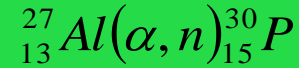
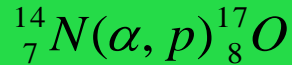
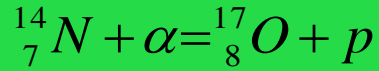


Magreakciók

Első magreakciók



Targetmag

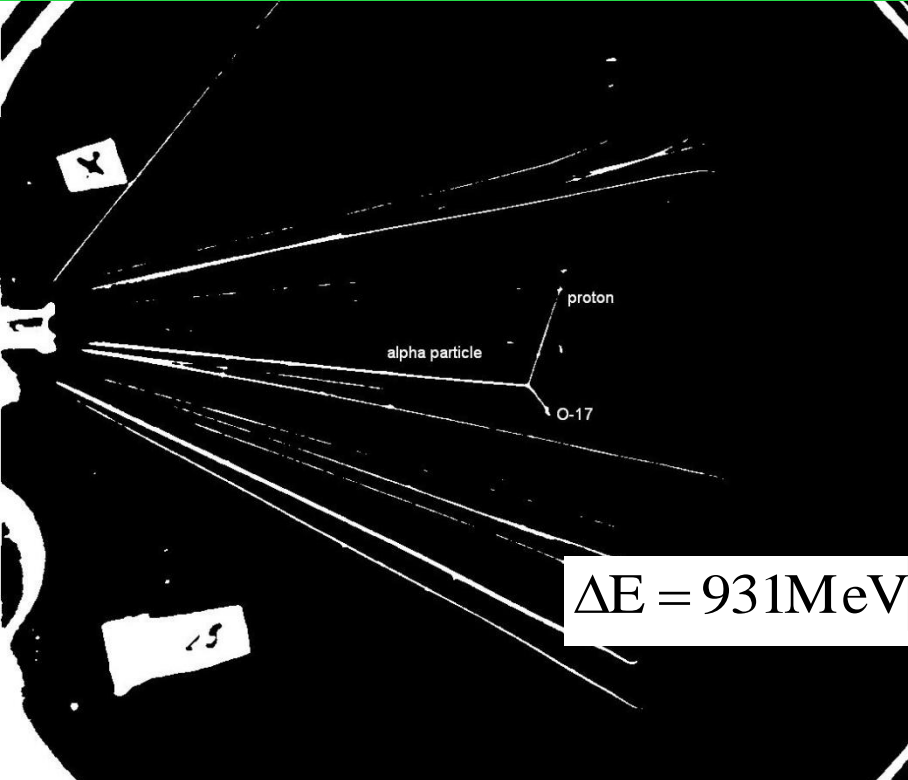
Megmaradási elvek:

1. a nukleonszám
2. a töltés megmaradását.
3. a spin,
4. a paritás,
5. az impulzus,
6. A tömeg+energia megmaradása

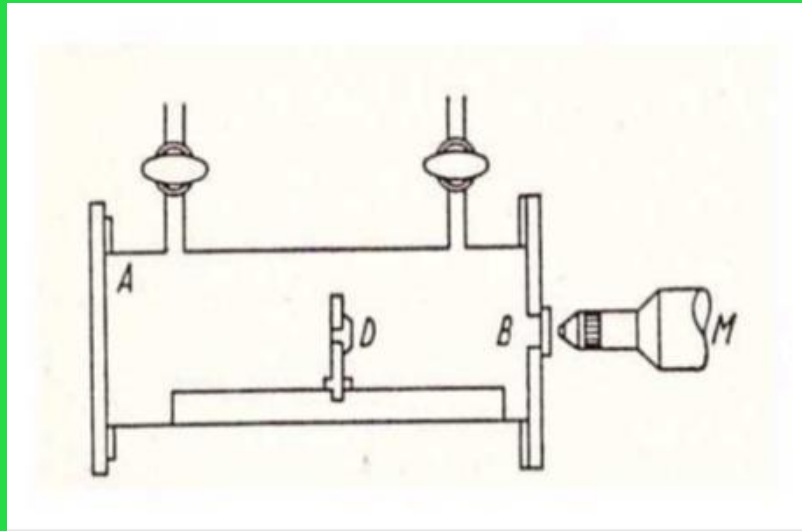
Exoterm (exoerg) és endoterm (endoerg) magreakciók

$$\Delta E = 931\text{MeV} \left[(m_{\text{termék}} + m_{\text{kilépő}_r.}) - (m_{\text{target}} + m_{\text{besugárzó}_r.}) \right]$$

Coulomb-gát
küszöbenergia



Az első magreakcióhoz alkalmazott kísérleti edény



A kísérleti edény, B szcintillációs
ernyő, D alfa-sugárzó M
mikroszkóp

A magreakciók kinetikája

$$\frac{dN^*}{dt} = \sigma\Phi N - \lambda N^*$$

N^* a keletkező részecske

N a targetmagok száma

Φ a besugárzó részecske fluxusa

σ a hatáskeresztmetszet, 1 barn= 10^{-24} cm²

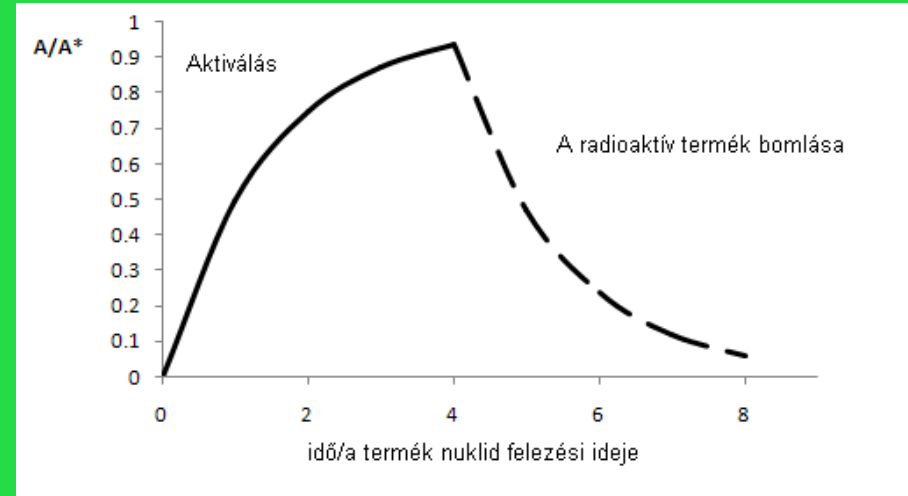
λ a termékmag bomlási állandója

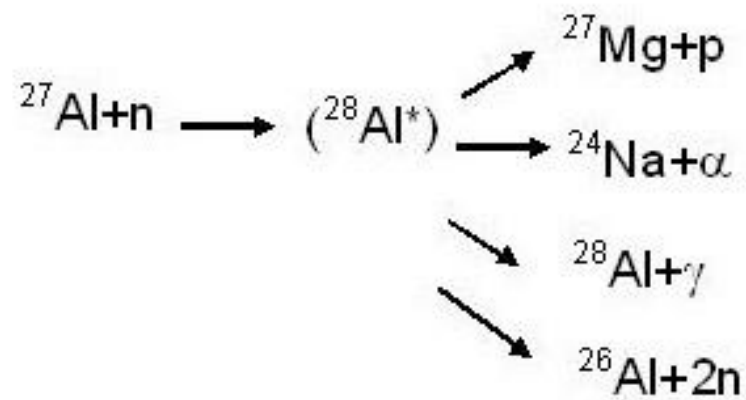
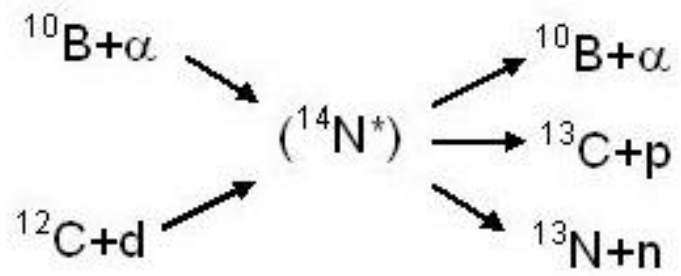
$$N^* = \frac{\sigma\Phi N}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_{besug}}) = N_{\infty} (1 - e^{-\lambda t_{besug}})$$

Besugárzás megszűnte után:

$$N^* = N_{\infty} (1 - e^{-\lambda t_{besug}}) e^{-\lambda t}$$

Aktivitással kifejezve: $A^* = \lambda N^* = \lambda N_{\infty} (1 - e^{-\lambda t_{besug}}) e^{-\lambda t} = A_{\infty} (1 - e^{-\lambda t_{besug}}) e^{-\lambda t}$

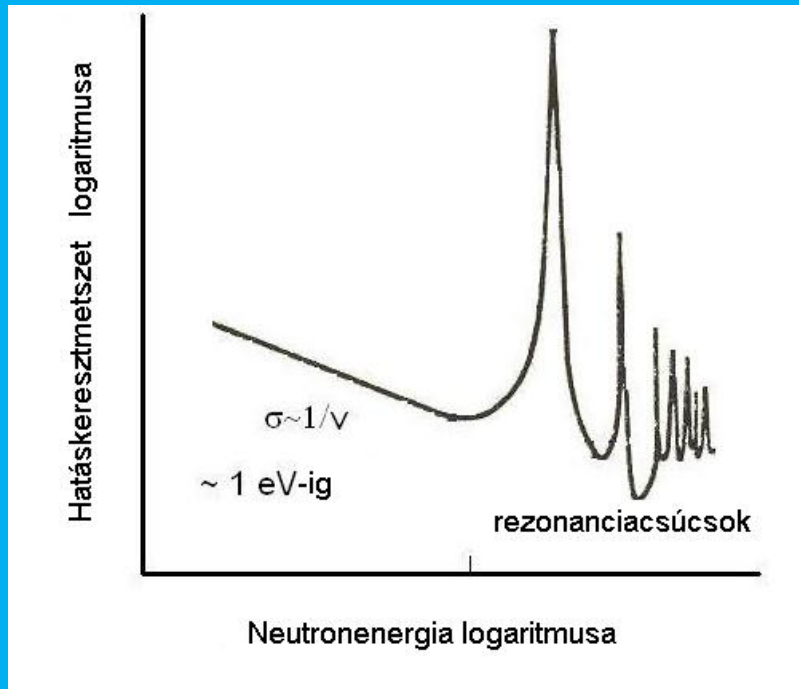




A magreakciók csoportosítása

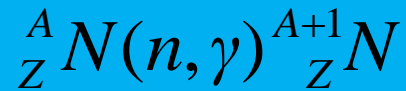
	Belépő részecske	Magreakciók
Töltés nélküli részecske	neutron	n,γ ; n,p ; n,α ; $n,2n$; n,f (hasadás)
	gamma-foton	γ,n ; γ,p
Töltött részecske	proton	p,γ ; p,n ; p,α
	deuteron	d,n ; d,p ; d,α ; $d,2n$
	alfa	α,n ; α,p
	nehezebb magok	lásd transzuránok előállítása

Magreakciók neutronokkal



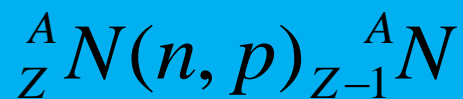
$< 0,01 \text{ eV}$ lassú vagy termikus
 $> 100 \text{ keV}$ gyors
epitermikus neutronok

Hatáskeresztmetszet $\sim 1/v$
Rezonanciacsúcsok



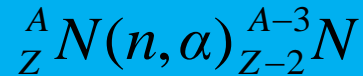
- Nincs Coulomb-gát
- He kivételével mindig lejátszódik
- Exoterm, 8 MeV (neutron kötési energiája)
- Nem állítható elő hordozómentes izotóp
- Neutronfelesleges, β^- -sugárzó magok keletkeznek
- Neutronaktivációs analízis



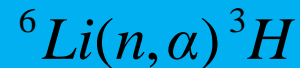


- A nagyobb részecske kilépésének energetikai szempontból nagyobb a valószínűsége, azonban a proton kilépését a Coulomb-gát akadályozza, ami a gamma-foton esetén nem jön számításba. Ezért az alacsonyabb rendszámoknál inkább a (n,p), nagyobb rendszámoknál a (n,γ) magreakciók gyakoribbak.
- Exoterm.
- Hordozómentes izotóp állítható elő.
- Neutronban gazdag, tehát β⁻-sugárzó magok keletkeznek

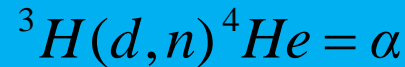




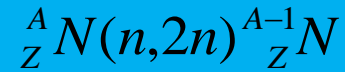
- Endoterm
- Coulomb-gát miatt kis rendszámoknál



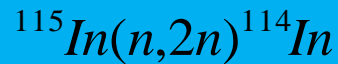
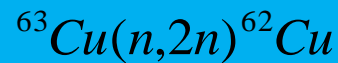
- Deutérium jelenlétében (LiD, D₂O)



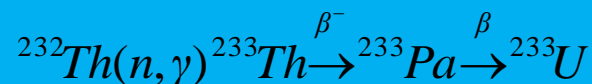
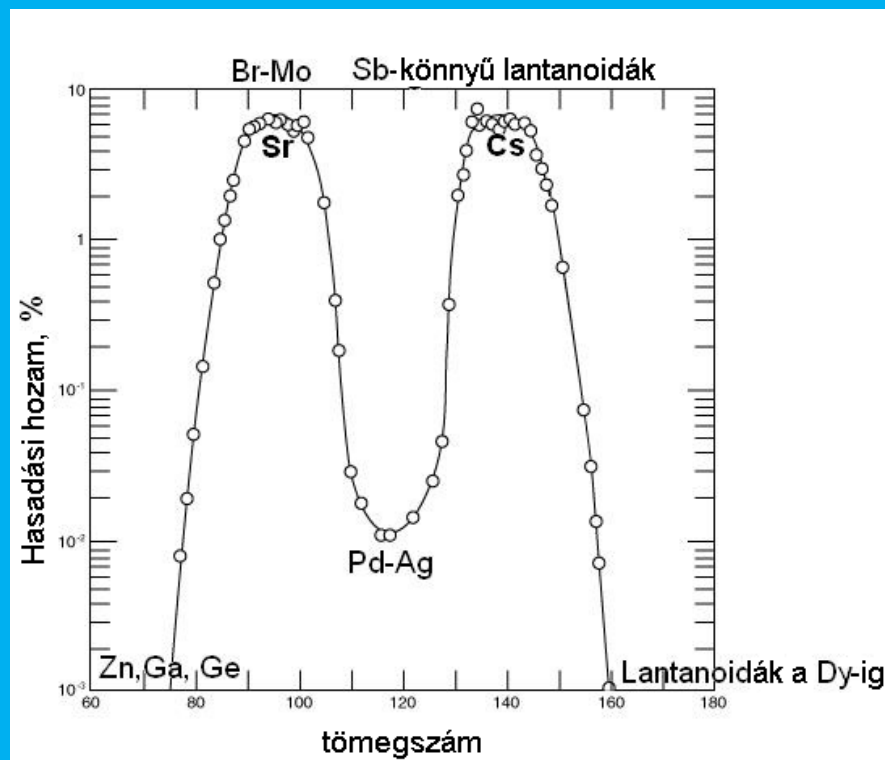
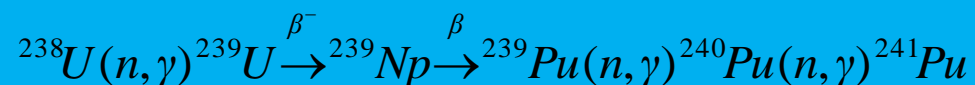
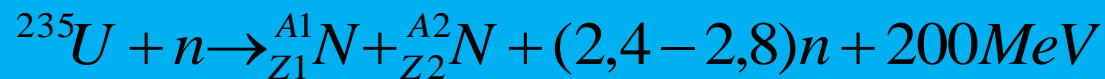
- A különböző energiájú termikus neutronokból gyors neutronokat 14 MeV kapunk.
- Hidrogénbomba



- Nagyobb tömegű mag keletkezik, tehát endoterm



(n,f): hasadás lassú neutronok hatására



Magreakciók fotonokkal

- Gamma-fotonok energiája > targetmag kötési energiája
- Viszonylag ritkák, pl. ${}^2\text{H} + \gamma \rightarrow n + p^+$
- A ${}^{24}\text{Na}$ -izotóp elegendően nagy energiájú fotonokat bocsát ki ahhoz, hogy ezt a reakciót lehetővé tegye. Ezért ha nehézvízben ${}^{24}\text{Na}$ -izotópot tartalmazó sót oldunk, akkor hordozható neutronforrást készíthetünk.

Magreakciók töltött részecskékkel

- Coulomb- gát - küszöbenergia
- Kis rendszámú elemeknél könnyebb
- Általában gyorsítani kell- van de Graaf-generátor, lineáris gyorsító, ciklotron

Magreakciók protonokkal

- (p,n): erős kölcsönhatások \leftrightarrow Coulomb-gát A protonok száma nő, a neutronok száma csökken: β^+ -sugárzó, vagy elektronbefogó magok keletkeznek. Hordozómentes izotópok állíthatók elő.



- (p, γ): kevésbé jelentősek



- (p, α): mindkét irányban Coulomb-gát van. Mindig endoterm, hordozómentes izotópok előállíthatók.

Magreakciók deuteronokkal

- (d,p) magreakció, ún. Philips-Openheimer reakció: hasonló a (n,γ) magreakciókhoz, hordozómentes izotóp nem állítható elő. Neutronfelesleges, azaz negatív béta-bomló izotópok keletkeznek.



- (d,n): egyenértékű a (p, γ) folyamatokkal, vagyis eggyel nagyobb rendszám, pozitív béta-sugárzó vagy elektronbefogó magok keletkeznek, hordozómentes állapotban is.



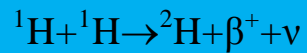
- (d,2n) reakciók erősen endotermek, a (p,n) reakcióval ekvivalensek. A protonok száma viszonylag nagy, tehát pozitív béta-sugárzó vagy elektronbefogó magok képződnek:



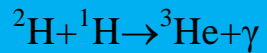
- (d,α): az átmeneti mag energiatartalma olyan nagy, hogy az alfa-részecske a Coulomb-gátat le tudja győzni. Eggyel kisebb rendszámú mag keletkezik, amely pozitív béta-sugárzó vagy elektronbefogó. Előállíthatunk hordozómentes izotópokat.



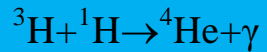
Termonukleáris reakciók



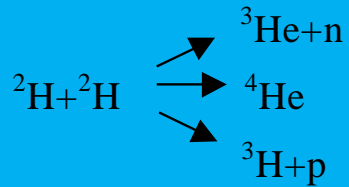
$$\Delta E=-0,44 \text{ MeV}$$



$$\Delta E=-5,49 \text{ MeV}$$



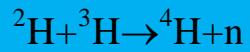
$$\Delta E=-19,8 \text{ MeV}$$



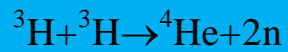
$$\Delta E=-3,27 \text{ MeV}$$

$$\Delta E=-23,83 \text{ MeV}$$

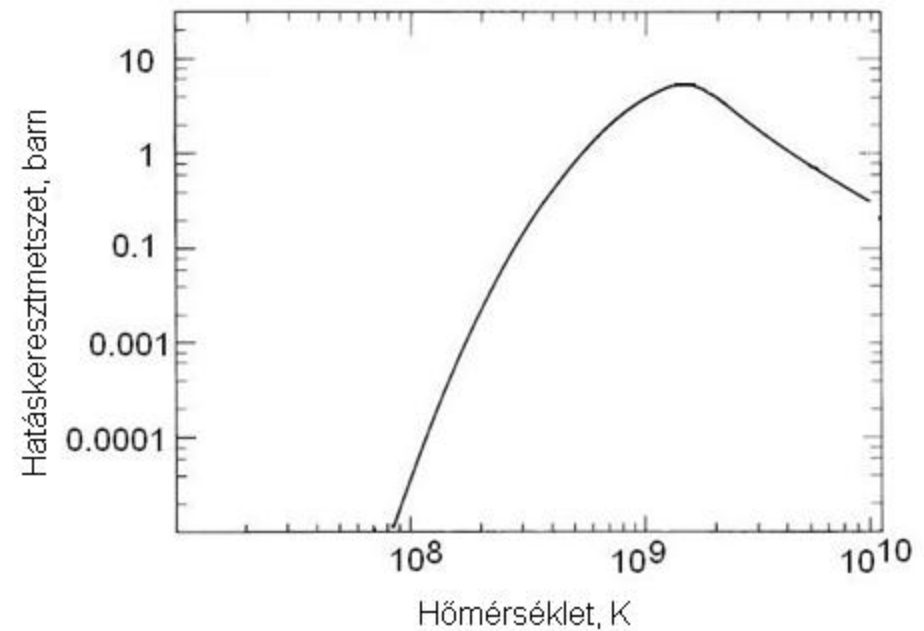
$$\Delta E=-4,03 \text{ MeV}$$



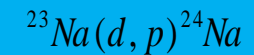
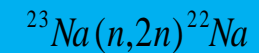
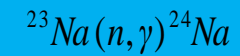
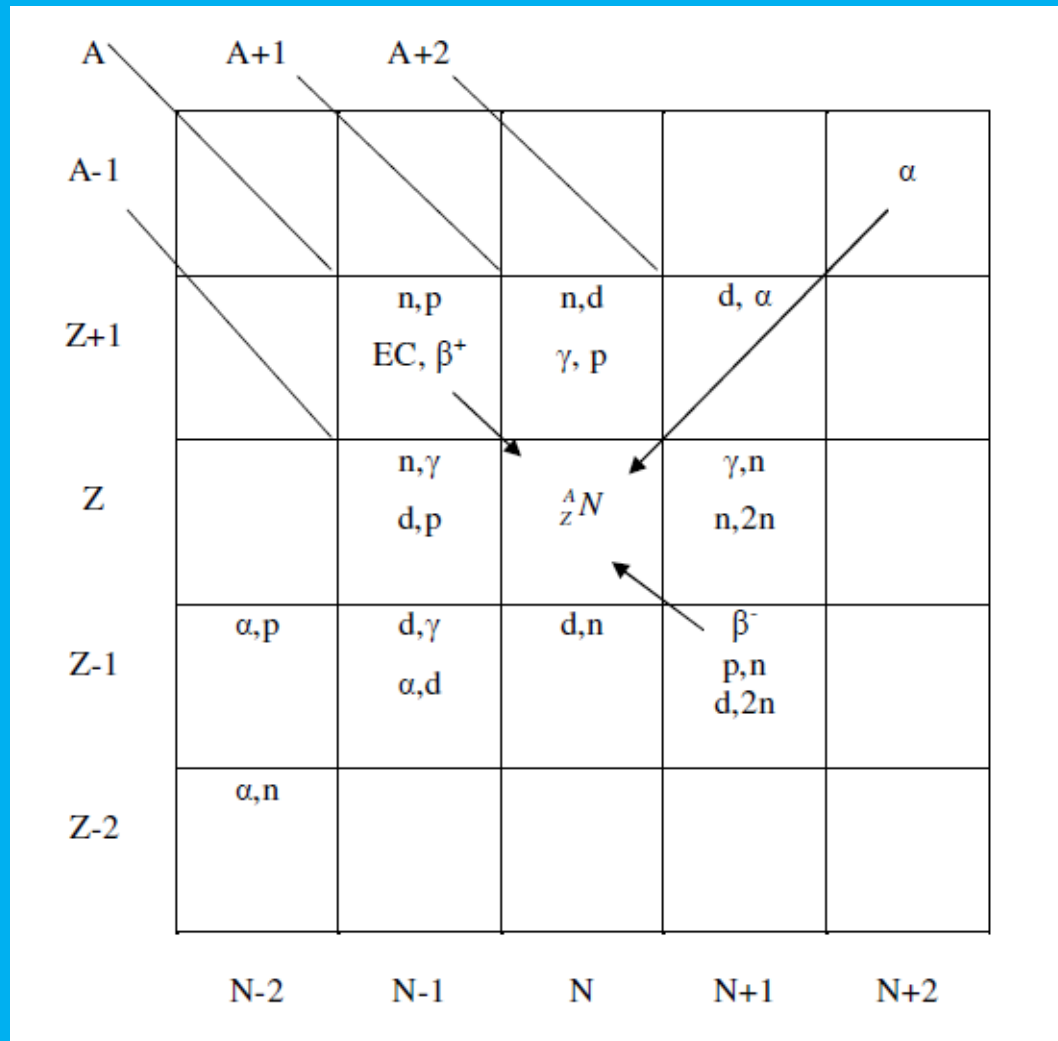
$$\Delta E=-17,59 \text{ MeV}$$



$$\Delta E=-11,32 \text{ MeV}$$



Z rendszámú, A tömegszámú mag keletkezése magreakciókban és radioaktív bomlással



A magreakciók kémiai hatásai

- Más rendszámú atommag keletkezése önmagában is kémiai hatás
- A magreakciót követő kémiai átalakulások : oka, hogy a magreakciók energiája több nagyságrenddel nagyobb a kémiai kötések energiájánál – megváltozhat a target és a termék kémiai tulajdonságai
- Bár a nukleáris energia nem hőenergiaként, hanem a részecskék kinetikus energiájaként jelentkezik, a kinetikus energia hőmérsékletként is kifejezhető – nagyon magas hőmérséklet – forró atomok

A magreakciók kémiai hatásai

- Forró atomok magvisszalökés során is keletkeznek (magreakcióban+radioaktív bomlásban)
- A magvisszalökődés energiája a nehezebb részecskénél nagyobb, azonban még a legkisebb kilépő részecskénél (gamma-fotonok) is nagyobb, mint kémiai kötések energiája – a visszalökődési energiától és a rendszámtól függően a belső és külső elektronokat is gerjesztheti.
 - Belső elektronok gerjesztése – karakterisztikus röntgenfotonok, Auger-elektronok kilépése
 - Külső elektronok gerjesztése – ionizáció, kötések felhasadása – Szilárd-Chalmers-effektus vagy forró atom kémia

Szilárd-Chalmers-reakciók

- Etil-jodidban kötött ^{127}I (n, γ) reakciója. A termék gerjesztett radioaktív ^{128}I nuklid, amely jodidionná alakul - a magreakció során a szerves jódból szervesetlen lesz. A target és a termék ugyanazon elem két izotópja, de különböző kémiai formában! Elválaszthatók, tehát a ^{128}I hordozómentesen kapható.
- (n, γ) reakció is alkalmas lehet hordozómentes izotóp előállítására, ha a magreakciót olyan kémiai reakció kíséri, amelyben forró atom keletkezik
- (γ ,n), (n,2n) és(d,p) reakciókban szintén lehetnek ilyen folyamatok
- Felhasználható a radionuklid-termelésben – a target általában szerves, a termék szervesetlen forma . Hordozómentes klór-, bróm-, jód-, króm-, mangán-, foszfor-, arzénizotópok előállítása
- Jelzett vegyületek előállítása forró atomok reakcióival: pl. $^{14}\text{N}(n,\gamma)^{14}\text{C}$: ^{14}C forró atom keletkezik, amely reagálhat a környezetben levő anyagokkal termékek: CO_2 , CO , CH_4 , HCN , CH_3OH , HCOH , HCOOH , stb. Atomreaktorokban is végbemegy a levegő nitrogénje reagál, a szénvegyületek megjelennek a hűtővízben.

Radioaktív bomlások kémiai hatásai

- Radioaktív bomlásnak is lehet kémiai hatása
- Béta-bomlások során megváltozik a rendszám
- Ha a visszalökési energia nem elegendő a kémiai kötés felhasításához, a leánynuklid ugyanabban a kémiai kötésben marad, de a vegyület már nem stabil.
- Pl. ^{14}C negatív béta-bomlásával ^{14}N . A szerves molekulában a szénből nitrogén lesz, a vegyület disszociál – gyökök, ionok keletkeznek, amelyek a környezet anyagaival reagálva jelzett anyagokat adnak.
- Szerves molekulák radiolízise

Radioaktív izotópok előállítása

Általános módszerek

Természetes radioaktív izotópok kinyerése

- Természetes bomlási sorokból kinyerhető izotópok – ma már inkább csak történeti jelentőségűek
- U-238 bomlási sorából: ^{234}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po
- Th-232 bomlási sorából: ^{228}Ra , ^{228}Th , ^{220}Rn , ^{212}Pb

1 t U-ból, ill. Th-ból nyerhető izotópok mennyisége

^{232}Th	^{238}U	^{235}U
-	^{234}U 58 g	-
-	-	^{231}Pa 0,27 g
^{228}Th 0,14 mg	^{230}Th 17 g	-
-	-	^{227}Ac 0,16 mg
^{228}Ra 0,47 mg	^{226}Ra 0,34 g	-
-	^{210}Pb 4,1 mg	-

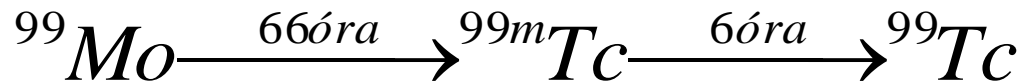
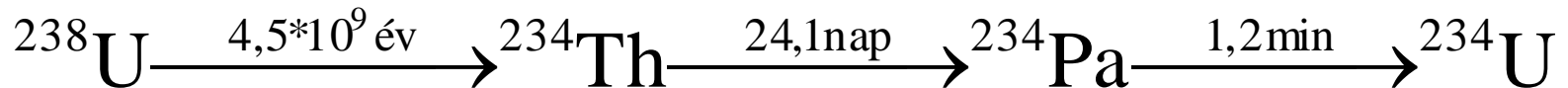
Mesterséges radionuklidok: atomreaktorok

- Hasadványok
- Target+neutronbesugárzás: magreakciók
(n, γ), (n,p), (n, α), (n,2n), (n,f)
- Al-tok, fém vagy oxid, esetleg sók (karbonát)
- Olyan kísérő elem, amelyből keletkezett izotóp gyorsan bomlik
- Tisztaság

Generátorok

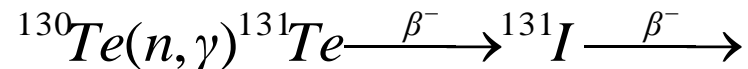
- Rövid felezési idejű izotópok kinyerése: a hosszabb felezési idejű anyaelemet választjuk le alkalmas hordozóra és azt „fejjük”, vagyis kémiai eljárással elválasztjuk a leányelemet.

Az emanáló források is generátorok.

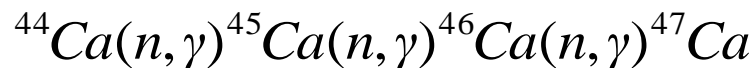


Neutronnal végbemenő magreakciók

- (n, γ) : neutronfelesleges magok, negatív béta-bomlók, nem hordozómentesen keletkeznek. Elválasztás nehéz, Szilárd-Chalmers effektus: különböző kémiai állapotú izotópok keletkeznek. A termék leányeleme is lehet radioaktív:



Szukcesszív (n, γ) reakciók:



Transzuránok előállítása

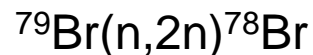
Neutronnal végbemenő magreakciók

- (n,p) és (n, α): könnyű elemekre



Hordozómentesen állíthatók elő, általában lassú neutronnal, exoterm reakciók

- (n,2n): gyors neutronnal, a targetet a fűtőelemek közötti lyukba helyezik.



Maghasadás

- Rövid felezési idejű izotópok: urán mint target kerül elhelyezésre, pl. $^{132}\text{Te} \rightarrow ^{132}\text{I}$
- Hosszú felezési idejűek: a kiégett fűtőelemek feldolgozásával nyerhetők
 - Urán és transzuránok elválasztása tri-butil-foszfáttal
 - Az oldatban maradt hasadványokat csoportelválasztásokkal (lecsapások, extrakciók) különítik el és tisztítják.

^{140}Ba kinyerése



Kevés Sr(II)-szennyezés

Feltárás Na_2CO_3 -tal: $(^{140}\text{BaPb})\text{CO}_3$

Oldás salétromsavban: $^{140}\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

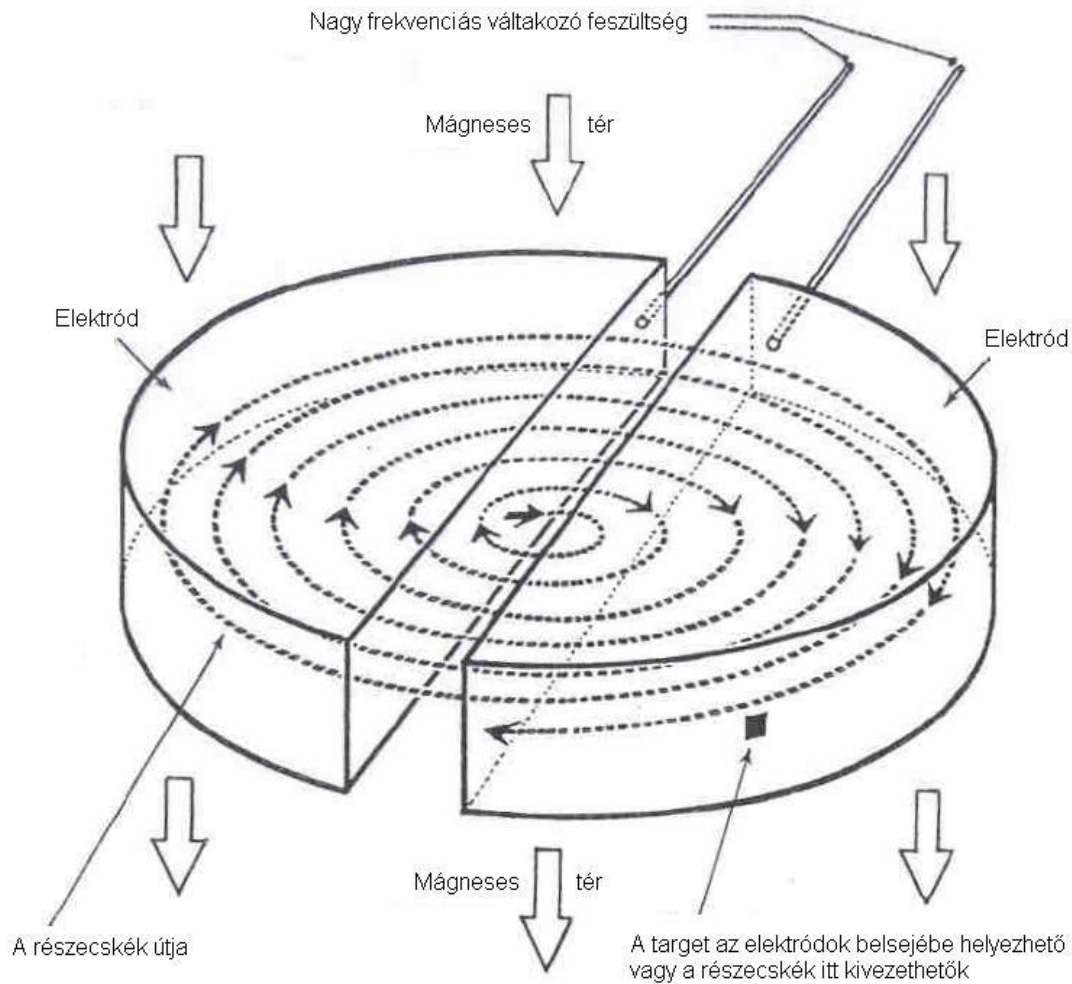
Újabb karbonátos lecsapás, stb.

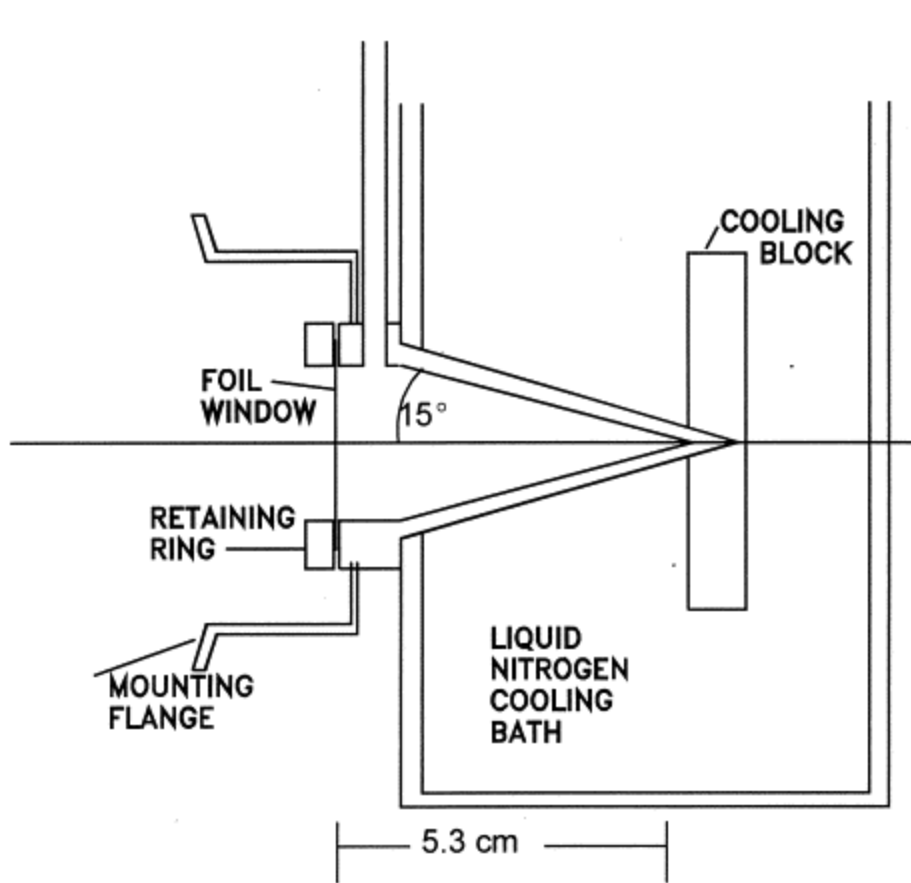
cc. HCl: PbCl_2 lecsapása, $^{140}\text{Ba}(\text{II})$ oldatban marad.

Mesterséges radionuklidok: gyorsítók

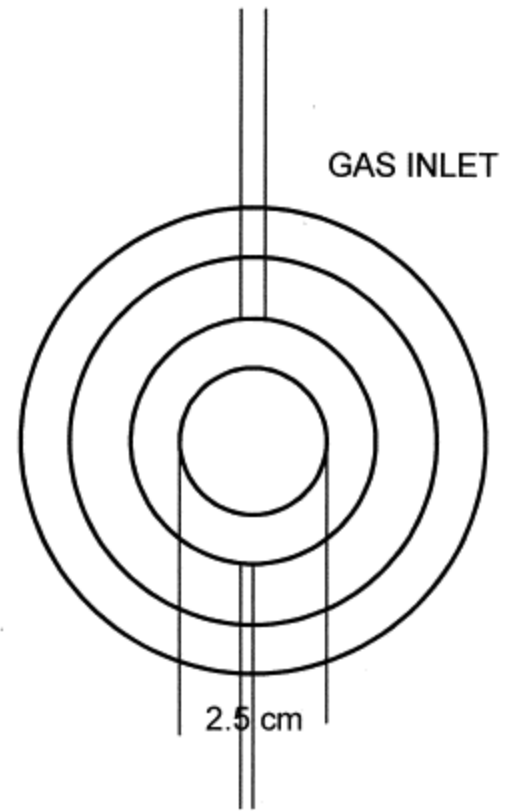
- Reakciók töltött részecskékkel – neutronhiányos izotópok
- Hordozómentes izotópok
- Fontos orvosi/biológiai alkalmazások: rövid felezési idők
- Nehezebb transzuránok előállítása
- Ciklotronok és lineáris gyorsítók
- Target: vékony fém-fóliák, vagy oxid rétegek hűtés
- Hatáskeresztszmetzet energiatfüggő – a kívánt termék szerint optimálható

Ciklotron

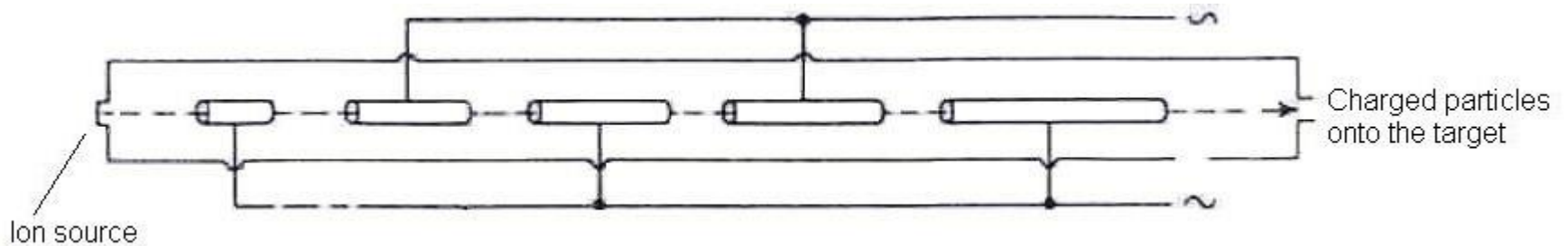




Material of Construction - Copper



Lineáris gyorsító



Lineáris protongyorsító elvi rajza. A protonok váltakozó feszültségre kapcsolt gyorsító csöveken haladnak át. A csövek hosszát a feszültség-változás frekvenciájához mérten úgy alakítják ki, hogy a protonok éppen akkor találkozzanak a gyorsító feszültséggel, amikor átlépnek egyik csőből a másikba.