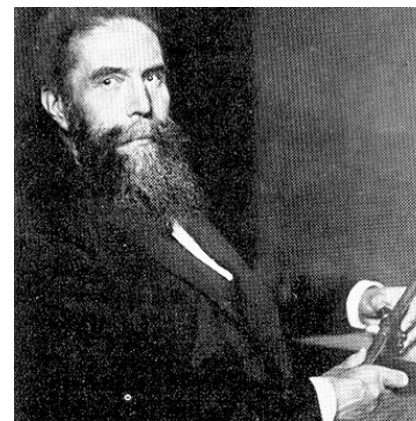


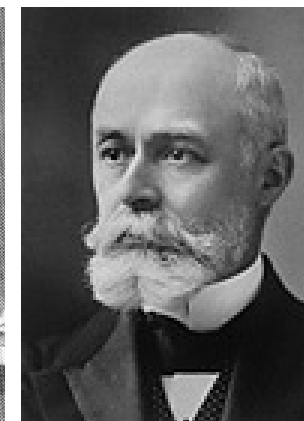


Az ionizáló sugárzások előállítása és alkalmazása

Dr. Voszka István
Semmelweis Egyetem Biofizikai és
Sugárbiológiai Intézet



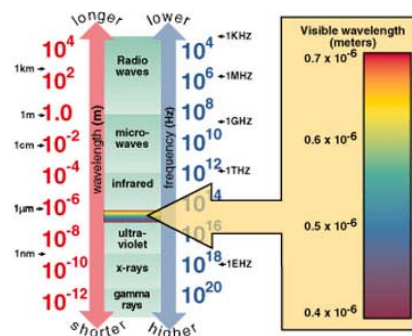
Wilhelm Conrad Röntgen
1845-1923



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)

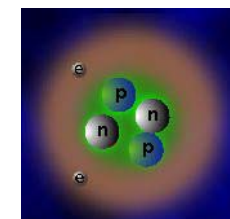
neutronok (protonok + neutronok

[nukleonok] száma együtt \rightarrow tömegszám-A)

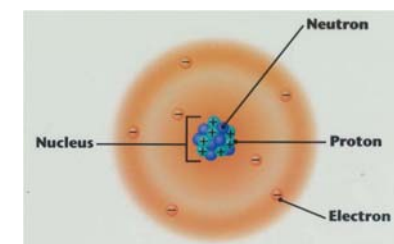
Magsugárzások: α , β , γ

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

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



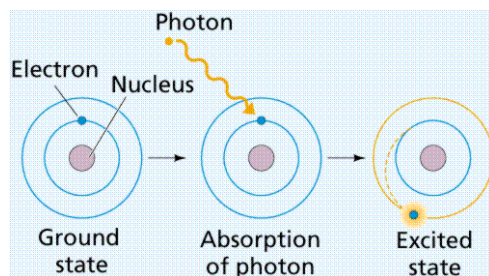
⁵⁶₂₆Fe



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

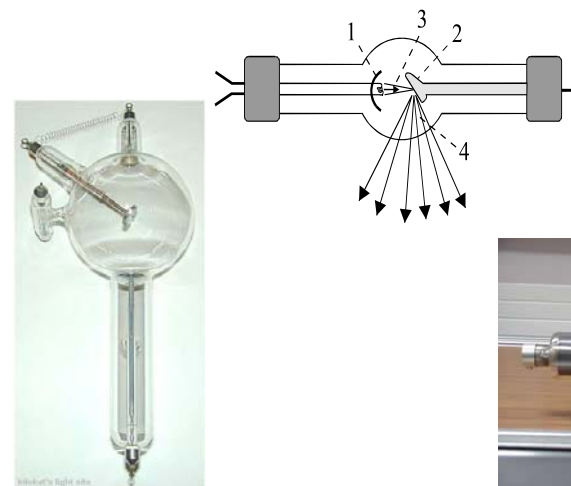
Ionizáció: $h\nu \geq \Delta E$

Elektronburokból származó sugárzás:
röntgen



2. Röntgensugárzás keletkezése

Előállítás leggyakrabban röntgensőben

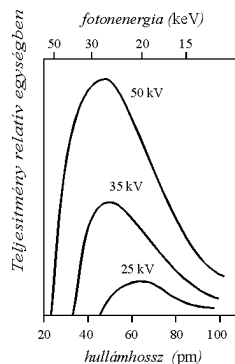


Típusai: fékezési sugárzás

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

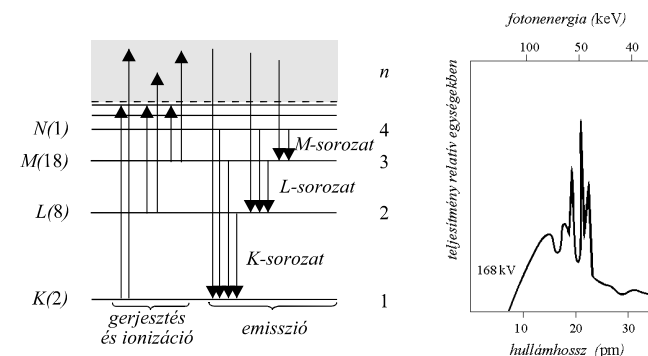
$$P = c U^2 I Z \quad \eta = c U Z$$

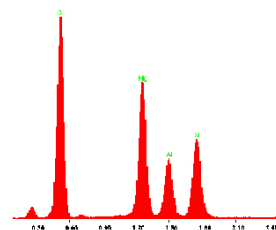
Alkalmazása: röntgen képalkotás



karakterisztikus sugárzás

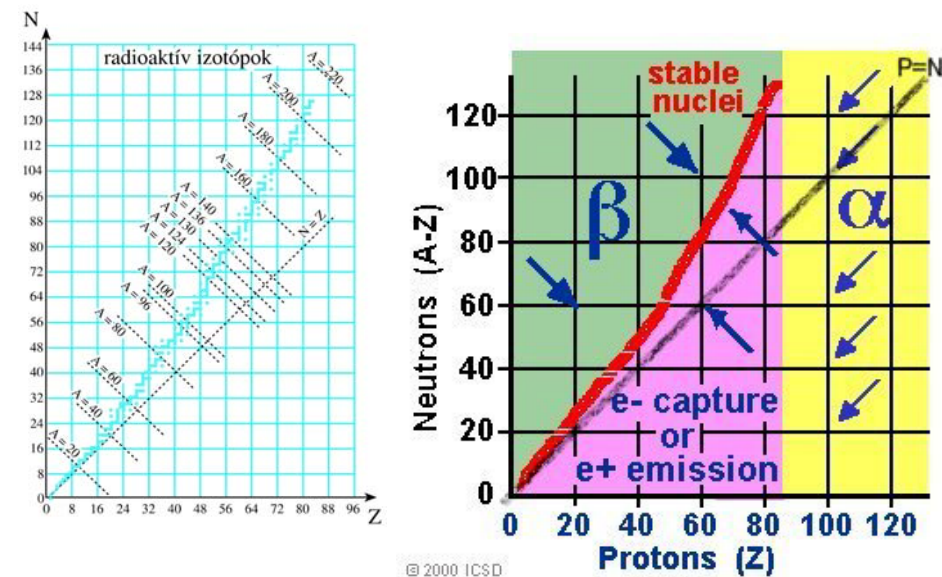
- nagy gyorsító feszültség esetén
 - vonalas, az anódra jellemző spektrum
- Alkalmazása: csontdenzitometria, anyagazonosítás, molekulaszervezet vizsgálata



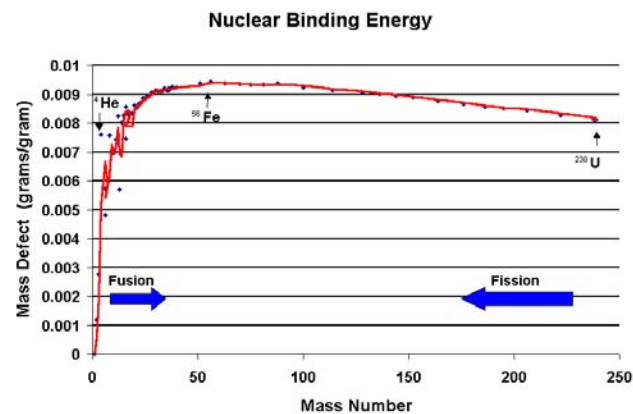


3. Magerők, az atommag stabilitása

A protonok és neutronok között vonzó- és taszítóerők hatnak

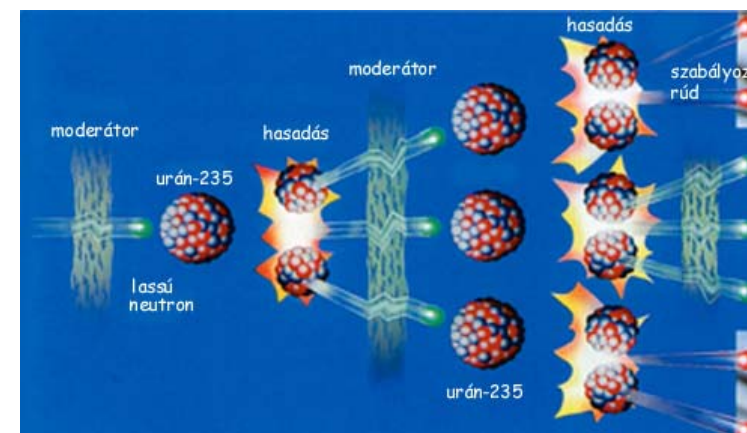


Az egy nukleonra jutó kötési energia közepes méretű magok esetén a legnagyobb (legstabilabb magok)

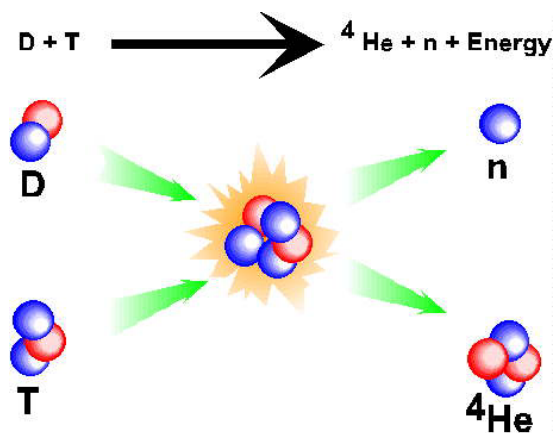


Ezen állapot elérhető:

- nehéz magok hasadásával (atomreaktor, atombomba)



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



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

természetes mesterséges

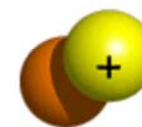
The Nuclei of the Three Isotopes of Hydrogen

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)]

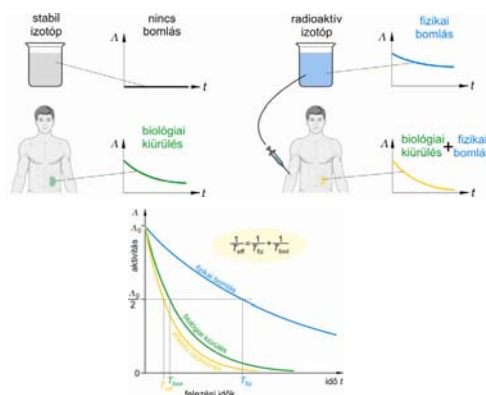
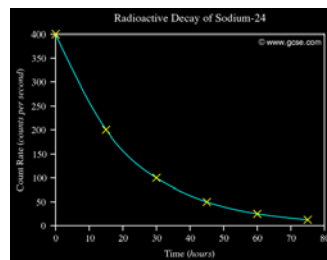
(1 Ci (curie) = $3,7 \times 10^{10}$ Bq)

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

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

Kapcsolat a felezési idők között:

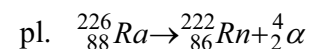
$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{fiz}} + \frac{1}{T_{biol}}$$



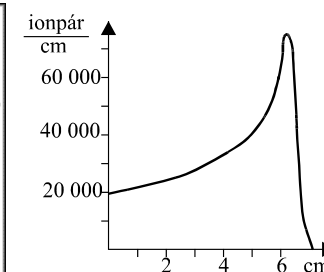
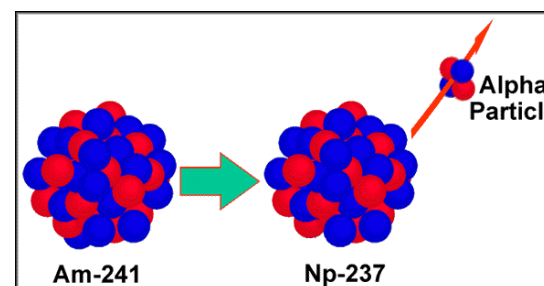
5. Bomlási típusok

Alfa bomlás

Z 2-vel, A 4-gyel csökken

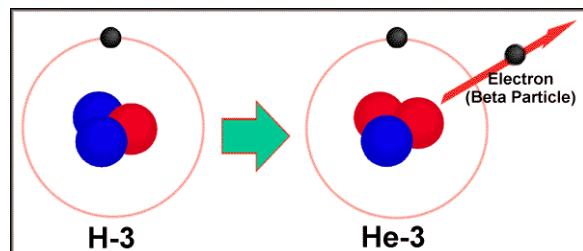
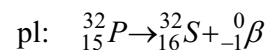


- meghatározott energiájúak (vonalas spektrum)
- hatótávolságuk rövid (vízben, szövetben néhányszor 10 μm)
Alkalmazás: csak terápia

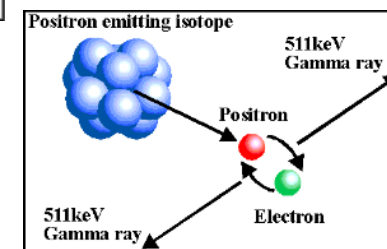
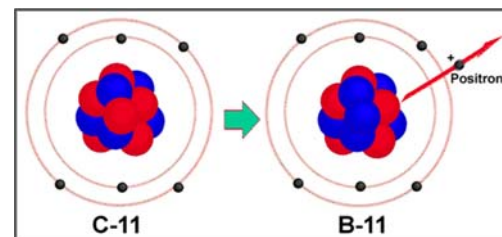
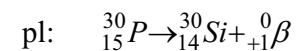


Béta bomlás

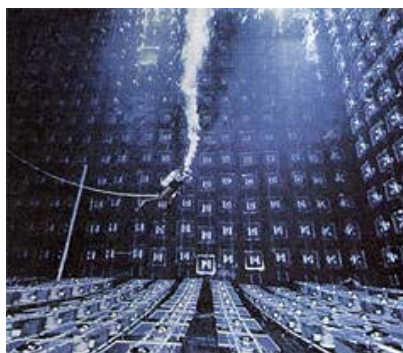
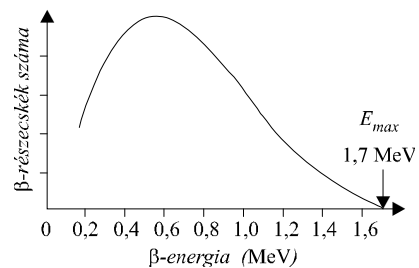
- negatív β -bomlás: Z 1-gyel nő



- pozitív β -bomlás: Z 1-gyel csökken

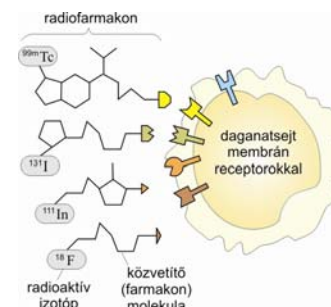


A mag energiavesztése adott értékű, a spektrum mégis folytonos. Oka: neutrínó.

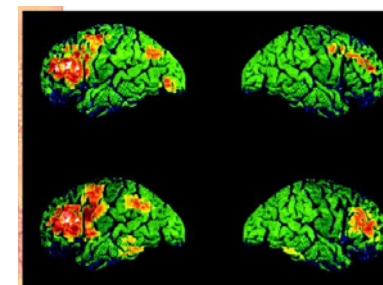
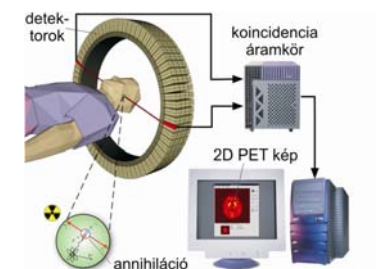


Alkalmazás: β^- : terápia és in vitro
 β^+ : PET

Tumordiagnosztika és terápia



PET vizsgálat



Gamma sugárzás

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

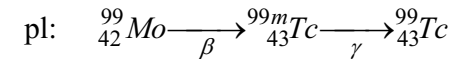
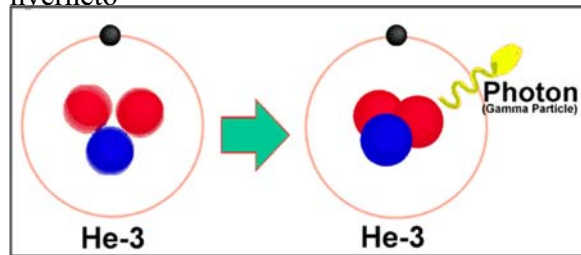
- prompt γ -sugárzás:

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

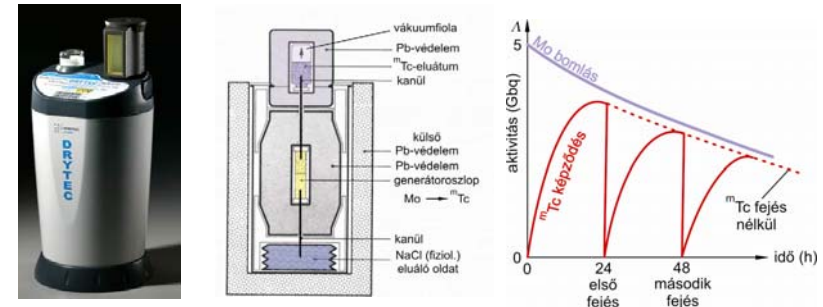
- izomer magátalakulás:

hosszabb, mérhető felezési idővel követi a részecskesugárzást

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

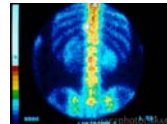


Alkalmazás: in vivo diagnosztika (igen jól használható)



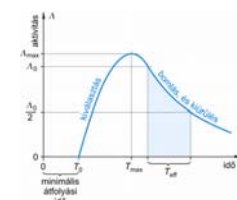
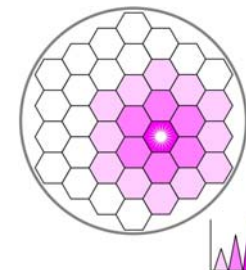
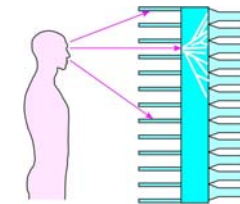
Az „in vivo” alkalmazott izotópok kiválasztásának szempontjai

- 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

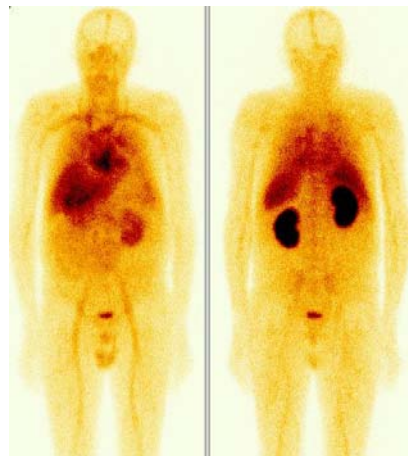


Az „in vitro” alkalmazások során a mérés technikai szempontok a döntőek

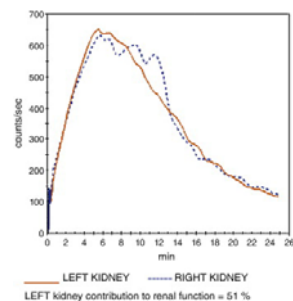
Gamma-kamera (statikus és dinamikus vizsgálat)



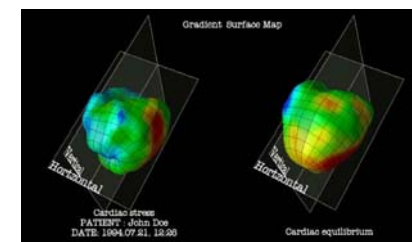
Statikus vizsgálat (szcintigram)



Dinamikus vizsgálat



SPECT



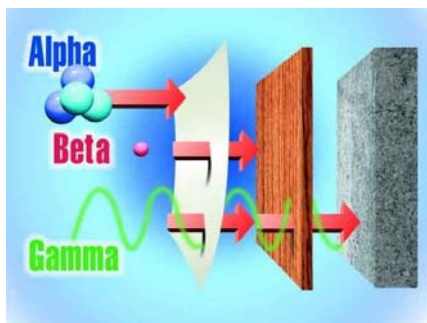
Ionizáló sugárzások és a közeg kölcsönhatása

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

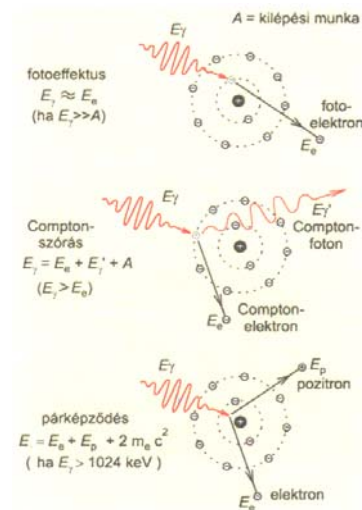
nagyobb hatótávolság (levegő ~ m, víz ~ mm)
kb. 100 \times kisebb fajlagos ionizáció, mint α -nál

b) Indirekt ionizáló sugárzások (γ, rtg)

Elsődleges kölcsönhatás:

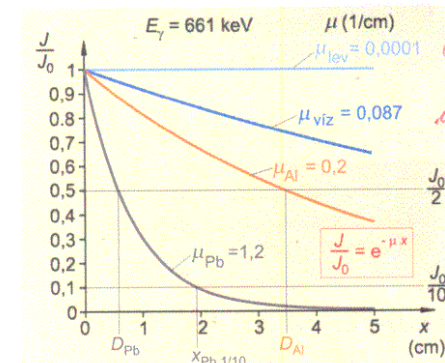
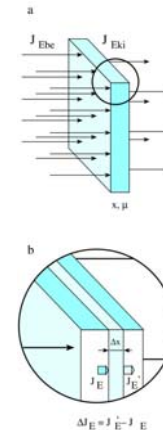
- fotoelektromos effektus
- Compton effektus
- párképződés

Az ezen folyamatokban kiváltott nagy energiájú elektronok ionizálnak.

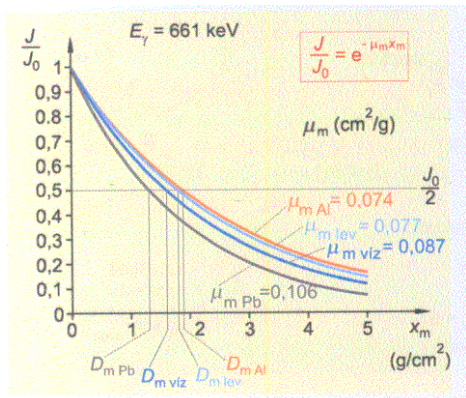
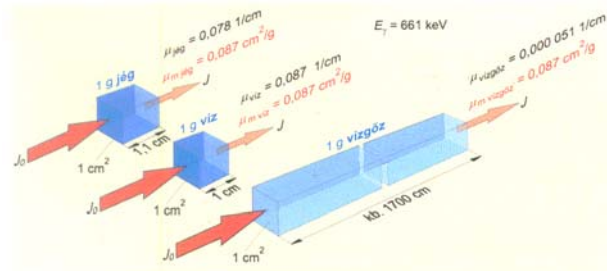


A kölcsönhatások következtében a sugárzás intenzitása gyengül.

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

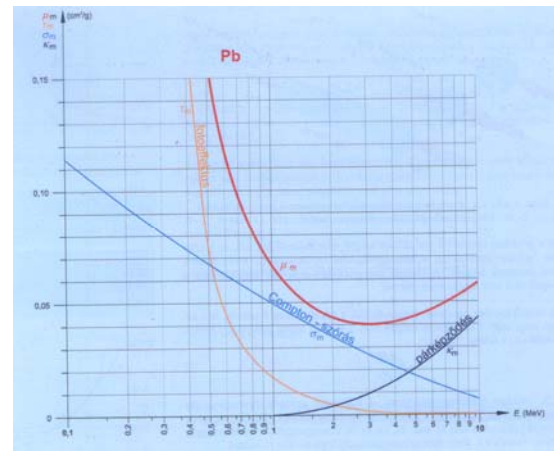


$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$



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

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

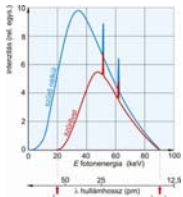
- rtg-diagnosztika (kép kontrasztossága, kontrasztanyagok)

- terápia: kis energia - felületi

- nagy energia – mély

hatótávolság: energiától függ (levegő ~ 100 m, víz ~ dm)

fajlagos ionizáció kisebb, mint β esetén

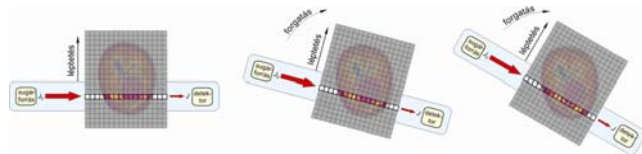


Röntgendiagnosztika

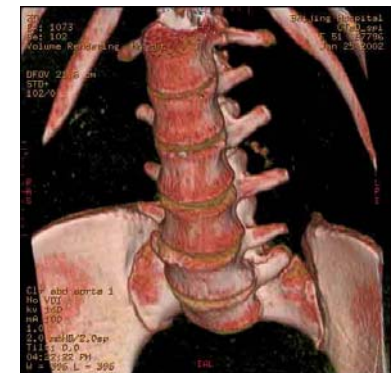
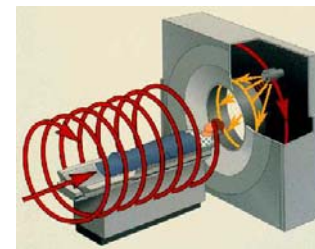
- szummációs kép



CT



Spirál CT és 3D rekonstrukció



Kontrasztanyagok alkalmazása I. -pozitív



Digitális szubtrakciós angiográfia (DSA)



Kontrasztanyagok alkalmazása I. -negatív, illetve kettős kontraszt



Dozimetria

Célja a sugárzás biológiai hatásának számszerű (kvantitatív) jellemzése.

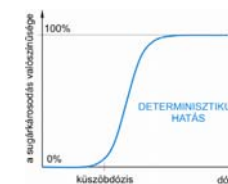
Biológiai hatást csak a szövetben elnyelődött sugárzás fejt ki.

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

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

A sugárvédelemben leggyakrabban előforduló típusú és minőségű sugárzások súlytényezője:

A sugárzás típusa és energiatartománya		Sugárzási súlytényező, w_R
Fotonok	teljes energiatartomány	1
Elektronok és müonok	teljes energiatartomány*	1
Neutronok	<10 keV	5
	10 keV-100 keV	10
	>100 keV-2 MeV	20
	>2 MeV-20 MeV	10
	>20 MeV	5
Protonok (kivéve: visszalökött protonok)	>2 MeV	5
Alfa-részecskék, hasadási töredékek, nehéz magok	-	20

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

Az egyes szövetek sugárvédelemben használt súlytényezője:

Testszövet vagy szerv	Súlytényező, w_T
Ivarszervek	0,20
Csontvelő (vörös)	0,12
Vastagbél*	0,12
Tüdő	0,12
Gyomor	0,12
Hólyag	0,05
Emlő	0,05
Máj	0,05
Nyelőcső	0,05
Pajzsmirigy	0,05
Bőr	0,01
Csontfelszín	0,01
Maradék**	0,05

Dóziskorlátok

	Foglalkozási sugárterhelés	Tanulók, gyakornokok (16-18 év között)	Lakosság (orvosi sugárterhelés nélkül)
Egésztest	100 mSv/5 év (egy évben sem lehet > 50 mSv)	6 mSv/év	1 mSv/év
Szemlencse	150 mSv/év	50 mSv/év	15 mSv/év
Bőr	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 µSv
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

Egyéni dozimetriai ellenőrzés, monitorozás, orvosi gyakorlatban

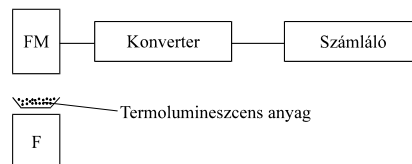
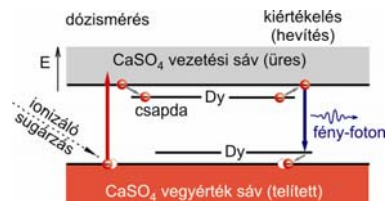
- Egyéni külső dózis követésére személyre szólóan dozimétert használjunk, melynek típusa lehet:
 - (- Film kazetta)
 - Termolumineszcens (TL)
 - Elektronikus (operatív) doziméter
- Egyéni dozimétert mell-magasságban, a váll és derék között hordjuk
- A monitorozási időtartam legyen 1 hónap, de semmi esetre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

Termolumineszcens dózismérő



Termolumineszcens dózismérő

(1. gyakorlat)



Elektronikus operatív doziméter



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.

Lehetőségek a sugárterhelés csökkentésére

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

