

# Magreakciók

# Radioaktív izotópok előállítása

Konkrét módszerek

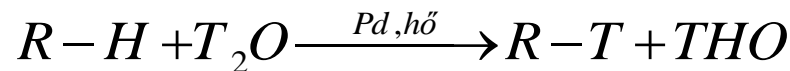
# Trícium



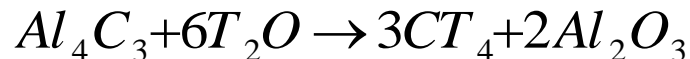
MgLi ötvözetből készült fólia, a trícium melegítéssel távozik:  $T_2$  vagy  $T_2O$  nyerhető.

Szerves vegyületek előállítása:

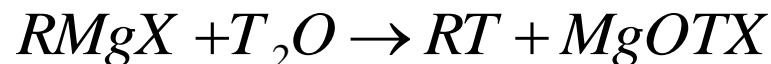
1. Izotópcseré szervek vegyületek hidrogénjével



2. Reakció alumínium-karbiddal

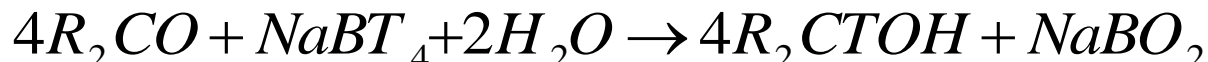


3. Grignard-reakció



4. Kettős kötések telítése

5. Karbonil-vegyületek redukciója:  $NaBT_4$ ,  $LiAlT_4$



6. Malonsav lábilis hidrogénjének cseréje, majd dekarboxilezése:  
esetsav

7. Acetilén

# Szén-14

$^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ ,  $t_{1/2}=5730$  év, béta  $E_{\text{max}}=165$  keV

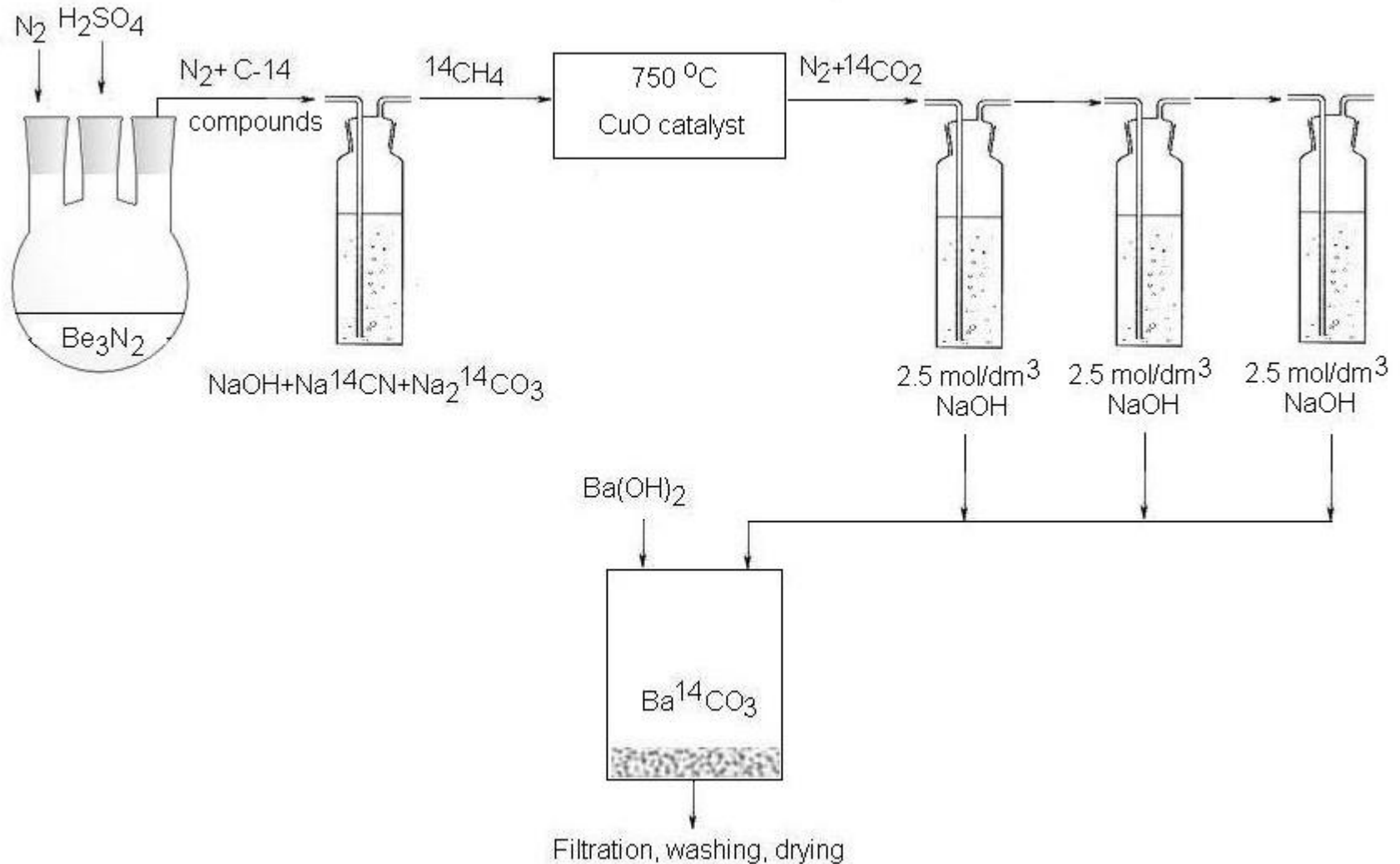
Target: B-, Be, Al-nitrid

Besugárzás után oxidáció (pl.  $\text{H}_2\text{O}_2$ )  $\rightarrow$   $^{14}\text{CO}_2$ ,  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$

Szerves vegyületek előállítása:

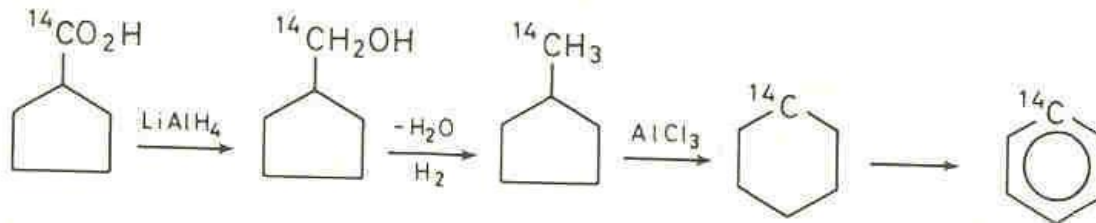
1. Karbonsavak (pl. ecetsav) Grignard-reakciókkal
2. Metanol:  $^{14}\text{CO}_2$  redukciója  $\text{LiAlH}_4$ -del
3. Cianid:  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ +fém K+ $\text{NH}_4\text{Cl}$  olvadékban
4. Acetilén:  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3+\text{Ba}\rightarrow\text{Ba}^{14}\text{C}_2+\text{H}_2\text{O}\rightarrow^{14}\text{C}_2\text{H}_2$
5. Hangyasav:  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  vagy  $\text{KH}^{14}\text{CO}_3$  redukciója  $\text{H}_2$ -nel, Pd katalizátor
6. Bárium-ciánamid:  $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$  hevítése száraz  $\text{NH}_3$ -ban

# C-14 vegyületek kinyerése



# Szén-14

## 7. Aromás vegyületek előállítása



Minden hatodik szénatom jelzett.

Acetilénből: minden szénatom jelzett.

## 8. Biológiai szintézisek

*Clostridium aceticum*: CO<sub>2</sub>-ből ecetsav

*Chlorella vulgaris*: CO<sub>2</sub>-ből aminosav (L-forma)

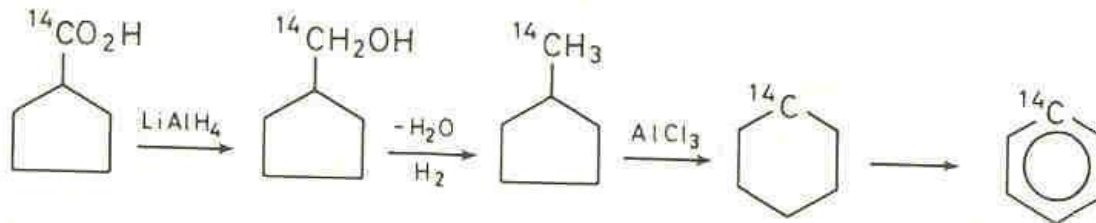
*Canna indica*: CO<sub>2</sub>-ből cukor

Galamb: glicinből vagy formiátból húgysav

Patkány: acetátból koleszterin

# Szén-14

## 7. Aromás vegyületek előállítása



Minden hatodik szénatom jelzett.

Acetilénből: minden szénatom jelzett.

## 8. Biológiai szintézisek

*Clostridium aceticum*: CO<sub>2</sub>-ből ecetsav

*Chlorella vulgaris*: CO<sub>2</sub>-ből aminosav (L-forma)

*Canna indica*: CO<sub>2</sub>-ből cukor

Galamb: glicinből vagy formiátból húgysav

Patkány: acetátból koleszterin

- C-11:  $^{14}\text{N}(\text{p},\alpha)^{11}\text{C}$ ,  $t_{1/2}=20,3$  min,  $\beta^+$ , PET
- N-13:  $^{16}\text{O}(\text{p},\alpha)^{13}\text{N}$ ,  $t_{1/2}=10$  min,  $\beta^+$ , PET
- O-15:  $^{16}\text{O}(\text{p},\text{n})^{15}\text{O}$ ,  $^{14}\text{N}(\text{d},\text{n})^{15}\text{O}$ ,  $^{15}\text{N}(\text{p},\text{n})^{15}\text{O}$ ,  $t_{1/2}=122$  s,  $\beta^+$ , PET
- F-18:  $^{16}\text{O}(\text{t},\text{n})^{18}\text{F}$  vagy  $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$ ,  $t_{1/2}=109$  min,  $\beta^+$ , PET
- Na-izotópok
  - Na-24:  $^{23}\text{Na}(\text{n},\gamma)^{24}\text{Na}$   $t_{1/2}\approx 24$  óra,  $\beta^-$ ,  $\gamma$   
 hordozómentes:  $^{26}\text{Mg}(\text{d},\alpha)^{24}\text{Na}$
  - Na-22:  $^{23}\text{Na}(\text{n},2\text{n})^{22}\text{Na}$ , endoterm,  $t_{1/2}\approx 2$  év,  $\beta^+$ ,  $\gamma$   
 hordozómentes:  $^{24}\text{Mg}(\text{d},\alpha)^{22}\text{Na}$
- Al-28:  $^{27}\text{Al}(\text{n},\gamma)^{28}\text{Al}$   $t_{1/2}=2,8$  min,  $^{27}\text{Al}(\text{n},\alpha)^{24}\text{Na}$
- P-32:  $^{31}\text{P}(\text{n},\gamma)^{32}\text{P}$ ,  $t_{1/2}=14,3$  nap, oxidációs szám: 5  
 Vörös P, vizes oldás:  $\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$   
 HCl: klorid, oxi-klorid  
 hordozómentes:  $^{32}\text{S}(\text{n},\text{p})^{32}\text{P}$   
 kinyerés: vízgőzzel  $\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$ -oldat, S visszamarad  
 kén kioldása szerves oldószerrel (pl.  $\text{CS}_2$ ), majd  
 klórral  $\text{PCl}_5$  keletkezik



- S-35: előállítás hasonló lehet a P-32-hoz, gyakorlatilag  $^{35}\text{Cl}(n,p)^{35}\text{S}$ , target KCl. Oldás vízben, kenet szulfát formájába viszik.

$t_{1/2}=87,9$  nap sugárzása  $\approx$  C-14

Mellékreakciók:  $^{35}\text{Cl}(n,\gamma)^{36}\text{Cl}$ ,  $t_{1/2}=308\,000$  év, lágy béta.

$^{41}\text{K}(n,\gamma)^{42}\text{K}$ , lebomlása megvárható

Elválasztás: anioncserével

- Cl-36:  $^{35}\text{Cl}(n,\gamma)^{36}\text{Cl}$ ,  $t_{1/2}=301000$  év,  $\beta^-$
- K-38:  $^{35}\text{Cl}(\alpha,n)^{38}\text{K}$ ,  $t_{1/2}=7,6$  min,  $\beta^+$
- K-42:  $^{41}\text{K}(n,\gamma)^{42}\text{K}$ ,  $t_{1/2}=12,6$  óra,  $\beta^-$ ,  $\gamma$
- Ca-45:  $^{44}\text{Ca}(n,\gamma)^{45}\text{Ca}$ ,  $t_{1/2}=163$  nap,  $\beta^-$
- Cr-51:  $^{50}\text{Cr}(n,\gamma)^{51}\text{Cr}$ ,  $t_{1/2}=27,7$  nap,  $\beta^-$ ,  $\gamma$
- Mn-54:  $^{56}\text{Fe}(d,\alpha)^{54}\text{Mn}$ ,  $^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$   $^{55}\text{Mn}(n,2n)^{54}\text{Mn}$ ,  
 $t_{1/2}=312$  nap, EX, $\gamma$
- Fe-52/Mn-52m generátor:  $^{58}\text{Ni}(p,\text{spalláció})^{52}\text{Fe}$ ; Mn-52  $\beta^+$

- Fe-55:  $^{54}\text{Fe}(n, \gamma)^{55}\text{Fe}$ ,  $^{55}\text{Mn}(d,p)^{55}\text{Fe}$ ,  $t_{1/2}=2,7$  év, EX
- Fe-59: többszörös  $(n, \gamma)$ ,  $t_{1/2}=44,5$  nap,  $\beta^-$ ,  $\gamma$
- Co-60:  $^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$ ,  $t_{1/2}=5,5$  év, 2 kemény gamma, besugárzások
- Ni-63:  $^{62}\text{Ni}(n, \gamma)^{63}\text{Ni}$ ,  $t_{1/2}=100$  év,  $\beta^-$
- Cu:  $^{63}\text{Cu}(n, \gamma)^{64}\text{Cu}$ ,  $t_{1/2}=12,7$  óra,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ ,  
 $^{65}\text{Cu}(n, \gamma)^{66}\text{Cu}$ ,  $t_{1/2}=5$  min,  $\beta^-$ ,  
Hordozómentesen:  $^{64}\text{Zn}(n,\gamma)^{65}\text{Zn}$ ,  $^{64}\text{Zn}(n,p)^{64}\text{Cu}$ ,  
 $t_{1/2}=12,7$  óra, elektrolízis
- Zn-65: lásd réznél,  $t_{1/2}=244$  nap, EX,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ ,
- Ga-67: ciklotronban
- Ge-68-Ga-68: generátor, hasadványból nyerik, komplexek orvosi alkalmazása  

$$^{68}\text{Ge} \xrightarrow{288\text{nap}} ^{68}\text{Ga} \xrightarrow{68\text{óra}} ^{68}\text{Zn}$$
- $^{75}\text{As}(n,\gamma)^{76}\text{As}$ : szerves vegyületet sugároznak be, As kiszakad- Szilárd-Chalmers hatás

- Se, Br, ritkaföldfémek: hasadványként, kiégett fűtőelemekből nyerik. Egészségügyi célra ritkán használják, mert a hosszú felezési idejű hasadványok is benne maradnak. Tisztán: a target tisztítása pl. tömegspektrométerrel
- Br-80:  $^{79}\text{Br}(n,\gamma)^{80}\text{Br}$ ,  $t_{1/2}=4,6$  óra, és 18 min izomer átalakulás, EX,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$
- Br-82:  $^{81}\text{Br}(n,\gamma)^{82}\text{Br}$ ,  $t_{1/2}=35,9$  óra,  $\beta^-$ ,  $\gamma$
- Kr-85: hasadási termék, levegőbe kerül. Mérésével lehet tudni, mennyit reprocesszálnak. A Kr-töltésű izzókban bomlik
- Rb-86:  $^{85}\text{Rb}(n,\gamma)^{86}\text{Rb}$ ,  $t_{1/2}=18,7$  nap,  $\beta^-$ ,  $\gamma$
- Sr-85: Mo(p,spalláció) $^{85}\text{Sr}$ ,  $t_{1/2}=65$  nap, EX,  $\gamma$
- Sr-89:  $^{88}\text{Sr}(n,\gamma)^{89}\text{Sr}$ ,  $t_{1/2}=50$  nap,  $\beta^-$
- Sr-90, hasadványból nyerik,  $t_{1/2}=29$  év,  $\beta^-$ ,
- Y-90: Sr-90-Y-90 generátor
- Tc-99m: Mo-99-Tc-99m generátor, hasadványként
- Ru, Rh, Pd: (n,  $\gamma$ ) reakciók, jelentősége kicsi

- $^{109}\text{Ag}(n, \gamma)^{110\text{m}}\text{Ag} \rightarrow ^{110}\text{Ag}$ ,  $t_{1/2}=250$  nap,  $\beta^-$ ,  $\gamma$   
hordozómentesen:  $^{110}\text{Pd}(n, \gamma)^{111}\text{Pd}$ :  $\beta^-$ -bomlással  $^{111}\text{Ag}$   
Kinyerése: amin-komplexek elektrolízise
- Cd-115m:  $^{114}\text{Cd}(n, \gamma)^{115\text{m}}\text{Cd}$ ,  $t_{1/2}=44,6$  nap,  $\beta^-$ ,  $\gamma$
- In-111: ciklotronban,  $t_{1/2}=2,8$  nap,  $\gamma$
- In-114:  $^{113}\text{In}(n, \gamma)^{114}\text{In}$ .  $\gamma$ . Neutrongenerátorok hozamának mérése
- In-114m:  $^{113}\text{In}(n, \gamma)^{114\text{m}}\text{In}$ .  $t_{1/2}=50$  nap,  $\beta^-$ , EX,  $\gamma$
- Sn-117m:  $t_{1/2}=14$  nap,  $\beta^-$ , EX,  $\gamma$
- I-123: Xe-123-ból keletkezik, ciklotron,  $t_{1/2}=13$  óra, EX,  $\gamma$ ,  
terhes nők, gyerekek
- I-125:  $t_{1/2}=60$  nap, EX,  $\gamma$
- I-131:  $^{130}\text{Te}(n, \gamma)^{131}\text{Te} \rightarrow ^{131}\text{I}$ :  $t_{1/2}=8$  nap,  $\beta^-$ ,  $\gamma$
- Xe:  $\approx$ Kr, reprocesszálás

- Cs: urán hasadványa
  - Cs-134,  $^{133}\text{Cs}(n, \gamma)^{134}\text{Cs}$ ,  $t_{1/2}=2$  év,  $\beta^-$ ,  $\gamma$
  - Cs-137,  $t_{1/2}=30$  év,  $\beta^-$ , majd  $^{137m}\text{Ba} \xrightarrow{\gamma, 662\text{keV}} ^{137}\text{Ba}$

Hasadásnál meghatározott arányban keletkeznek, majd Cs-134 gyorsabban bomlik – szennyezés
- Re-186:  $^{185}\text{Re}(n, \gamma)^{186}\text{Re}$ ,  $t_{1/2}=90,6$  óra,  $\beta^-$ , orvosi alkalmazás
- Ir-192:  $^{191}\text{Ir}(n, \gamma)^{192}\text{Ir}$ ,  $t_{1/2}=74$  nap,  $\beta^-$ , EX,  $\gamma$ 

(Ir-191: Mössbauer-mag, a hatás felfedezése is ezzel történt)
- Au-198:  $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$ ,  $t_{1/2}=2,7$  nap,  $\beta^-$ ,  $\gamma$ , Au kolloid aszkorbinsavas redukcióval- rákterápiánál használták
- Hg-203:  $^{202}\text{Hg}(n, \gamma)^{203}\text{Hg}$ :  $t_{1/2}=46,6$  nap,  $\beta^-$ ,  $\gamma$
- A nagyobb rendszámúakat természetes radioaktív sorokból nyerik, kivéve:
- At-211: ciklotron,  $t_{1/2}=7,21$  óra,  $\alpha$  – orvosi alkalmazások
- Transzuránok

# Transzurán elemek előállítása

Rendszám	Név	Előállítás ideje, helye	Magreakció
93	Neptunium	1940 USA	$^{238}\text{U}(n, \gamma)^{239}\text{U} \xrightarrow{\beta^-} ^{239}\text{Np}$ $^{238}\text{U}(d, n)^{239}\text{Np}$ $^{238}\text{U}(n, 2n)^{237}\text{U} \xrightarrow{\beta^-} ^{237}\text{Np}$
94	Plutonium	1941 USA	$^{238}\text{U}(p, 2n)^{238}\text{Np} \xrightarrow{\beta^-} ^{238}\text{Pu}$ $^{238}\text{U}(n, \gamma)^{239}\text{U} \xrightarrow{\beta^-} ^{239}\text{Np} \xrightarrow{\beta^-} ^{239}\text{Pu}(n, \gamma)^{240}\text{Pu}(n, \gamma)^{241}\text{Pu}$
95	Americium	1944-45 USA	$^{238}\text{U}(\alpha, n)^{241}\text{Pu} \xrightarrow{\beta^-} ^{241}\text{Am}$ $^{239}\text{Pu}(n, \gamma)^{240}\text{Pu} \xrightarrow{\beta^-} ^{240}\text{Am}$ $^{240}\text{Pu}(n, \gamma)^{241}\text{Pu} \xrightarrow{\beta^-} ^{241}\text{Am}$
96	Curium	1944 USA	$^{239}\text{Pu}(\alpha, n)^{242}\text{Cm}$ $^{241}\text{Am}(n, \gamma)^{242}\text{Am} \xrightarrow{\beta^-} ^{242}\text{Cm}$

Rendszám	Név	Előállítás ideje, helye	Magreakció
97	Berkelium	1950 USA	$^{241}\text{Am}(\alpha, 2n)^{243}\text{Bk}$
98	Californium	1950 USA	$^{242}\text{Cm}(\alpha, 2n)^{244}\text{Cf}$
99	Einsteinium	1952 USA	$^{238}\text{U}(^{14}\text{N}, 6n)^{246}\text{Es}$
100	Fermium	1952 USA	$^{238}\text{U}(^{16}\text{O}, 4n)^{250}\text{Fm}$ $^{238}\text{U}(^{18}\text{O}, 4n)^{252}\text{Fm}$
101	Mendelevium	1955 USA	$^{252}\text{Es}(\alpha, n)^{256}\text{Md}$
102	Nobelium	1959 USA 1964 SzU	$^{241}\text{Pu}(^{16}\text{O}, 5n)^{252}\text{No}$ $^{246}\text{Cm}(^{12}\text{C}, 4n)^{254}\text{No}$ $^{248}\text{Cm}(^{12}\text{C}, 4n)^{256}\text{No}$
103	Lawrencium	1961 USA 1965 SzU	$^{250,1,2}\text{Cf}(^{10,11}\text{B}, 2 - 5n) \text{ Lr}$ $^{243}\text{Am}(^{18}\text{O}, 5n)^{256}\text{Lr}$

Rendszám	Név	Előállítás ideje, helye	Magreakció
104	<b>Rutherfordium</b> Kurcsatovium Dubnium	1964 SzU(?) 1969 USA	$^{249}\text{Cf}(^{12}\text{C},4\text{n})^{257}\text{Rf}$ $^{249}\text{Cf}(^{13}\text{C},3\text{n})^{259}\text{Rf}$ $^{242}\text{Pu}(^{22}\text{Ne},4\text{n})^{260}\text{Rf}$
105	<b>Dubnium</b> Hahnium Joliotium	1968 SzU 1970 USA	$^{249}\text{Cf}(^{15}\text{N},4\text{n})^{260}\text{Du}$ $^{243}\text{Am}(^{22}\text{Ne},5\text{n})^{260}\text{Du}$ $^{243}\text{Am}(^{22}\text{Ne},4\text{n})^{261}\text{Du}$
106	<b>Seaborgium</b> Rutherfordium	1974 USA SzU	$^{249}\text{Cf}(^{18}\text{O},4\text{n})^{263}\text{Sg}$ $^{207}\text{Pb}(^{54}\text{Cr},2\text{n})^{259}\text{Sg}$ $^{208}\text{Pb}(^{54}\text{Cr},3\text{n})^{259}\text{Sg}$
107	<b>Bohrium</b> Nielsbohrium	1981 GDR	$^{209}\text{Bi}(^{54}\text{Cr},\text{n})^{262}\text{Bh}$
108	Hassium	1984 GDR	$^{208}\text{Pb}(^{58}\text{Fe},\text{n})^{265}\text{Hs}$



Rendszám	Név	Előállítás ideje, helye	Magreakció
109	Meitnerium	1982 NSZK	$^{209}\text{Bi}(^{58}\text{Fe}, n)^{266}\text{Mt}$
110	Darmstadtium	1994 Németország 1991-94 USA 1994 USA Oroszország	$^{208}\text{Pb}(^{62}\text{Ni}, n)^{269}\text{Ds}$ $^{208}\text{Pb}(^{64}\text{Ni}, n)^{271}\text{Ds}$ $^{209}\text{Bi}(^{59}\text{Co}, n)^{267}\text{Ds}$ $^{244}\text{Pu}(^{34}\text{S}, 5n)^{273}\text{Ds}$
111	Roentgenium	1994 Németország	$^{209}\text{Bi}(^{64}\text{Ni}, n)^{272}\text{Rg}$
112	Copernicium	1996 Németország	$^{208}\text{Pb}(^{70}\text{Zn}, n)^{277}\text{Cn}$

Rendszám	Név	Előállítás ideje, helye	Magreakció
113		2003 Oroszország	A Z=115 rendszámú elem alfa-bomlásával
114		1998 Oroszország	$^{244}\text{Pu}(^{48}\text{Ca},4n)^{288}$ $^{244}\text{Pu}(^{48}\text{Ca},3n)^{289}$
115		2004 USA-Oroszország	$^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca},4n)^{287}$ $^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca},3n)^{288}$ $^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca},xn)^{291-x}$
116		2001 Oroszország	$^{248}\text{Cm}(^{48}\text{Ca},4n)^{292}$
118		1999 USA(?)	$^{208}\text{Pb} + ^{86}\text{Kr}$  3 atomot állítottak elő

# Transzurán elemek előállítása

- Np-Cm: uránból  $(n,\gamma)$  magreakciókkal, majd azt követő béta-bomlásokkal, illetve az ilyen módon előállított újabb elemek (Pu, Am) további  $(n,\gamma)$  reakcióival és béta-bomlásával. Ezek azok a transzuránok, amelyek az atomreaktorokban is keletkeznek, egy részük szintén hasadóanyag, ami egyrészt a reaktorok működésében szerepet játszik, illetve onnan kinyerhető és újabb hasadóanyagként használható.

# Transzurán elemek előállítása

- Cm után: töltött részecskékkel történő besugárzással
  - A töltött részecske a kaliforniumig alfa-részecske, ezt követően a rendszámok ill. tömegszámok növekedésével egyre nehezebb atommag.
- 60-as évektől Szovjetúnió (Oroszország) : politikai verseny
- Az új elemek elnevezés: minden felfedező nevet is adott az új elemnek, akkor is, ha annak már volt.
- IUPAC 1997: jelenlegi nevek, utolsó három név: 2012-ben
- Stratégiák eltérése
  - USA: arra törekedtek, hogy az új transzurán elemeket minél kisebb besugárzó részecskével állítsák elő. Ehhez nagyobb rendszámú target anyagot kell előállítani nagyobb mennyiségben.
  - SZU: alacsonyabb rendszámú targetanyagot sugároztak be nagyobb részecskékkel. Ehhez egyre nagyobb teljesítményű gyorsítókra volt szükség.

