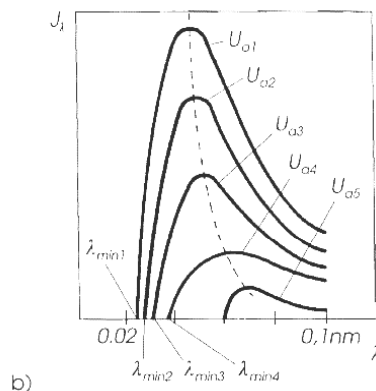
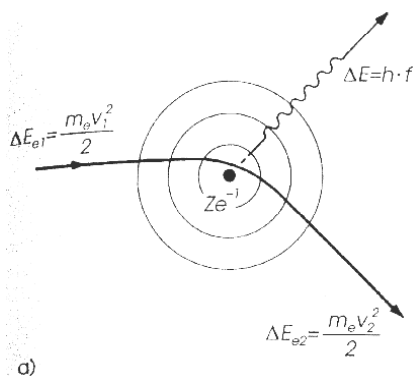
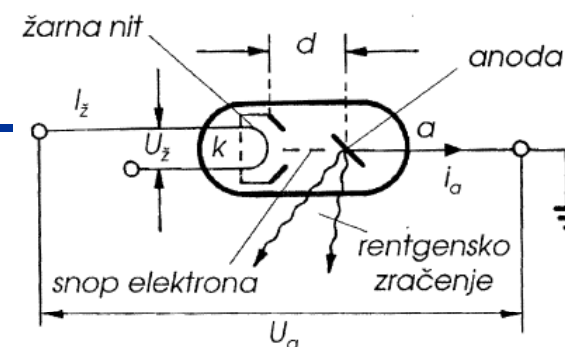
# Posjet KBC Rebro

- Klinika za onkologiju i radioterapiju (mr.sc. Nenad Kovačević)
  - planiranje terapije: CT za dobivanje medicinskih slika i programska podrška za obilježavanje područja zračenja – tumora
  - proračun doza zračenja
  - načini osiguranja položajne točnosti
- Radioterapija
  - linearni akcelerator (LINAC)
  - pozicioniranje pacijenata i kolimatori
- Radikirurgija
  - gama nož (Gamma knife)
  - precizno zračenje tumora glave
  - stereotaktički uređaj za pozicioniranje
- Klinika za nuklearnu medicinu (dr.sc. Mario Medvedec)
  - gama kamera



# Rentgenska tehnika

- rtg zračenje = ionizirajuće zračenje
- kratka valna duljina zračenja (vrlo prodorno):
  - zakočno zračenje s kontinuiranim spektrom
  - karakteristično zračenje s diskretnim (linijskim) spektrom



$$\lambda_{\min} [\text{nm}] = \frac{1.24}{U_a [\text{kV}]}$$

$$J = c_k \cdot Z \cdot U_a^2 \cdot I_a$$

$$U_{a \text{ krit}} = \frac{k}{\lambda_k}$$

$$J = c_d \cdot I_a \cdot (U_a - U_{a \text{ krit}})^n$$

- gušenje rtg zračenja u tvarima:

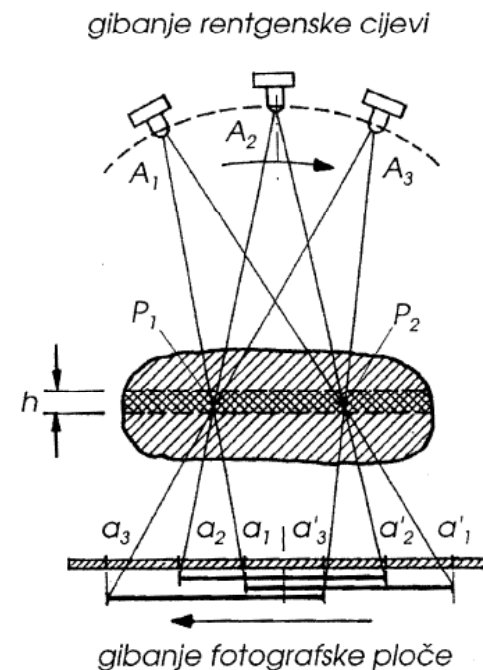
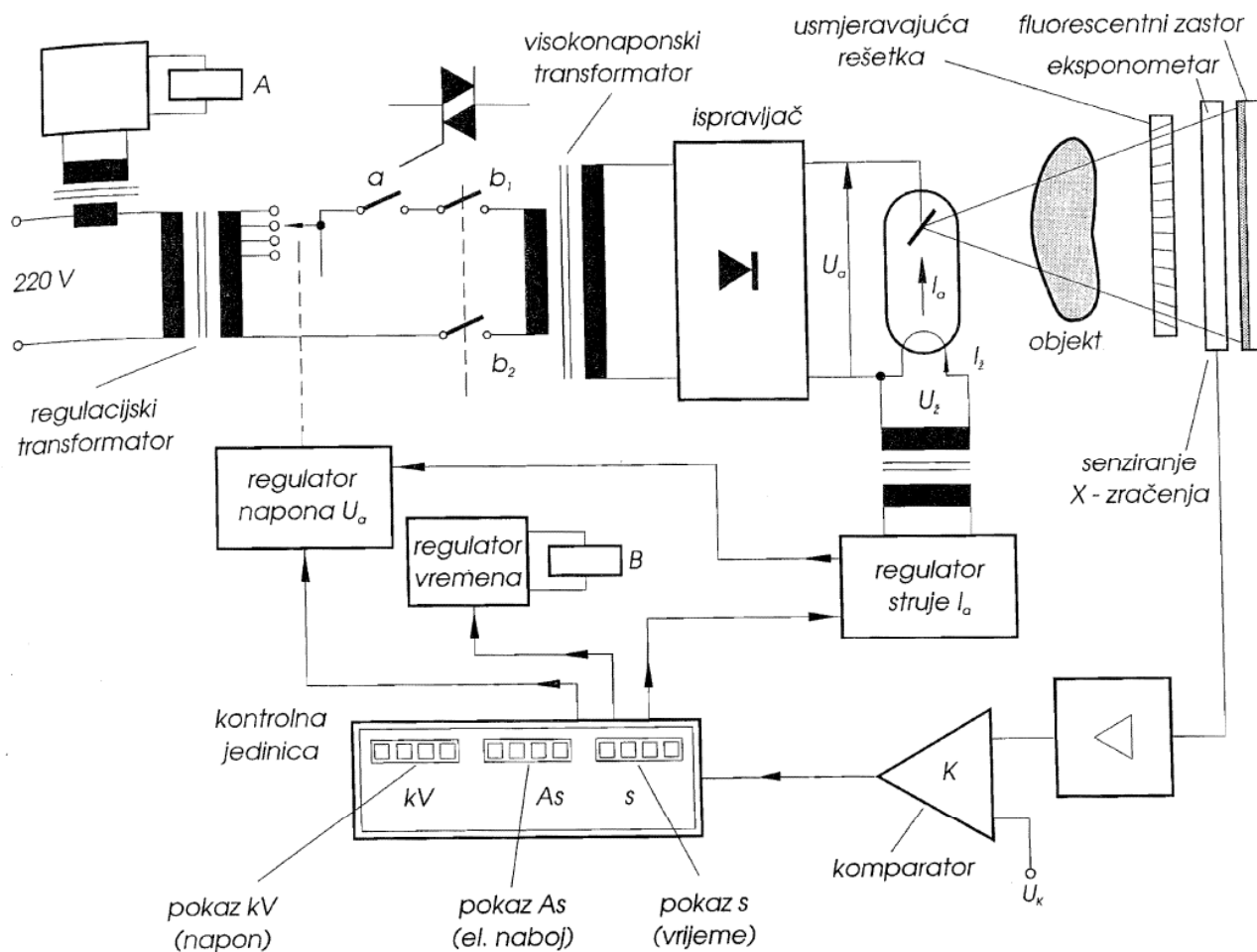
$$J_d = J_0 \cdot e^{-\mu d}$$

$$\mu = \tau + \sigma_k + \sigma_c + \pi = \text{apsorpcija} + \text{raspršenje} + \text{comptov\_efekt} + \text{gušenje}$$

# Rentgenski uređaji

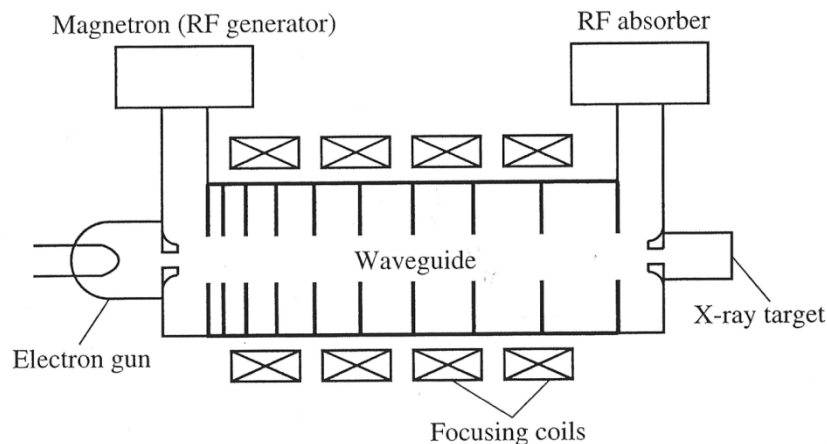
- dijaskopija (prozračivanje), rentgenografija (snimanje na film), suptraktivna angiografija (kontrastno sredstvo), tomografija (laminografija, planigrafija)
- stomatologija (10-40 kV), dijagnostika i terapija (do 300kV), rotirajuća anoda

\* $t_v \sim 20kV$

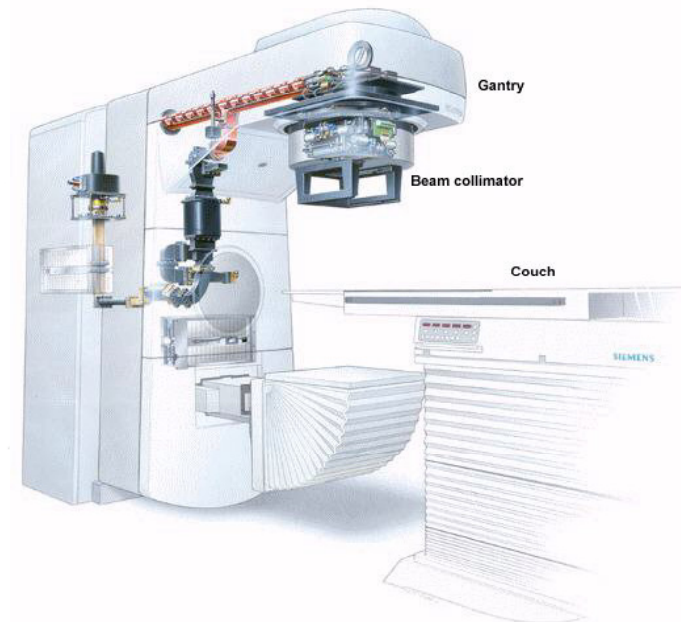


# Linearni akcelerator (linac)

- Uređaji koji ubrzavaju nabijene atomske čestice ili njihove dijelove linearno, tako da se dobije "zraka" koja se koristi u terapiji tumora
- Linaci malih energija koriste se u svakoj katodnoj cijevi (osciloskopi, monitori) i u rentgenskoj tehnici
- "Meta" ubrzanih čestica je na kraju zrake (zaslon monitora, pacijent..)



**Figure 21.7.** A greatly simplified diagram of a linear accelerator. The interior of the waveguide is maintained at a high vacuum by ion pumps. Electrons from the electron gun are accelerated down the waveguide either to strike the target and thus produce x-rays, or to pass through a thin window to give an external electron beam. The RF energy may be recirculated, instead of being dissipated as heat in the RF absorber.

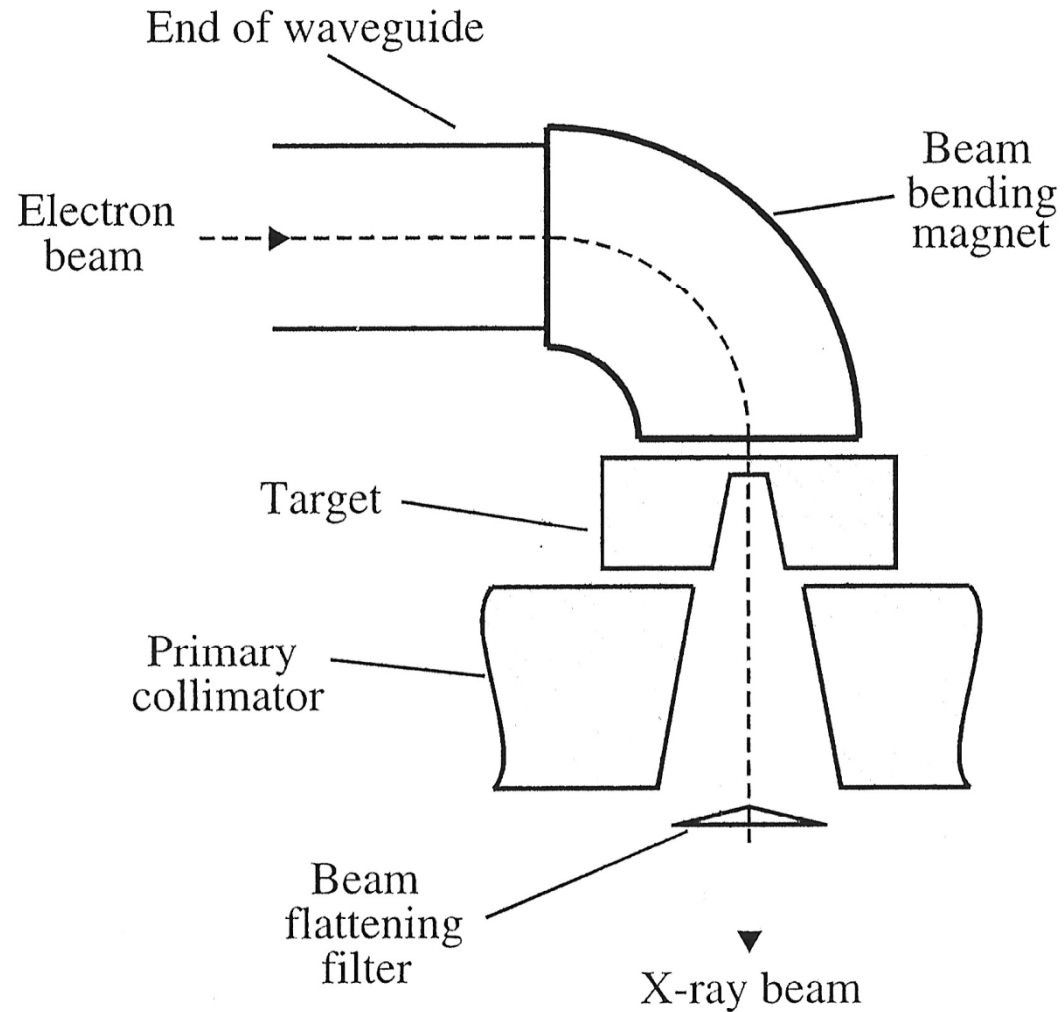


# Primjena LINAC-a u medicini

---

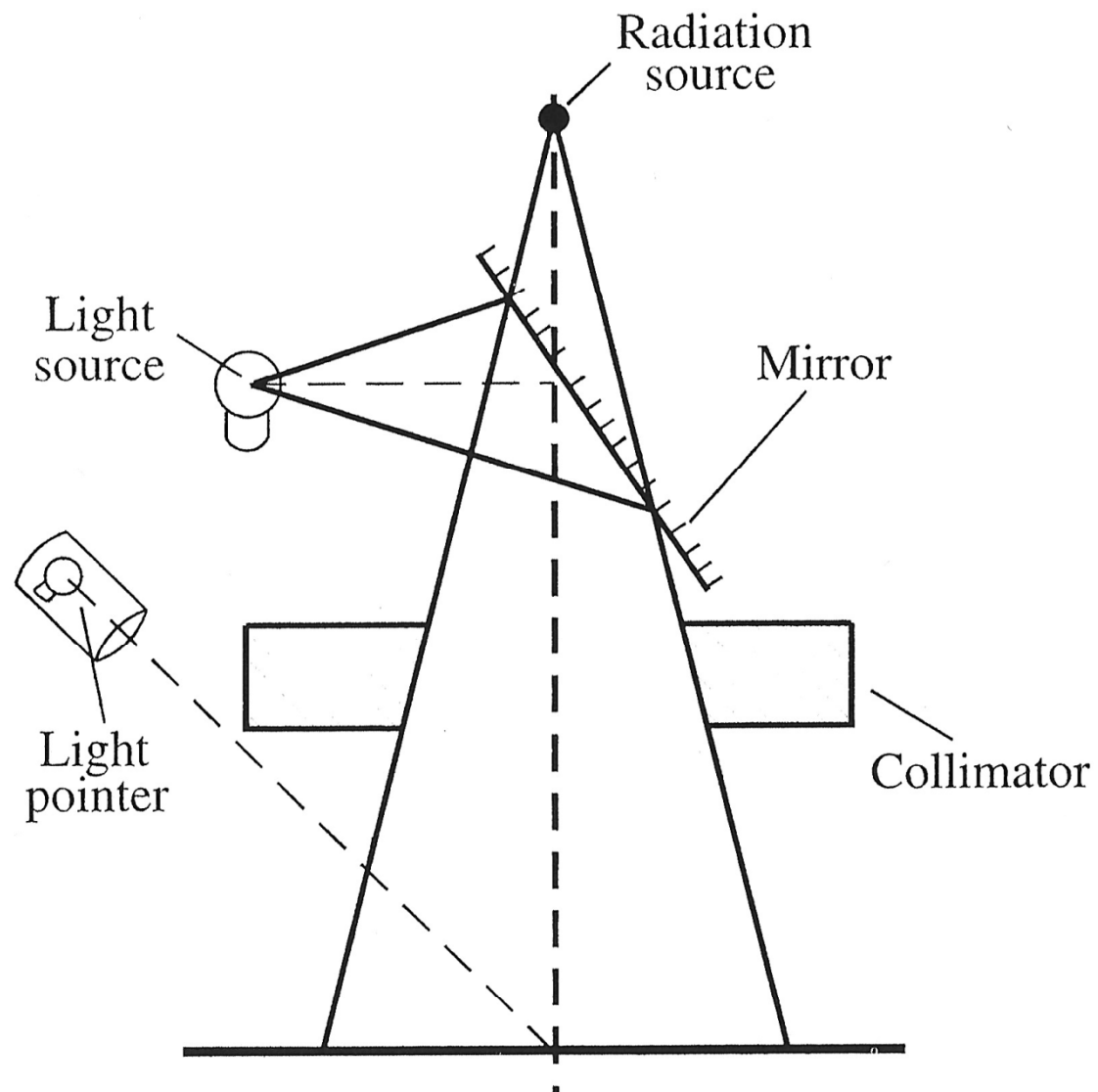
- Radioterapija i radiokirurgija (*radiosurgery*)
- Energija zraka 6-30 MeV
- Za terapiju se koriste zrake čestica ili rentgenske zraka nastale sudarom ubrzanih čestica i anode
- Koristi se u terapiji malignih i benignih tumora, s time da je primjena terapije za liječenje benignih tumora ograničena zbog posljedica ionizirajućeg zračenja
- Koristi se za liječenje (kurativno), za pospješivanje druge, najčešće kemo-terapije te palijativno

# Usmjeravanje zrake



- Link: <http://en.wikipedia.org/wiki/Collimator>

# Usmjeravanje zrake na cilj





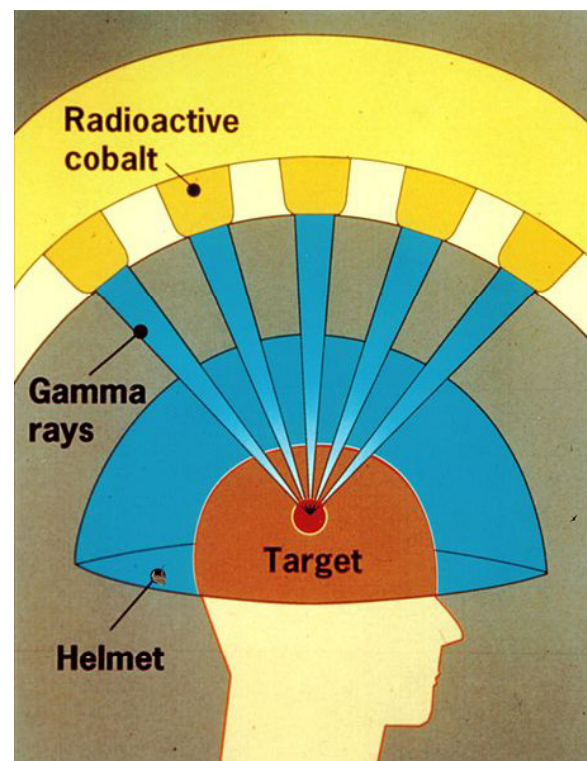
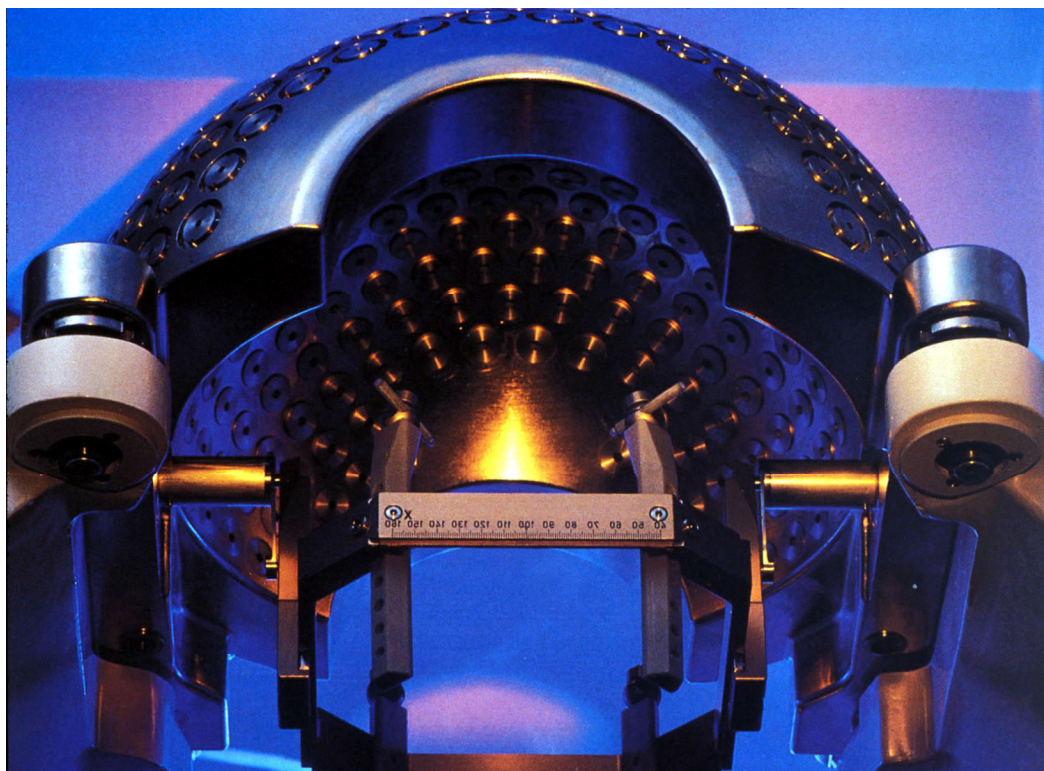
# Radiokirurgija

---

- **Radiokirurgija** je medicinski postupak koji omogućava neinvazivni tretman benignih i malignih tumora.
- Također je poznat kao **stereotaktička radioterapija**, (*stereotactic radiotherapy* - SRS), kada se koristi za ciljne lezije u mozgu, a **stereotaktička radioterapija tijela** (*stereotactic body radiotherapy* - SBRT) kada se koristi za ciljne lezije u tijelu.
- Djeluje usmjeravanjem s visokom preciznošću visoko usmjerenih snopova ionizirajućih zračenja.
- Postoje mnoge živčane bolesti za koje je konvencionalno kirurško liječenje teško ili nepreporučljivo zbog štetnih posljedica za pacijenta, kao što je oštećenje obližnjih arterija, živaca i drugih vitalnih struktura.
- Link:
  - <http://www.irsa.org/radiosurgery.html>

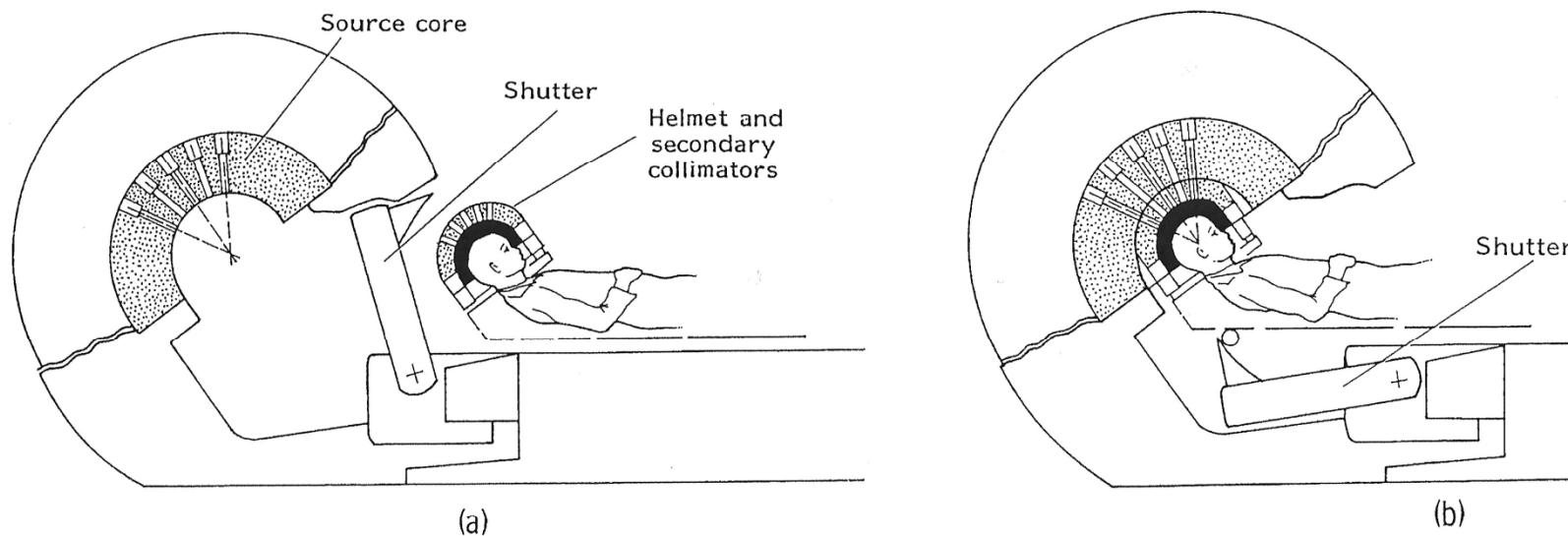
# Gamma knife

- **Gama nož** je uređaj koji se koristi za liječenje tumora mozga s visokom dozom zračenja terapije u jednom danu.
- $f \gg 10^{19}$  Hz, te stoga imaju energije iznad 100 keV i valne duljine manje od 10 pikometara, što je često manje nego atom. Energija gama zračenje obično iznosi nekoliko stotina keV, te su gotovo uvijek manje od 10 MeV.
- Gama nož sadrži 201 kobalt-60 izvor od približno 30 kirija.



# Pozicioniranje pacijenta

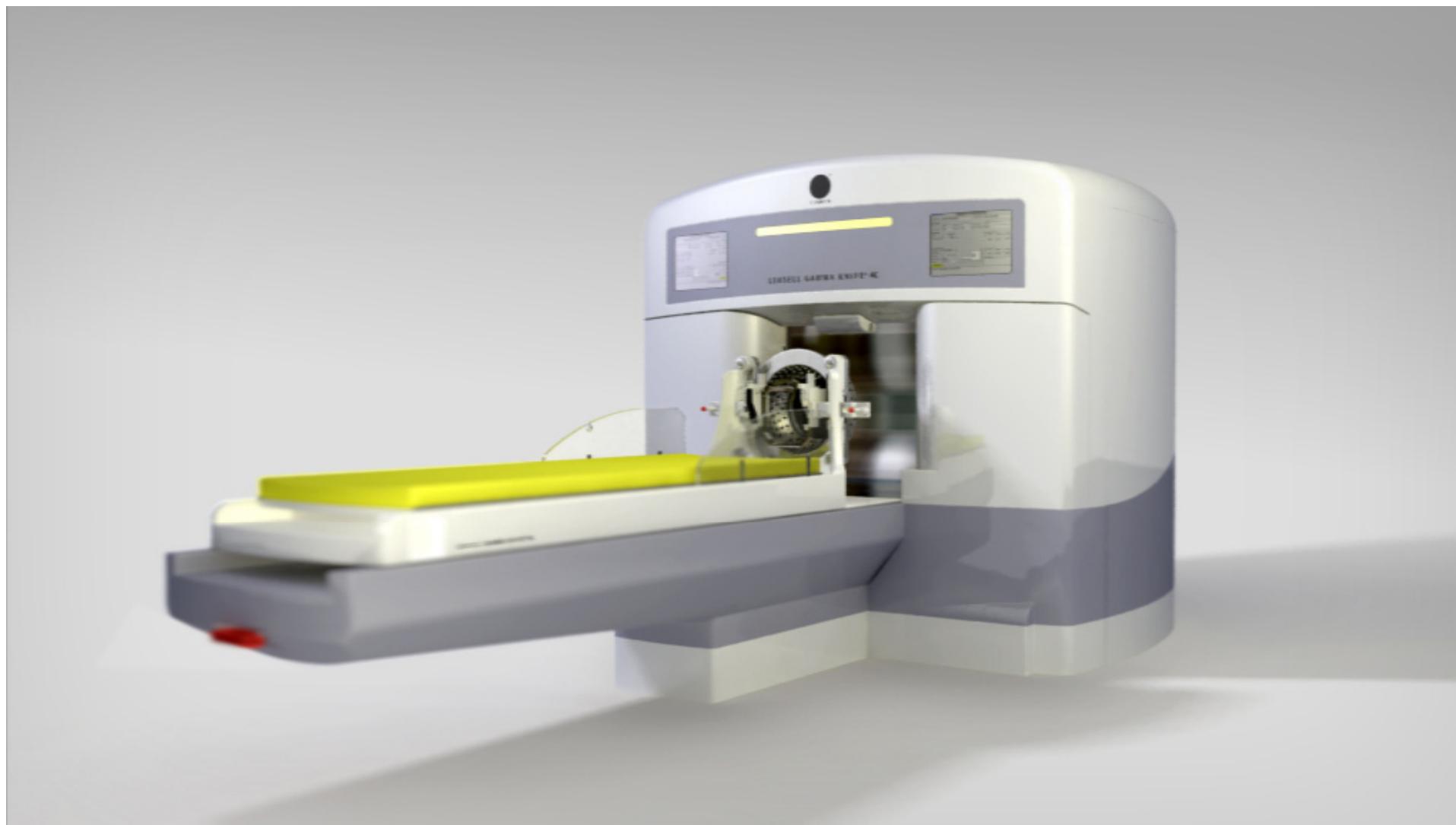
*The generation of ionizing radiation: treatment machines*



**Figure 21.10.** *The Sheffield stereotactic radiosurgery unit. When the shutter is dropped the patient is moved such that the secondary collimators in the helmet line up with the primary collimators in the source core. Image kindly provided by L Walton.*

# “Gama nož” (*Gamma knife*)

---

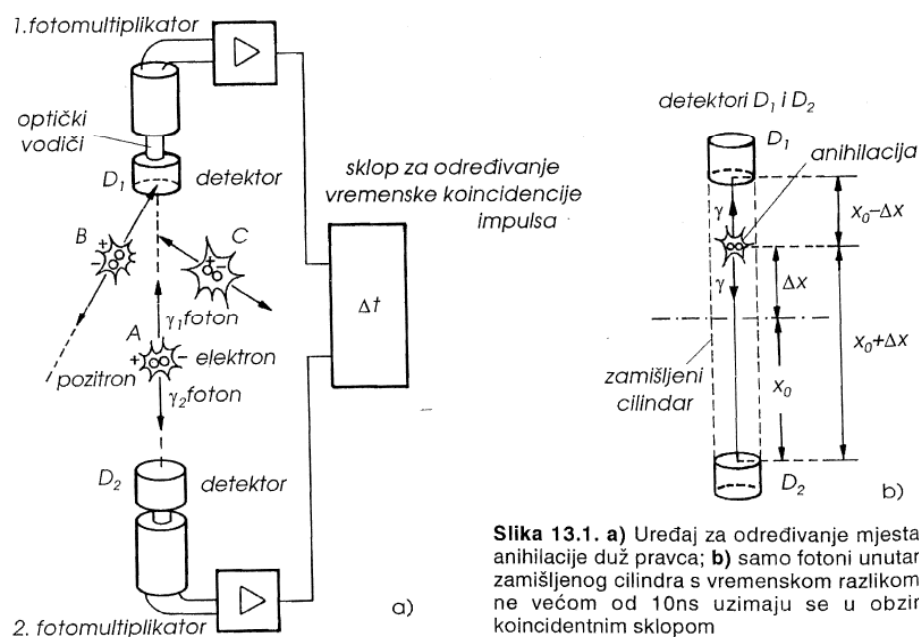


# Emisijska tomografija i topografija

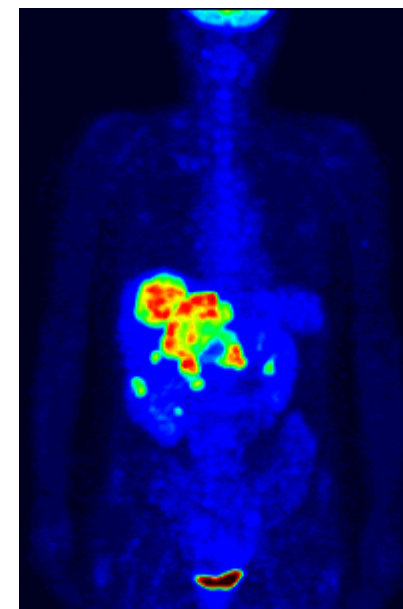
- radioaktivni izotopi (radioizotopi, radionuklidi)
  - emitiranje fotona kao gama zračenje (pripada rtg zračenju)
  - emitiranje pozitivna (posljedica nuklearnog raspada)
- promjena koncentracije radioizotopa u vremenu
  - metabolički procesi u organizmu (funkcionalno stranje pojedinih organa)
- emisijska tomografija:
  - **dvofotonska** = pozitronska emisijska tomografija (PET)
    - anihilacija pozitrona s elektronom = 2 fotona
  - **jednofotonska** (SPECT = *Single Photon Emission Tomography*)
- emisijska topografija:
  - **scintigraf** (skener) s pomičnom kamerom
    - detektor gama zračenja svjetluca (scintilira)
    - prvi 2D prikazi (scintigraf) u nuklearnoj medicini; snimanje dugo (~10min), opsoletni
  - **gama kamera**
    - dinamički procesi (snimanje ~100ns): lokacija snimanja + energetska razina

# Pozitronska emisijska tomografija (PET)

- emisija pozitrona iz radioaktivne smjese (ciklotron neposredno blizu!)
  - fluorodeoksiglukozna  $^{18}\text{F}$  – FDG, poluraspad 110 min, mjerenje metabolizama glukoze
  - anihilacija (poništenje) s elektronom nekoliko mm od izvora
  - i emisija 2 fotona velike energije (oko 511 keV) – područje gama zračenja
  - fotoni se emitiraju dijametralno pod kutem  $180^\circ$  (suprotan smjer)
- detektor zračenja:
  - scintilacijski kristali bizmut-germanat (BGO) + fotomultiplikatori
  - određivanje mjesta anihilacije (vremenski prozor  $<10\text{ns}$ ) sklopom za određivanje vremenske koincidencije impulsa

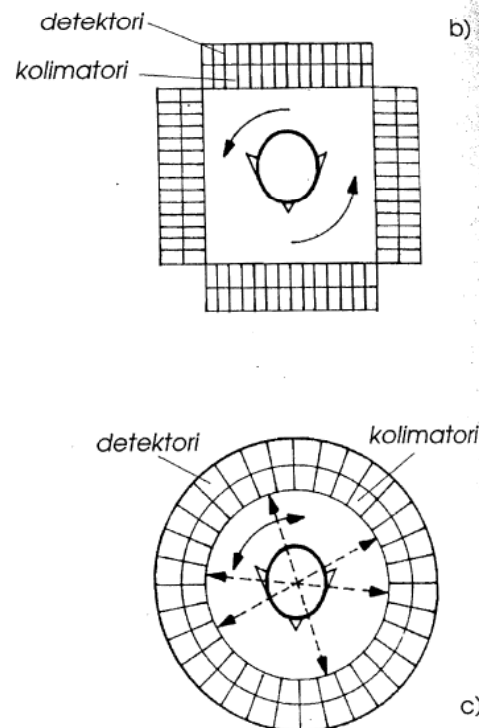
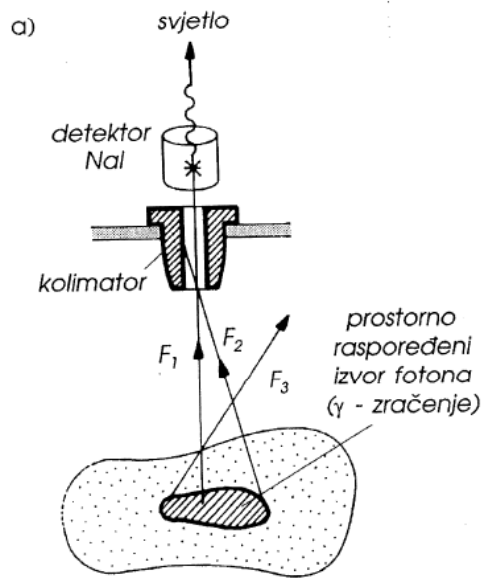


**Slika 13.1. a)** Uređaj za određivanje mjesta anihilacije duž pravca; **b)** samo fotoni unutar zamišljenog cilindra s vremenskom razlikom ne većom od 10ns uzimaju se u obzir koincidentnim sklopom



# Jednofotonska emisijska tomografija (SPECT)

- pomoću kolimatora određuje smjer odakle dolazi zračenje izotopa
  - veličina otvora kolimatora → razlučivost – osjetljivost
- način snimanja
  - poprečni (transaksijalni) – kolimator se giba po kružnici i
  - uzdužni (longitudinalni) – kolimator se giba uzduž pacijenta
- detektor: scintilacijski kristali NaI(Tl) = natrij jodid s primjesom talijem
- radionuklidi: tehnecij-99 (6.02 sati), talij-201 (73 sata) → ciklotron!



# Gama kamera

- kristal detektor velikih dimenzija
  - cjelokupno polje zračenja odjednom!
  - lokacijski napon

