

Diagnosztikai képalkotó eljárások fizikai alapjai GEFIT303B

6. előadás: A radioaktivitás

Ellenőrző kérdések

Válasszuk ki a hamis állítást!

- a) A K_α a legnagyobb kvantumenergiájú csoport legintenzívebb karakterisztikus röntgen vonala
- b) Az atommag Coulomb-terében eltérülő és lefékeződő elektronok sugárzásának a spektruma folytonos
- c) Adott atom L_α sugárzásának hullámhossza nem függ a röntgencső feszültségétől
- d) Az Auger-folyamat nagy rendszámú anyagokban domináns

A Moseley-törvény kapcsolatot ad

- a) A röntgencső feszültsége és a maximális fotonenergia között
- b) A röntgencső feszültsége és a K_α karakterisztikus vonalak frekvenciája között
- c) Az anód rendszáma és karakterisztikus vonalak frekvenciája között
- d) Az anód rendszáma és a maximális fotonenergia között

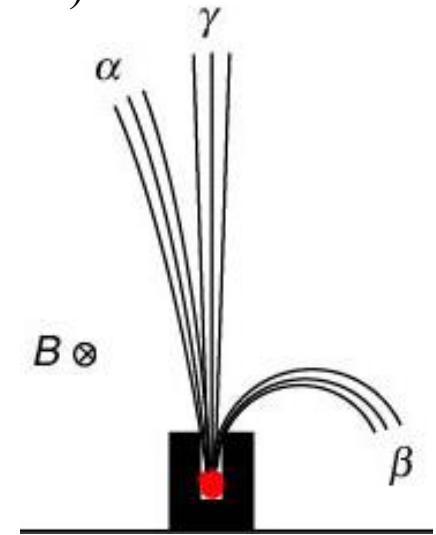
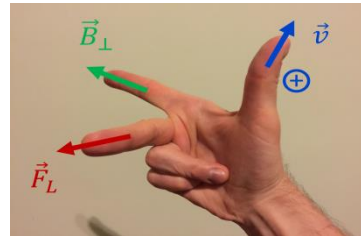
Radioaktivitás

Becquerel (1896): uránérc a fotopapírt megfeketíti (előhívás után persze), még ha az vastag papírba is van csomagolva (mintha fény érte volna, pedig nem).

Később az urán sugárzását (vákuumban és mágneses térben) sikerült összetevőkre bontani (Rutherford, Villard).

A sugárzások a rajz síkjára merőleges mágneses téren haladnak át Lorentz-erő:

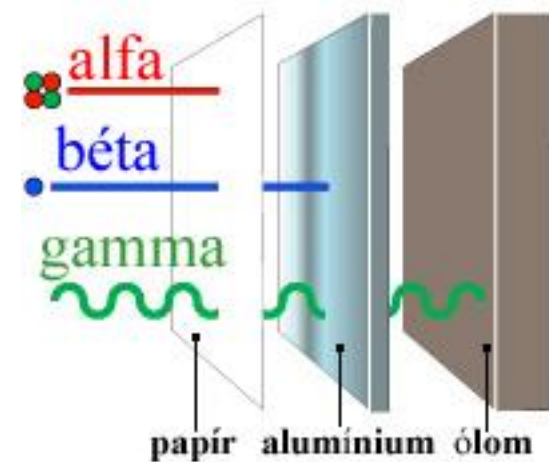
$$\vec{F} = q[\vec{v} \times \vec{B}]$$



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)

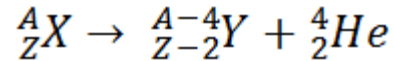


Megjegyzések

- A kirepülő részecskék nagy energiájúak, nagyságrendben milliószor akkorák, mint a kémiai reakciók közben felszabadulók (elektron átmenetek az energiaszintek között).
- Ha az α sugárzást elnyeletik, akkor ott He keletkezik. Úgy gondolják, a Földön megtalálható He jelentős részben az α sugárzásból származik.
- A radioaktív bomlások során felszabaduló energia tartja melegen (olvadt állapotban) a Föld magját.
- Az α , β , γ a leggyakoribb sugárzások, de másfajta (itt nem részletezett) sugárzások is léteznek a természetben.
- Az α , és γ sugárzások spektruma vonalas, a bétáé folytonos.
- A sugárzások kibocsátása bomlási folyamatban történik (ma már tudjuk, hogy a bomlás az atommagon belül történik).
- A radioaktív sugárzás kibocsátásakor általában elemátalakulás történik (kivéve γ). Ezzel megdőlt az az axióma, hogy a kémiai elemek nem alakíthatók át.
- Ezért kémiai Nobel-díjat adtak egy fizikusnak, Rutherfordnak 1911-ben). Akár aranyat is lehetne így csinálni, de a bányászata sokkal olcsóbb.

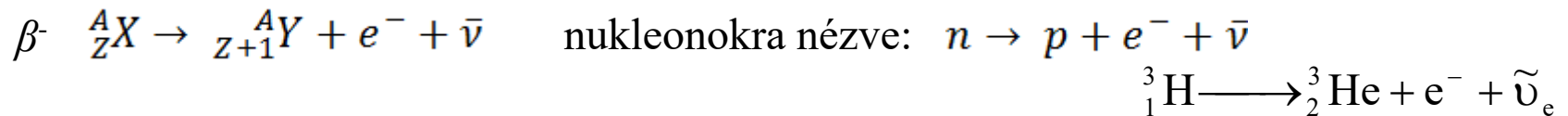
A radioaktív bomlások típusai

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



Példa: egy fémből két nemesgáz keletkezik ${}^{226}_{88}Ra \longrightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^4_2He$

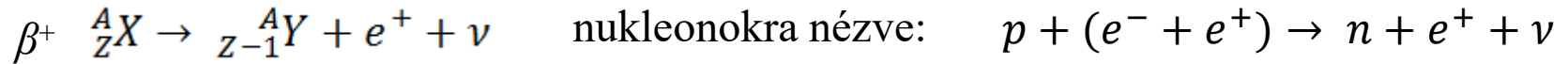
β -bomlás: két fajtája van (β^- és β^+) attól függően, hogy elektron (e^-) vagy **pozitron** (e^+) keletkezik. A pozitron az elektron antirészecskéje, töltése ellentétes, minden másban azonos.



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. Osztódik a bomlási energián az elektronnal (pozitronnal), ezért folytonos a spektruma.

A pozitron az atommagot elhagyva egy elektronnal annihilálódik és két nagyenergiájú foton keletkezik belőlük.

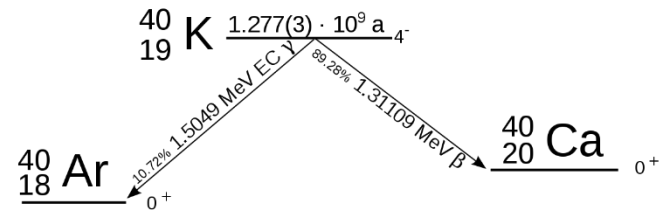
A radioaktív bomlások típusai/2



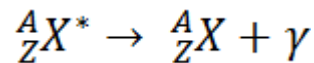
A pozitív béta bomlásnak van egy alternatívája is, ami kísérni szokta. Ez az **elektron befogás** (többnyire a legbelső héjről).



Vannak esetek, amikor csak ez lehetséges energetikailag, pozitron emisszió nem.



γ -bomlás: nem jár elem átalakulással, mindössze az atommag egy gerjesztett állapotából alapállapotba történő alakulása megy végbe. Az energiakülönbség szabadul fel egy foton formájában (nagyok az energia különbségek!). Általában a béta- vagy az alfa-bomlást követi.



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 (nagy!) megváltozására:

$$dN = -\lambda N dt$$

Az egyenletet átrendezve (változókat szétválasztva): $\frac{dN}{N} = -\lambda dt$

Ennek az egyenletnek a megoldása: a **bomlástörvény**: $N = N_0 e^{-\lambda t}$

(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.

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

Ellenőrző kérdések

Mely radioaktív bomlás során változik a rendszám?

- a) Csak az α -bomlás során
- b) Mindhárom bomlás (α -, β -, γ -bomlás) során
- c) Egyik bomlás során sem
- d) Az α -bomlás és a β -bomlás során is

Milyen izotóp keletkezhet a ^{90}Sr béta bomlásakor?

- a) ^{90}Y
- b) ^{91}Y
- c) ^{89}Sr
- d) ^{91}Sr

Aktivitás

Aktivitás: A mintában időegység alatt bekövetkező bomlások száma: $A = \left| \frac{dN}{dt} \right|$

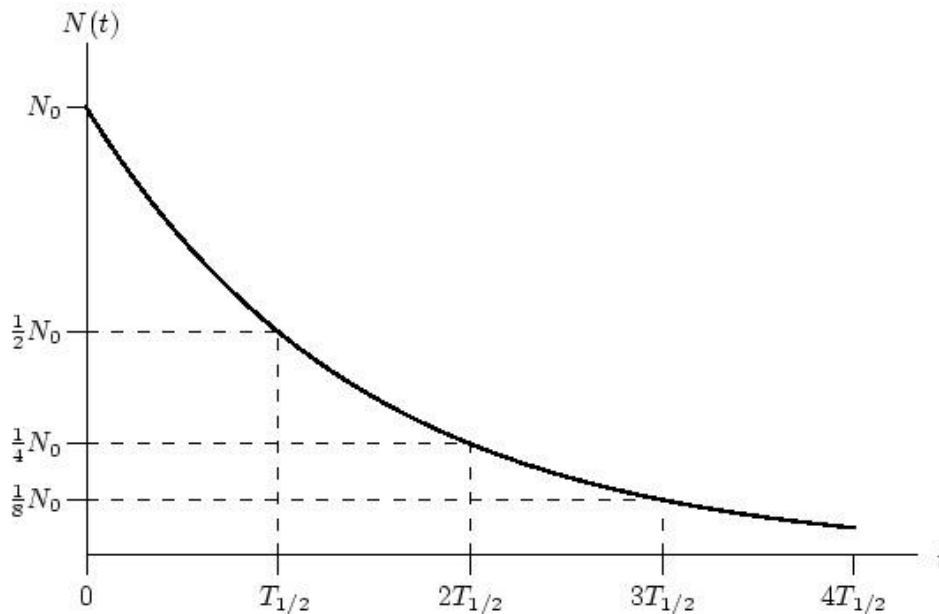
$[A] = 1 \text{ Bq (becquerel)} = 1 \text{ bomlás/másodperc}$

Korábbi egysége: 1Ci (curie)

$1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} (= 1\text{g Ra radioaktivitása})$

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

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



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

Bomlási sorok

A különböző bomlásoknál a tömegszám vagy nem változik (β , γ), illetve 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, közbenő radioaktív elemeit pedig lányelemeknek hívjuk. A végső stabil elem a végtermék.

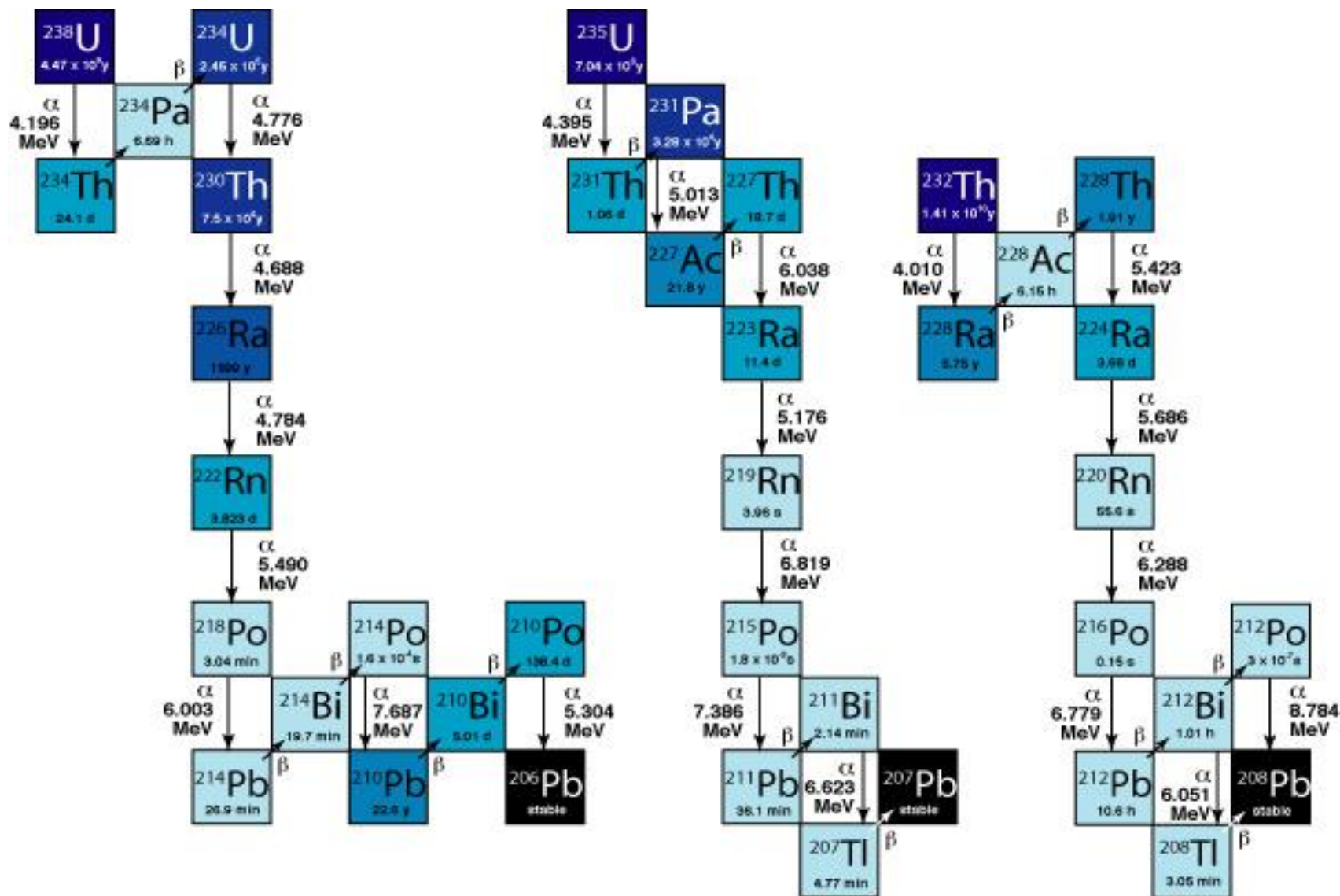
$A = 4n$ tórium-sor, anyaelem: ^{232}Th ,
 $T_{1/2} = 1,41 \cdot 10^{10}$ év, végtermék ^{208}Pb

$A = 4n + 1$ 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

Bomlási sorok/2



Arcképcsarnok



Antoine Henri Becquerel
1852- 1908
Nobel-díj: 1903 (megosztva
a Curie-házaspárral)



Marie Skłodowska-Curie (1867-1934), Pierre Curie (1859-1906),
Irene Joliot-Curie (1897-1956)

Ellenőrző kérdések

Az ősi időkben keletkezett radioaktív anyagok aktivitása egyre kisebb, mert egyre kisebb a száma a bennük lévő még el nem bomlott atommagoknak.

- a) Az állítás hamis, de az indoklás önmagában helyes
- b) Az állítás igaz, de az indoklás nem
- c) Az állítás és az indoklás is helyes, közöttük oki kapcsolat van
- d) Az állítás és az indoklás is helyes, közöttük nincs oki kapcsolat

Válasszuk ki a hamis állítást!

- a) Az aktivitás arányos a még el nem bomlott atommagok számával
- b) Az aktivitás mértékegysége a becquerel (=bomlás/s)
- c) A bomlási állandó megadja az időegység alatti bomlások számát
- d) Adott izotóp esetén az elbomlás esélye korfüggetlen