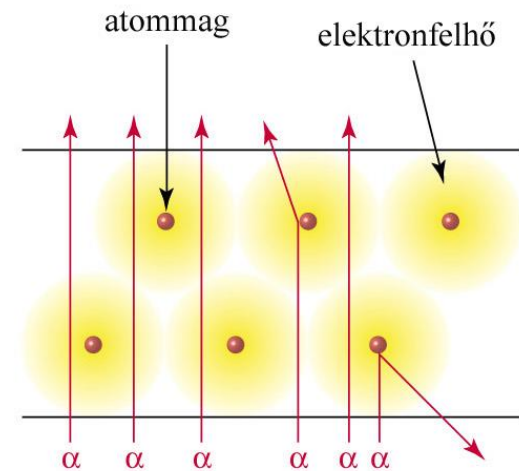
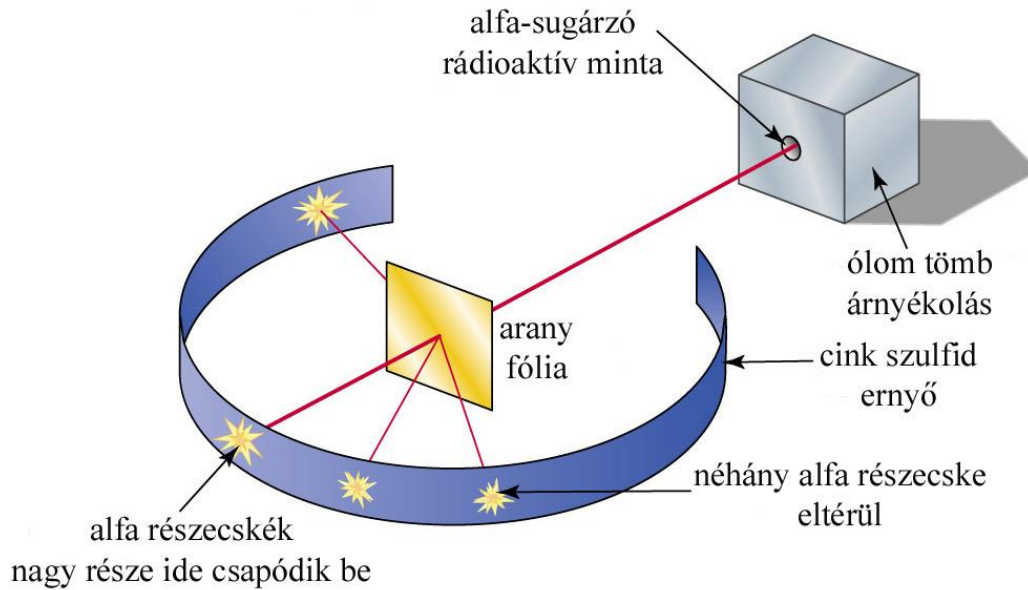


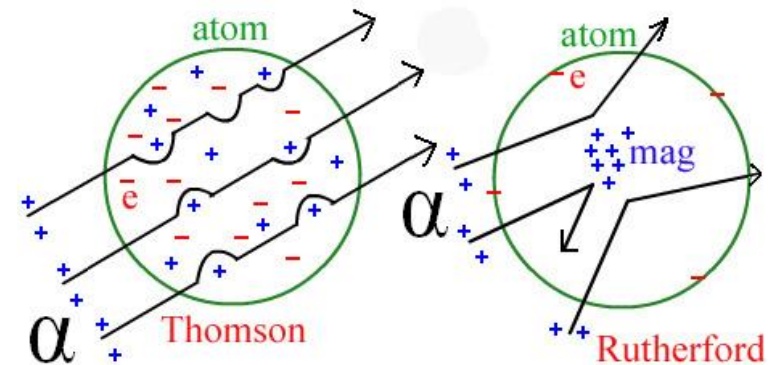
# Az atom szerkezete

Rutherford kísérlet (1911): Az atom pozitív töltése és a tömeg nagy része egy nagyon kis helyre összpontosul. Ezt nevezte el atommagnak.



Az eltérülés ritka de nagymértékű.  
Thomson puding atom-modellje nem lehet helyes.

Az atom mérete  $10^{-10}$  m nagyságrendű (angström, Å).  
Az atommagé  $10^{-15}$  m (femtométer, fm)



# Az atommag szerkezete

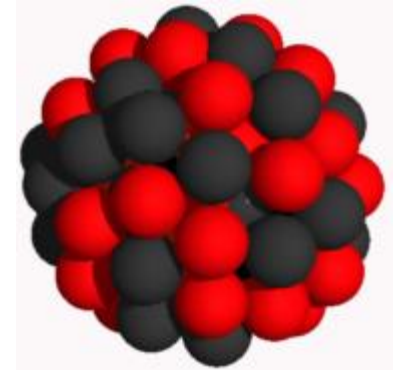
Az atommagban pozitív töltésű protonok és semleges neutronok vannak.

**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)

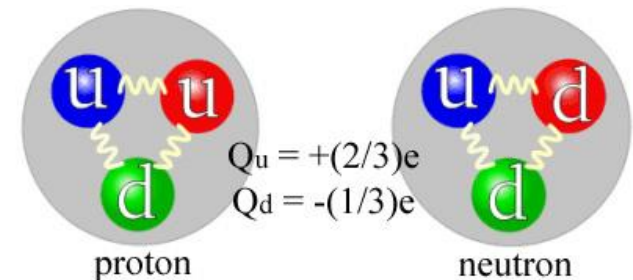
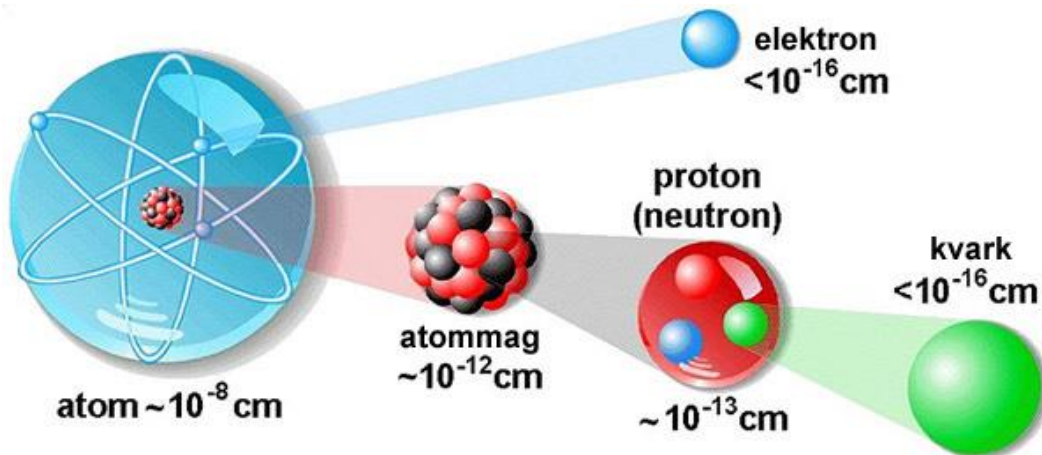
A tömegszám egyben a nukleonok száma:  $A = N + Z$  ( $N$ : neutrons szám)



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

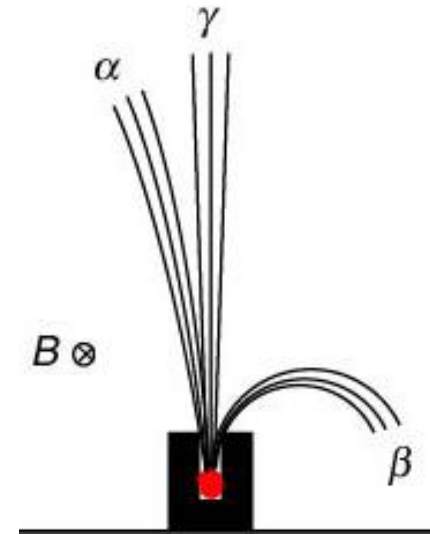
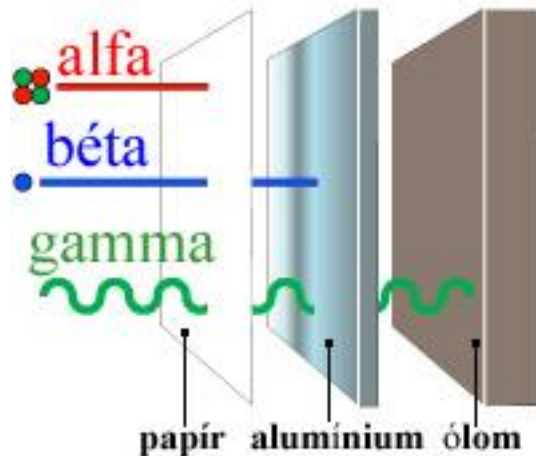
Becquerel (1896): uránsó közelében fotolemez megfeketedik.

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)

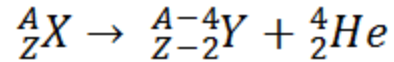


A radioaktív sugárzás kibocsátásakor általában elemátalakulás történik (kivéve  $\gamma$ ).

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.

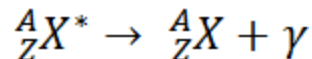


A  $\nu$  és a  $\bar{\nu}$  **neutrínót** illetve antineutrínót jelent. Ezek töltés nélküli, nagyon kis tömegű részecskék és csak a gyenge kölcsönhatáson keresztül lépnek reakcióba. Emiatt detektálni őket rendkívül nehéz. A pozitron az atommagot elhagyva egy elektronnal annihilálódik és két nagyenergiájú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



# Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass →	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	<b>u</b> up	<b>c</b> charm	<b>t</b> top	<b>γ</b> photon
Quarks	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> gluon
Leptons	<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> weak force
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	$\pm 1$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	<b>e</b> electron	<b>μ</b> muon	<b>τ</b> tau	<b>W<sup>±</sup></b> weak force

Bosons (Forces)



# 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 (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

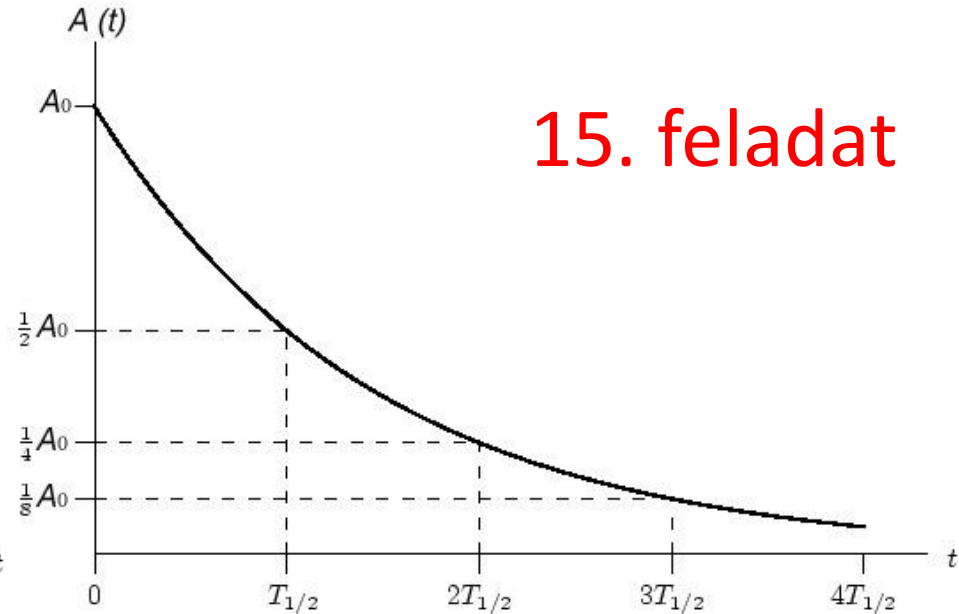
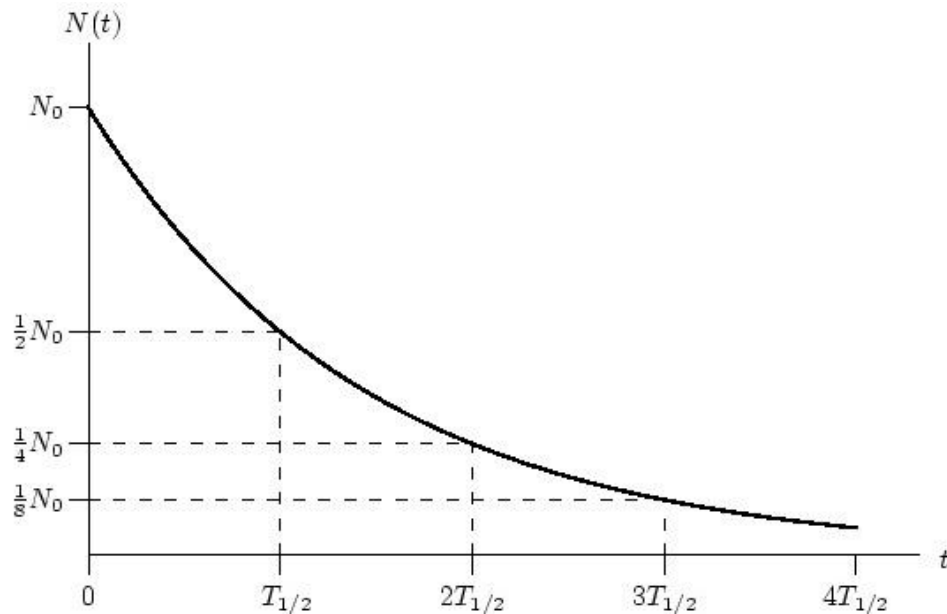
$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = N_0 \lambda e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$$

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

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

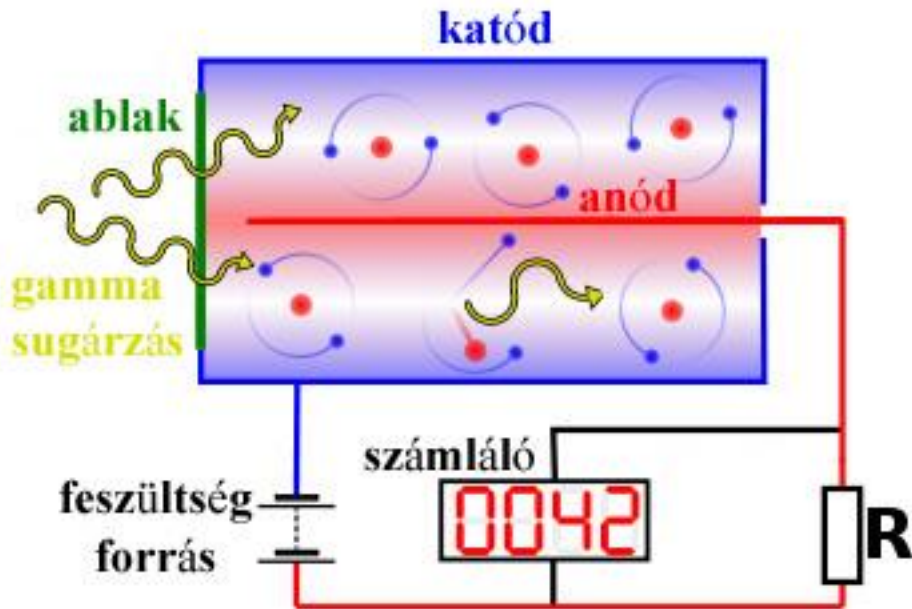
14. feladat

15. feladat



# 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.

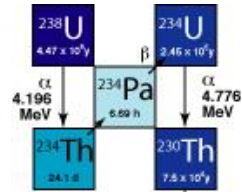




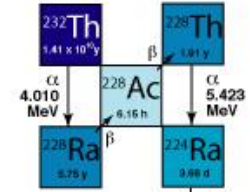
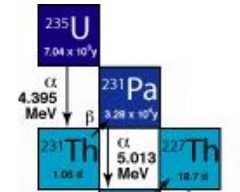
# Bomlási sorok

A különböző bomlásoknál a tömegszám vagy nem változik ( $\beta$ ,  $\gamma$ ), illetve 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.

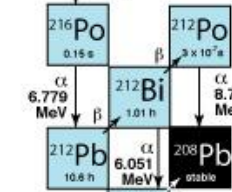
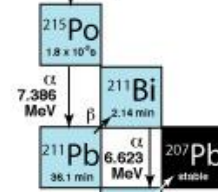
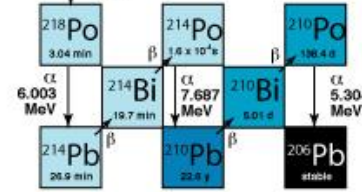
$A = 4n$  tórium-sor, anyaelem:  $^{232}\text{Th}$ ,  
 $T_{1/2} = 1,41 \cdot 10^{10}$  év, végtermék  $^{208}\text{Pb}$



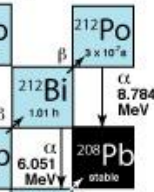
$A = 4n + 1$  neptúnium-sor, anyaelem:  $^{237}\text{Np}$ ,  
 $T_{1/2} = 2,14 \cdot 10^6$  év, végtermék  $^{209}\text{Bi}$   
 (ez a sor már lebomlott a Föld keletkezése óta)



$A = 4n + 2$  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 az elnyelt részecske fajtájától is függ. Ennek jellemzésére vezették be a **dózis egyenértéket**, mely a biológiai károsodással arányos:

$$H = DQ \quad [H] = 1 \text{ Sv} = 1 \text{ sievert}$$

$Q$  a **minőségi tényező**, egy dimenziótlan szám, a részecskék típusára jellemző.

$Q = 1$  röntgen-, gamma-, és béta-sugárzás esetén

$Q = 2,3$  termikus neutronokra

$Q = 10$  gyors neutronokra és protonokra

$Q = 20$  alfa-részecskékre

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

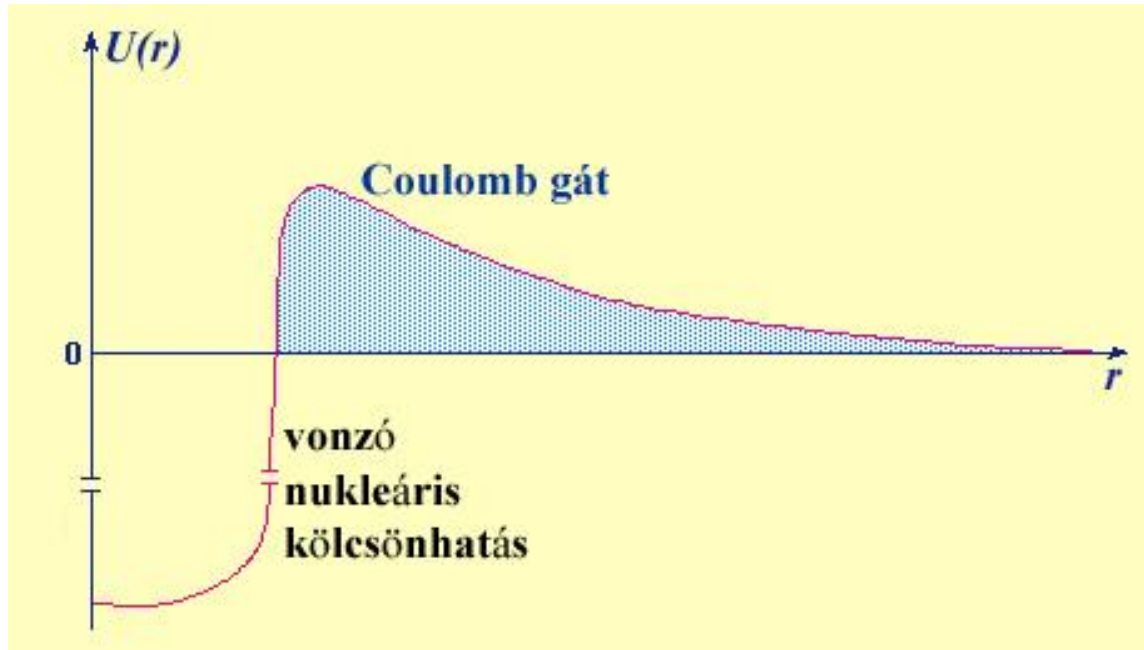
## Sugárzás hatásai

- 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 elektronhéjban lévő elektronokra.

# Tömegdefektus

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

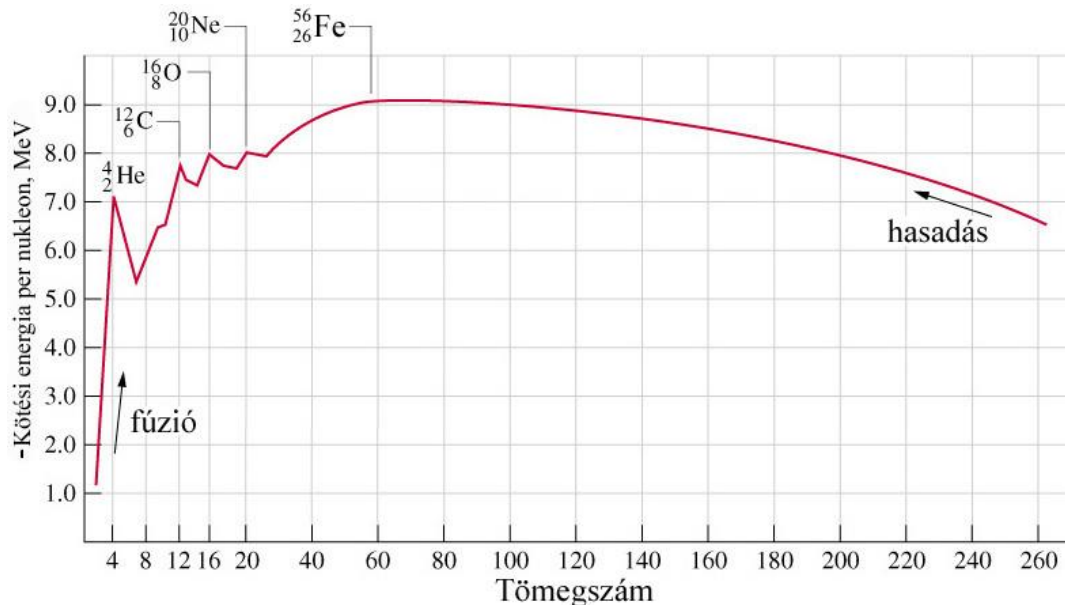
Tömegspektrométerrel megmérve azt kapjuk, hogy az atommag tömege  $\Delta m$ -el kisebb mint az alkotórészek (protonok és neutronok) tömege:

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

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

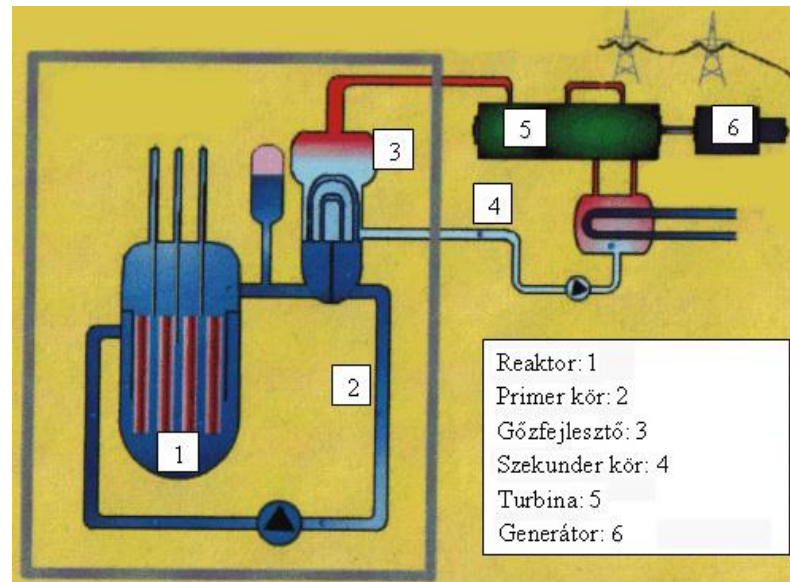
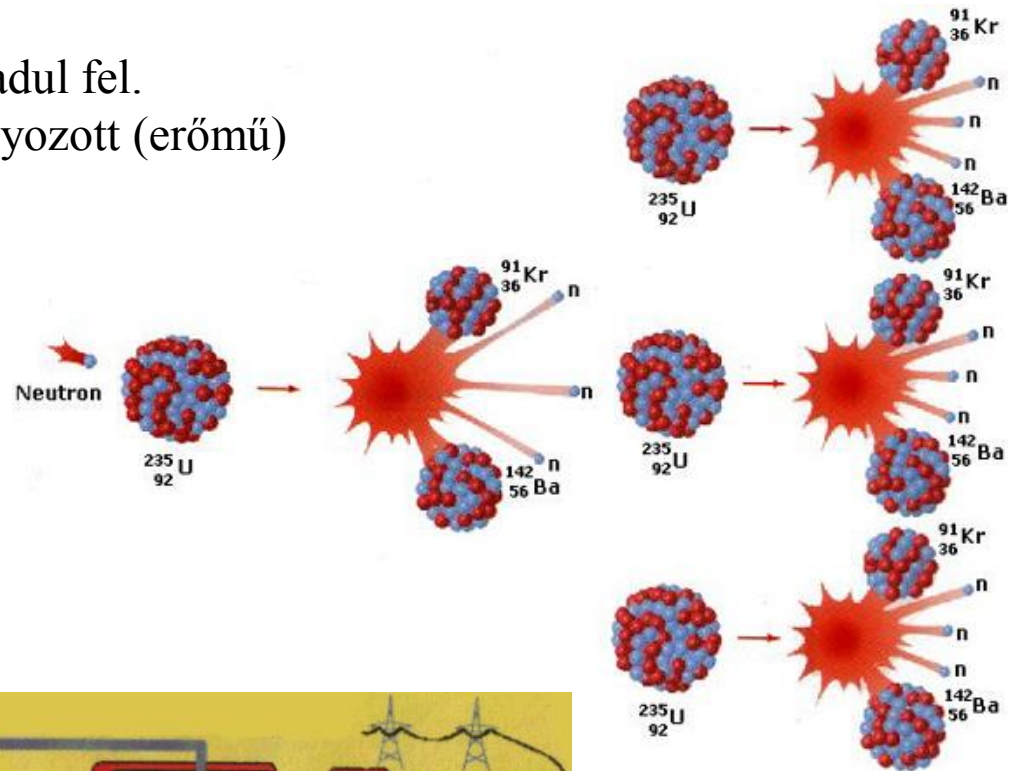
$\varepsilon$  vasra a legkisebb.

# 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 további  
magok hasadását idézi elő.  
Amennyiben átlagban egynél  
több neutron kerül befogásra  
láncreakció jön létre.

Ha ez a szám egy alatti, de  
ahhoz közeli értéken van  
tartva akkor szabályozott  
módon energia termelhető.  
(atomerőmű)





# Fúzió

Kisebb magok fúziójakor is energia szabadul fel, pl a Napban ill. a hidrogén bombában hidrogénből hélium keletkezik.

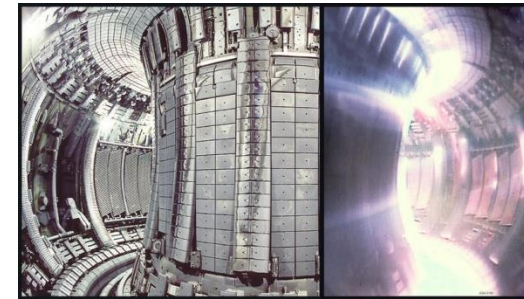
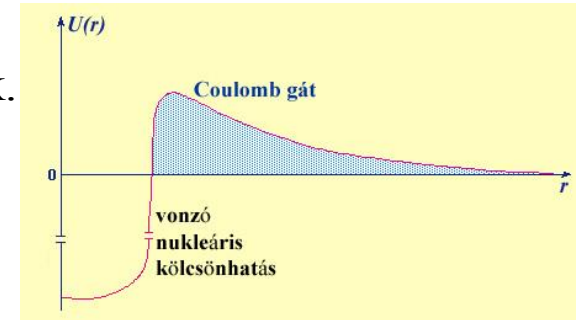
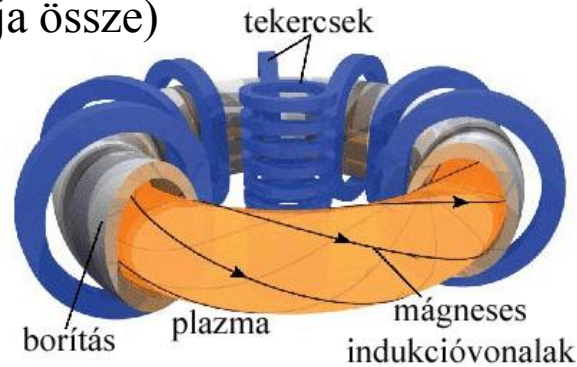
Probléma: a Coulomb-gát miatt több tízmillió fok hőmérséklet szükséges ahhoz, hogy a magok közötti fúzió létrejöhessen.

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)

