

Röntgensugárzás

A röntgensugarak hullámhossza a 10^{-11} és 10^{-8} m közötti tartományba esik.

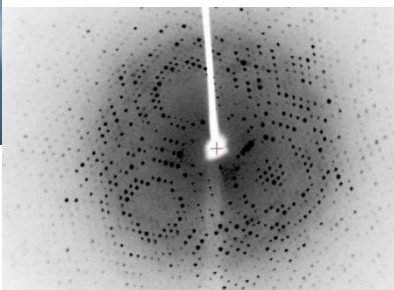
A látható sugarakkal ellentétben, ezek nagy áthatoló képességgel rendelkeznek.

Előállításuk:

- felmelegített katódból kilépő elektronokat nagyfeszültséggel gyorsítják
- az elektronok az anódba csapódnak, amely nagy rendszámú fém (pl. volfrám)

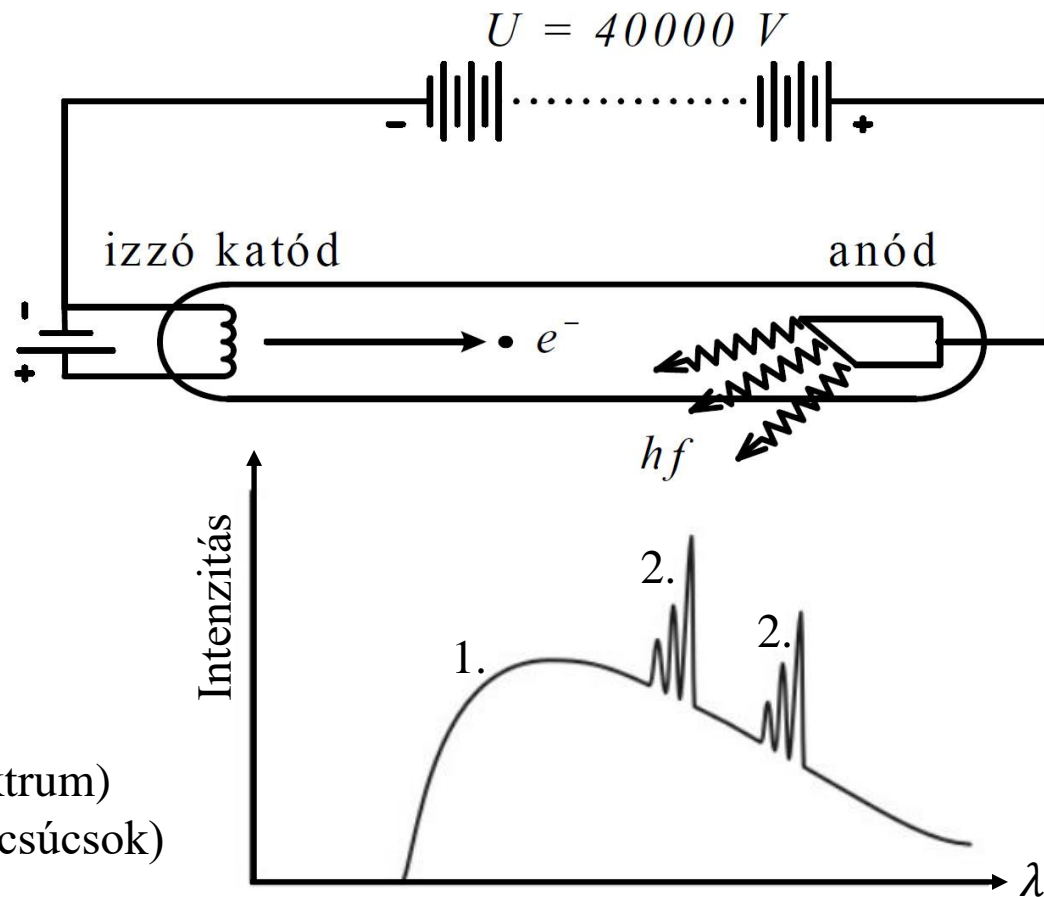
Fő felhasználási területek:

- orvosi képalkotás
- kristálytan
- röntgen spektroszkópia



Spektrum két komponense:

1. kontinuum (folytonos spektrum)
2. karakterisztikus sugárzás (csúcsok)



Kontinuum komponens - Fékezési sugárzás

A nehéz atommag Coulomb-terébe érkező elektron eltérül és lefékeződik.

Fékezési sugárzás:

A gyorsulást szenvedő töltött részecske (itt e^-) energiát veszít, és fotont sugároz ki.

$$E_{k1} - E_{k2} = E_f$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2 = hf$$

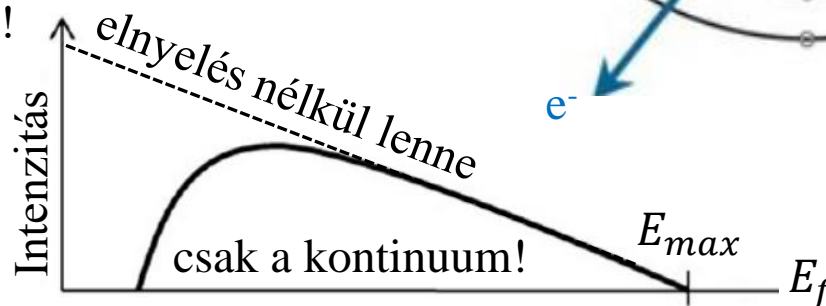
Ha az elektron teljesen lefékeződik:

$$\frac{1}{2}mv_1^2 = hf_{max}$$

Mivel a gyorsított elektron energiája:

$$E_k = eU$$

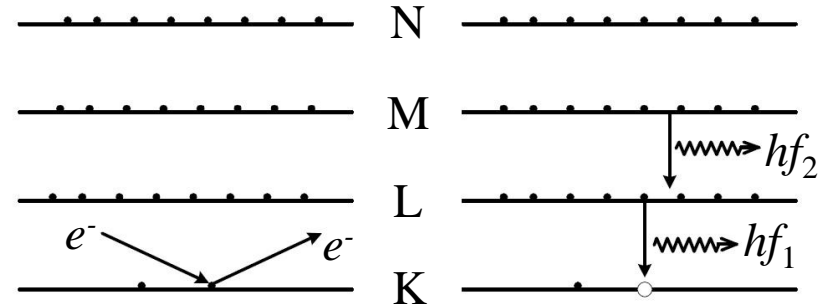
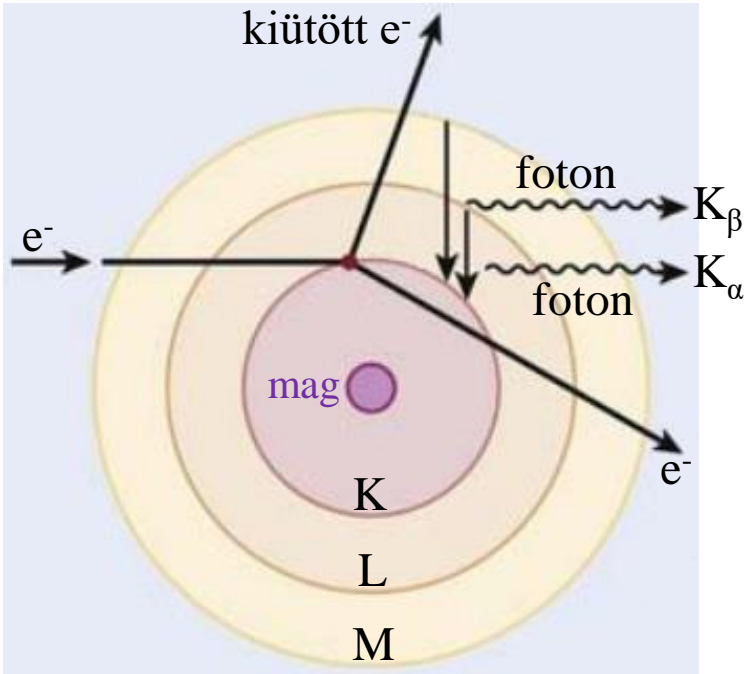
Így a foton maximális energiája eV egységben egyszerűen az elektron gyorsító feszültsége!



Kisebb foton energiák valószínűbbek, mert úgy az elektron többször is eltérülhet az anyagban. (ábrán egyenes vonal)

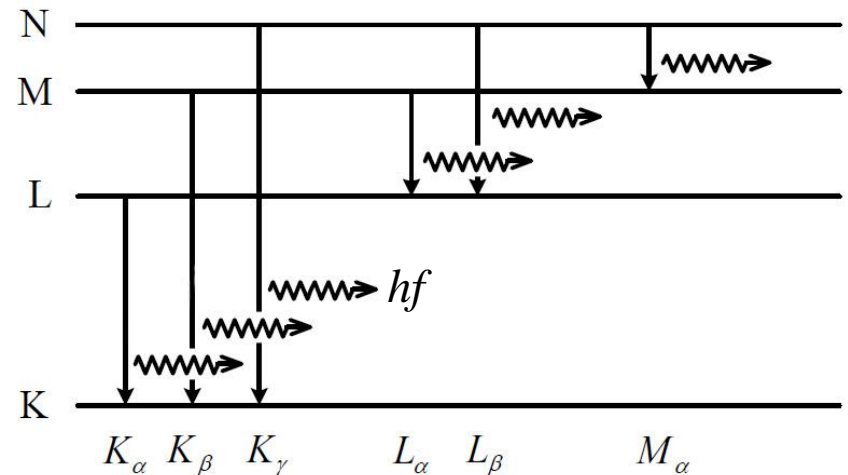
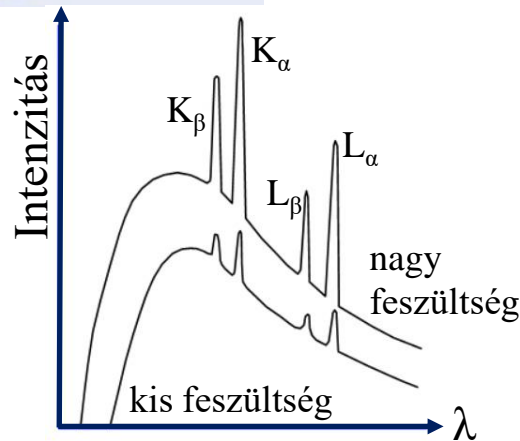
Karakterisztikus sugárzás - vonalas komponens

A felgyorsított elektron egy másik elektront üt ki az atom egyik belső héjáról. Ezzel egy betöltetlen hely (vakancia) keletkezik, ami további elektronugrásokat okoz.



Átmenetre jellemző diszkrét energiájú fotonok:
- sorozatokba rendezhető vonalak

$$E_2 - E_1 = hf$$



Moseley-törvény

Moseley 1913-ban megállapította, hogy a vonalas emissziós színekép jellemző az illető elemre, tehát megmérve a frekvenciákat vagy a hullámhosszakat a Z rendszám kiszámolható. Ezért nevezik ezt a komponenst karakterisztikus sugárzásnak.

Moseley törvénye:

$$E_f = hf = A(Z - b)^2$$

röntgen fluoreszcencia analízis (XRF)

- A : az adott $n \rightarrow m$ átmenetre jellemző konstans $A = E^* \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$

$$K_\alpha \text{ esetén: } A = E^* \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = \frac{3}{4} E^*$$

$$E^* = \frac{mk^2e^4}{2\hbar^2} = 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 2,18 \text{ aJ}$$

$$L_\alpha \text{ esetén: } A = E^* \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) = \frac{5}{36} E^*$$

vagy eV egységekben: $E^* = 13,6 \text{ eV}$

- b : korrekciós faktor, amely a Z effektív értékét (többi elektron árnyékolását) adja meg.

$$K_\alpha \text{ esetén: } b = 1$$

$$L_\alpha \text{ esetén: } b = 7,4$$

A törvényt úgy alkotta meg, hogy az egyes karakterisztikus vonalak esetében észlelt röntgenfrekvenciák gyökeit ábrázolta az elemek rendszáma szerint, majd a kapott adatokra egyenest illesztett.

A Bohr-modell alapján a törvény megmagyarázható, de a többi elektron hatását is figyelembe kell venni, így a Z helyett itt $Z_{\text{eff}} = Z - b$ szerepel. Az atom itt nem hidrogénszerű ion!

Példa:

Egy ismeretlen elem esetében a K_{α} röntgenvonal hullámhossza 0,0721 nm.

Melyik ez az elem?

Az atommag szerkezete

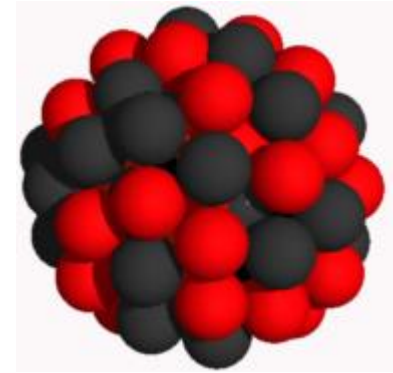
Az atommagban pozitív töltésű protonok és semleges neutronok vannak.

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)

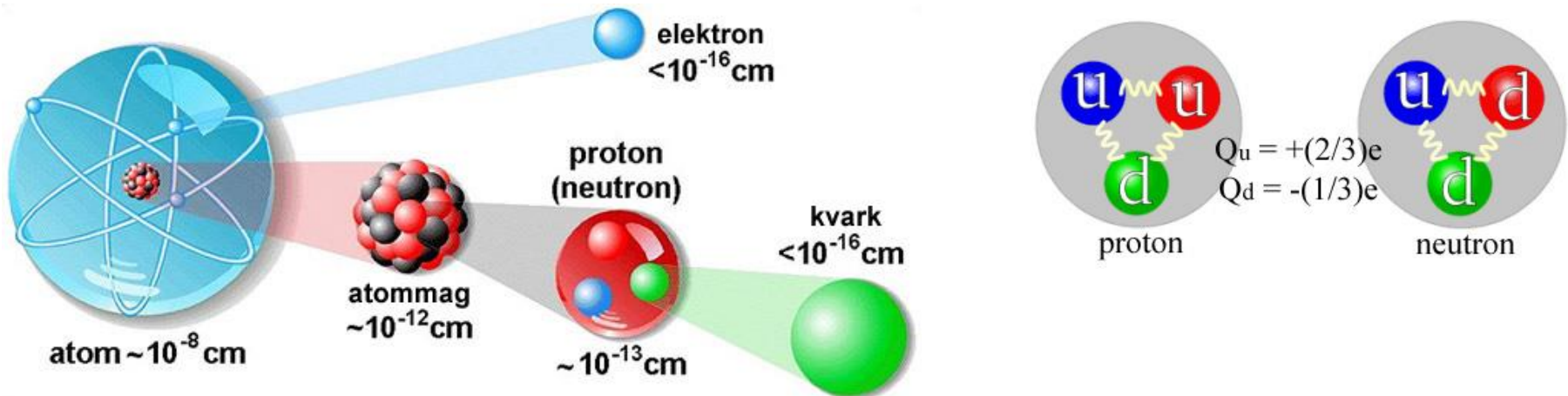
A tömegszám egyben a nukleonok száma: $A = N + Z$ (N : neutrons szám)



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:

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



Alapvető építőkövek és kölcsönhatások

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
	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
	<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 Z-bozon
	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 W-bozon

elektromágneses

erős

gyenge

Bozonok (kölcsönhatások közvetítő részecskéi)

Kölcsönhatások

1. elektromágneses
2. erős
3. gyenge
4. gravitációs

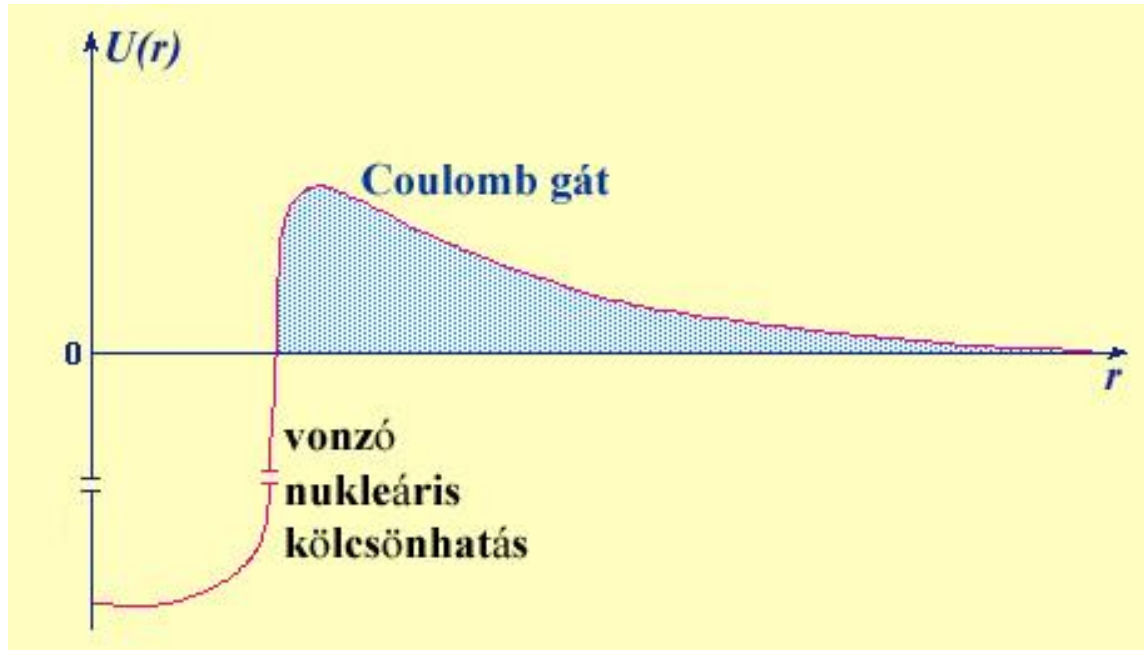
Kvarkok

Leptonok

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.

Radioaktivitás

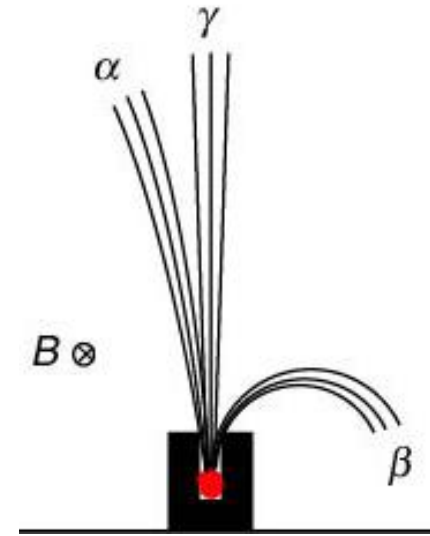
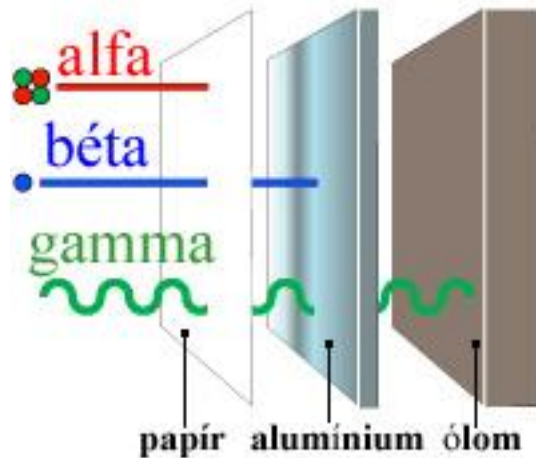
Becquerel (1896): uránsó közelében a fotolemez megfeketedik.

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)

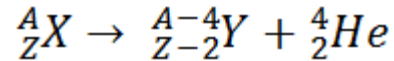


A radioaktív sugárzás kibocsátásakor általában elemátalakulás történik (kivéve γ).

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.

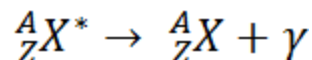


A ν és a $\bar{\nu}$ **neutrínót** illetve antineutrínót jelent. Ezek töltés nélküli, nagyon kis tömegű részecskék és csak a gyenge kölcsönhatáson keresztül lépnek reakcióba. Emiatt detektálni őket rendkívül nehéz. A pozitron az atommagot elhagyva egy elektronnal annihilálódik és két nagyenergiájú foton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

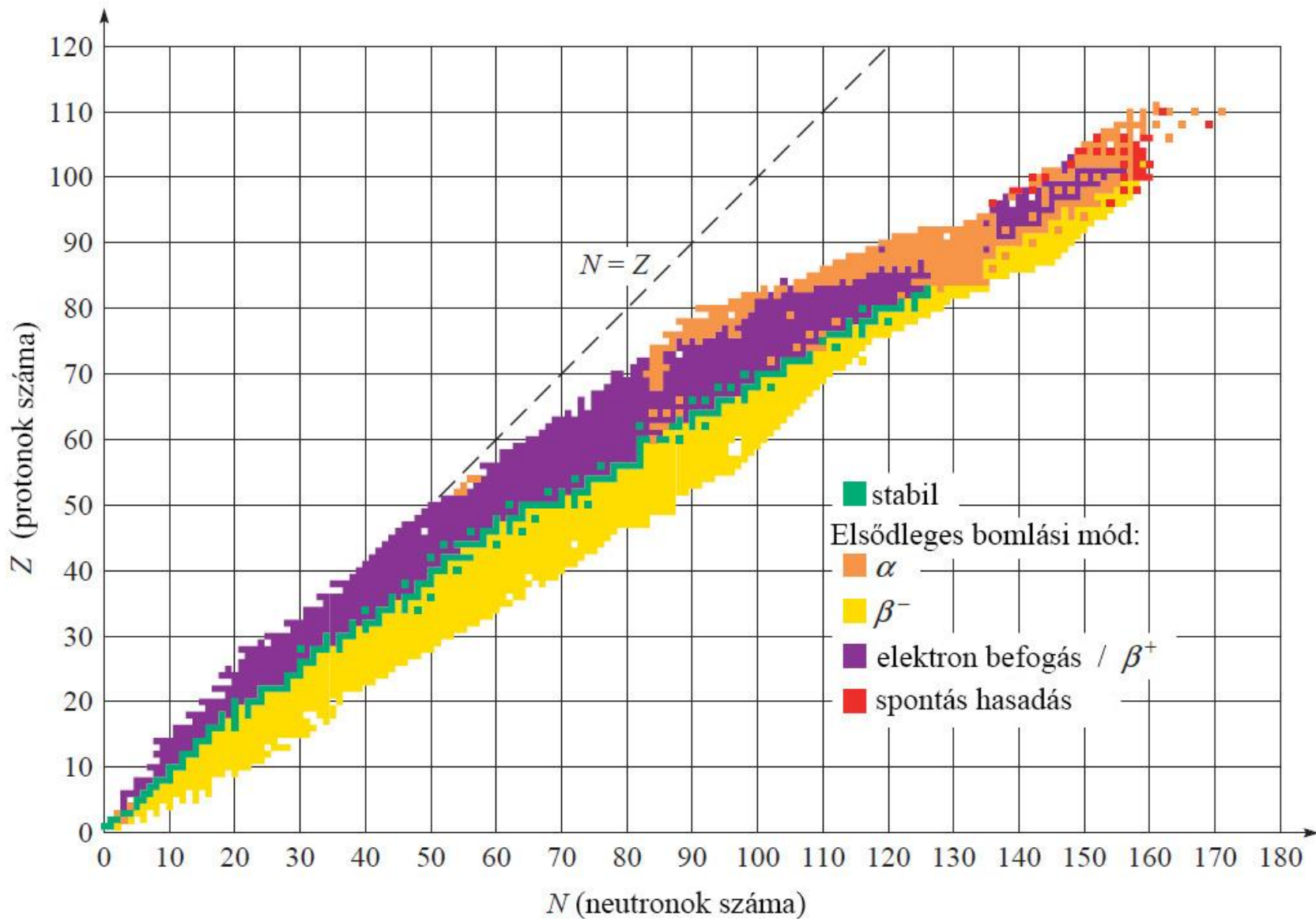
Ide tartozik még az elektron befogás is, többnyire a legbelső héjről:



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!).



Izotópok bomlási módjai



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:

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

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

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.

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

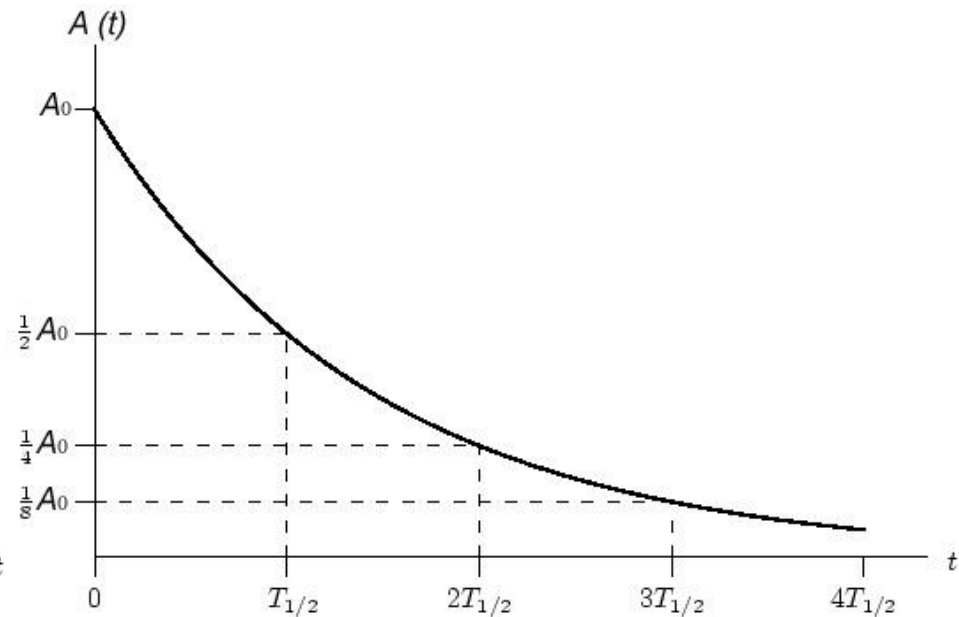
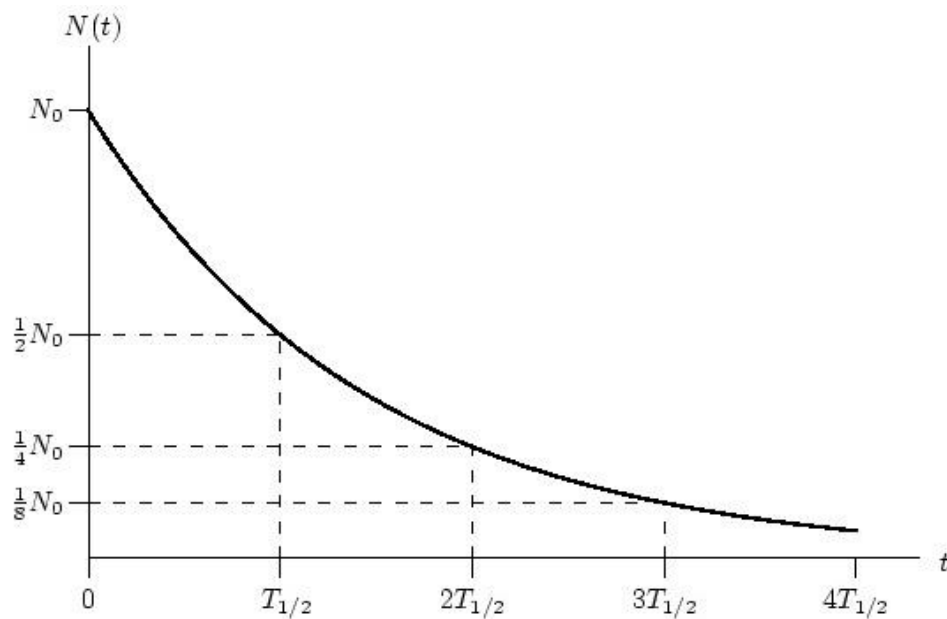
Aktivitás

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:

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



Példa:

A plutónium egy nagyon veszélyes radioaktív anyag, amely a szervezetbe jutva a csontokban halmozódik fel, meggátolja a vörösvérsejtek termelődését és rákot is okoz.

A ^{239}Pu alfasugárzó 24360 év felezési idővel.

- a) Másodpercenként hány darab alfa-részecske keletkezik az áldozat csontvázában, ha az illető véletlenül lenyel 2 μg plutóniumot?
- b) Hány év múlva csökken le az aktivitás 1000 Bq értékre?

Házi feladat 10:

1. Mekkora a K_α , K_β , L_α , L_β vonalak hullámhossza a következő elemekre?

a) magnézium

b) réz

c) urán

2. A földi légkörben kb. minden $8,6 \cdot 10^{11}$ darab ^{12}C magra jut egy ^{14}C izotóp. A ^{14}C izotóp radioaktív, felezési ideje 5730 év.

a) Számítsuk ki 1 mol légköri CO_2 gáz ^{14}C -től eredő radioaktivitását!

b) Hány év alatt csökken 20 %-kal a légkörből kivont szén radioaktivitása?