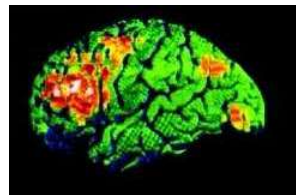
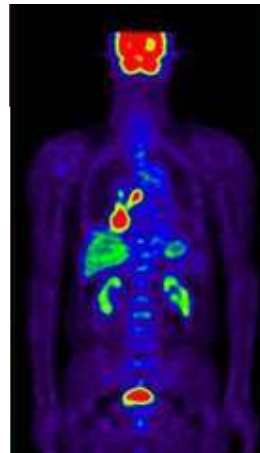
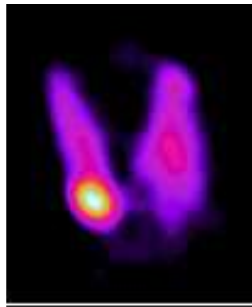


# Az atommag: radioaktivitás, mag sugárzások. Az izotópos nyomjelzéses technikák fizikai



alapjai

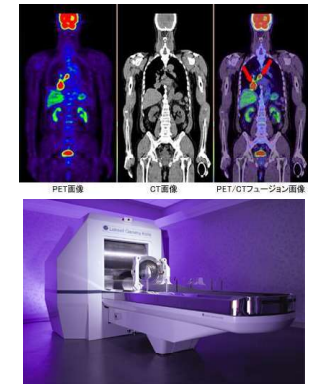
Smeller László



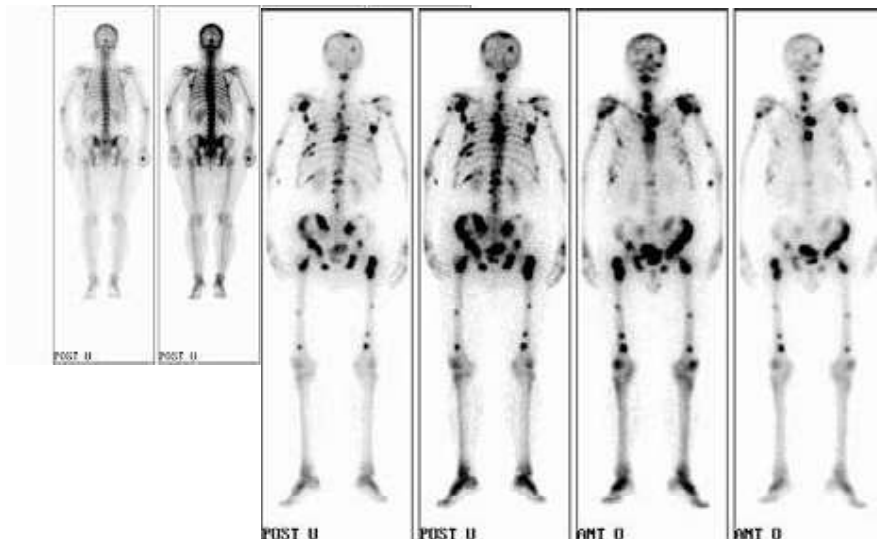
## Miért érdekes?

Radioaktív izotópok ill. sugárzások


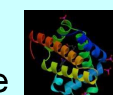
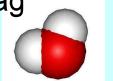

- orvosi felhasználása:
  - diagnosztika (izotópdiaosztika)
  - terápia (sugárterápia)
  - farmakokinetikai vizsgálatok



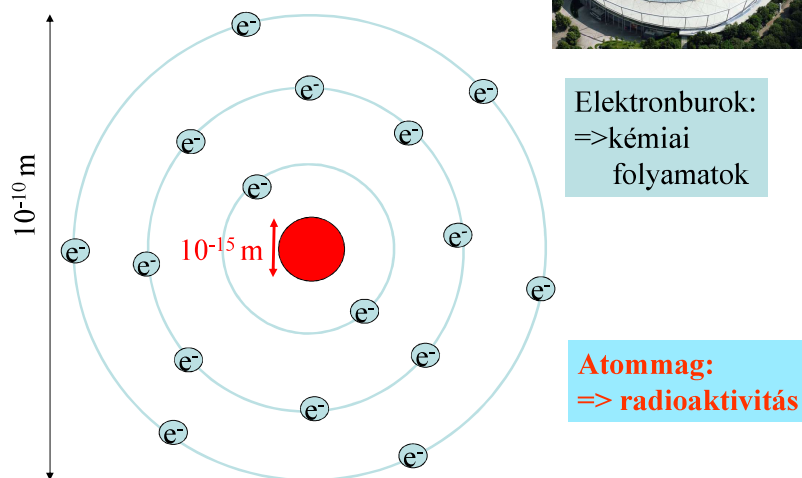
## Példa: csontszcintigráfia



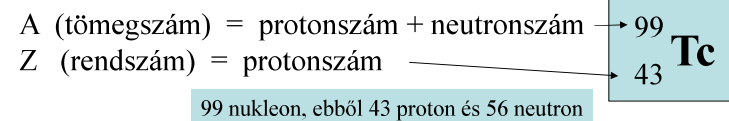
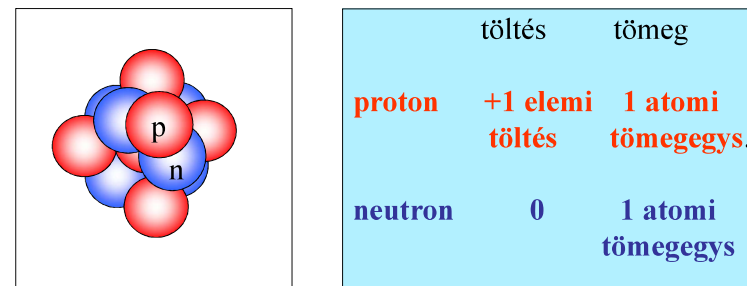
## Méretek

m		
10 <sup>0</sup>	méter	ember
10 <sup>-3</sup>	milliméter	szabad szemmel látható távolság
10 <sup>-6</sup>	mikrométer	sejt méret (pl. emberi vvt) 
10 <sup>-9</sup>	nanométer	fehérje 
10 <sup>-10</sup>	– Angström	atom átmérője, kémiai kötéstávolság H atom Ø ≈ 1 Angström (Å) 
10 <sup>-12</sup>	pikométer	röntgensugárzás hullámhossza
10 <sup>-15</sup>	femtométer	atommag 

## Az atommag

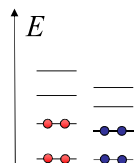


## Az atommag felépítése



## Az atommag stabilitása

- Coulomb erő destabilizál!  
(protonok között: taszító hatás)
- Magerő: rövid hatótáv (~fm)  
nagyon erős  
vonzó (töltésfüggetlen)
- A nukleonok diszkrét energiaszinteken helyezkednek el.
- A mag energiája is diszkrét (kvantált)
- Energiaszintek tipikus távolsága MeV
- $eV = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$



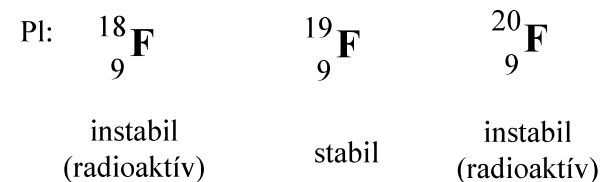
## Izotóp

Azonos rendszámú de eltérő tömegszámú atomok

⇒ azonos protonszám eltérő neutronszám

Ugyanannak az elemnek a módosulatai,

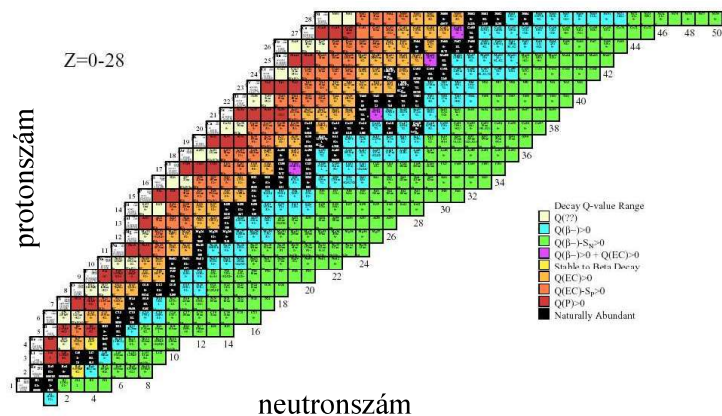
⇒ kémiai tulajdonságaik azonosak.



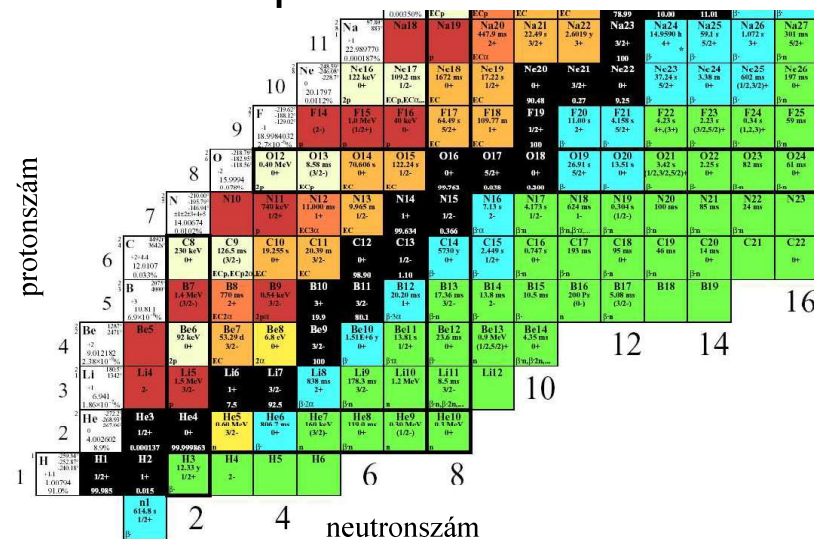
izotóp <-> radioaktív izotóp

# Izotóptáblázat

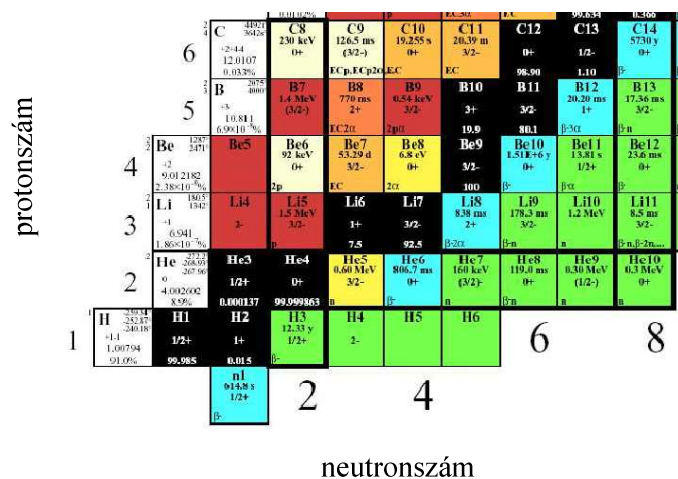
Table of Isotopes (1998)



# Izotóptáblázat részlet



# Izotóptáblázat részlet



# Bomlások és részecskék

α - bomlás

α - részecske =  ${}^4_2\text{He}$  atommag

β<sup>-</sup> - bomlás: β<sup>-</sup>  
β<sup>+</sup>

β<sup>-</sup> részecske = elektron  
β<sup>+</sup> részecske = pozitron

K-elektron befogás

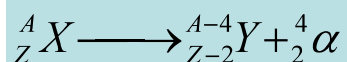
karakterisztikus  
Röntgen-foton

Izomer magátalakulás

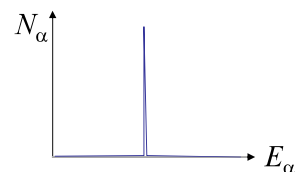
γ-sugárzás

## $\alpha$ - bomlás

$\alpha$  - bomlás:  ${}^4\text{He}$  atommag válik le a magról  
nehéz atommagoknál fordul elő

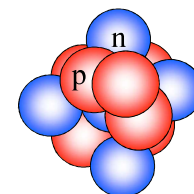
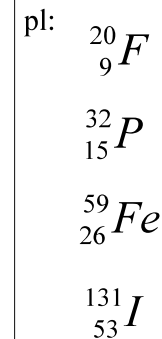
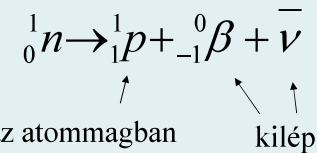
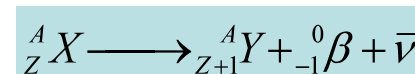
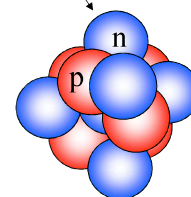


Vonalas energiaspektrum  
 $E_\alpha \sim \text{MeV}$



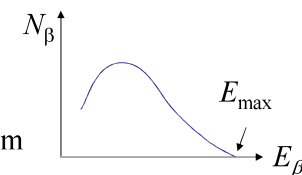
## $\beta^-$ - bomlás

neutrontúlsúly



$\beta^-$ -sugárzás

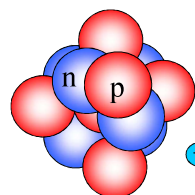
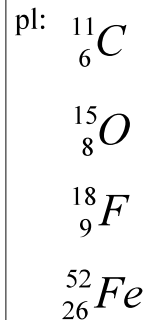
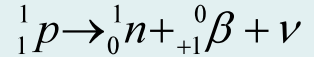
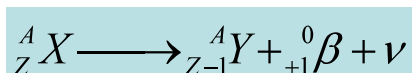
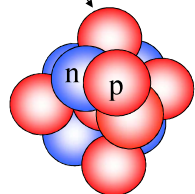
folytonos energiaspektrum



jelölések:  $\beta^- = {}^0_{-1} \beta = e^-$

## $\beta^+$ - bomlás

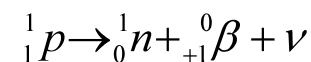
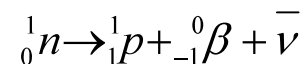
protontúlsúly



$\beta^+$ -sugárzás

folytonos energiaspektrum  
mesterséges előállítás

## Hogy is van ez?



$m_p = 1,672623 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   
 $m_n = 1,674928 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  } Nyugalmi tömegek!

Megoldás: Einstein féle tömeg-energia ekvivalencia

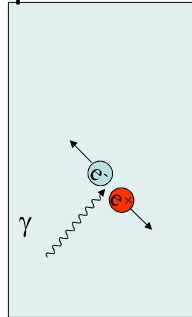
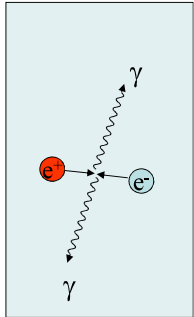
$$E = mc^2$$

kötött nukleon:  
alacsonyabb energiaszint: kisebb tömeg!



## Kis kitérő: elektron - pozitron

- antirészecskék
- tömeg ua, töltés ellentétes ...
- annihiláció és párkeltés



Einstein:  
tömeg-energia  
ekvivalencia

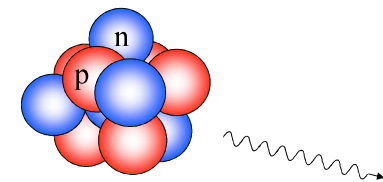
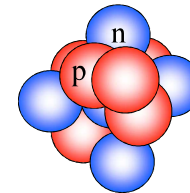
$$E=mc^2$$

$$m_e c^2 = 511 \text{ keV} \approx 0,5 \text{ MeV}$$

## Prompt $\gamma$ -sugárzás

A bomlás után a nukleonok elhelyezkedése  
**energetikailag kedvezőtlen** lehet

Átrendeződés: alacsonyabb energiaszintre jut,  
a fölös energiát kisugározza  $\gamma$  foton formájában



protonsám, neutronsám változatlan! Kísérőjelenség.

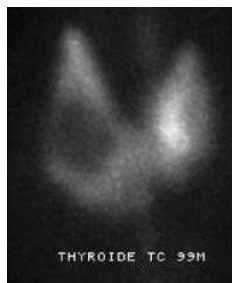
## Izomer magátalakulás

Ha a bomlás utáni mag elég hosszú ideig stabil,  
a  $\gamma$ -sugárzás később keletkezik.

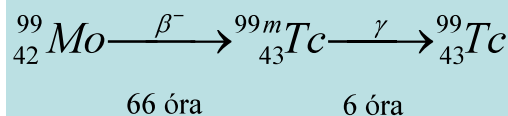
A két folyamat szeparálható.

**Tisztán  $\gamma$ -sugárzó izotóp állítható elő!**

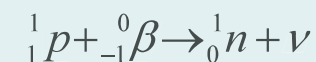
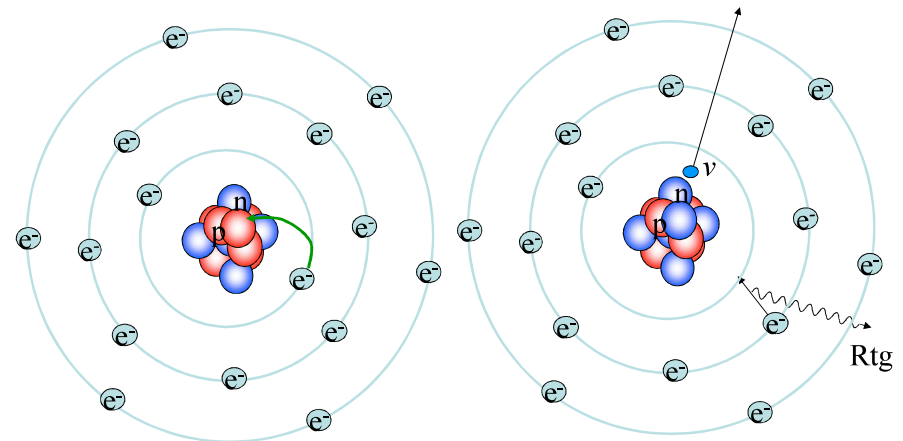
**=> Izotópdiaosztika**



Pl:  $^{99m}\text{Tc}$

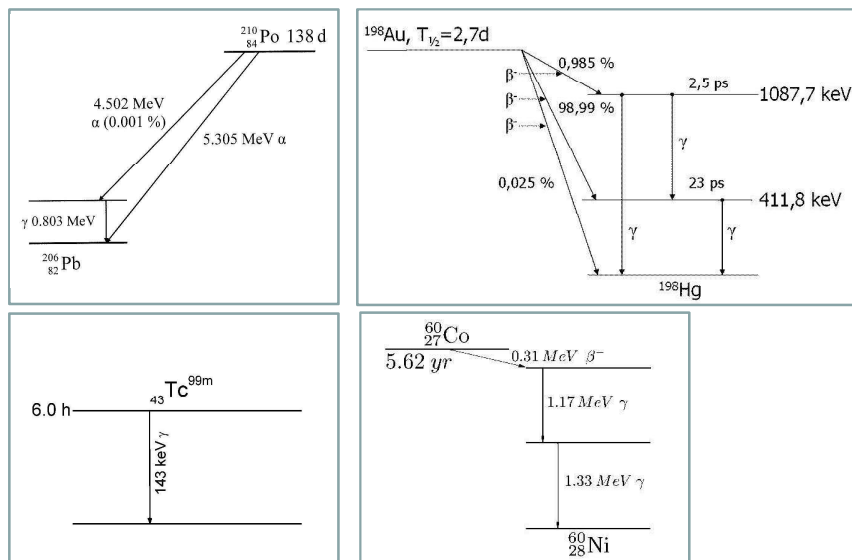


## K-befogás (inverz $\beta$ -bomlás)





## Példák bomlási sémákra



## A radioaktív izotópokat jellemző mennyiségek

Aktivitás (a sugárforrást jellemzi)

Felezési idő (a bomlás sebességét jellemzi)

Részecskeenergia (a sugárzást jellemzi)

## Aktivitás ( $\Lambda$ )

$$\Lambda = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right| \quad \left( = \left| \frac{dN}{dt} \right| \right)$$

$N$  = a bomlásra képes atomok száma  
 $t$  = idő

Aktivitás = az egységnyi idő alatt elbomlott atomok száma

mértékegysége: becquerel Bq  
1 Bq = 1 bomlás/sec

Régi mértékegys: curie Ci  
1 Ci =  $3.7 \cdot 10^{10}$  Bq = 37 GBq

A gyakorlatban: kBq, MBq, GBq, TBq

mérhetetlenül alacsony

természetes radioaktivitás szintje

in vivo diagn.

óvatosan dolgozzunk vele!

terápiában alkalmazott aktivitás

## Bomlástörvény

$\Delta N \sim N$   $N$  a bomlásra képes (=elbomlatlan) atomok száma

$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$   $\lambda$ : bomlási állandó, bomlási valószínűség [1/s]  
 $1/\lambda = \tau$  idő! átlagos élettartam

differentiálegyenlet

megoldása:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{exponenciális lecsengés!}$$

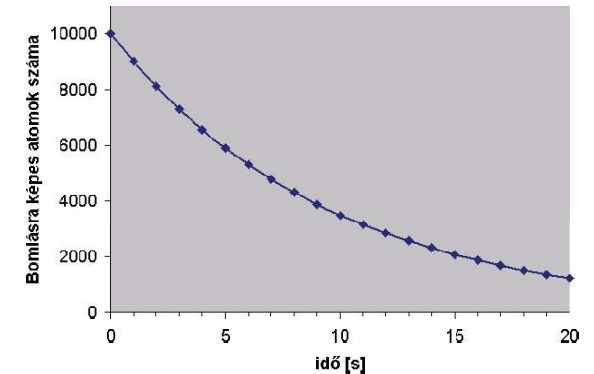
$N_0$  az elbomlatlan atomok száma kezdetben ( $t=0$ )

## Példa

- Példa:  $N_0=10000$   $\lambda=0,1 \text{ 1/s}$
- 1 sec múlva: 9000 (10000x0,1=1000 elbomlott)
- 2 sec múlva: 8100 (9000x0,1=900 elbomlott)
- 3 sec múlva: 7290 (8100x0,1=810 elbomlott)
- 4 sec múlva: 6561 (7290x0,1=729 elbomlott)
- ....

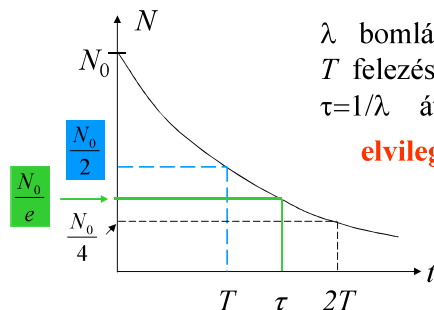
## Példa

- Példa:  $N_0=10000$   $\lambda=0,1 \text{ 1/s}$
- 1 sec 9000
- 2 sec 8100
- 3 sec 7290
- 4 sec 6561
- ....



## Felezési idő, bomlástörvény

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$



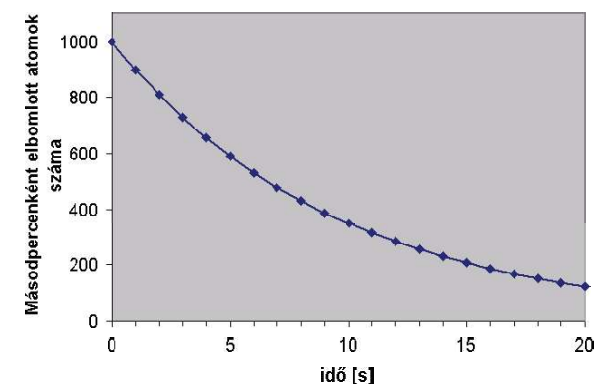
$\lambda$  bomlásállandó (bomlási valószínűség)  
 $T$  felezési idő  
 $\tau=1/\lambda$  átlagos élettartam

**elvileg soha nem bomlik el az összes !**

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

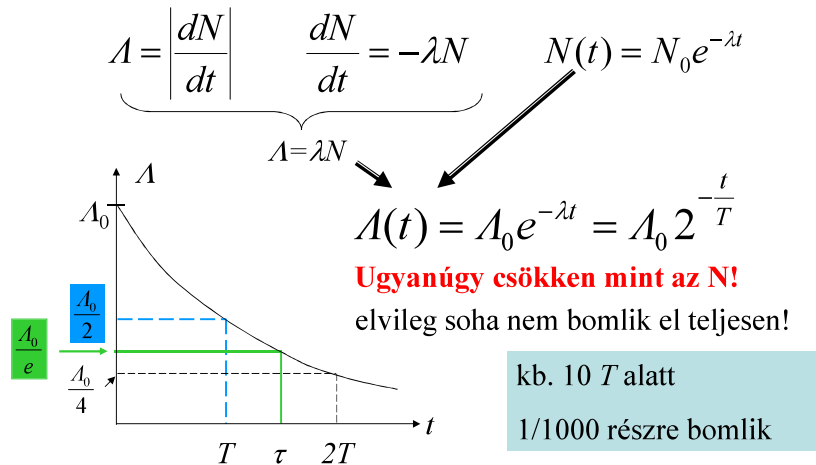
## Az aktivitás csökkenése.

- Példa:  $N_0=10000$   $\lambda=0,1 \text{ 1/s}$



**1000** elbomlott)  
**900** elbomlott)  
**810** elbomlott)  
**729** elbomlott)

## Az aktivitás időbeli csökkenése



## A felezési idő az izotóp típusától függ

$^{232}\text{Th}$	$1,4 \cdot 10^{10}$ év
$^{238}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9$ év
$^{40}\text{K}$	$1,3 \cdot 10^9$ év
$^{14}\text{C}$	5736 év
$^{137}\text{Cs}$	30 év
$^3\text{H}$	12,3 év

$^{60}\text{Co}$	5,3 év
$^{59}\text{Fe}$	1,5 hó
$^{56}\text{Cr}$	1 hó (28 nap)
$^{131}\text{I}$	8 nap
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6 óra
$^{18}\text{F}$	110 perc
$^{11}\text{C}$	20 perc
$^{15}\text{O}$	2 perc
$^{222}\text{Th}$	2,8 ms

**Ezeket az adatokat  
tilos megtanulni!**

## Részecskeenergia

A radioaktív sugárzás tipikus részecskeenergiája  
(a magátalakuláskor felszabaduló energia)

a **MeV** nagyságrendben van.

$\text{eV} = \text{elemi töltés} \times 1 \text{ Volt} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 0,16 \text{ aJ}$

## Tipikus energia-nagyságrendek a mikrovilágban

Külső elektronok  
gerjesztése,  
kilökése

eV (aJ)

fény



belső elektronpályák  
közti átmenet

keV (fJ)

röntgensugár



atommag-  
átalakulás

MeV (pJ)

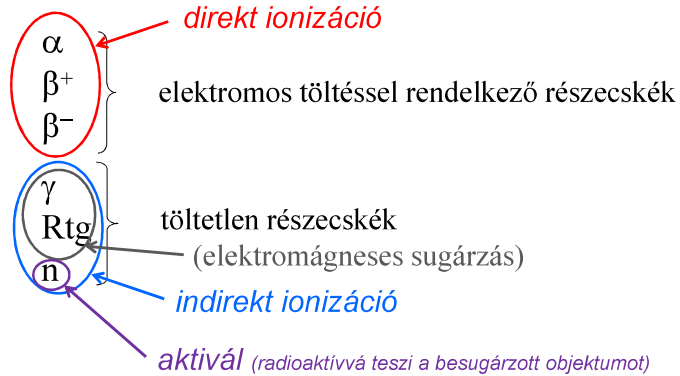
radioaktív  
sugárzás  
pl.  $\gamma$





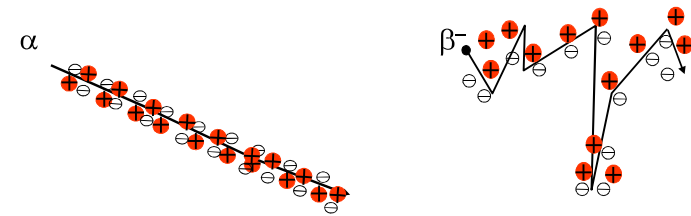
# Sugárzások és anyag kölcsönhatása.

## A sugárzások elnyelődése



## Töltött részecskék elnyelődése

Útjuk során ionizálnak, energiájukból folyamatosan leadnak. Az energia egy véges úthosszon elfogy. **Hatótávolság**



## Hatótávolság

$\alpha$ -részecske

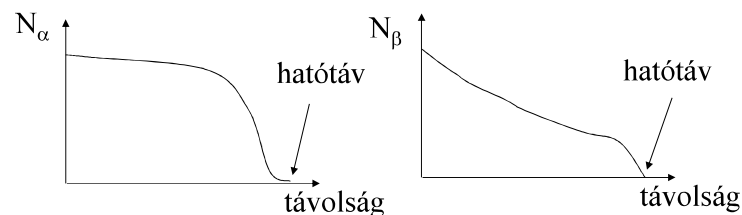
$\beta^-$ -részecske

levegőben **néhány cm**

levegőben **m** nagyságrendű

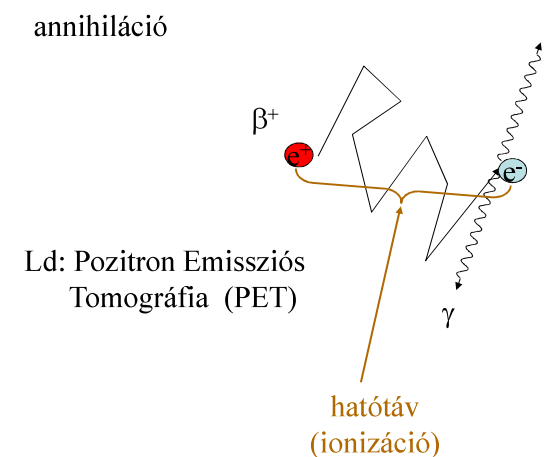
szövetben **0,01-0,1 mm**

szövetben **cm**

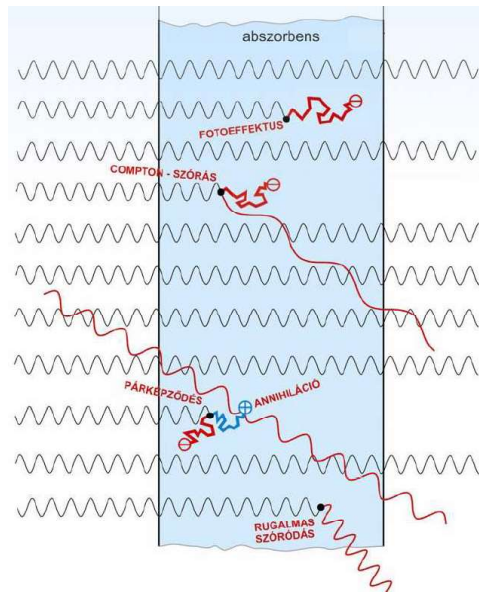


## $\beta^+$ -sugárzás

annihiláció



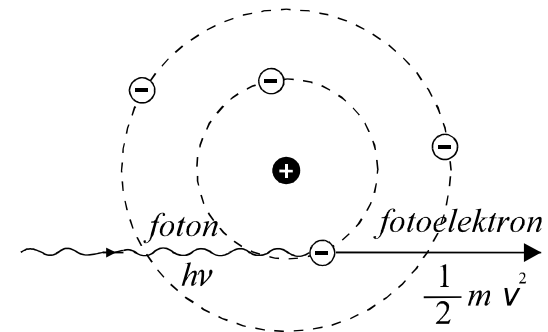
# A $\gamma$ - (és Rtg) sugárzás elnyelődése



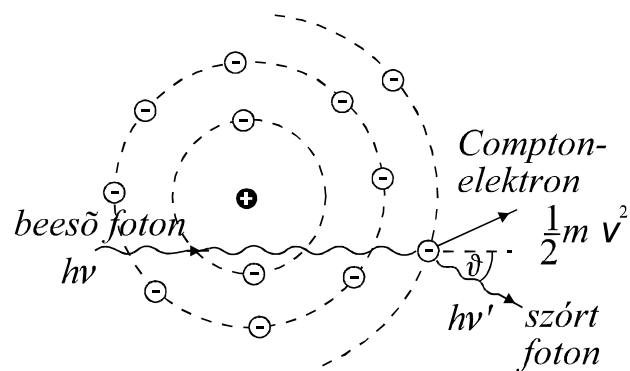
Véletlenszerűen fellépő  
effektusok által megy végbe:

Fotoeffektus,  
Compton-effektus,  
párképződés,  
(rugalmas szóródás)

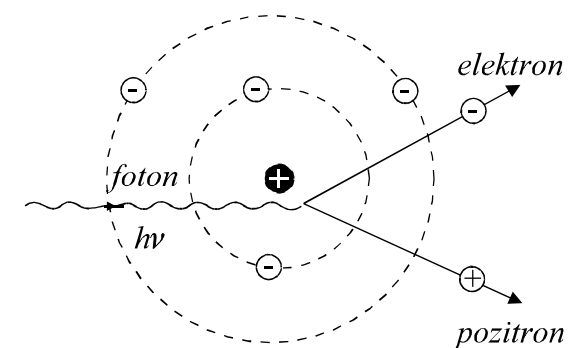
## Fotoeffektus



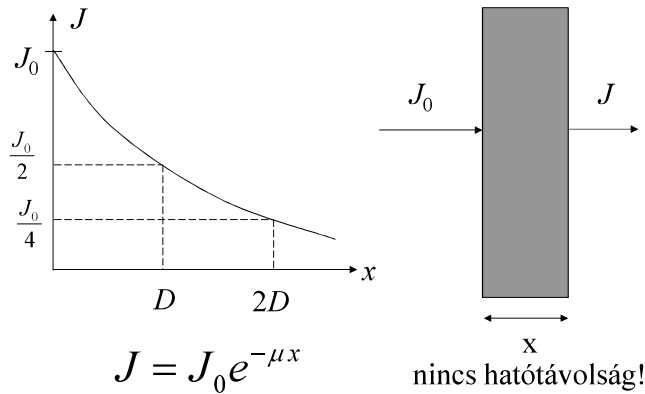
## Compton effektus



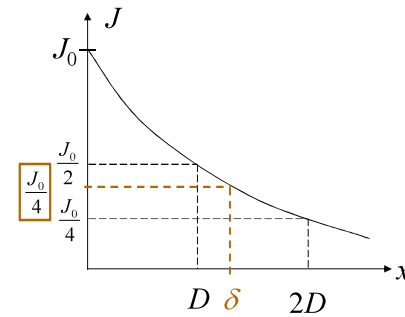
## Párképződés



# $\gamma$ - és röntgensugárzás gyengülése



néhány „ökölszabály”:  $x_{1/10} = 3,33 D$      $x_{1/1000} = 10 D$



$\mu$ : (lineáris) gyengítési együttható  
 mértékegysége: 1/m, 1/cm  
 $\delta = \frac{1}{\mu}$  „behatolási mélység”  
 az intenzitás e-ed  
 részére csökken (kb. 37%)

$\mu$ (anyagi minőség, absz. centrumok száma, sugárzás energiája)  
 $= \mu(\text{anyag}, \rho, E_{\text{foton}}) \sim \rho$

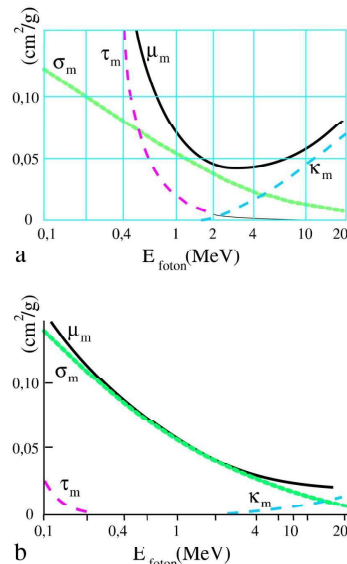
$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{tömeggyengítési együttható}$$

Tömeggyengítési együttható:

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

$$\mu_m = \tau_m + \sigma_m + \kappa_m$$

$$\tau_m = c \lambda^3 Z^3$$

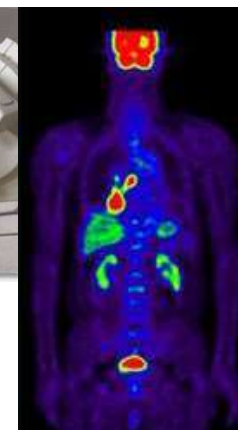


## Alkalmazások

(sugárzások és sugárforrások)

### Izotópdiaosztika

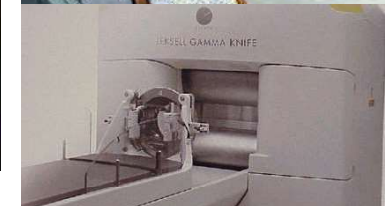
részletesen 2 hét múlva



tűzjelző



### Sugárterápia



## Alkalmazások (sugárzások gyengülése)



Rtg sugárzás elnyelődése

izotóptárolás (ólomvédelem)



izotópos fecskendő sugárvédő tokban

## Alkalmazások (sugárzások gyengülése)



ólomüveg

ólomköpeny



pajzsmirigyvédő ólomgallér

