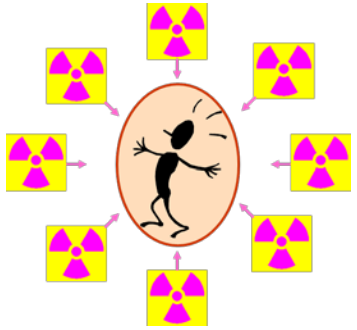
# Zaštita od spoljašnjeg i unutrašnjeg izlaganja

» Principi zaštite od zračenja odnose se na izvor i pojedinca

» Dva vida izlaganja:
  > Kontinualna praksa
  > Intervencija





» Oba vida primenjuju se na medicinska, profesionalna i izlaganja stanovništva

# Principi zaštite od zračenja

- Opravdanost prakse
- Optimizacija zaštite
- Ograničavanje izlaganja

# Opravdanost prakse

- Praksa koja uključuje primenu jonizujućih zračenja smatra se opravdanom ukoliko proizvodi veću korist za izloženog pojedinca ili društvo u celini u odnosu na štetu koju može da prouzrokuje
- U obzir se uzimaju socijalni, ekonomski i drugi relevantni parametri
- Izlaganje bez neto koristi nije opravdano

# Optimizacija zaštite

## A L A R A

**A**s **L**ow **A**s **R**easonably **A**chievable

- zaštitu od zračenja treba sprovoditi do određenog nivoa posle koga više ne postoji korist od samog izlaganja
- u obzir se uzimaju ekonomski, socijalni i drugi relevantni faktori

# Ograničavanje izlaganja

- normalna izlaganja pojedinaca moraju biti ograničena u okviru autorizovane prakse
- ukupna efektivna doza
- ukupna ekvivalentna doza za organe i tkiva
- specijalne okolnosti su izuzete

- Ekspoziciona doza je dozimetrijska veličina karakteristična za elektromagnetno jonizujuće zračenje i bazira se na osobini zračenja da jonizuje vazduh;
- definiše se ISKLJUČIVO za ELEKTROMAGNETNO ZRAČENJE U VAZDUHU.

DEFINICIJA: apsolutna vrednost ukupnog naelektrisanja jona istog znaka, nastalih u vazduhu kada su svi elektroni oslobođeni fotonima po jedninici mase vazduha potpuno zaustavljeni u vazduhu

$$X = dQ/dm$$

SI jedinica za ekspozicionu dozu je C/kg (kulon po kg vazduha)
Stara jedinica [R]
1 R = 2.58 x 10-4 Ckg-1
1 Ckg-1 = 3876 R

- Pre interakcije sa pacijentom (u direktnom snopu) ili medicinskim osobljem (usled rasejanog zračenja od pacijenta) dolazi do interakcije x zračenja sa vazduhom;
- Ekspoziciona doza pokazuje moć x zračenja da jonizuje vazduh kroz koji prolazi;
- Merenjem ekspozicione doze, odnosno uvidom u efekat koji zračenje proizvodi u vazduhu procenjuje se efekat koji bi nastao u interakciji sa tkivom;
- Apsorbovana doza je energija apsorbovana po jedinici mase- Definiše se za sve vrste jonizujućih zračenja i različite materijale

definicija: apsorbovana doza predstavlja srednju vrednost *energije* apsorbovane u elementu mase *dm* pri prolasku zračenja kroz taj element:

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}$$

**SI jedinica Grej**
**[Gy] = J/kg**

# ICRP (International Commission on Radiological Protection)

**Efektivna doza** za celo telo

$$E = \Sigma T (wT.HT)$$

**E** efektivna doza za celo telo
**wT** : težinski faktor za tkivo ili organ T
**HT** : ekvivalentna doza za tkivo ili organ T

**Ekvivalentna doza** za pojedinačna tkiva i organe: ekvivalentna doza H je apsorbovana doza pomnožena bezdimenzionim težinskim faktorom zračenja, **wR** koji kvantifikuje biološku efikasnost posmatranog tipa zračenja. SI jedinica za ekvivalentnu dozu je **sivert (Sv)**

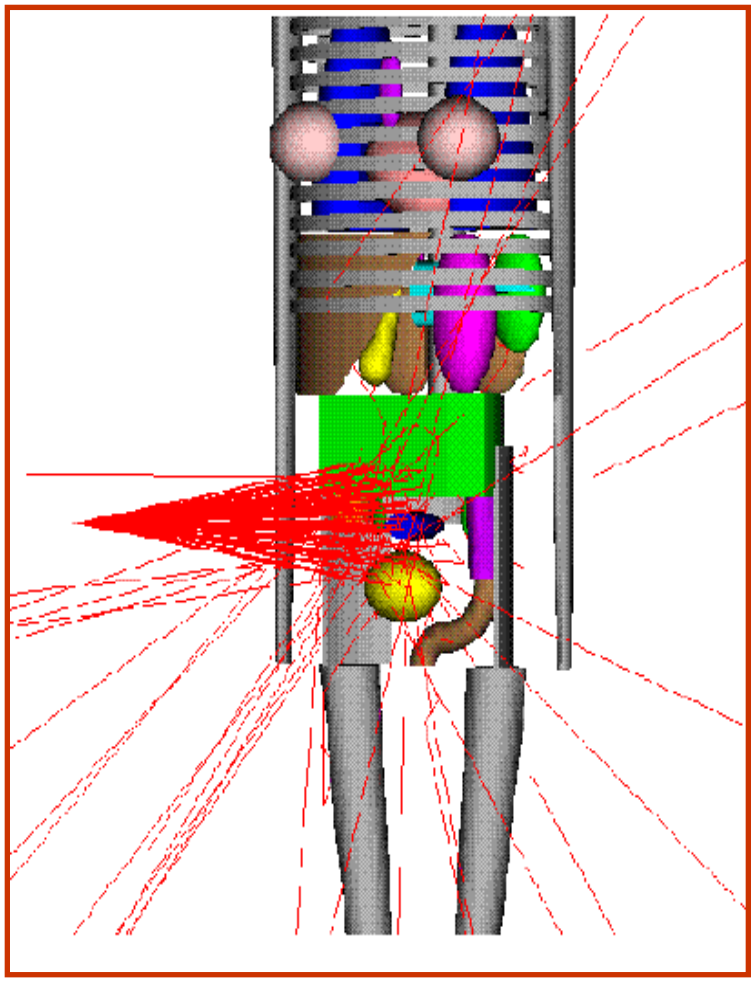
$$H_{T,R} = w_R . D_{T,R}$$

**HT, R** : ekvivalentna doza u tkivu T od zračenja R
**wR** : radijacioni težinski faktor za zračenje R
**DT** : apsorbovana doza u tkivu ili organu T

$$H_T = \Sigma_R (w_R . D_{T,R})$$

**HT** : ekvivalentna doza u tkivu T
**wR** : radijacioni težinski faktor za zračenje R
**DT** : apsorbovana doza u tkivu ili organu T

| Vrsta zračenja | Radijacioni težinski faktor, $W_R$ |
|---|---|
| Fotoni, sve E | 1 |
| Elektroni, sve E | 1 |
| Neutroni E < 10 keV | 5 |
| n 10 keV- 100keV | 10 |
| n 100 keV- 2 MeV | 20 |
| n > 20 MeV | 10 |
| n > 2 keV – 20 MeV | 5 |
| Protoni p+ > 2 MeV | 5 |
| Alfa cestice, fisioni fragmenti | 20 |



| Tkivo ili organ | $w_T$ |
|---|---|
| Gonade | 0.20 |
| Kosna srž | 0.12 |
| Debelo crevo | 0.12 |
| Pluća | 0.12 |
| Želudac | 0.12 |
| Mokraćna bešika | 0.05 |
| Dojke | 0.05 |
| Jetra | 0.05 |
| Jednjak | 0.05 |
| Štitasta žlezda | 0.05 |
| Koža | 0.01 |
| Kosti | 0.01 |
| Ostatak *(nadbubrežna zlezda, mozak, ekstratorokalna regija, tanko crevo, bubrezi, mišićno tkivo,* | 0.05 |

# Granice izlaganja (ICRP 60)

| | Profesionalno izložena lica | Stanovništvo |
|---|---|---|
| Efektivna doza | 20 mSv, srednja vrednost za 5 uzastopnih godina | 1 mSv |
| Godišnje ekvivalentne doze | | |
| očna sočiva | 150 mSv | 15 mSv |
| koža | 500 mSv | 50 mSv |
| ekstremiteti | 500 mSv | / |

# Ograničavanje izlaganja

- dozvoljena vrednost efektivne doze na godišnjem nivou iznosi 20 mSv usrednjeno u pet uzastopnih godina
- u svakoj godini najveća dozvoljena vrednost iznosi 50 mSv uz prethodni uslov
- dozvoljena vrednost ekvivalentne doze za očno dno iznosi 150 mSv/god
- dozvoljena vrednost ekvivalentne doze za ekstremitete i kožu iznosi 500 mSv/god

# Ograničavanje izlaganja

- dozvoljena vrednost efektivne doze na godišnjem nivou iznosi 1 mSv usrednjeno u pet uzastopnih godina
- dozvoljena vrednost ekvivalentne doze za očno dno iznosi 15 mSv/god
- dozvoljena vrednost ekvivalentne doze za ekstremitete i kožu iznosi 50 mSv/god



U specijalnim okolnostima smatra se opravdanim ako određena grupa pojedinaca primi veće doze od graničnih vrednosti:

- spašavanje ljudskih života ili prevencija ozbiljnih povreda
- ako preduzete mere sprečavaju veliku kolektivnu dozu
- ako su preduzete mere prevencija za nastanak opasnosti većih razmera

**Stepen rizika zavisi od prirode interakcije alfa, beta, gama i neutronskog zračenje sa materijom**

| Radiation Type | Relative External Radiation Hazard |
|---|---|
| Alpha Particles | None |
| Beta Particles | Slight |
| Gamma Rays | Severe |
| X-Rays | Severe |
| Neutrons | Severe |

- Uređaji koji proizvode jonizujuća zračenja
- Radionuklidi (radioaktivne materije)



- Izvor (kontejner)

- Okolina (strukturna zaštita, ventilacija)

- Pojedinac (administrativna kontrola, lična zaštitna sredstva)

*Kontrola izvora se primenjuje u zaštiti stanovništva!*

# Kontrola spoljašnjeg izlaganja

Tri metode:

1. Zaštitna sredstva (ekrani)
2. Vreme
3. Rastojanje

# Zaštitna sredstva (ekrani)

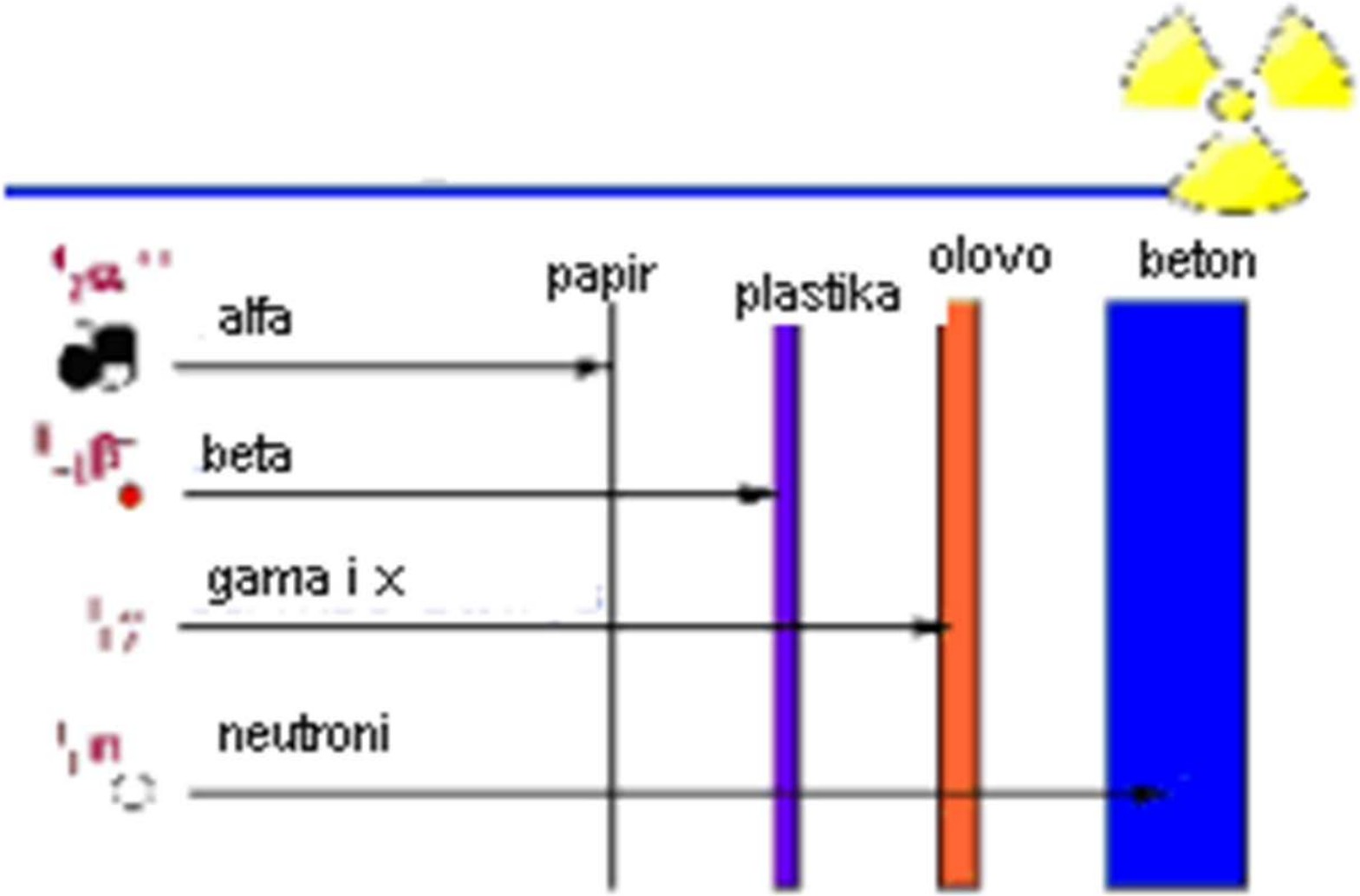
- Matrerijali koji slabe intenzitet zračenja se koriste za kontrolu spoljašnjeg izlaganja

- Relevantno:
  - Gustina i debljina materija
  - Vrsta zračenja, fluks, energija, dimenzje izvora

# Zaštitna sredstva (ekrani)

Zavisi od vrste zračenja:

- Alfa čestice, brzo gube energiju, nije potrebna zaštita u slučaju spoljašnjeg izlaganja
- Beta čestice, sporije gube energiju i prodornije su od alfra čestica, materijali niskog atomskog broja (pleksiglas, Al...)
- Neutroni, smanjenje energije u sudarima sa lakim atomima, apsorpcija
- Fotoni, materijali visokog atomskog broja (Pb)


papir
plastika
olovo
beton
alfa
beta
gama i x
neutroni

# Vreme

Doza = Jačina doze x vreme



## Primer

**Ako jačina doze na rastojanju od 1m od izvora iznosi 20 µSv/h**

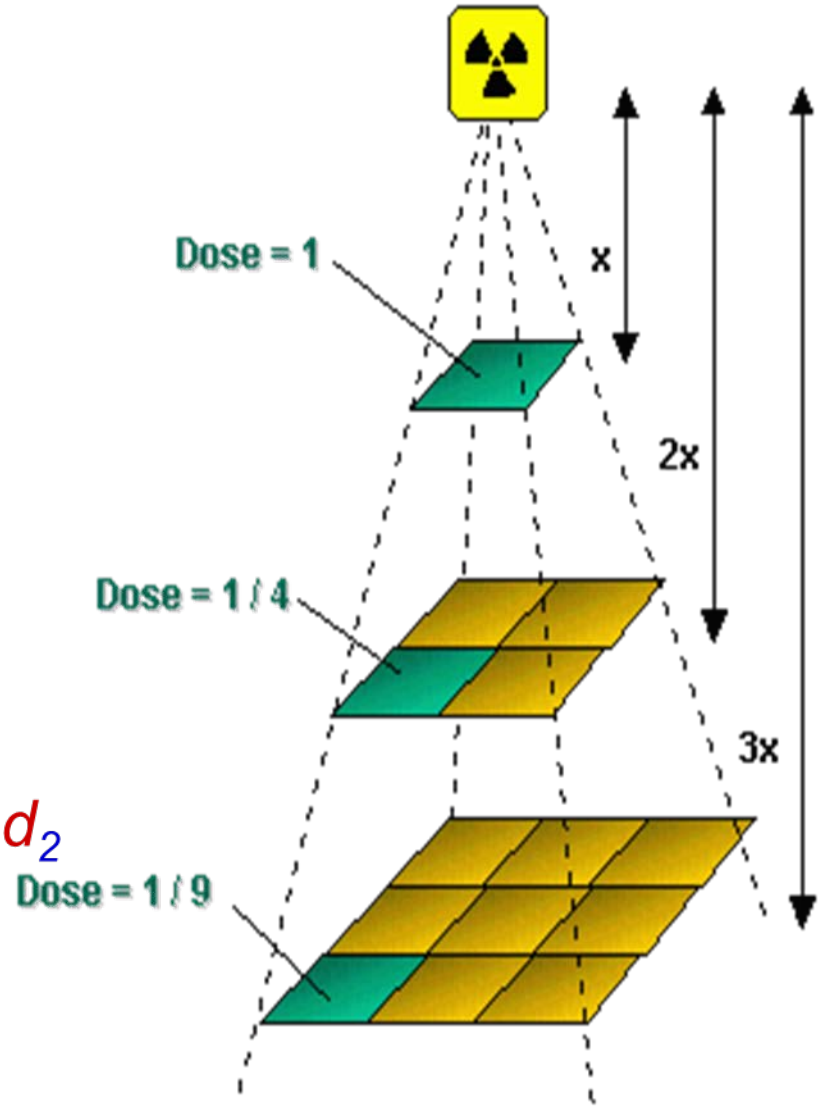
| Vreme | Doza |
|---|---|
| 60 min | 20 µSv |
| 30 min | 10 µSv |
| 15 min | 5 µSv |

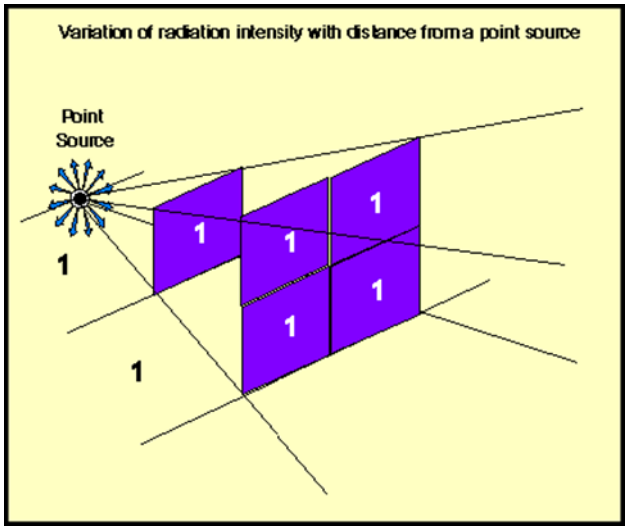
- Doza opada sa kvadratom rastojanja

$I_1$ $d_1$

$I_2$ $d_2$

gde su $I_1$ i $I_2$ intenziteti a $d_1$ i $d_2$ rastojanja, respektivno.






## Primer

**Ako jačina doze na rastojanju od 1m od izvora iznosi 20 µSv/h**

| Rastojanje | Doza |
|---|---|
| 2 m | 5 µSv |
| 1 m | 20 µSv |
| 50 cm | 80 µSv |

# Vreme i rastojanje

Osnovna dozimetrijska jednačina:

$$X = \Gamma A t / l^2$$

X – ekspoziciona doza
Γ – tablična vrednost, gama konstanta
A – aktivnost izvora
t – vreme
l – rastojanje od izvora

# Specifična gama konstanta

| Radionuclide | $\Gamma$ ($\mu$Sv $h^{-1}$ at 1 metre per GBq) |
|---|---|
| $^{60}Co$ | 370 |
| $^{99m}Tc$ | 33 |
| $^{131}I$ | 77 |
| $^{137}Cs$ | 103 |
| $^{192}Ir$ | 160 |

Note: Values for $\Gamma$ are taken from Health Physics and Radiological Heath Handbook, 1992

# Prolaz fotona kroz materiju

$$I = I_o e^{(-\mu x)}$$

$$(½)I_o = I_o e^{(-\mu \, HVL)}$$

$$½ = e^{(-\mu \, HVL)}$$

$$\ln(½) = \ln(e^{(-\mu \, HVL)})$$

$$\ln(½) = (-\mu \, HVL)$$

$$\ln(2) = (\mu \, HVL)$$

$$\mu = \frac{\ln(2)}{HVL}$$

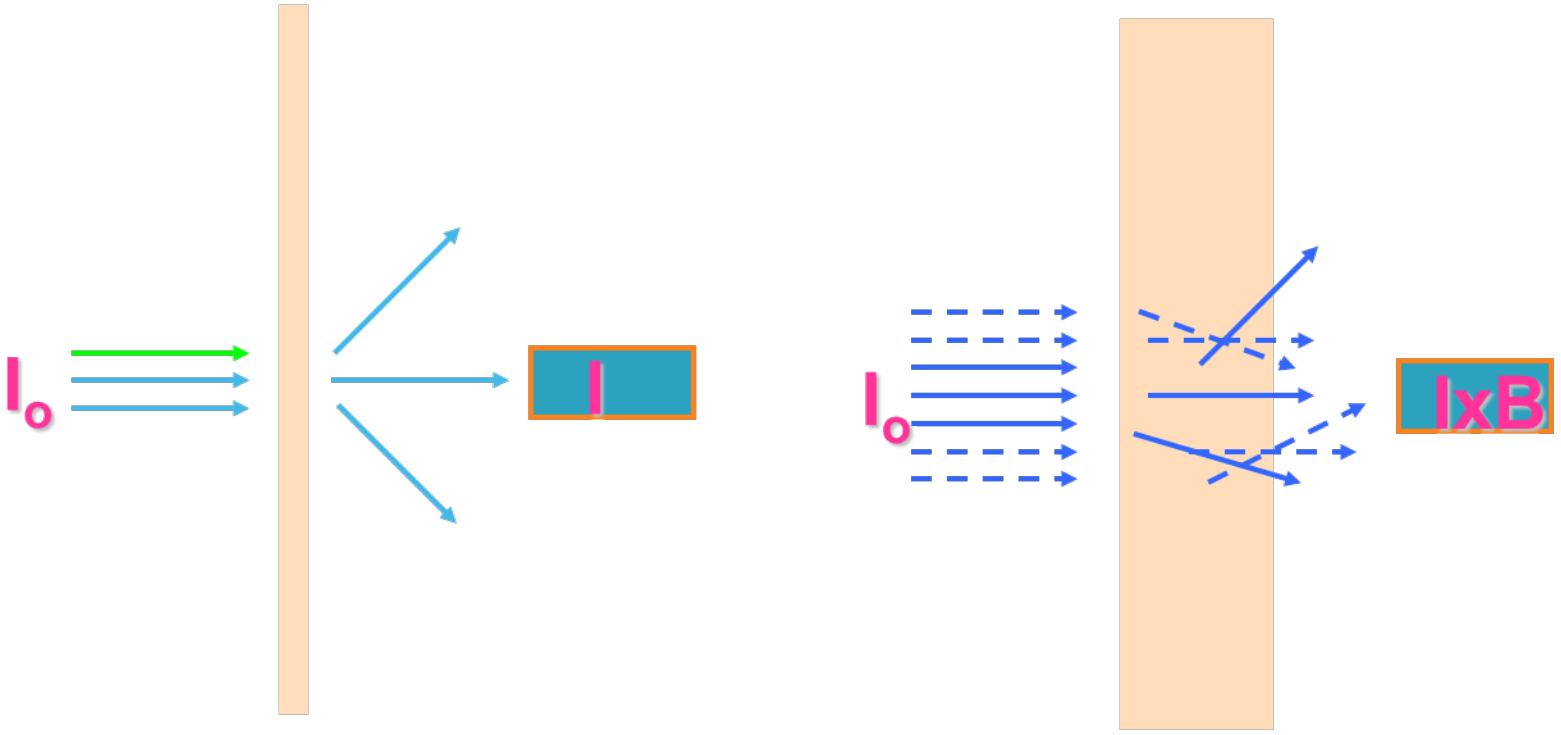
# Debljina poluslabljenja

- Debilja materijala koja smanjuje intenzitet zračenja na polovinu

$$x = nHVL$$

| Source | Gamma Ray Energy (MeV) | HVL (cm) | |
|---|---|---|---|
| | | Concrete | Lead |
| $^{226}Ra$ | 0.047 to 2.4 | 6.9 | 1.66 |
| $^{60}Co$ | 1.17, 1.33 | 6.2 | 1.20 |
| $^{137}Cs$ | 0.66 | 4.8 | 0.65 |
| $^{192}Ir$ | 0.13 to 1.06 | 4.3 | 0.60 |
| 50 $kV_p$ x-rays | | 0.43 | |
| 100 $kV_p$ x-rays | | 1.6 | |

# Prolaz fotona kroz materiju




$$I = B\, I_o\, e^{(-\mu x)}$$

# Zaštita od beta zračenja

$$d = \frac{E}{2}$$

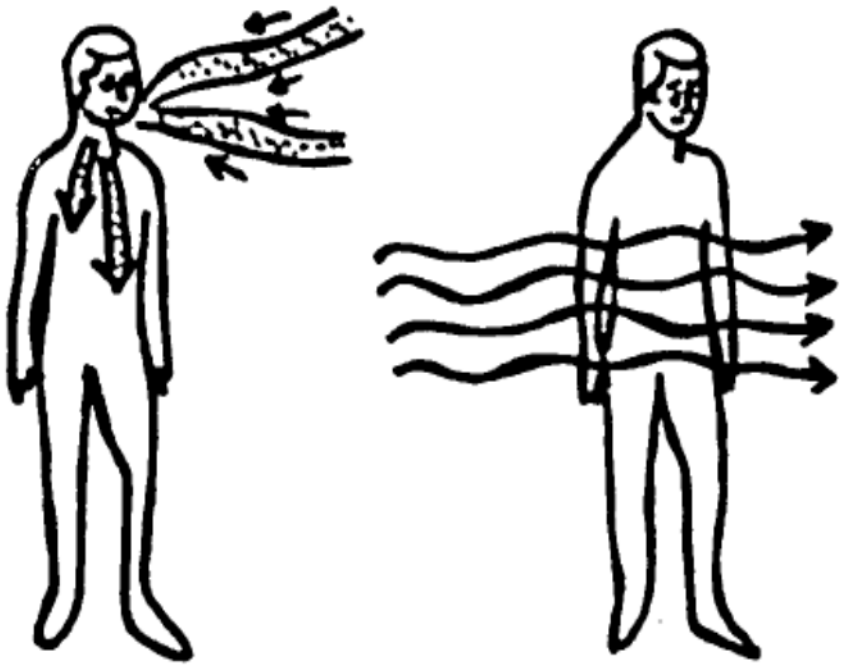
d - debljina u cm

E – energija u MeV

# Unutrašnje izlaganje

**Internal Radiation Hazard**

From radioactive material which can enter the body



**External Radiation Hazard**

From a source outside the body

# Kontrola unutrašnjeg izlaganja

- rad u kontrolisanim uslovima
- procedure za bezbedno rukovanje
- lična zaštitna sredstva



# Otvoreni izvori zračenja i radioaktivna kontaminacija

- Izvori zračenja:
  - Otvoreni
  - Zatvoreni
- Kontaminacija:
  - Fiksna
  - Uklonjiva (površinska i kontaminacija vazduha)

- Mala kontaminacija, beznačajna sa stanovišta spoljašnjeg izlaganja, mogu biti značajne sa stanovišta unutrašnjeg izlaganja (kontinulano izlaganje, velika deponovana energija na malom rastojanju)

# Primena otvorenih izvora zračenja

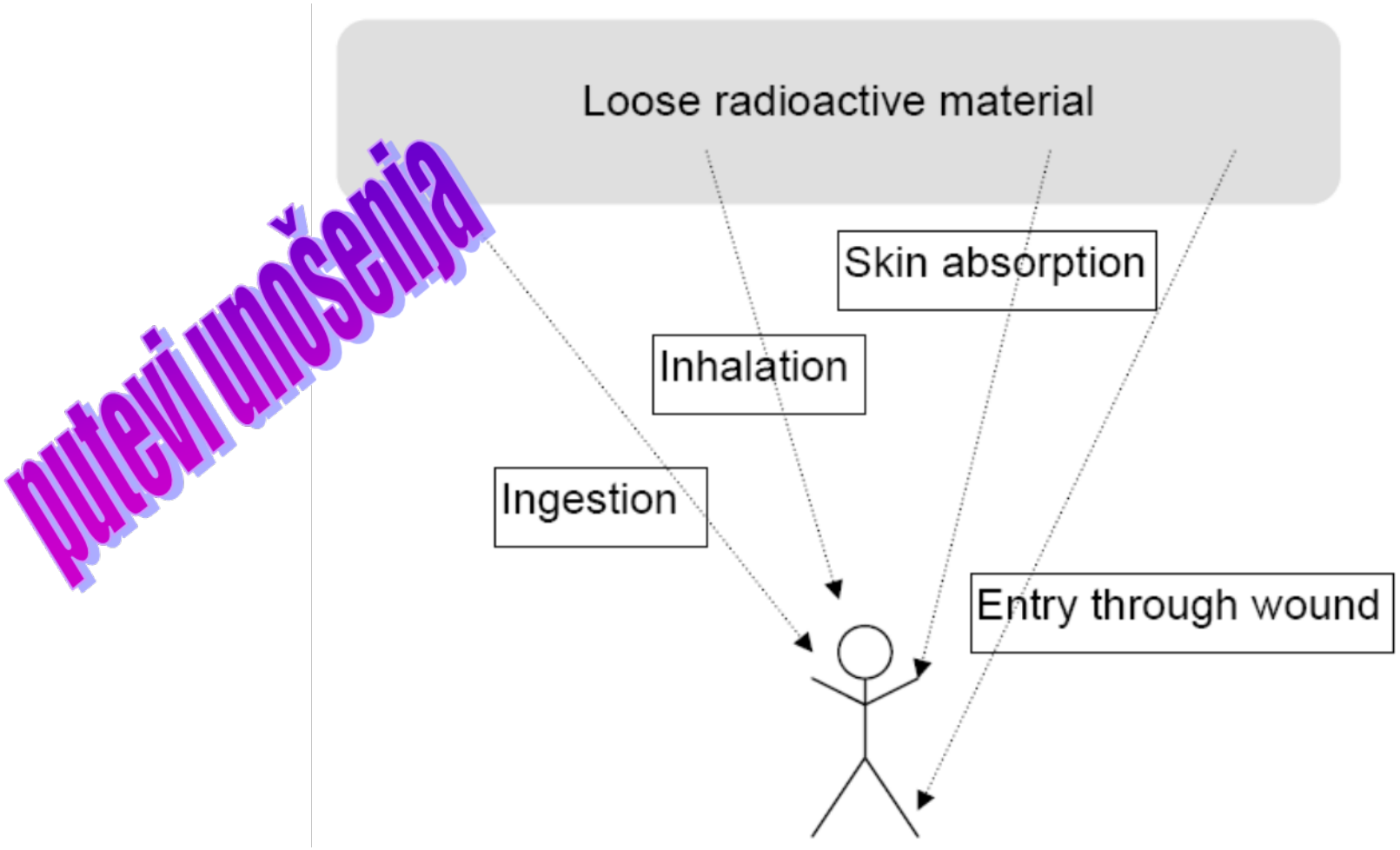
- industrija
- nauka
- **medicina**



# Efekat različtih vrsta zračenja

| Vrsta kontaminacije | Rizik od spoljašnjeg izlaganja | Rizik od unutrašnjeg izlaganja |
|---|---|---|
| alfa | nije značajan | značajan |
| beta | umeren | umeren |
| gama | značajan | neznatan |

# Kako zračenje prodire u ljudski organizam?



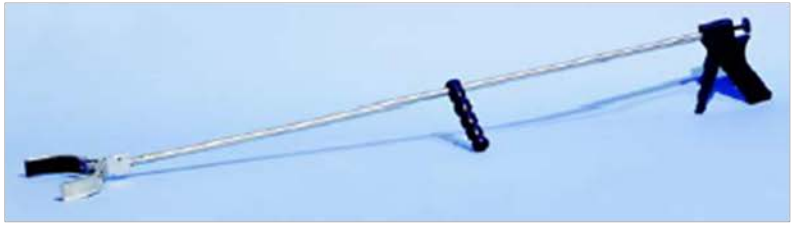
# Kontrola unutrašnjeg izlaganja

- Inhalacija
- Ingestija
- Prodiranje kroz kožu
- Prodiranje kroz rane

- Lična zaštitna sredstva
- Rad u kontrolisanim uslovima
- Precedure za bezbedno rukovanje

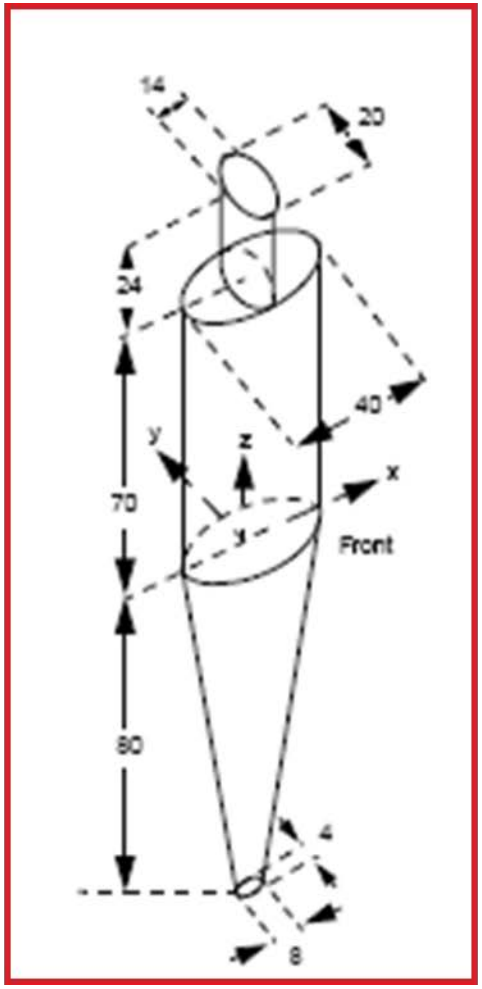






# Merenje stepena unutrašnjeg izlaganja

- Efekat na pojedinca zavisi od:
  - Anatomskih osobina
  - Fizioloških osobina
  - Metabolizma
  - Model referentnog čoveka



# Model referentnog čoveka

| Organ | Mass (kg) | % of Total Body |
|---|---|---|
| Total Body | 70 | 100 |
| Skeleton | 10 | 14 |
| Muscle | 28 | 40 |
| Fat | 13.3 | 19 |
| Blood | 5.5 | 7.9 |
| Gastrointestinal Tract | 2.2 | 3.1 |
| Thyroid Gland | 0.02 | 0.029 |

**Air Inhalation Volumes**

| | |
|---|---|
| Air inhaled during 8 hour working day | 9.6 $m^3$ |
| Air inhaled during 16 hours not at work | 13.2 $m^3$ |

# Biološki i efektivni period poluraspada

- radioaktivni materijal napušta organizam putem:
  - raspada
  - izlučivanja

$$\lambda_{eff} = \lambda_r + \lambda_b$$

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_r} + \frac{1}{T_b}$$

| Radionuclide | Critical Organ | $T_r$ (days) | $T_b$ (days) | $T_{eff}$ (days) |
|---|---|---|---|---|
| $^{60}Co$ | Total body | $1.9 \times 10^3$ | 10 | 10 |
| $^{90}Sr$ | Total body | $1.1 \times 10^4$ | $1.1 \times 10^4$ | $5.5 \times 10^3$ |
| $^{137}Cs$ | Total body | $1.1 \times 10^4$ | 70 | 70 |

Values taken from Medical Effects of Ionizing Radiation, Mettler and Moseley, 1985

# Dozni koeficijenti

- odredjuju predatu efektivnu doyu po jednici (Bq) unošenja
- Sv/Bq
- ICRP 68, IAEA BSS 115



# **Godišnja granica unošenje**
# The Annual Limit of Intake (ALI)

$$ALI = \frac{(0.02)\ \mathrm{Sv}}{e(50)}$$

# ALI: godišnja granica unošenja

- Količina radioaktivnog materijala koja rezultuje dozom jednakom granici izlaganja

| Radionuclide | ALI for Inhalation* (Bq) | ALI for Ingestion (Bq) |
|---|---|---|
| $^{32}P$ | $6.9 \times 10^6$ | $8.3 \times 10^6$ |
| $^{60}Co$ | $1.2 \times 10^6$ | $5.9 \times 10^6$ |
| $^{90}Sr$ | $2.6 \times 10^5$ | $7.1 \times 10^5$ |
| $^{99m}Tc$ | $6.9 \times 10^8$ | $9.1 \times 10^8$ |
| $^{131}I$ | $1.8 \times 10^6$ | $9.1 \times 10^5$ |
| $^{137}Cs$ | $3.0 \times 10^6$ | $1.5 \times 10^6$ |


EXIT

