

# Az atommag szerkezete

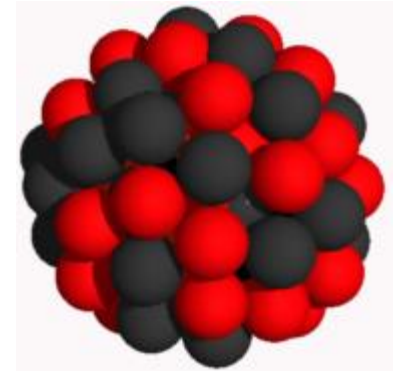
Az atommagban pozitív töltésű protonok és semleges neutronok vannak.

**Z: rendszám** (protonok száma, mag töltése  $e$  egységekben.)

A rendszám egyben az elektronok száma is egy semleges atomban.

**A: tömegszám** (hányszorosa a tömeg a proton ill. neutron tömegének)

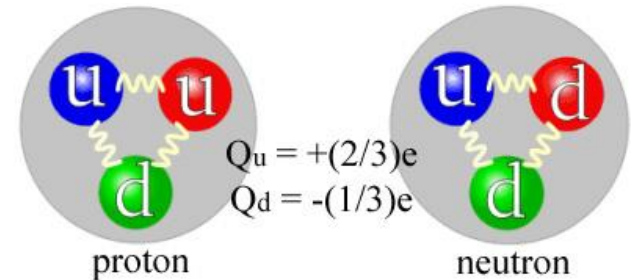
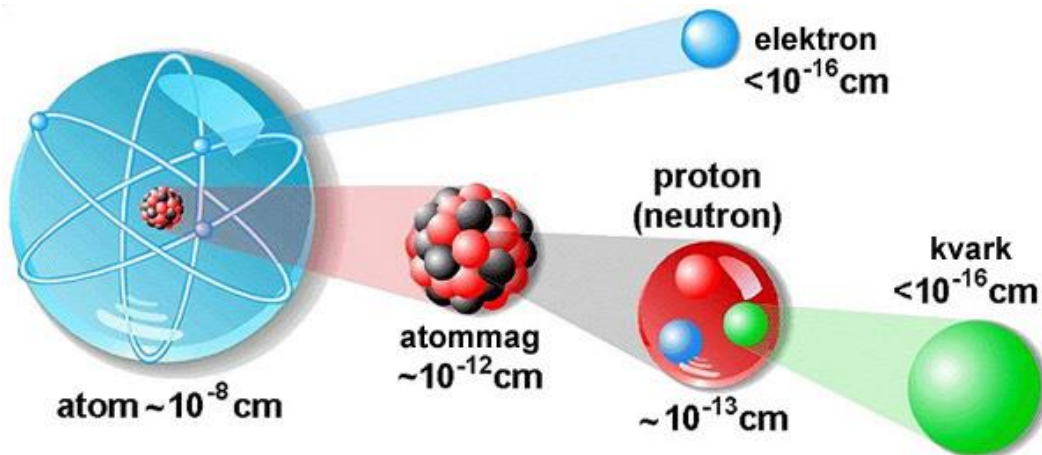
A tömegszám egyben a nukleonok száma:  $A = N + Z$  ( $N$ : neutrons szám)



izotópok: adott  $Z$  esetén  $N$  ill.  $A$  különböző lehet, pl.  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^3_1\text{H}$  hidrogén (csak proton), deutérium (proton + neutron), trícium (proton + 2 neutron).

Az atommag sűrűsége független a méretétől emiatt a térfogata arányos a tömegszámmal:

$$V = \frac{4R^3\pi}{3} = \frac{4R_0^3\pi}{3}A \quad \text{vagyis a magsugárra: } R(A) = R_0A^{1/3} \quad R_0 = 1,4 - 1,5 \text{ fm}$$



# Radioaktivitás

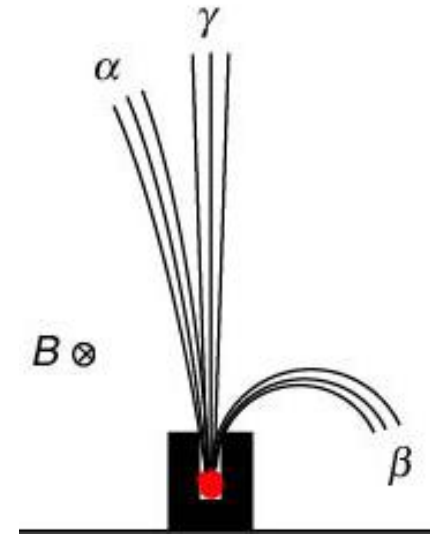
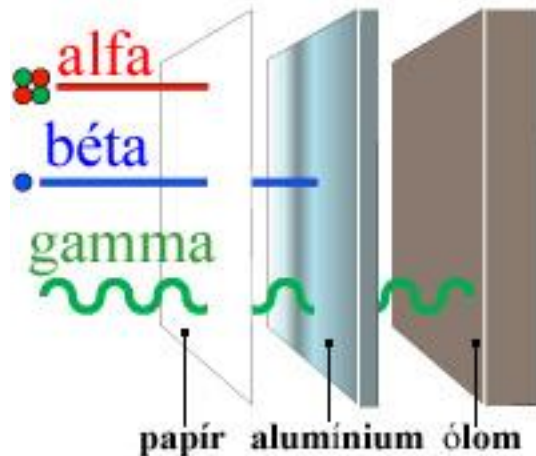
Becquerel (1896): uránsó közelében a fotolemez megfeketedik.

Később mágneses térben ez a sugárzás háromfelé vált:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

$\alpha$ : hélium atommagok  ${}^4_2\text{He}^{2+}$  (kicsi áthatolóképesség, papírlap elnyeli)

$\beta$ : elektronok (közel fénysebességgel, néhány mm Al lap elnyeli)

$\gamma$ : nagyenergiájú EM sugárzás ( $f > 10^{18}$  Hz, csak több cm ólom nyeli el)

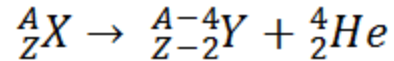


A radioaktív sugárzás kibocsátásakor általában elemátalakulás történik (kivéve  $\gamma$ ).

A kirepülő részecskék nagy energiájúak, mert a magerők nagyságrendekkel erősebbek az elektronokra ható Coulomb-erőnél, így nagyobb energiák szabadulnak fel, mint a kémiai reakciók közben (elektron átmenetek az energiaszintek között).

# A radioaktív bomlások típusai

$\alpha$ -bomlás: az atommag tömegszáma 4-el, rendszáma 2-vel csökken.



$\beta$ -bomlás: két fajtája van ( $\beta^-$  és  $\beta^+$ ) attól függően, hogy elektron ( $e^-$ ) vagy **pozitron** ( $e^+$ ) keletkezik. A pozitron az elektron antirészecskéje, töltése ellentétes, minden másban azonos.

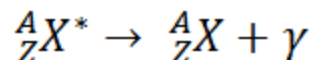


A  $\nu$  és a  $\bar{\nu}$  **neutrínót** illetve antineutrínót jelent. Ezek töltés nélküli, nagyon kis tömegű részecskék és csak a gyenge kölcsönhatáson keresztül lépnek reakcióba. Emiatt detektálni őket rendkívül nehéz. A pozitron az atommagot elhagyva egy elektronnal annihilálódik és két nagyenergiájú foton keletkezik belőlük (anyag + antianyag).

Ide tartozik még az elektron befogás is, többnyire a legbelső héjről:



$\gamma$ -bomlás: nem jár elem átalakulással, mindössze az atommag egy gerjesztett állapotából történő alapállapotba történő alakulása megy végbe. Az energiakülönbség szabadul fel egy foton formájában (nagyok az energia különbségek!).



# Az anyag alapvető építőkövei

## Anyag három generációja (fermionok)

	I	II	III	
tömeg →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
töltés →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
név →	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> foton
Kvarkok	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>d</b> down	<b>s</b> strange	<b>b</b> bottom	<b>g</b> glüon
Leptonok	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>ν<sub>e</sub></b> electron neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> muon neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> tau neutrino	<b>Z<sup>0</sup></b> gyenge kölcsönhatás
0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV	
-1	-1	-1	±1	
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>W<sup>±</sup></b> gyenge kölcsönhatás

Bozonok (kölcsönhatások közvetítő részecskéi)

# Radioaktív bomlástörvény

A radioaktív bomlás véletlenszerű jelenség. Egy radioaktív izotóp atommagja egységnyi idő alatt ugyanolyan valószínűséggel bomlik el, függetlenül az életkorától. A törvények statisztikai jellegűek, csak nagy számok esetén teljesülnek.

Ha  $\lambda$  annak valószínűsége, hogy egy mag a következő másodpercben elbomlik (**bomlási állandó**), akkor  $dt$  idő alatt a magok  $N$  számának ( $N$  nagy!) megváltozására:

$$\text{Az egyenletet átrendezve (változókat szétválasztva): } \frac{dN}{N} = -\lambda dt \longrightarrow \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt$$

$$\text{Integrálást elvégezve: } \ln N - \ln N_0 = -\lambda t$$

A **bomlástörvényre**:  $N = N_0 e^{-\lambda t}$  (exponenciális csökkenés,  $1/\lambda$  az átlagos élettartam.)

A **felezési idő** megadja, hogy az eredeti nagyszámú radioaktív magnak mennyi idő alatt bomlik el a fele. További felezési időt várva a még nem elbomlott magok száma ismét feleződik, és így tovább.

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \\ e^{\lambda T_{1/2}} = 2 \longrightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

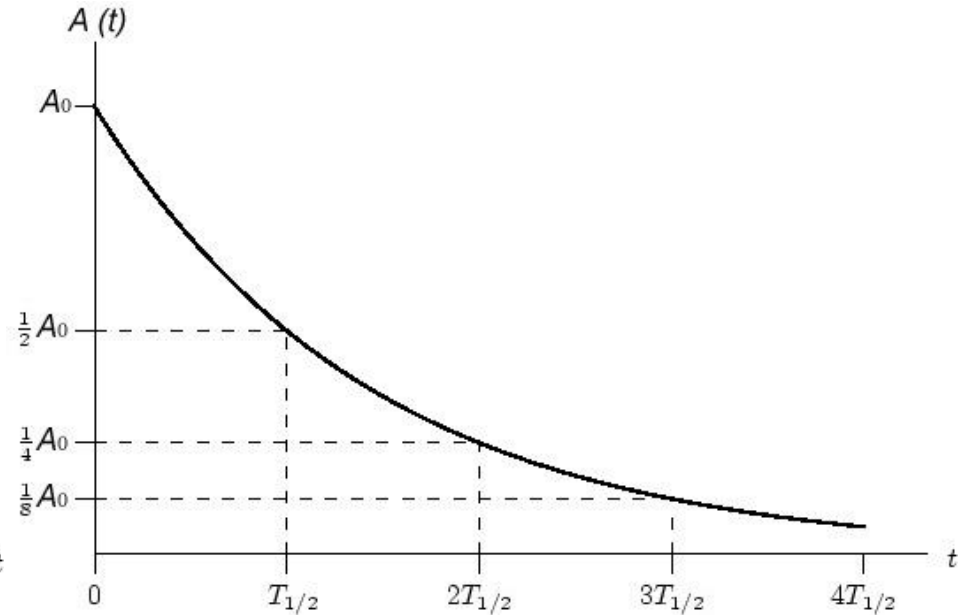
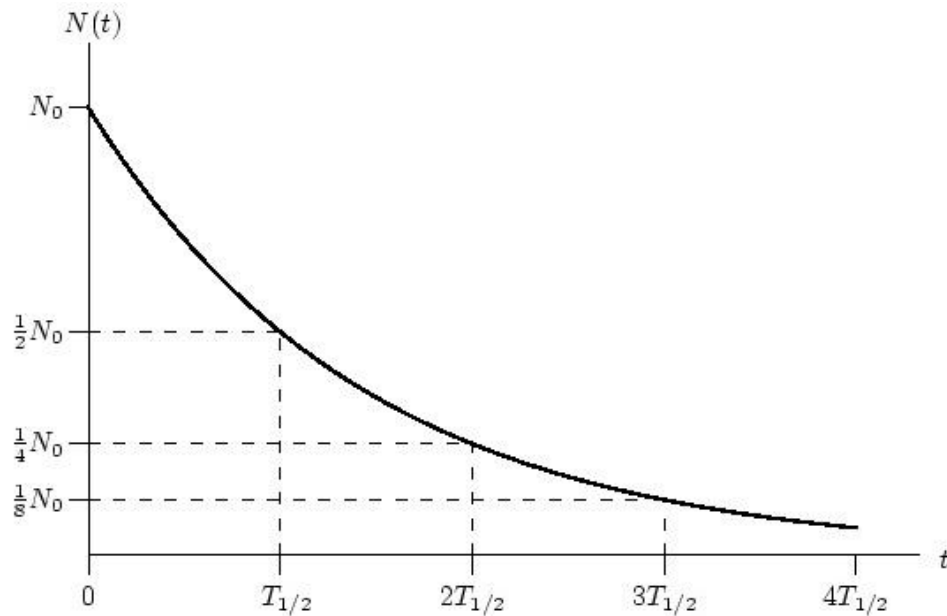
# Aktivitás

Aktivitás: A mintában időegység alatt bekövetkező bomlások száma:  $A = \left| \frac{dN}{dt} \right|$   
[A] = 1 Bq (becquerel) = 1 bomlás/másodperc

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = N_0 \lambda e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$$

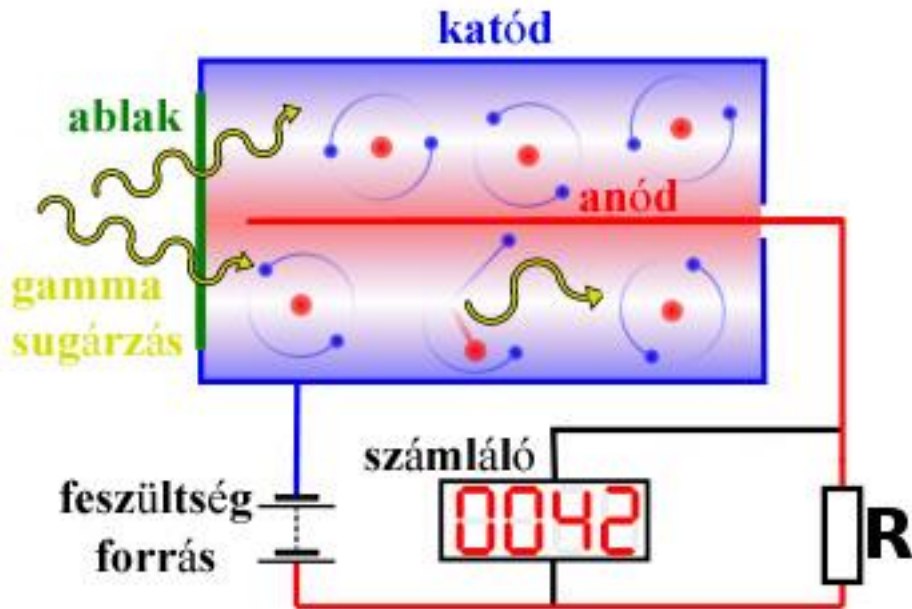
Tehát az aktivitás ugyanolyan exponenciális függvény szerint csökken, és bármely időben:

$$A(t) = N(t)\lambda$$



# Az aktivitás mérése

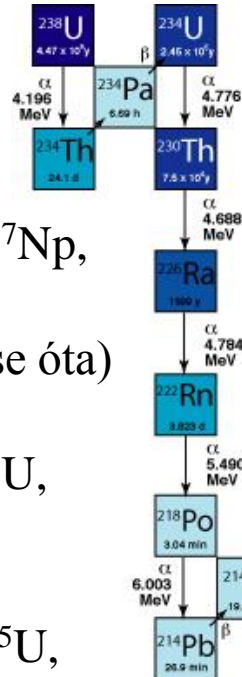
Geiger-Müller számláló: az elektródák között feszültség van, de a bent lévő gáz alapesetben nem vezető. Az áthaladó sugárzás ionizáló hatására az áram lavinaszerűen megindul, mert a feszültség elegendően nagy ahhoz, hogy a keletkező elektronok felgyorsuljanak és maguk is ionizálják a gáz atomjait. Az R ellenálláson feszültségimpulzus keletkezik melyet egy hangszóróra vezetnek, és számolják is azokat.



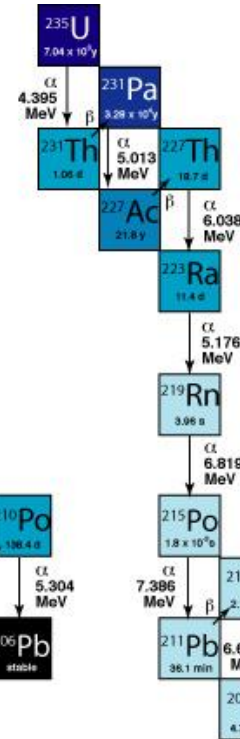
# Bomlási sorok

A különböző bomlásoknál a tömegszám vagy nem változik ( $\beta$ ,  $\gamma$ ), vagy 4-el csökken ( $\alpha$ ). Ezért a periódusos rendszer végén lévő természetes anyagok bomlási sorokba rendezhetők. A tömegszám 4-el való osztásánál lehet 0, 1, 2, illetve 3 maradék, ezek megadják a négy különböző bomlási sort, melynek elején egy anyaelem áll, közbenső radioaktív elemeket pedig lányelemeknek hívjuk. A végső stabil elem a végtermék.

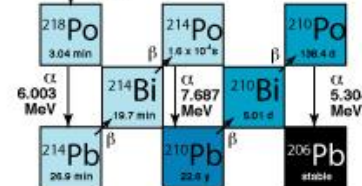
$A = 4n$  tórium-sor, anyaelem:  $^{232}\text{Th}$ ,  
 $T_{1/2} = 1,41 \cdot 10^{10}$  év, végtermék  $^{208}\text{Pb}$



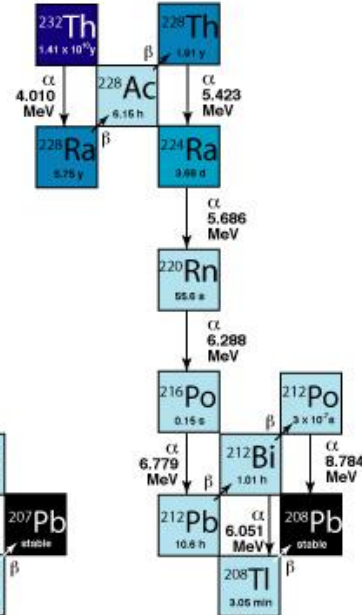
$A = 4n + 1$  neptúnium-sor, anyaelem:  $^{237}\text{Np}$ ,  
 $T_{1/2} = 2,14 \cdot 10^6$  év, végtermék  $^{209}\text{Bi}$   
 (ez a sor már lebomlott a Föld keletkezése óta)



$A = 4n + 2$  urán 238-sor, anyaelem:  $^{238}\text{U}$ ,  
 $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$  év, végtermék  $^{206}\text{Pb}$



$A = 4n + 3$  urán 235-sor, anyaelem:  $^{235}\text{U}$ ,  
 $T_{1/2} = 7,1 \cdot 10^8$  év, végtermék  $^{207}\text{Pb}$





# A radioaktív sugárzás biológiai hatásai

Az ionizáló hatás miatt megzavarja a biológiai reakciókat. Hatása elsősorban az elnyelt energiától függ. Az elnyelt **dózis** az átlagosan elnyelt ionizáló sugárzás energiája per az elnyelő anyag tömege:

$$D = \frac{\Delta \bar{E}}{\Delta m} \quad [D] = 1\text{Gy} = 1 \text{ gray} = 1 \text{ J/kg}$$

A biológiai hatás a  $T$  szövet által elnyelt  $R$  sugárzás fajtájától és minőségétől is függ. Ennek jellemzésére vezették be a **dózis egyenértéket**, mely a biológiai károsodással arányos:

$$H_T = W_R D_T \quad [H] = 1\text{Sv} = 1 \text{ sievert}$$

$W_R$  a **sugárzási súlytényező**, egy dimenziótlan szám, a típustól és energiától függ.

$W_R = 1$  röntgen-, gamma-, és bétasugárzás

$W_R = 5$  termikus (<10 keV) és gyors (>20 MeV) neutronok, protonok (>2 MeV)

$W_R = 10-20$  közepesen gyors neutronok (10 keV - 20 MeV, van egy csúcs 1 MeV körül!)

$W_R = 20$  alfa-részecskék, nehéz atommagok, hasadványok

Azokra a sugárzásokra nagy, melyeknél a közegben keltett ionok sűrűn vannak.

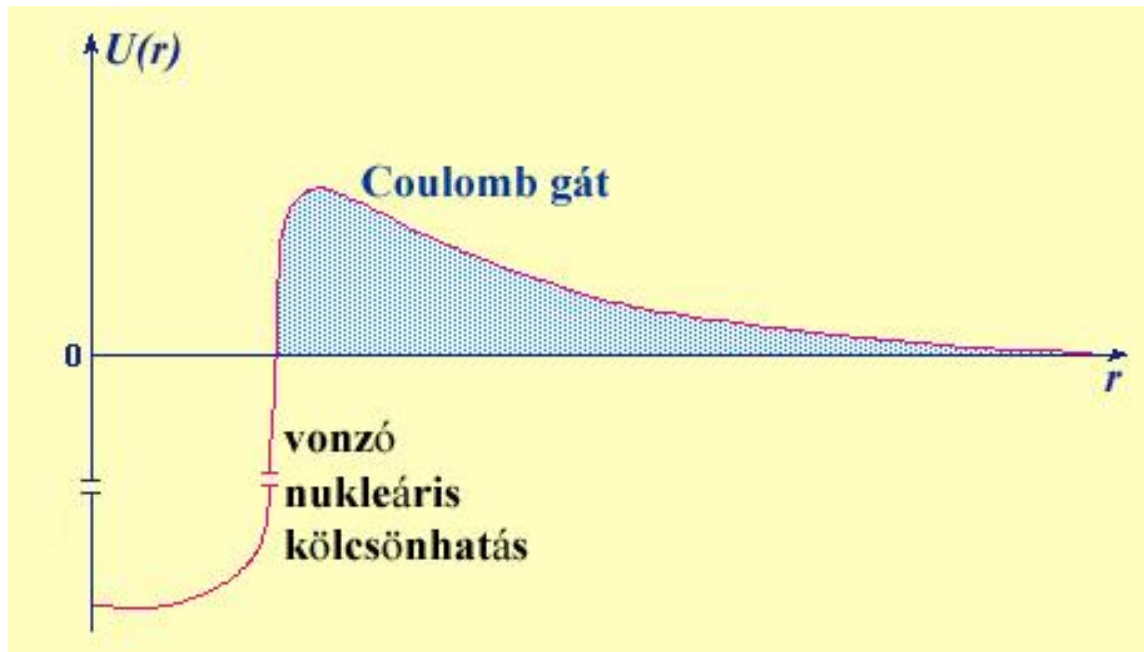
## Sugárzás hatásai

- determinisztikus: adott dózis felett a hatás mindig megjelenik és arányos a dózissal, a lappangási idő néhány hét (klasszikus sugárbetegség).
- sztochasztikus: kis dózis is okozhat megbetegedést, lappangási idő több év, betegség súlyossága nincs arányban a dózissal.

# Nukleáris kölcsönhatás

Az atommagban  $Z$  számú proton van, melyek taszítják egymást azonos töltésük miatt. A Coulomb kölcsönhatás mellett azonban nagyon kis távolságon ( $\sim$  proton sugár) megjelenik egy jóval erősebb vonzó erő (nukleáris vagy **erős kölcsönhatás**). Ez a töltéstől független,  $p$ - $p$ ,  $p$ - $n$ , és  $n$ - $n$  között is vonzó.

A nukleonok tehát kötött állapotban vannak, energiájuk negatív ( $E_M = E_k + E_p$ )



Kvantummechanika: a protonok és neutronok a többi nukleon által keltett potenciálvölgyben csak diszkrét energiával rendelkezhetnek, de itt az energiák jóval nagyobbak mint az elektrónhéjban lévő elektronokra.

# Tömegdefektus

Jelölje  $M(A, Z)$  az  $A$  tömegszámú és  $Z$  rendszámú atommag tömegét.

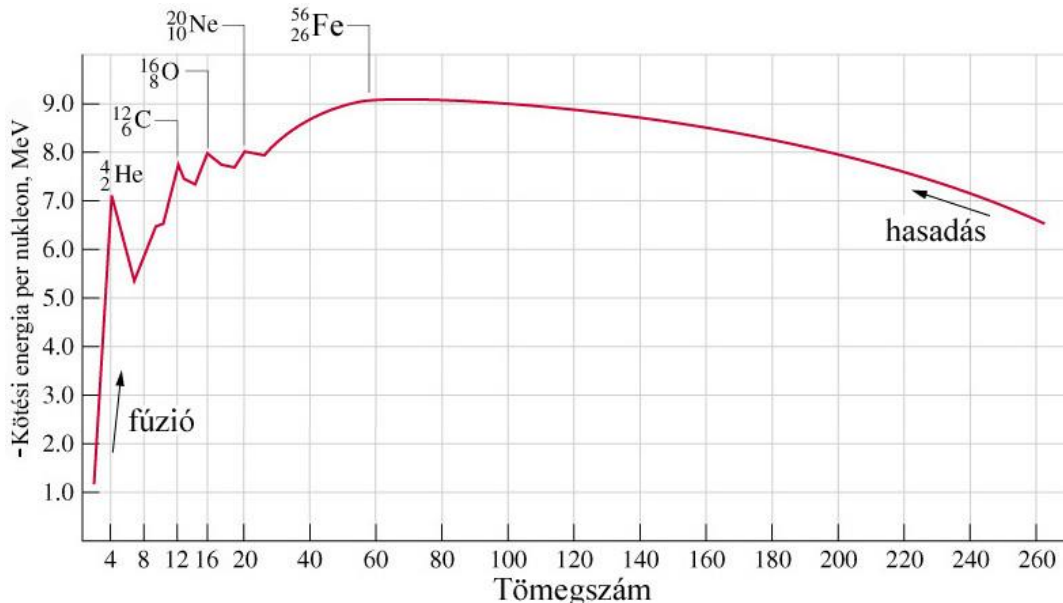
Tömegspektrométerrel megmérve azt kapjuk, hogy az atommag tömege  $\Delta m$ -el kisebb mint az alkotórészek (protonok és neutronok) tömege:

$$\Delta m = M(A, Z) - Zm_p - (A - Z)m_n < 0$$

Ez a **tömegdefektus** az Einstein-féle tömeg-energia ekvivalencia alapján kiszámolva éppen a **kötési energiát** adja meg (szabad alkotórészek  $\sim 0$  energiája negatív lett, mert kötött állapotba kerültek). Tehát a kötési energia adja meg mekkora energia befektetésével tudnánk újra alkotórészeire bontani az atommagot (vagy bármely kötött rendszert).

$$E_K = \Delta mc^2 < 0$$

Az egy nukleonra jutó kötési energia meghatározható a tömegeket megmérve:  $\varepsilon = E_K/A$



Ha egy folyamat során  $\varepsilon$  csökken akkor energia szabadul fel.

pl. kis magok fúziója  
vagy nagy magok hasadása

$\varepsilon$  vasra a legkisebb.

# Maghasadás és láncreakció

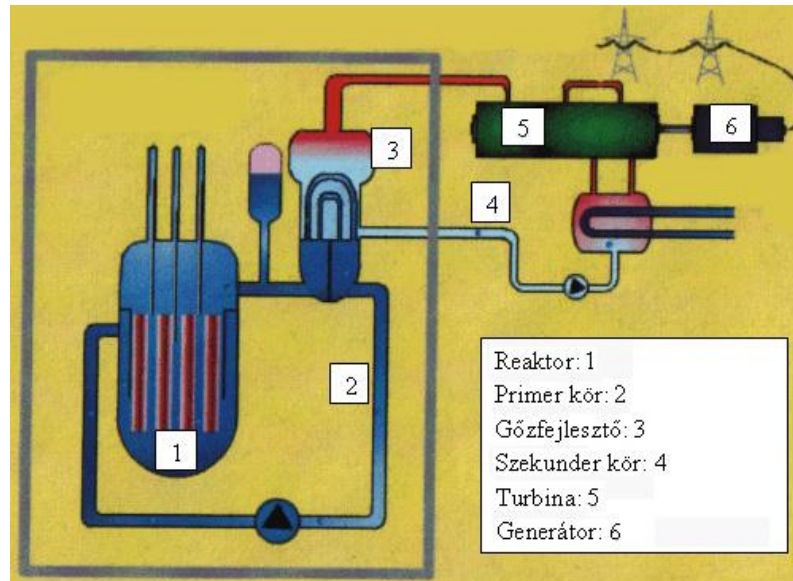
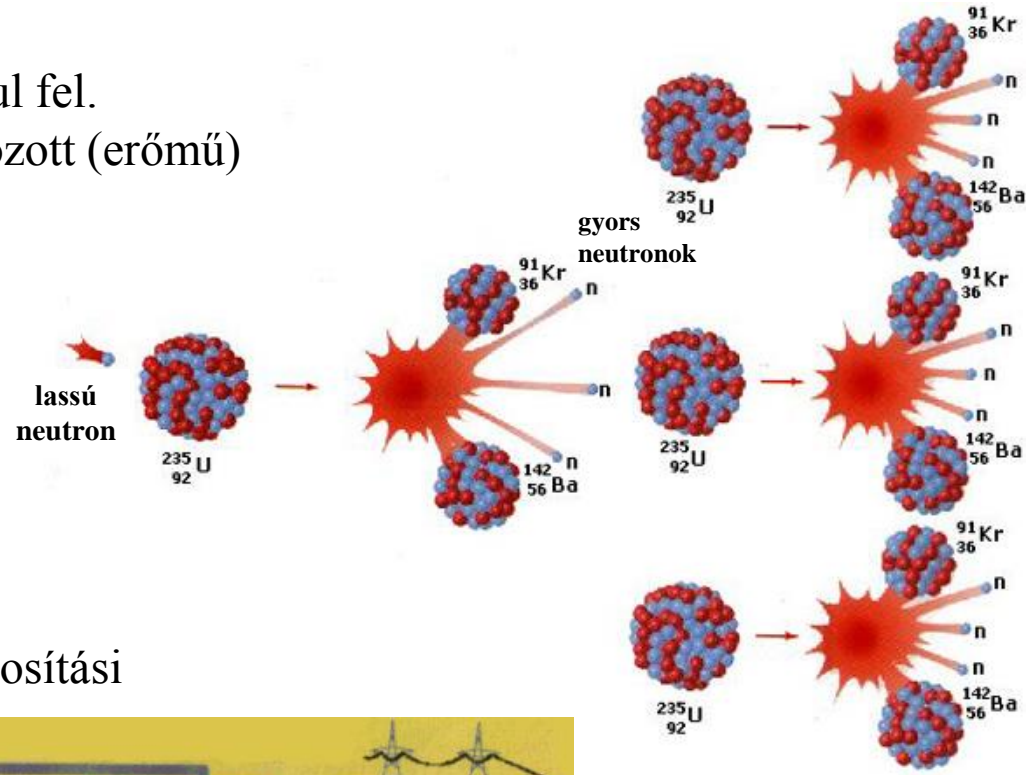
Nagy magok hasadásakor energia szabadul fel.  
Ez szabályozatlan (bomba) vagy szabályozott (erőmű)  
keretek között felhasználható.

Pl. urán 235 esetében a keletkező  
2 vagy 3 neutron (átlag  $\sim 2,5$ ) további  
magok hasadását idézi elő.  
Hasadásonként kb. **200 MeV** energia!

Amennyiben átlagban egynél  
több neutron kerül befogásra  
láncreakció jön létre. Ez a szám a sokszorosítási  
tényező ( $k = n'/n$ ).

$n'$ : újabb hasadást idéző  
 $n$ : hasadások száma

Ha  $k$  egy alatti, de  
ahhoz közeli értéken van  
tartva akkor szabályozott  
módon energia termelhető.  
(atomerőmű)



moderátor anyagok:

- grafit
- nehézvíz
- közönséges víz

gyors neutronok  
lelassítása a hasadás  
érdekében.

# Fúzió

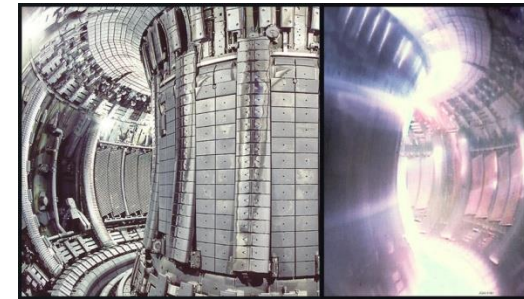
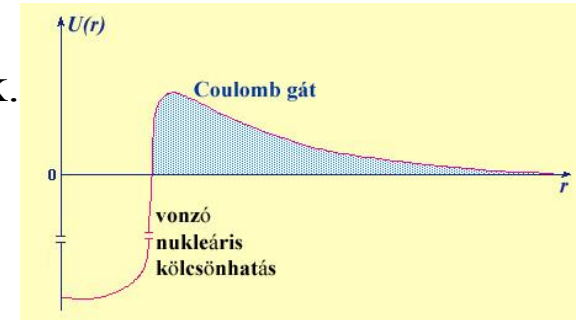
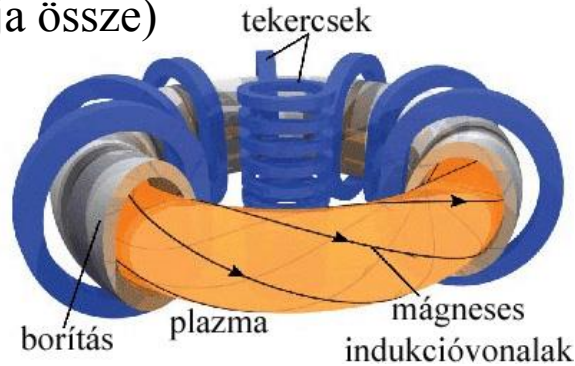
Kisebb magok fúziójakor is energia szabadul fel, pl. a Napban ill. a hidrogén bombában hidrogénből hélium keletkezik.  
Probléma: a Coulomb-gát miatt több tízmillió fok hőmérséklet szükséges ahhoz, hogy a magok közötti fúzió létrejöhessen.

Bomba: hasadásos atombomba felhevíti

Erőmű: forró plazma együtt tartása eddig nem megoldott

Két típus:

1. Tokamak (mágneses palack tartja össze)



2. lézeres fúzió  
(pici cseppben a hidrogént a ráfókuszált lézerek begyűjtják)

