

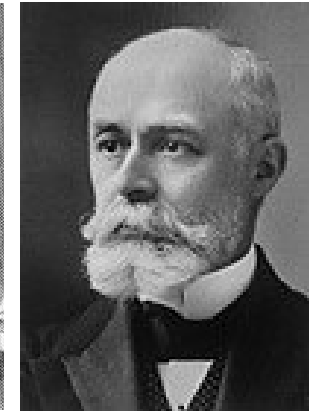


Az ionizáló sugárzások előállítása és alkalmazása

Dr. Voszka István
Semmelweis Egyetem Biofizikai és
Sugárbiológiai Intézet



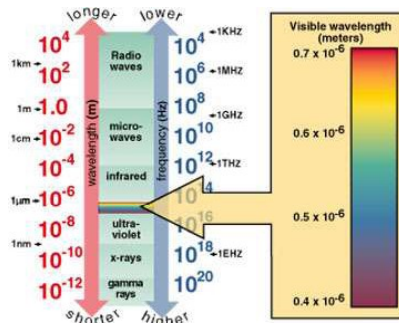
Wilhelm Conrad Röntgen
1845-1923



Antoine Henri Becquerel
1852-1908

Ionizáló sugárzások

- a) **körpuszkuális:** nyugalmi tömeggel rendelkező részecskék alkotják
Pl: α , β , proton, neutron
- b) **elektromágneses:** nyugalmi tömeggel nem rendelkezik, fotonok alkotják
 γ , röntgen



$$E = hf = hc/\lambda$$

1. Az atom szerkezete; ionizáció, gerjesztés

Atommag: $d = 10^{-15} - 10^{-14}$ m

benne protonok (számuk \rightarrow rendszám-Z)

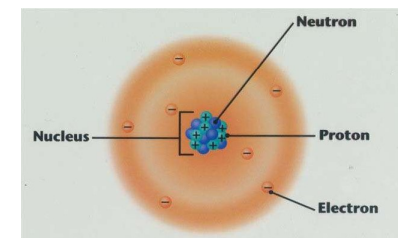
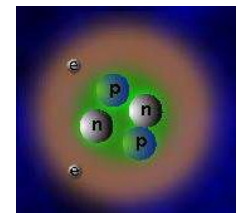
neutronok (protonok + neutronok

[nukleonok] száma együtt \rightarrow tömegszám-A)

Magsugárzások: α , β , γ

Elektronburok: $d \approx 10^{-10}$ m

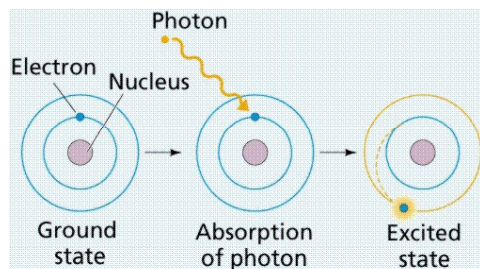
elektronok száma = protonok száma
elhelyezkedés meghatározott sugarú és energiájú pályákon (kvantáltak)



Gerjesztés: $\Delta E = h\nu = hc / \lambda$

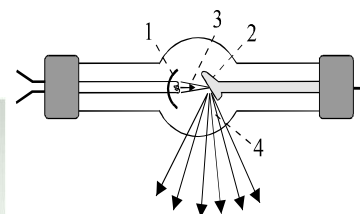
Ionizáció: $h\nu \geq \Delta E$

Elektronburokból származó sugárzás:
röntgen



2. Röntgensugárzás keletkezése

Előállítás leggyakrabban röntgensőben

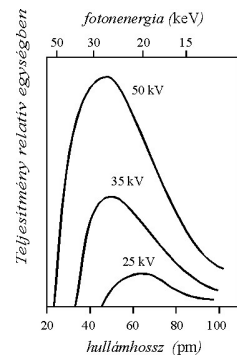


Típusai: **fékezési sugárzás**

- folytonos spektrum, rövidhullámú határral
- U növekedésével a sugárzás keményedik, az összteljesítmény nő (U^2 -tel arányosan)

$$P = c U^2 I Z \quad \eta = c U Z$$

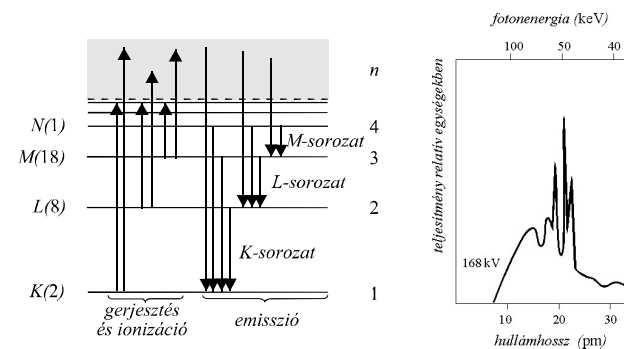
Alkalmazása: röntgen képalkotás

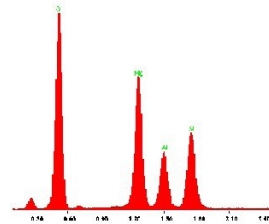


karakterisztikus sugárzás

- nagy gyorsító feszültség esetén
- vonalas, az anódra jellemző spektrum

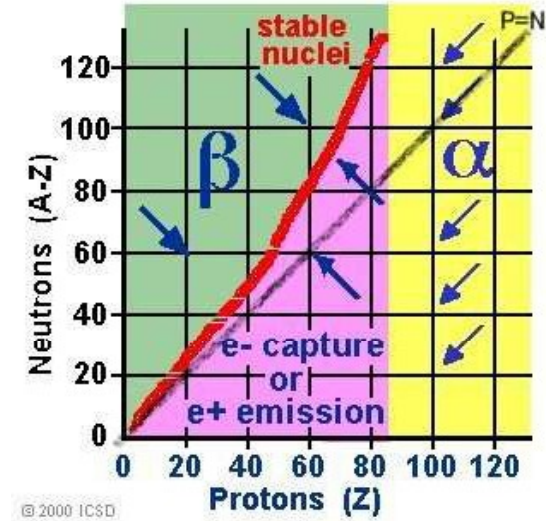
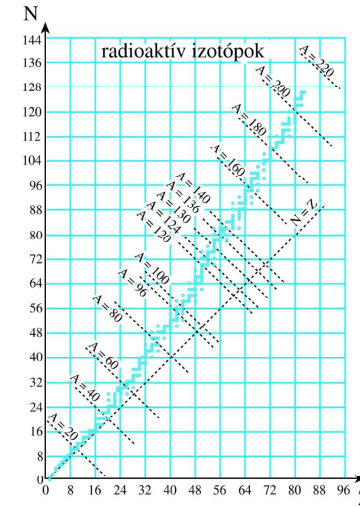
Alkalmazása: csontdensitometria, anyagazonosítás, molekulaszervezet vizsgálata



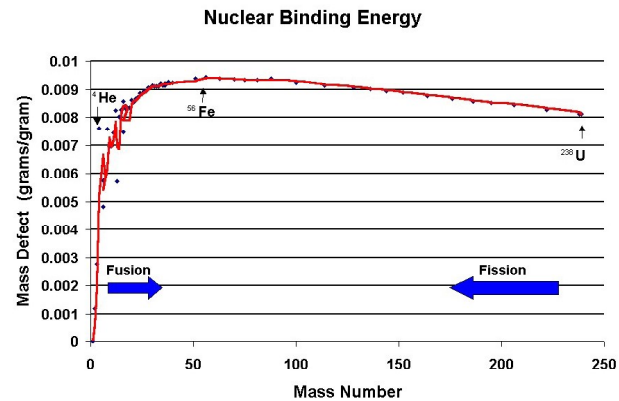


3. Magerők, az atommag stabilitása

A protonok és neutronok között vonzó- és taszítóerők hatnak

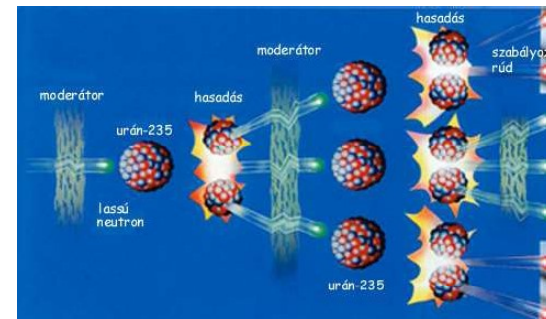


Az egy nukleonra jutó kötési energia közepes méretű magok esetén a legnagyobb (legstabilabb magok)

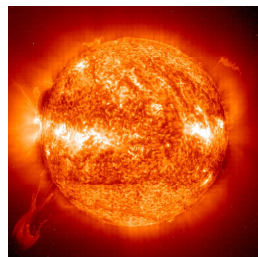
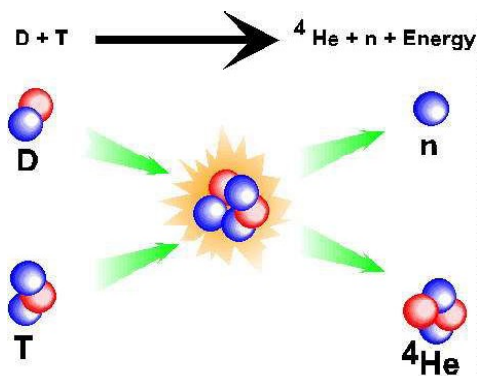


Ezen állapot elérhető:

- nehéz magok hasadásával (atomreaktor, atombomba)



- könnyű magok fúziójával (fúziós reaktor, H-bomba)



Izotópok: azonos rendszám, de eltérő tömegszám
(lehet stabilis vagy radioaktív)

$\swarrow \searrow$
 természetes mesterséges

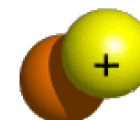
The Nuclei of the Three Isotopes of Hydrogen

Protium



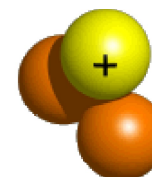
1 proton

Deuterium



1 proton
1 neutron

Tritium



1 proton
2 neutrons

4. Radioaktív bomlás, aktivitás

Bomlási sebesség: $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ $\frac{dN}{dt} = \Lambda$
(aktivitás) [bomlás/s = 1/s = Bq (becquerel)]

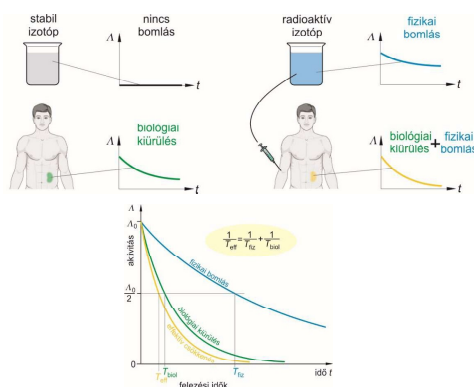
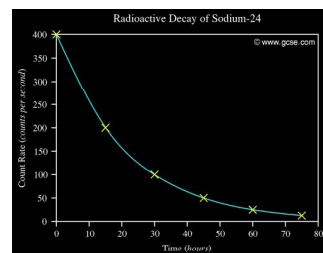
(1 Ci (curie) = $3,7 \times 10^{10}$ Bq)

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \lambda = \frac{0,693}{T}$$

$$\lambda = \frac{1}{\tau} \quad \Lambda = \Lambda_0 e^{-\lambda t}$$

Kapcsolat a felezési idők között:

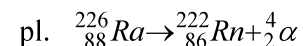
$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{fiz}} + \frac{1}{T_{biol}}$$



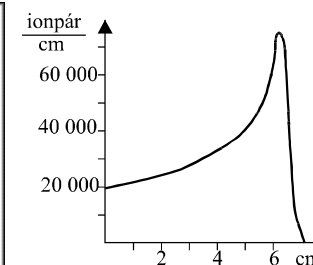
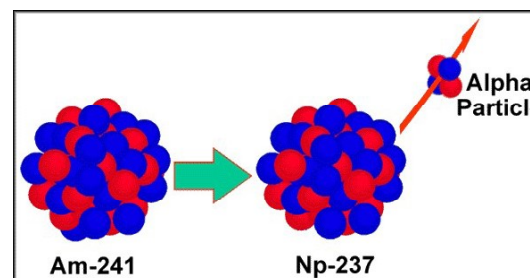
5. Bomlási típusok

Alfa bomlás

Z 2-vel, A 4-gyel csökken

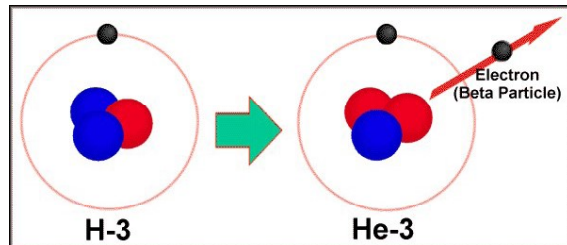
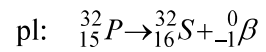


- meghatározott energiájúak (vonalas spektrum)
- hatótávolságuk rövid (vízben, szövetben néhányszor 10 μm)
Alkalmazás: csak terápia

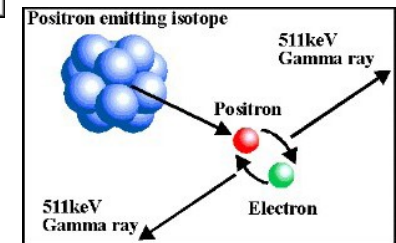
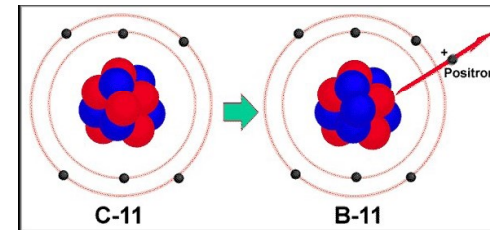
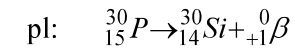


Béta bomlás

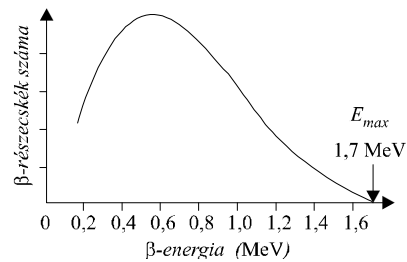
- negatív β -bomlás: Z 1-gyel nő



- pozitív β -bomlás: Z 1-gyel csökken

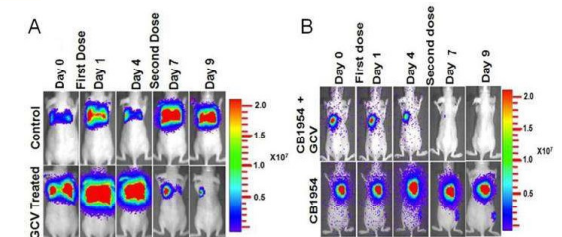
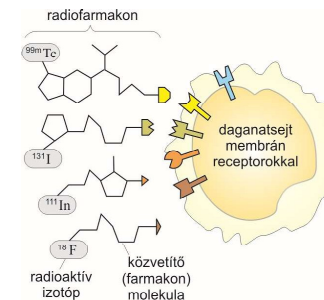


A mag energiavesztése adott értékű, a spektrum mégis folytonos. Oka: neutrínó.

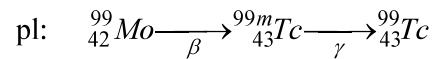
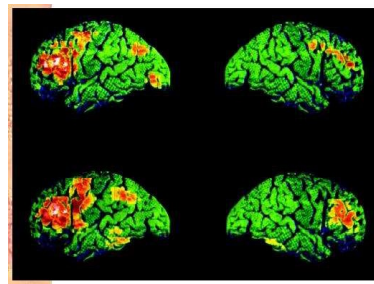
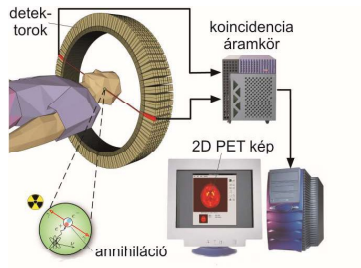


Alkalmazás: β^- : terápia és in vitro
 β^+ : PET

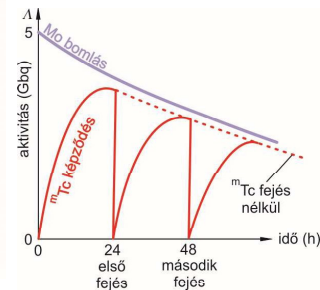
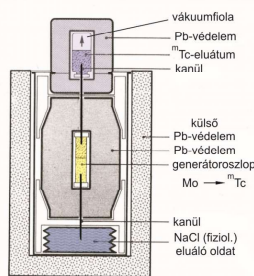
Tumordiagnosztika és terápia (teranosztika)



PET vizsgálat



Alkalmazás: in vivo diagnosztika (igen jól használható)



Gamma sugárzás

Az α - vagy β -bomlást követően a mag energiatöbblegétől elektromágneses sugárzás formájában szabadul meg.

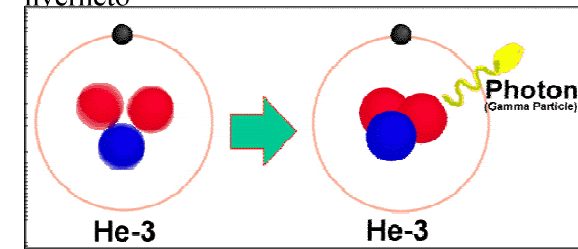
- prompt γ -sugárzás:

10^{-13} - 10^{-18} s-on belül követi a részecskesugárzást

- izomer magátalakulás:

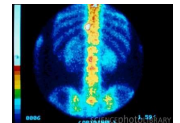
hosszabb, mérhető felezési idővel követi a részecskesugárzást

Előny: a kettő szeparálható, tisztán γ -sugárzó izotóp nyerhető



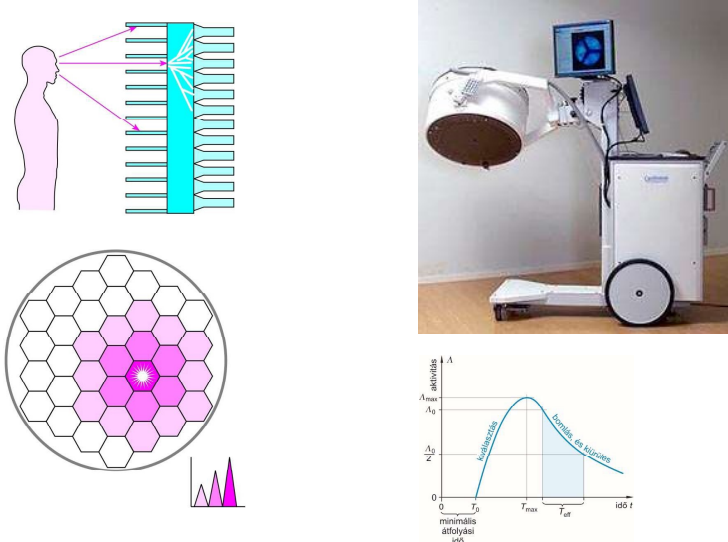
Az „in vivo” alkalmazott izotópok kiválasztásának szempontjai

- gamma-sugárzó
- rövid felezési idő (de ne legyen rövidebb, mint a vizsgált folyamat)
 $\Lambda \sim N/T$
- nem túl kicsi (sugárterhelés csökkentése) és nem túl nagy (jó hatásfokú detektálás) fotonenergia



Az „in vitro” alkalmazások során a mérés technikai szempontok a döntőek

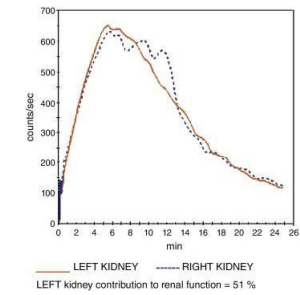
Gamma-kamera (statikus és dinamikus vizsgálat)



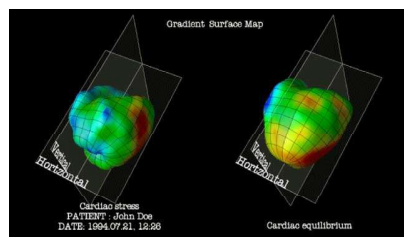
Statikus vizsgálat (szcintigram)



Dinamikus vizsgálat



SPECT



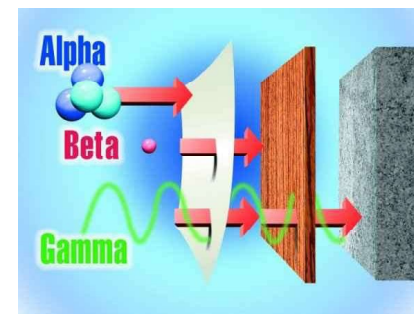
Ionizáló sugárzások és a közeg kölcsönhatása

Jellemző paraméterei:

- hatótávolság
- fajlagos ionizáció (lineáris ionsűrűség)

$$\frac{n}{l}$$

$$\text{- lineáris energiaátadás (LET)} = w \frac{n}{l}$$



a) Direkt ionizáló sugárzások (α , β)

A kölcsönhatás típusai:

- ionizáció
- gerjesztés
- elektromágneses sugárzás keltése (fékezési röntgen v. Cserenkov sugárzás)
- magreakciók keltése (csak nagy energiájú α)

α -sugárzás

igen nagy fajlagos ionizáció
kis hatótávolság (levegő ~ cm, víz ~ 10 μ m)

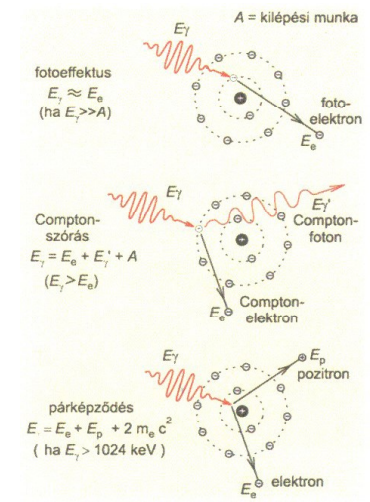
β -sugárzás

nagyobb hatótávolság (levegő ~ m, víz ~ mm)
kb. 100 \times kisebb fajlagos ionizáció, mint α -nál

b) Indirekt ionizáló sugárzások (γ , rtg)

Elsődleges kölcsönhatás:

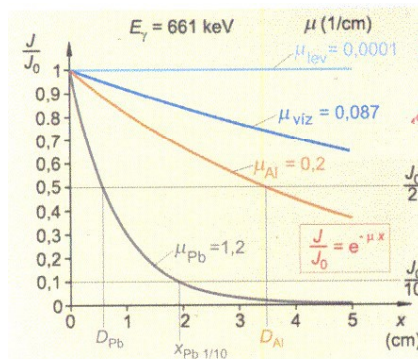
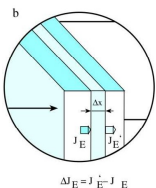
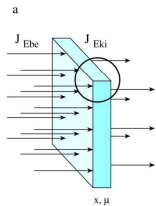
- fotoelektromos effektus
- Compton effektus
- párképződés



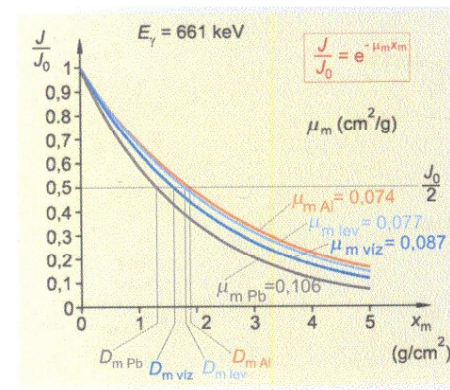
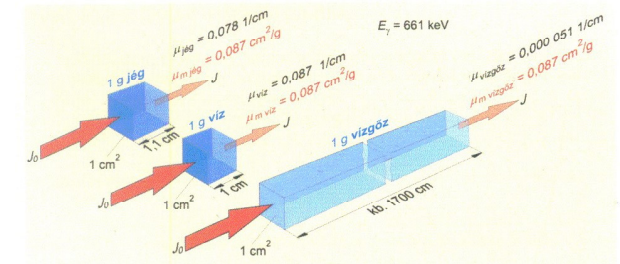
Az ezen folyamatokban kiváltott nagy energiájú elektronok ionizálnak.

A kölcsönhatások következtében a sugárzás intenzitása gyengül.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad \mu = \frac{1}{\delta} \quad \mu = \frac{0,693}{D}$$

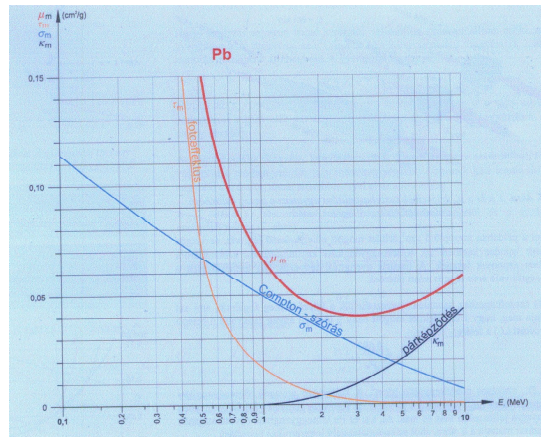


$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$



$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \quad \text{ill.} \quad \mu_m = \tau_m + \sigma_m + \kappa_m$$

A komponensek aránya a fotonenergiától és a gyengítő anyag minőségétől függ.



Kisebb fotonenergiáknál (diagnosztikus rtg és γ), nagyobb rendszámú gyengítő anyagoknál (pl. Pb, csont) főleg fotoeffektus.

Erre vonatkozóan: $\tau_m = c \lambda^3 Z^3$

Kisebb effektív rendszámú gyengítő anyagoknál (víz, lágy szövetek)

Főleg Compton-effektus ($Z_{\text{eff,víz}} = 7,69$, $Z_{\text{eff,lev}} = 7,3$)

Erre: $\sigma_m \sim Z$

Gyakorlati következmények:

- sugárvédelem nagy rendszámú anyagokkal Pb)

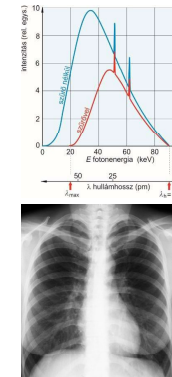
- szűrők

- rtg-diagnosztika (kép kontrasztossága, kontrasztanyagok)

- terápia: kis energia - felületi

- nagy energia – mély

hatótávolság: energiától függ (levegő ~ 100 m, víz ~ dm)
fajlagos ionizáció kisebb, mint β esetén

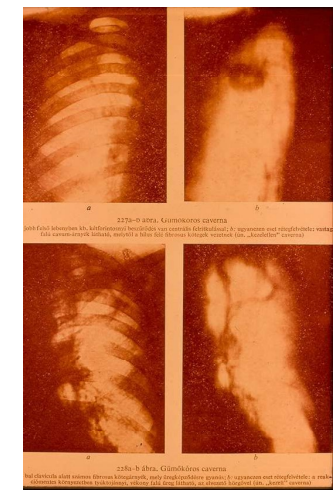
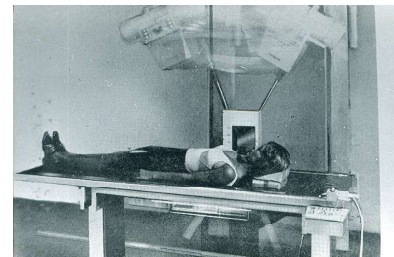


Röntgendiagnosztika

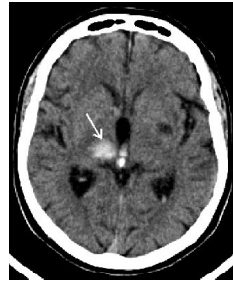
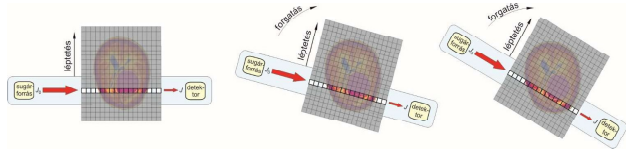
- szummációs kép



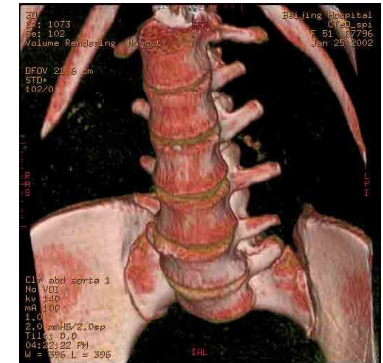
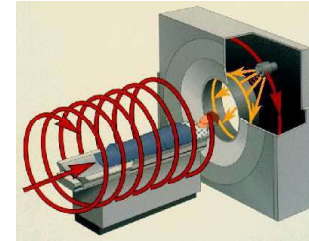
- hagyományos rétegfelvétel



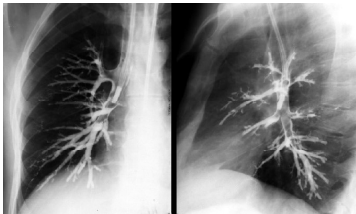
CT



Spirál CT és 3D rekonstrukció



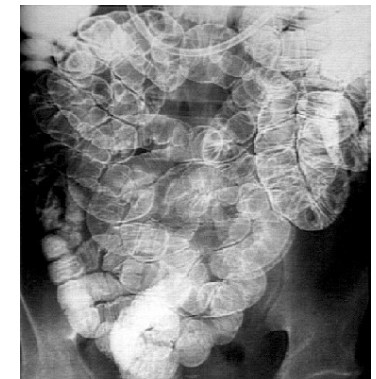
Kontrasztanyagok alkalmazása I. -pozitív



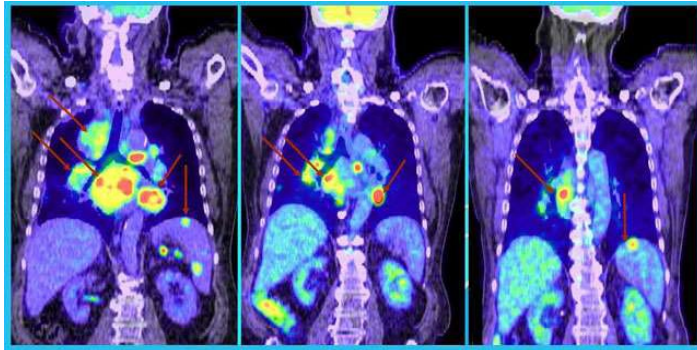
Digitális szubtrakciós angiográfia (DSA)



Kontrasztanyagok alkalmazása I. -negatív, illetve kettős kontraszt



Hibrid képalkotás (funkcionális és morfológiai információ kombinációja)
PET-CT



Dozimetria

Célja a sugárzás biológiai hatásának számszerű (kvantitatív) jellemzése.

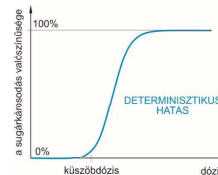
Biológiai hatást csak a szövetben elnyelődött sugárzás fejt ki.

Elnyelt dózis:
$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} \cdot \text{egysége} \cdot \frac{J}{kg} = Gy$$

A sugárkárosodások fajtái:

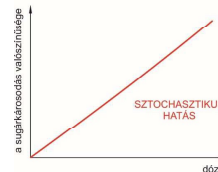
Determinisztikus

- Csak küszöbdózis felett
- A károsodás súlyossága arányos a dózissal (pl. bőrpír, sugárbetegség)



Sztokasztikus

- Nincs küszöbdózis
- A valószínűsége arányos a dózissal (pl. daganatkeletkezés)

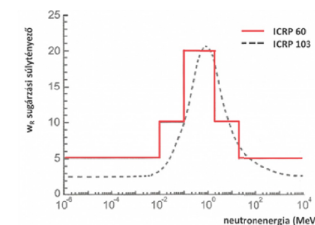


Egyenérték dózis: $H_T = D_{T,R} w_R$ mértékegysége: J/kg = Sv

A sugárvédelemben leggyakrabban előforduló típusú és minőségű sugárzások súlytényezője:

6. táblázat. Sugárzási súlytényezők.

Sugárzás fajtája	Sugárzási súlytényező (w_R)	
	ICRP 60	ICRP 103
foton	1	1
elektron, müon	1	1
proton (nem visszaszórt)	5	
proton és pion		2
α -részecske, nehéz magok	20	20
neutronok	5 (< 10 keV) 10 (10 – 100 keV) 20 (100 keV – 2 MeV) 10 (2 MeV – 20 MeV) 5 (> 20 MeV)	folytonos görbével ábrázolták az energia függvényében (2.1. ábra)



1. ábra. A w_R súlytényező grafikus ábrázolása az ICRP 60 és ICRP 103 alapján.

Effektív dózis: $E = \sum H_T w_T$ mértékegysége: J/kg = Sv

Az egyes szövetek sugárvédelemben használt súlytényezője:

7. táblázat. Az ICRP 60 és ICRP 103 ajánlásában található testszöveti súlytényezők.

Testszövet	Testszöveti súlytényező (w_R)	
	ICRP 60	ICRP 103
tüdő, gyomor, csontvelő, vastagbél	0,12	0,12
emlő	0,05	0,12
ivarmirigyek	0,20	0,08
pajzsmirigy		
hólyag	0,05	0,04
nyelőcső, máj		
csontfelszín, bőr	0,01	0,01
agy		0,01
nyálmirigy		0,01
maradék	0,05	0,12
összes	1,00	1,00

Dóziskorlátok

	Foglalkozási sugárterhelés	Tanulók, gyakornokok (16-18 év között)	Lakosság (orvosi sugárterhelés nélkül)
<i>Egésztest</i>	20 mSv/év	6 mSv/év	1 mSv/év
<i>Szemlencse</i>	20 mSv/év	15 mSv/év	15 mSv/év
<i>Bőr, végtagok</i>	500 mSv/év	150 mSv/év	50 mSv/év

Néhány orvosi beavatkozás során kapott dózis

In vivo izotópvizsgálatok általában: 4 – 5 mSv

Fogászati röntgen vizsgálatok: 2 – 16 μ Sv

Mellkas ernyőképszűrés: 0.1 mSv

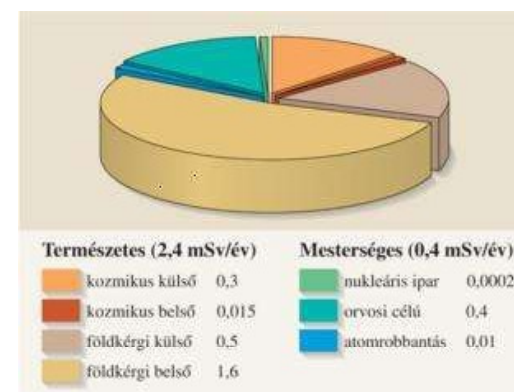
Koponya CT: 1,5 – 2 mSv

Hasi, mellkasi CT: 7 -8 mSv

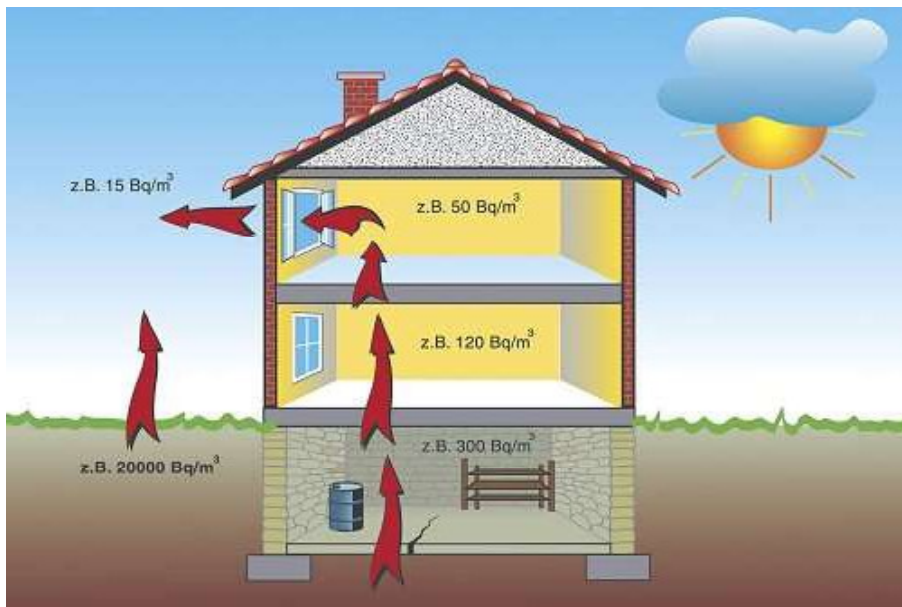
Intervenciós radiológia: több 10 mSv

Átlagos háttérsugárzás Magyarországon: 3,1 mSv/év

A lakossági sugárterhelés forrásai



A radon útja



2013 során a Személyi Dozimetriai Szolgálat átállt a filmdoziméterekről az egészséges termolumineszcens doziméterek használatára.



Egyéni dozimetriai ellenőrzés, monitorozás, orvosi gyakorlatban

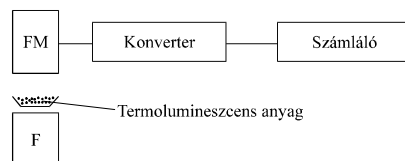
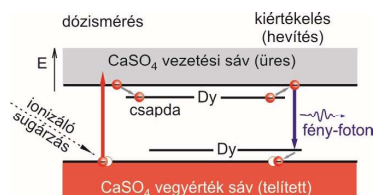
- Egyéni külső dózis követésére személyre szólóan dozimétert használunk, melynek típusa lehet:
 - (- Film kazetta)
 - Termolumineszcens (TL)
 - Elektronikus (operatív) doziméter
- Egyéni dozimétert mell-magasságban, a váll és derék között hordjuk
- A monitorozási időtartam legyen 1 hónap, de semmi esetre sem 3 hónapnál hosszabb.
- Doziméter csere és eredmény közlés ne legyen 3 hónapnál ritkább!

Termolumineszcens dózismérő



Termolumineszcens dózismérő

(1. gyakorlat)



Sugárvédelmi szempontok minden ionizáló sugárzással végzett tevékenység során

1. **Indokoltság** – az ionizáló sugárzás alkalmazásának hasznosnak kell lennie: az alkalmazás kockázata kisebb, mint az alkalmazás elhagyásának kockázata (kára) – ezt kell mérlegelni a páciens szempontjából.
2. **Optimálás** – az alkalmazás által okozott dózis az ésszerűen elérhető Legkisebb legyen. (ALARA-elv: **A**s **L**ow **A**s **R**easonably **A**chievable) Mind a páciens, mind a személyzet szempontjából mérlegelni kell.
3. **Korlátozás** – a valószínű dózisok nem léphetik túl a biztonságot adó egyéni dóziskorlátot. A munkavállalók szempontjából kell mérlegelni.

Elektronikus operatív doziméter



Lehetőségek a sugárterhelés csökkentésére

- A távolság növelése
- Az expozíciós idő csökkentése
- Sugárelnyelő rétegek alkalmazása

