

Az atommag szerkezete

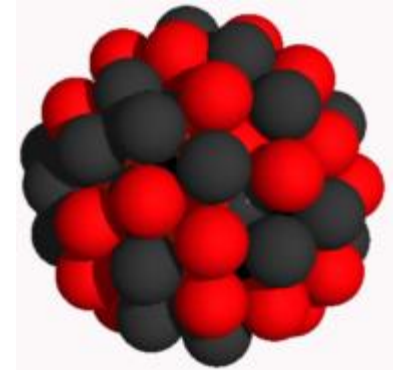
Az atommagban pozitív töltésű protonok és semleges neutronok vannak.

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)

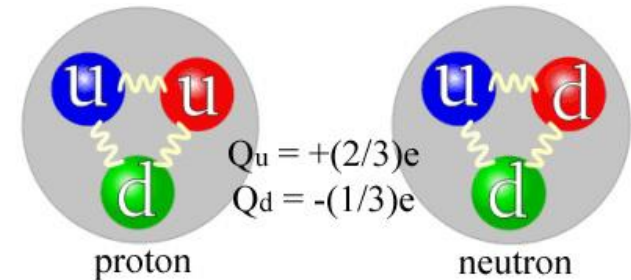
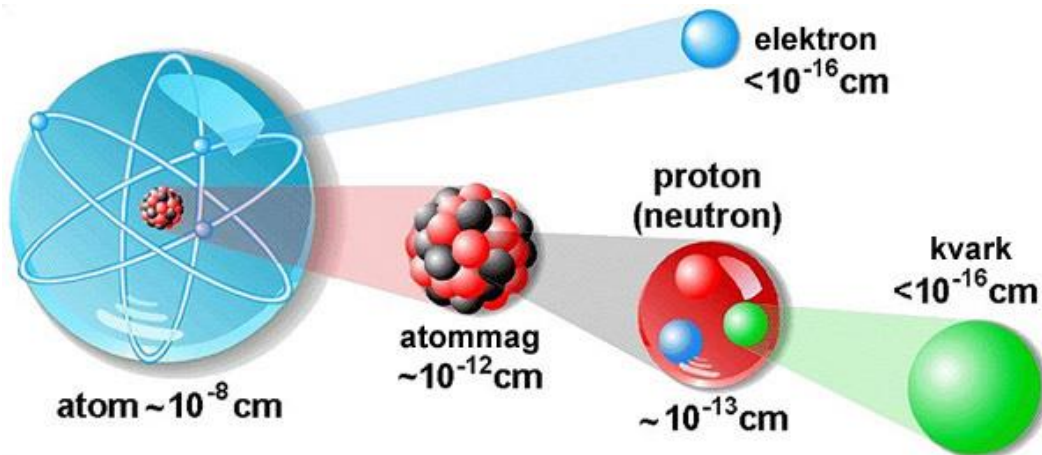
A tömegszám egyben a nukleonok száma: $A = N + Z$ (N : neutrons szám)



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

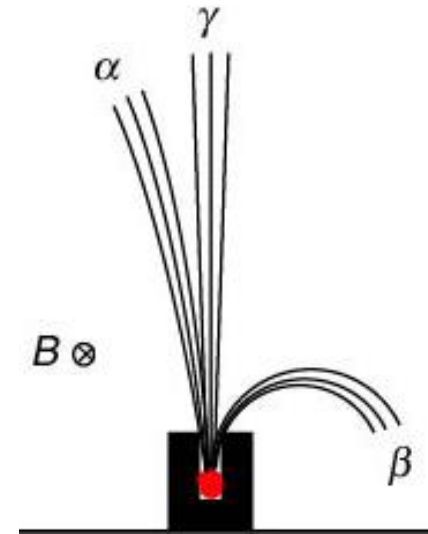
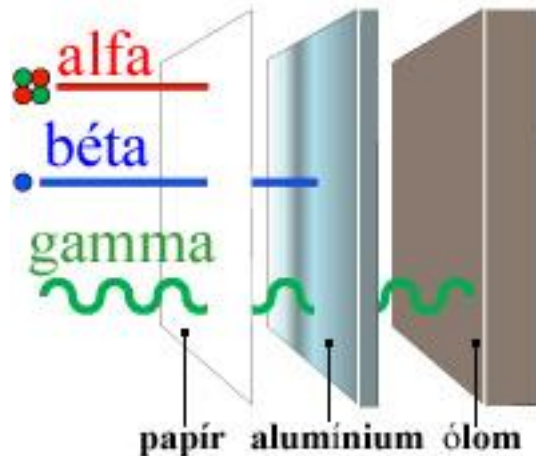
Becquerel (1896): uránsó közelében a fotolemez megfeketedik.

Később mágneses térben ez a sugárzás háromfelé vált: α , β , γ .

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

β : elektronok (közel fénysebességgel, néhány mm Al lap elnyeli)

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

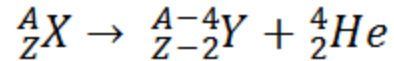


A radioaktív sugárzás kibocsátásakor általában elemátalakulás történik (kivéve γ).

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

α -bomlás: az atommag tömegszáma 4-el, rendszáma 2-vel csökken.



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

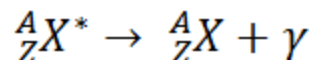


A ν és a $\bar{\nu}$ **neutrínót** illetve antineutrínót jelent. Ezek töltés nélküli, nagyon kis tömegű részecskék és csak a gyenge kölcsönhatáson keresztül lépnek reakcióba. Emiatt detektálni őket rendkívül nehéz. A pozitron az atommagot elhagyva egy elektronnal annihilálódik és két nagyenergiájú foton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

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



γ -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 →	u up	c charm	t top	γ 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
	d down	s strange	b bottom	g 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
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z^0 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
	e electron	μ muon	τ tau	W^\pm 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 λ annak valószínűsége, hogy egy mag a következő másodpercben elbomlik (**bomlási állandó**), akkor dt idő alatt a magok N számának (N nagy!) megváltozására:

$$dN = -\lambda N dt$$

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

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.

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

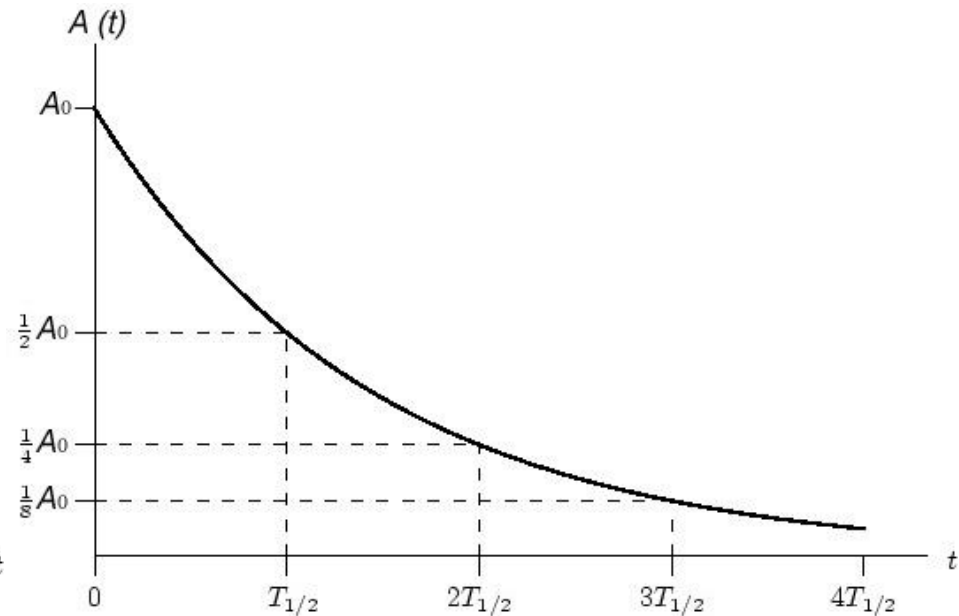
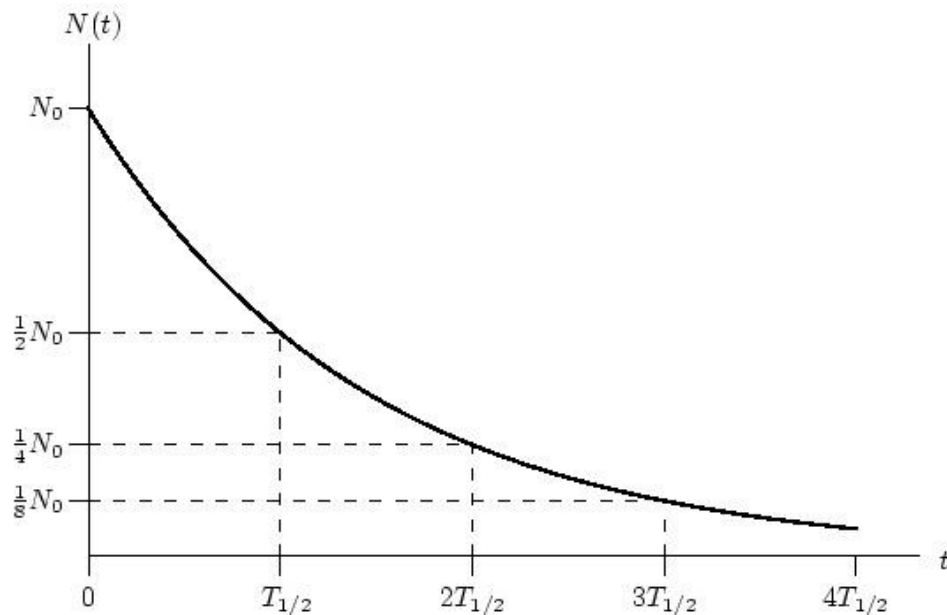
Aktivitás

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

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

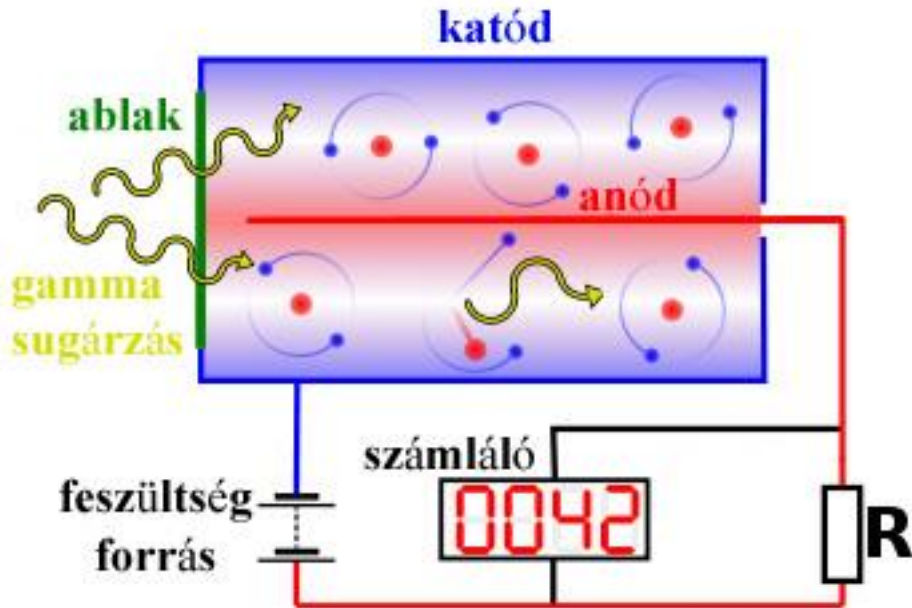
Tehát az aktivitás ugyanolyan exponenciális függvény szerint csökken, és bármely időben:

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



Az aktivitás mérése

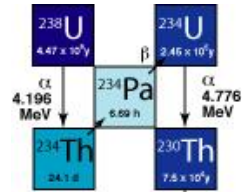
Geiger-Müller számláló: az elektródák között feszültség van, de a bent lévő gáz alapesetben nem vezető. Az áthaladó sugárzás ionizáló hatására az áram lavinaszerűen megindul, mert a feszültség elegendően nagy ahhoz, hogy a keletkező elektronok felgyorsuljanak és maguk is ionizálják a gáz atomjait. Az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



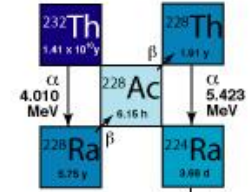
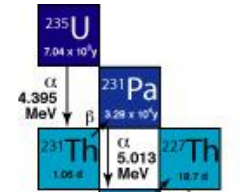
Bomlási sorok

A különböző bomlásoknál a tömegszám vagy nem változik (β , γ), vagy 4-el csökken (α). 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.

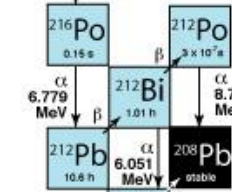
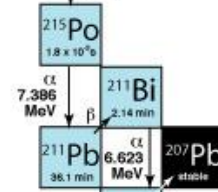
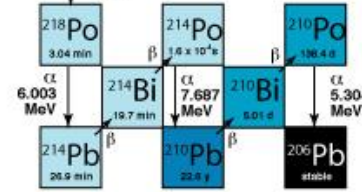
$A = 4n$ tórium-sor, anyaelem: ^{232}Th ,
 $T_{1/2} = 1,41 \cdot 10^{10}$ év, végtermék ^{208}Pb



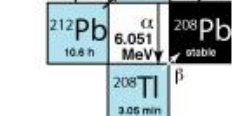
$A = 4n + 1$ neptúnium-sor, anyaelem: ^{237}Np ,
 $T_{1/2} = 2,14 \cdot 10^6$ év, végtermék ^{209}Bi
 (ez a sor már lebomlott a Föld keletkezése óta)



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



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

$$D = \frac{E_{\text{elnyelt}}}{m} \quad [D] = 1\text{Gy} = 1 \text{ gray} = 1 \text{ J/kg}$$

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.

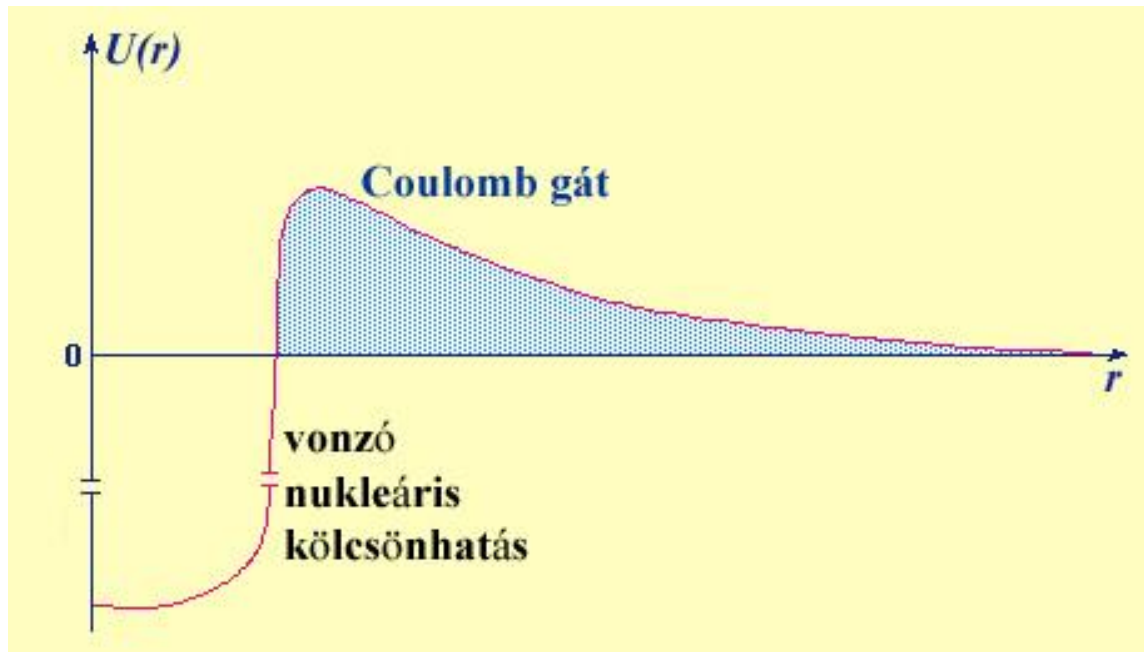
Sugárzás hatásai

- 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 elektrónokra.

Tömegdefektus

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

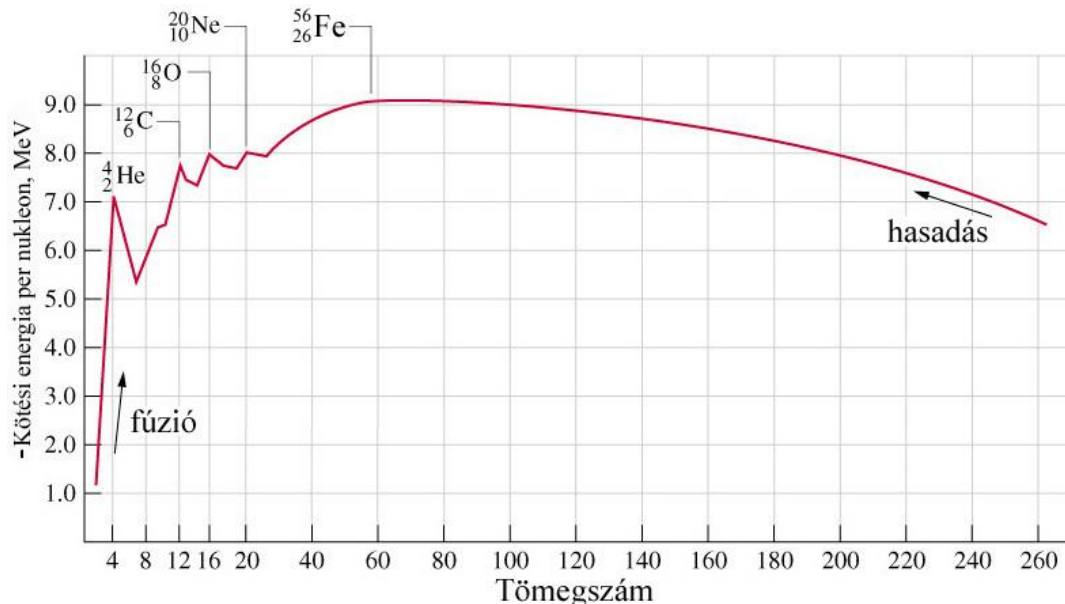
Tömegspektrométerrel megmérve azt kapjuk, hogy az atommag tömege Δm -el kisebb mint az alkotórészek (protonok és neutronok) tömege:

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

Ez a **tömegdefektus** az Einstein-féle tömeg-energia ekvivalencia alapján kiszámolva éppen a **kötési energiát** adja meg (szabad alkotórészek ~ 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 ε csökken akkor energia szabadul fel.

pl. kis magok fúziója
vagy nagy magok hasadása

ε vasra a legkisebb.

Maghasadás és láncreakció

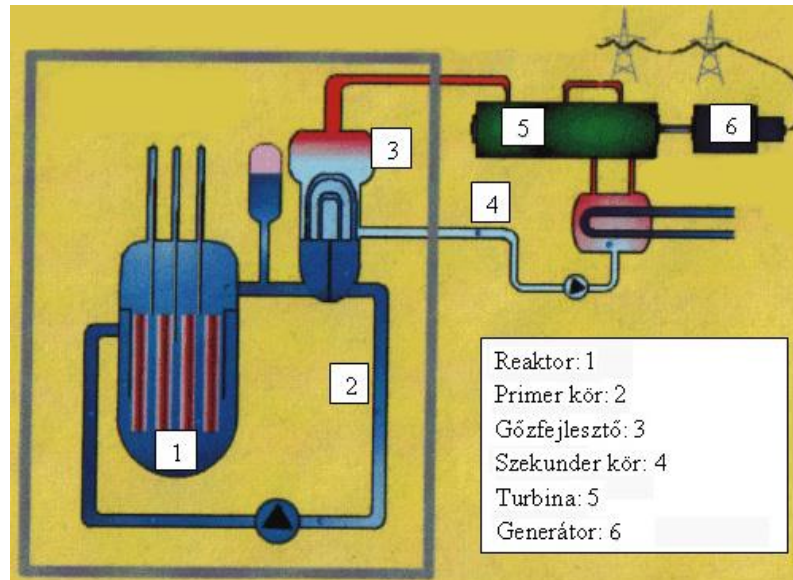
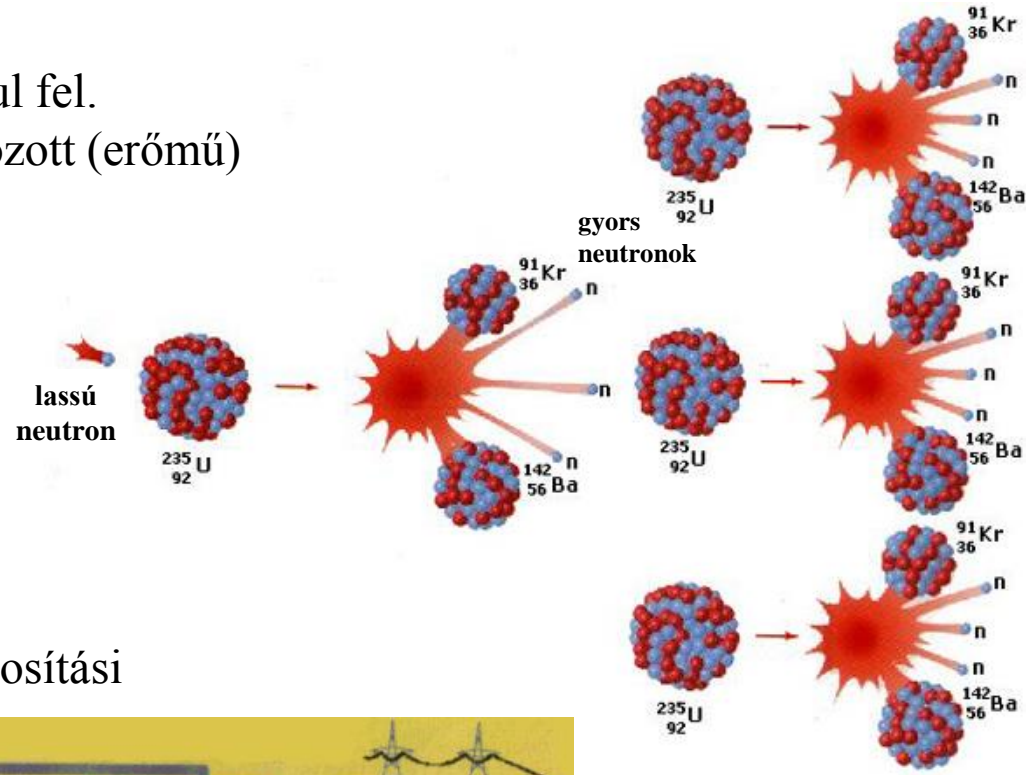
Nagy magok hasadásakor energia szabadul fel.
Ez szabályozatlan (bomba) vagy szabályozott (erőmű)
keretek között felhasználható.

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

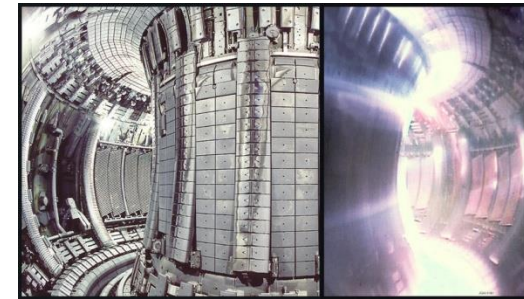
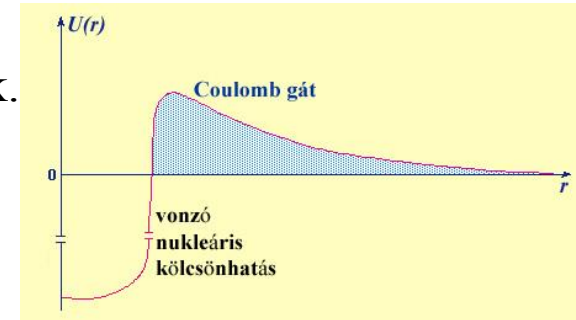
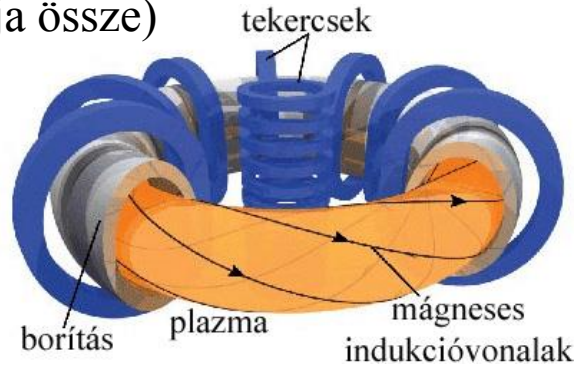
Kisebb magok fúziójakor is energia szabadul fel, pl. a Napban ill. a hidrogén bombában hidrogénből hélium keletkezik.
Probléma: a Coulomb-gát miatt több tízmillió fok hőmérséklet szükséges ahhoz, hogy a magok közötti fúzió létrejöhessen.

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)

