

Sevanje

(Več o sevanju: **Pucelj/Golob - predavanja - Fizikalna merjenja II**)

Vrste sevanja: α , β , γ , n

Gama sevanje nekateri delijo na (pri JTE ne delamo razlik):

- Roentgensko sevanje (x-rays) - elektronski prehodi
- γ sevanje - izsevani iz jeder

Interakcije sevanja s snovjo:

α - EM interakcija povzroči vzbujanje atomov in ionizacijo...

α sevanje ustavi nekaj cm zraka

β - EM interakcija - povzroči ionizacijo, vzbujanje atomov, zavorno sevanje... β - ustavi tanka kovinska plošča

γ - fotoefekt, Comptonsko sisanje, tvorba parov

γ - zelo prodorno sevanje $e^{-\mu x}$

n – nenabiti delci - zelo prodorno sevanje – atenuacija e^{-kx}

Radioaktivni razpad:

gostota jeder n

razpadna konstanta $\lambda(s^{-1})$

aktivnost $A = \lambda n(t)$ (razpadi/s= Becquerel [Bq])

1 Curie [Ci] = 3.7×10^{10} Bq

$dn/dt = -\lambda n$; $n(t) = n_0 \exp(-\lambda t)$

razpolovni čas $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$

Atenuacija EM valovanja v snovi:

- če se fotoni absorbirajo v snovi z gostoto atomov n in s skupnim mikroskopskim presekom σ je

$\mu = n \sigma$ - linearni koeficient atenuacije

(μ / ρ) - masni koeficient atenuacije ~ 0.2 za večino snovi

pri prehodu skozi steno debeline x velja:

$\Phi_{FOTONOVI} = \Phi_{0-FOTONOVI} e^{-\mu x}$

Tipične aktivnosti

www.world-nuclear.org/education/rad.htm in ...

1 odrasel človek (100 Bq/kg)	7 kBq
hišni detektor dima (z Americijem)	30 kBq
Radioizotopi za medicinsko diagnostiko	70 MBq
Izpusti Černobil, Fukušima (ekvivalent I-131)	5000 PBq, 1000 PBq
Radioizotopi za onkološko terapijo	100 TBq
1 kg 50 let starih visokoradioaktivnih jedrskeh odpadkov	10 TBq
Svetleči znak za "zasilni izhod" (1970)	1 TBq
Terapija scitnice - hiperaktivna scitnica ali rak scitnice: I-131	~0.4 GBq - 5 GBq
1 kg urana	25 MBq
1 kg uranove rude (Kanada, 15%)	25 MBq
1 kg uranove rude (Avstralija, 0.3%)	0.5 MBq
1 kg nizko radioaktivnih odpadkov	1 MBq
1 kg premogovega pepela	2 kBq
1 kg granita	1 kBq
Izpusti iz NEK v 2010:	0.17 TBq v zrak, 21 TBq tritija v Savo, 37 MBq razcepnih produktov
RADON:	
Stanovanje v Evropi	~100 Bq/m ³ (Radon)
Stanovanje v Avstraliji	~10 Bq/m ³ (Radon)
Radon na prostem v EU	~10-20 Bq/m ³
Postojnska jama	1000-2000 Bq/m ³
Taborska - Županova jama	1000-6000 Bq/m ³
Vrtec Tomaj 2010/2011: pozimi nihanja od nekaj (poročila na TV 60000 - merjeno v špranji),	100 do 4500 Bq/m ³ , povprečje 2000
Watrasova klet	100000 Bq/m ³

Absorbirana in ekvivalentna doza

Absorbirana doza D [Gy=J/kg] = (energija sevanja)/(masa snovi) (Gy- Gray)

Za merjenje AKUTNIH učinkov sevanja

v energiji sevanja se upošteva tudi energija eksotermnih oz. endotermnih jedrskeih reakcij, ki jih povzroči sevanje Hitrost absorbirane doze [Gy/s] (Stara enota: rad=0.01 Gy)

Ekvivalentna doza [Sv - Sievert] - meri biološke posledice sevanja potrebne za oceno STOHASTIČNIH učinkov sevanja.

Natančno merjenje bioloških posledic (preveč natančno za potrebe varstva pred sevanji): 1) obsevanje kulture celic s standardnim sevanjem (250 keV gamma)
2) obsevanje z drugim tipom sevanja z enako energijo in primerjava posledic

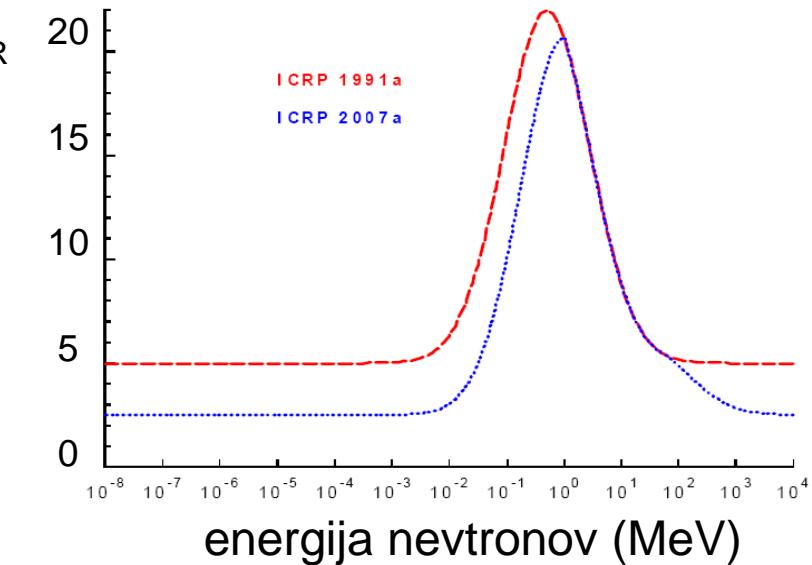
Za doze manjše od nekaj 10 mSv:

Utežni faktor w_R :

Ekvivalentna doza: $H [\text{Sv}] = D [\text{Gy}] \cdot W_R$

Z večje doze je potreben natančnejši račun!

Sevanje	W_R
γ, β (vseh energij)	1
nevtroni	$W_R = W_R(E)$
protoni	2
α , cepitveni produkti	20



Efektivna doza (Sv)

Delno obsevanje telesa nadomestimo z **efektivno dozo** na celotno telo:

$$\varepsilon = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

$D_{T,R}$ - absorbirana doza sevanja R v organu (tkivu) T

w_T - utežni faktor za tkivo T

w_R - radiacijski utežni faktor

$w_T:$	0.01	0.04	0.12	0.08
površina kosti	mehur	kostni mozeg	spolne žleze	
možgani	jetra	prsi		
žleze slinavke	požiralnik	danka		
koža	ščitnica	pljuča		
		želodec		
		OSTALO		

Vsota $w_T = 1$

ICRP

Int. Commission on Rad. Prot. 2007 recommendations

Letne efektivne doze **µSv**

Naravni viri - skupaj 2400 (SLO in svet)

Radon (dihanje) - 1300

Hrana - 300 (⁴⁰K, ²³²Th, ²³⁸U)

Kozmično sevanje - 300 (primarno - p, sekundarno - n, mioni, ³H, ¹⁴C)

Sevanje tal - 500 (Kerala - na JZ obali Indije - gosto poseljeno - zelo visoko naravno ozadje - mineral monazit - netopen v vodi - Th veriga - 4000-30000 µGy/leto - ni povečanega obolenja za rakom in levkemijo, opazen večji delež poškodb kromosomov)

Življenje na 2000 m n.v. - dodatnih 300

Obisk Postojnske (Županove) jame 10-20 (30-40) (1 mesečno delo v jami ~2000-4000)

Černobil skupaj 720, danes ~1-10
(maksimum: 30.4.1986 4:00 - 1.6 µSv/h, ¹³¹I, ¹³⁷Cs)

Jedrske eksplozije - skupaj - 7200 - danes ~1-10

Polet iz Evrope v ZDA in nazaj ~50 (2-3/uro)

Astro/kozmonavt ISS ~10/**uro**
Televizija (katodna) ~10

Obisk zadrževalnega hrama JEK (I.T.):
3 (okt. 2010), 25 in 38

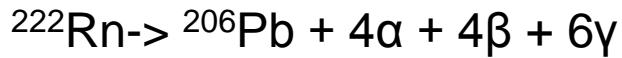
Prebivati ob ograji JEK ~1/

Rentgensko slikanje	Efektivna doza
Glava	10-30
Prsni koš	20-60
Hrbtenica	300-700
Trebuh	500-700
Medenica	700-800
"ortopan"	10
Udi in sklepi	60

Onkološka terapija - zdravljenje - 100-1000 krat večje doze

www.hps.org (Health Physics Society)

Vaje: Radon – doze



Radon – prispeva več kot pol doze iz naravnega ozadja. Zanj ne velja standardna dozimetrija:

Primer – Postojnska jama – obisk 80 minut (1.6 m^3 "podihanega zraka), povprečna koncentracija Rn-222 $\sim 1500 \text{ Bq}$ (razpadi α , $\sim 5 \text{ MeV}$). Kolikšna je ekvivalentna doza enega obiska?

"Standardna" dozimetrija:

Absorbična doza v pljuča:



$$D = 1.2 \text{ m}^3/\text{h} * 1500 \text{ razp./s/m}^3 * 15 \text{ MeV/razpad} * 80 \text{ minut} = \sim 20 \mu\text{Gy}$$

(15 MeV ni energija α iz Rn-222 ampak energija iz α razpada potomcev, ki ostanejo v pljučih:Po, Pb, Bi)

Ekvivalentna doza v pljuča:

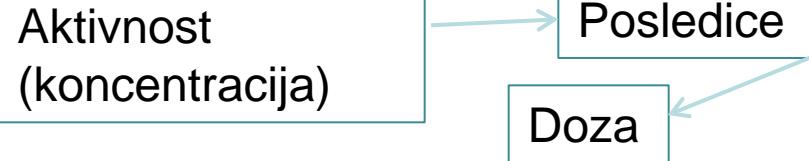
$$H = 20 * D = 400 \mu\text{Sv} \quad (w_R = 20 \text{ za } \alpha)$$

Ekvivalentna doza v telo:

$$H_{ekv} = 0.12 * H = \sim 50 \mu\text{Sv} ??? \quad (w_T = 0.12 \text{ za pljuča})$$

Za Radon se računa neposredno povezano med izpostavljenostjo in tveganjem za pljučnega raka:

Rn-222



Ekvivalentna doza radona (UNSCEAR 2000):

$$1 \text{ Bq/m}^3 \rightarrow \sim 9 \text{ nanoSv/h}$$

$$\text{Postojnska jama: } 18 \mu\text{Sv/obisk}$$

Vaje...

Aleksandra Litvinenka so zastrupili z 10 mikrogrami Polonija 210 z razpolovnim časom 139 dni. Ob alfa razpadu atoma ^{210}Po se sprosti 5,3 MeV. Biološki razpolovni čas polonija v človekovem telesu je 50 dni. Litvinenko je umrl 22 dni po zastrupitvi. Kakšno dozo sevanja je prejel v času od zastrupitve?

$$\frac{dn}{dt} = -\lambda_F n - \lambda_B n \quad n(t) = n_0 e^{-(\lambda_F + \lambda_B)t} \quad \lambda_{F,B} = \ln 2 / T_{1/2,F,B}$$

$$n_0 = N_A m_{0-\text{Po}} / M_{\text{Po}} = 3 \cdot 10^{16} \text{ atomov}$$

Aktivnost: $A(t) = \lambda_F n_0 e^{-(\lambda_F + \lambda_B)t}$ $A(t=0) \sim 1.7 \text{ GBq}$

Razpad v telesu: $n = \int_0^{22\text{dni}} A(t) dt = 0.09 n_0$

Energija = $0.09 \cdot 3 \cdot 10^{16}$ razpadov * 5,3 MeV/razpad = 2300 J

Absorbirana doza 2300J/75kg = **30 Gy**

Efektivna doza za alfa delce = $20 \cdot 30 \text{ Gy} = 600 \text{ Sv}$ (Smrtna doza = ~5 Sv)

Pri takšni absorbirani dozi računanje efektivne doze s faktorjem W_R ni ustrezeno, prav tako ni ustrezena uporaba Sievertov!!!

Wikipedia: "It is estimated that he suffered doses of 18 Gy to his bone mass, 520 Gy to the bone surface, 8 Gy to the liver and 1.6 Gy to the lungs"

Učinki sevanja

"ionizirajoče sevanje" - nastanek ionov.

Največ "ionov": $H_2O \rightarrow H_2O^+ + e^-$ ali $H^+ + OH^-$ ob tem še številni drugi ...

Učinki na človeško telo:

- deterministični

- velike akutne (kratkotrajne) doze nad 0.1-0.2 Gy (posledice znane - predvsem iz Hirošime ~ 86000 preživelih in Nagasakija):

do 0.75 Gy	Kromosomske spremembe, lahko začasno zmanjšanje števila levkocitov. Ni drugih opaznih učinkov.
0.75-2 Gy	5-50% izpostavljenih v nekaj urah: bruhanje, slabost, manjše spremembe krvi. Okrevanje v nekaj tednih.
2 - 6 Gy	Vsi izpostavljeni bruhajo v dveh urah. Velike spremembe krvi, krvavitve, povečna občutljivost na infekcije. Nad 3 Sv - izguba las v ~2 tednih, Okrevanje v nekaj mesecih ali letu pri spodnji meji, samo 20% preživelih pri zgornji meji.
6 - 10 Gy	80-100% izpostavljenih umre v 2 mesecih. Redki preživelci zelo dolgo okrevajo.

Zdravljenje delno pomaga (brez zdravljenja ljudje umirajo pri dozah ~2 Gy, z zdravljenjem pri ~5 Gy).

LD₅₀/60 - Lethal dose - doza, ki ubije 50% populacije v 60 dneh. Človek ~3-4 Gy
bakterije in odrasle žuželke LD₅₀/60 ~ 100 Gy

Učinki sevanja

Učinki na človeško telo:

- stohastični - zakasneli učinki

(za preživele obsevane z visokimi akutnimi dozami, za manjše akutne doze in za dolgotrajno izpostavljenost nizkim dozam):

- povečano tveganje za raka in levkemijo
- mutacije

Tveganje pri obsevanju z majhnimi dozami

Nominal Probability Coefficients (% Sv⁻¹)

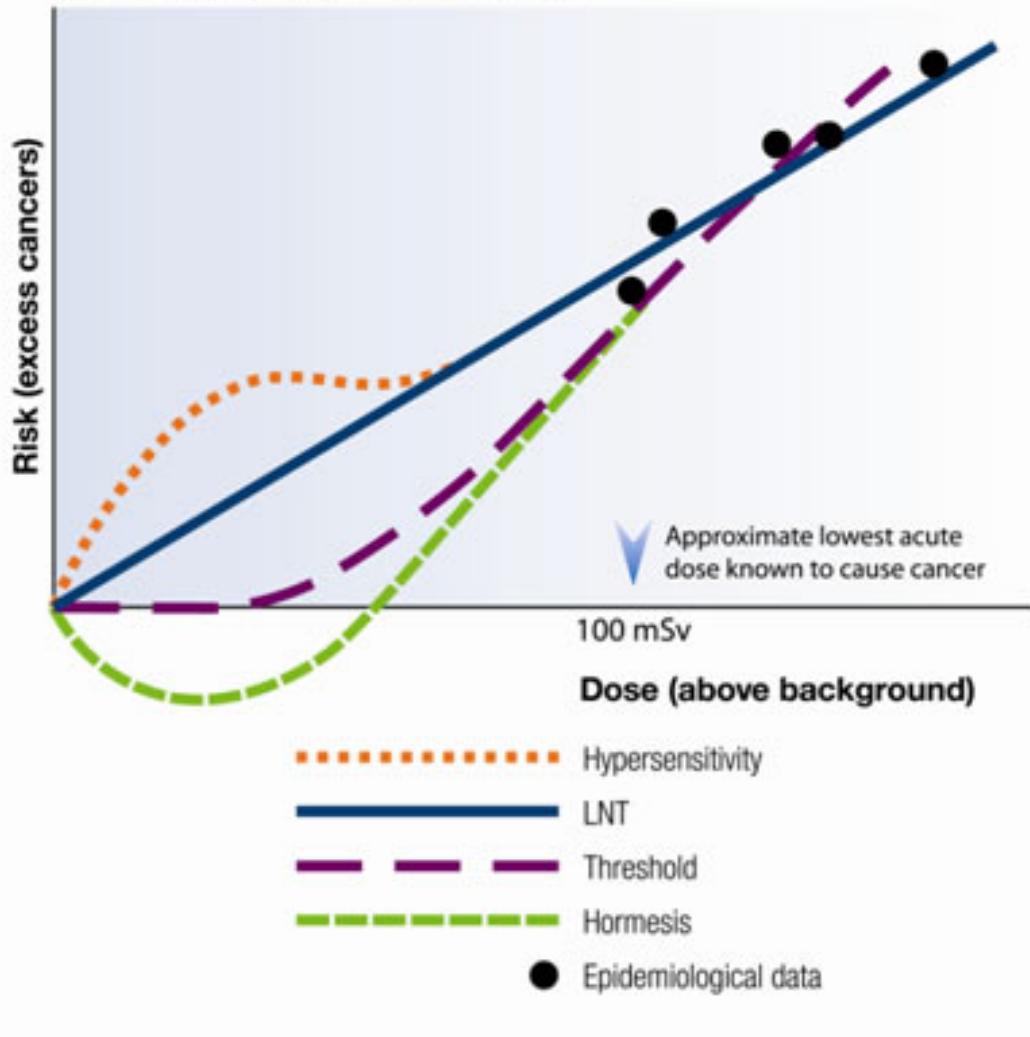
Exposed population	Cancer		Hereditary effects		Total	
	1990	2007	1990	2007	1990	2007
Whole	6.0	5.5	1.3	0.2	7.3	5.7
Adult	4.8	4.1	0.8	0.1	5.6	4.2

For practical protection purposes, the approximated overall fatal risk coefficient of 5% per Sv is still appropriate

ICRP recommendations
2007

Učinki nizkih doz

Models for the Health Risks from Exposure
to Low Levels of Ionizing Radiation



vir:

Canadian Nuclear Safety
Commission

Zaščita pred sevanjem

Preprečiti deterministične učinke

Zmanjšati stohastične učinke

optimizacija ALARA - As Low As Reasonably Achievable

Omejitve umetnih virov sevanja (brez naravnih virov
in obsevanja v medicini)

efektivna doza:

prebivalci	1 mSv/leto
poklicni delavci	20 mSv/leto

poklicni delavci - ekvivalentna doza:

očesna leča	150 mSv/leto
koža, roke, noge	500 mSv/leto

zaščita pred sevanjem:
- čas
- razdalja
- ščit

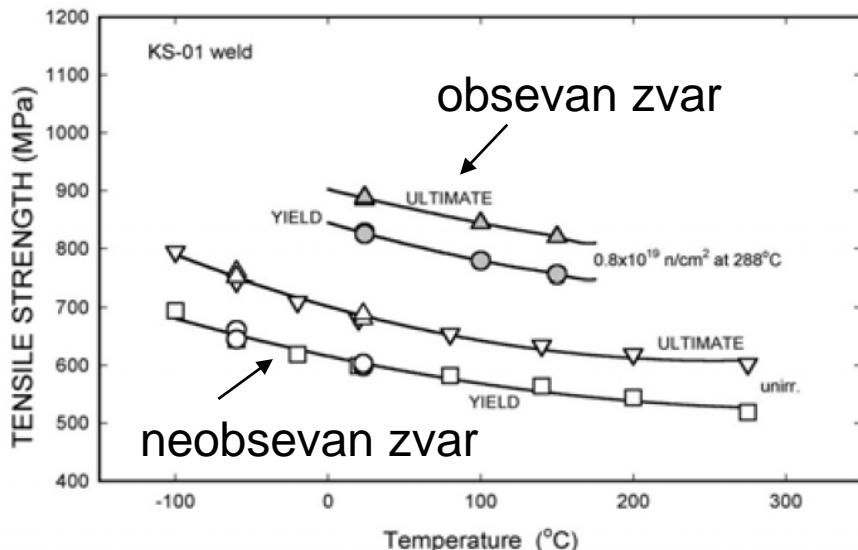
Uprava RS za varstvo pred sevanji:

Nadzira uporabo virov ionizirajočih sevanj v zdravstvu in veterinarstvu, izpostavljenost naravnim virom ionizirajočih sevanj, radioaktivno kontaminacijo živil in pitne vode,

Uprava RS za jedrsko varnost.

Zagotavlja, da je preprečen ali omejen škodljiv vpliv ionizirajočega sevanja na ljudi in okolje ter da se viri ionizirajočega sevanja uporabljam z golj v miroljubne namene.

Učinki sevanja na materiale jedrskih elektrarn



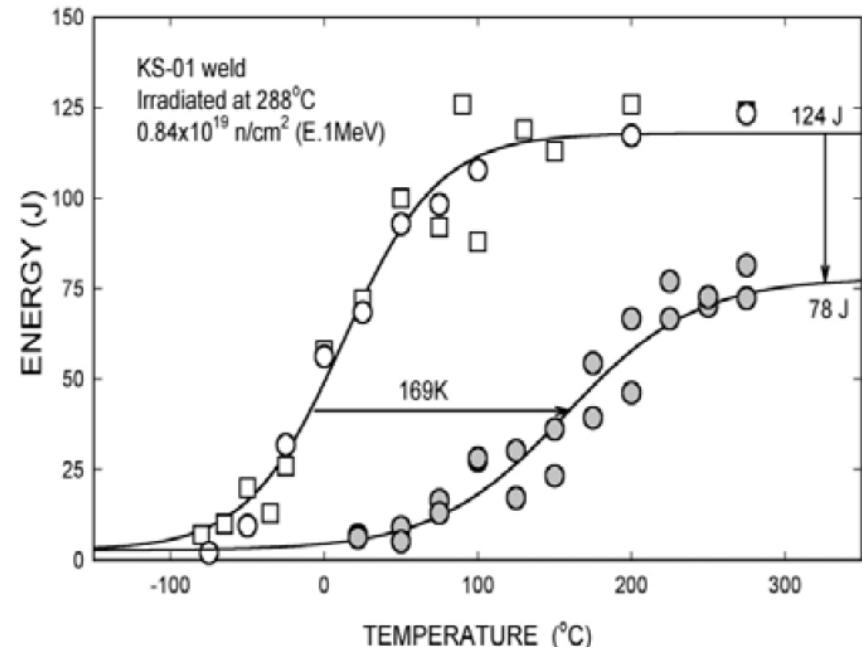
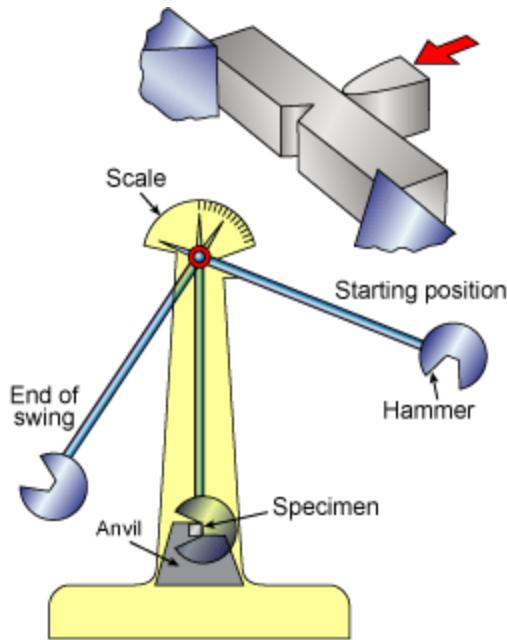
yield strength - meja prožnosti
ultimate strength - meja natezne trdnosti

vir:

R. K. NANSTAD, M.A. SOKOLOV, and D.E. McCABE, *Oak Ridge National Laboratory, 2001*

Desno:

Charpy-jev test in rezultati Charpyjevega testa za obsevan in neobsevan vzorec



material je bolj trden in bolj krhek