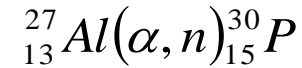
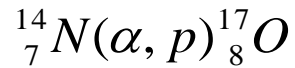
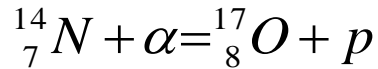


# Magreakciók

# Első magreakciók



Targetmag

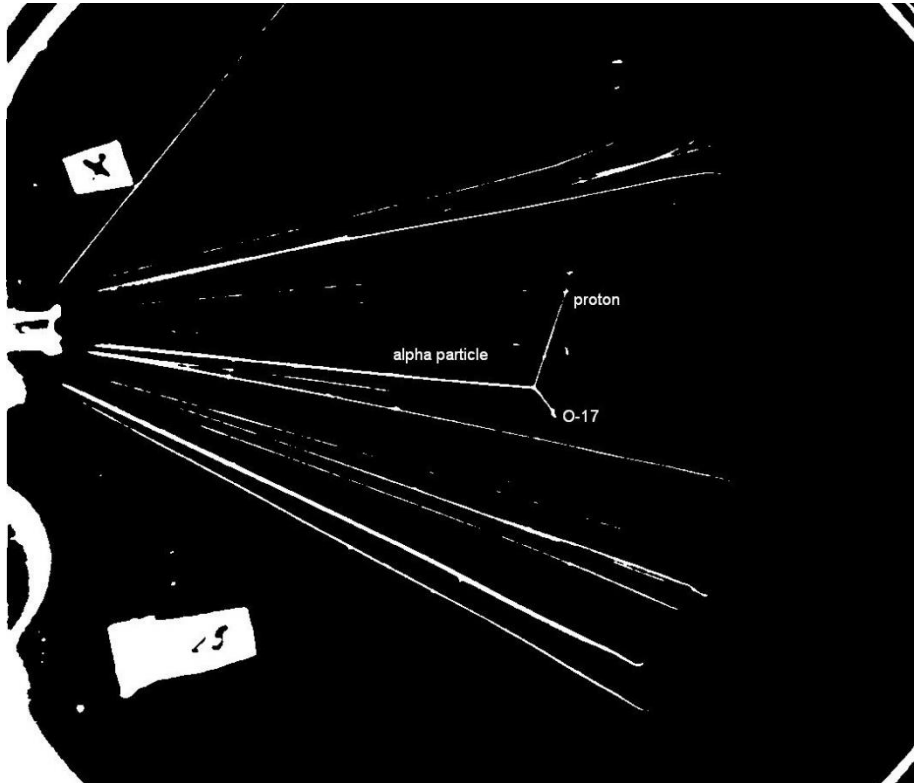
Megmaradási elvek:

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

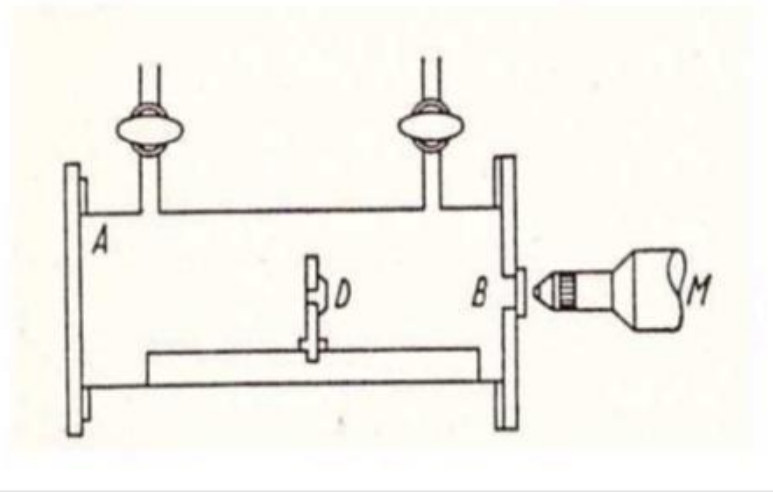
Exoterm és endoterm magreakciók

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

$\Phi$  a besugárzó részecske fluxusa

$\sigma$  a hatáskeresztmetszet, 1  
barn= $10^{-24}$  cm<sup>2</sup>

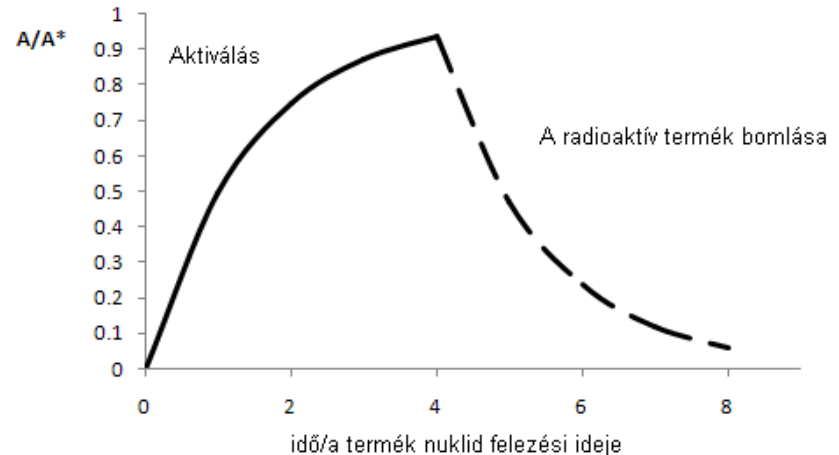
$\lambda$  a termékmag bomlási állandója

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

Besugárzás megszűnte után:

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

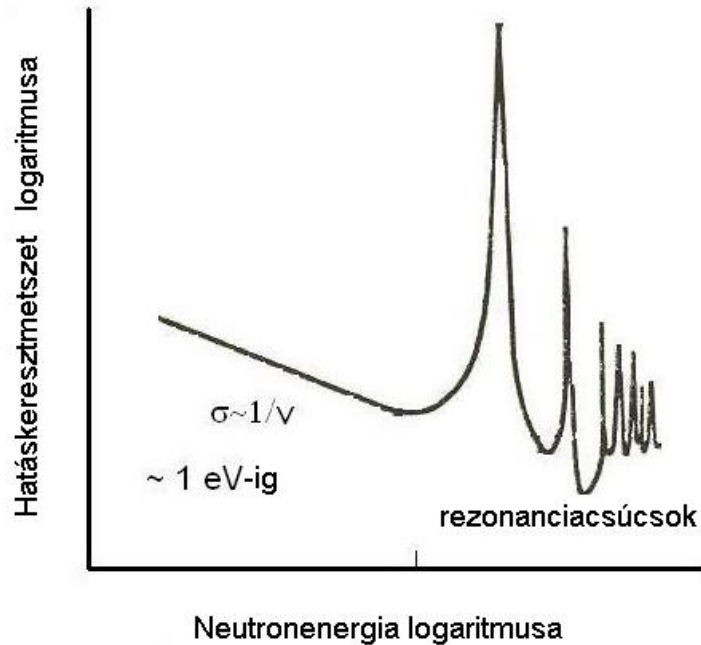
Aktivitással kifejezve:  $A^* = \lambda N^* = \lambda N_{\infty} (1 - e^{-\lambda t_{besug}}) e^{-\lambda t} = A_{\infty} (1 - e^{-\lambda t_{besug}}) e^{-\lambda t}$



# A magreakciók csoportosítása

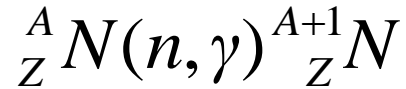
	Belépő részecske	Magreakciók
Töltés nélküli részecske	neutron	$n,\gamma$ ; $n,p$ ; $n,\alpha$ ; $n,2n$ ; $n,f$ (hasadás)
	gamma-foton	$\gamma,n$ ; $\gamma,p$
Töltött részecske	proton	$p,\gamma$ ; $p,n$ ; $p,\alpha$
	deuteron	$d,n$ ; $d,p$ ; $d,\alpha$ ; $d,2n$
	alfa	$\alpha,n$ ; $\alpha,p$
	nehezebb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

# Magreakciók neutronokkal

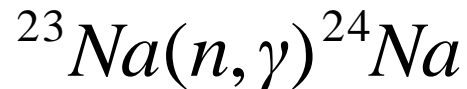


<0,01 eV lassú vagy termikus  
>100 keV gyors  
epitermikus neutronok

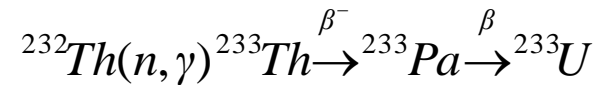
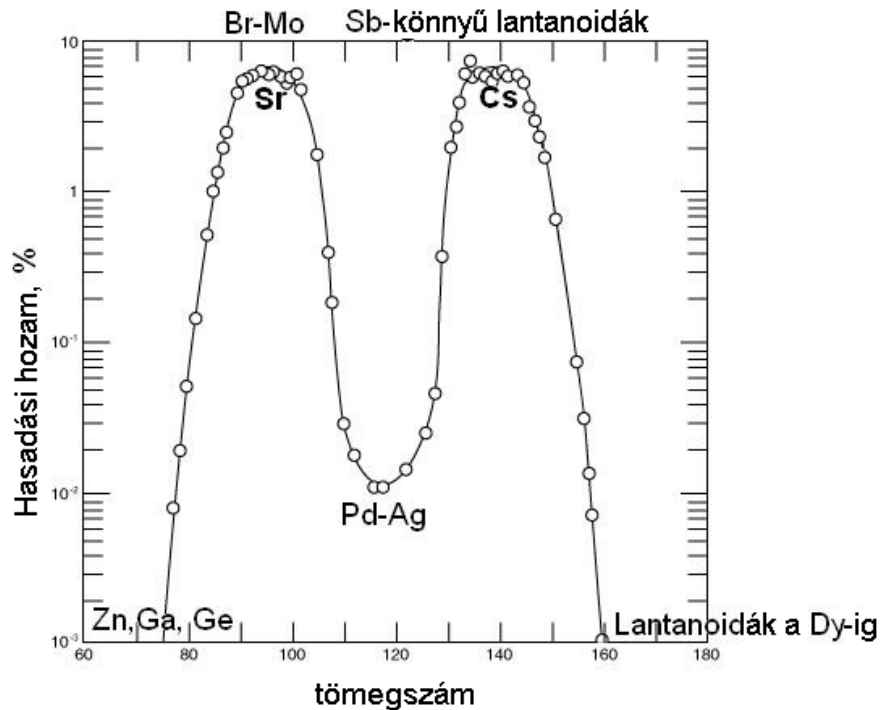
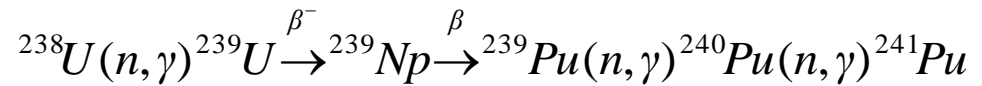
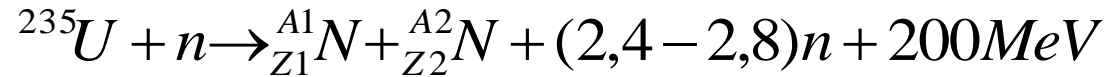
Hatáskeresztmetszet  $\sim 1/v$   
Rezonanciacsúcsok



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



# (n,f): hasadás lassú neutronok hatására

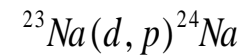
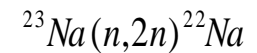
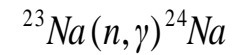
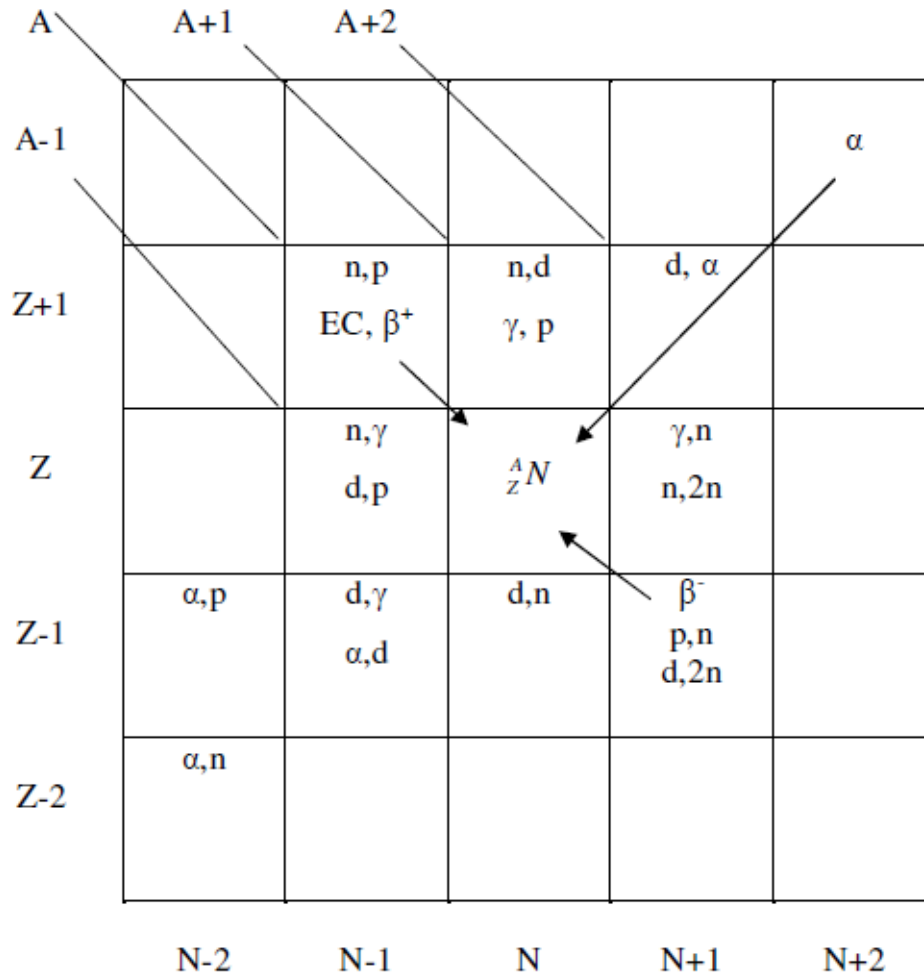




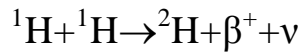
# Magreakciók töltött részecskékkel

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

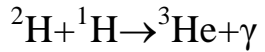
# Z rendszámú, A tömegszámú mag keletkezése magreakciókban és radioaktív bomlással



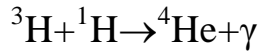
# Termonukleáris reakciók



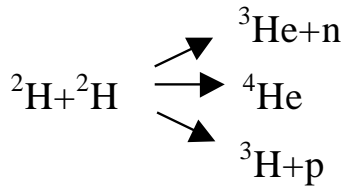
$$\Delta E = -0,44 \text{ MeV}$$



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



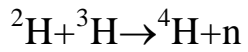
$$\Delta E = -19,8 \text{ MeV}$$



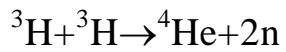
$$\Delta E = -3,27 \text{ MeV}$$

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

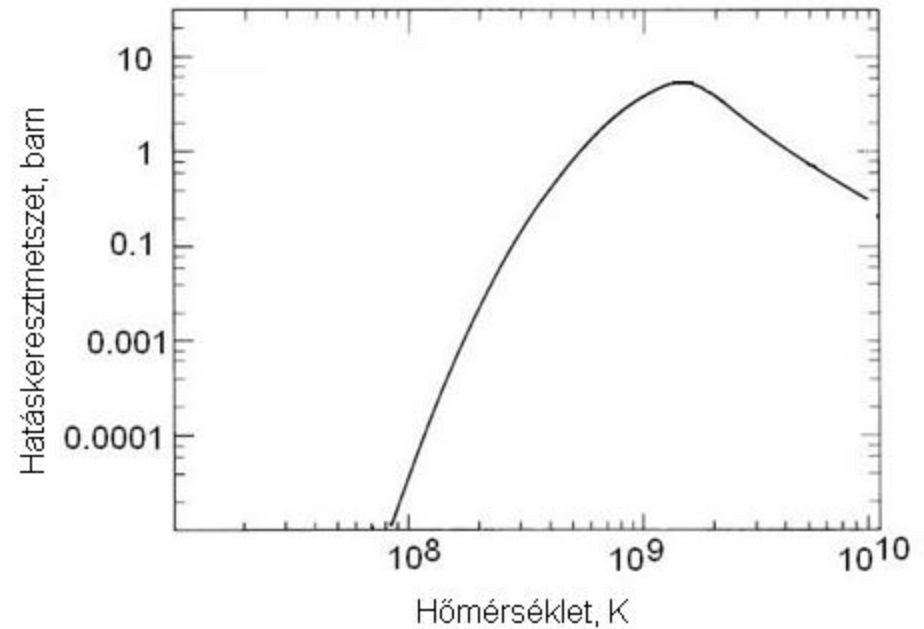
$$\Delta E = -4,03 \text{ MeV}$$



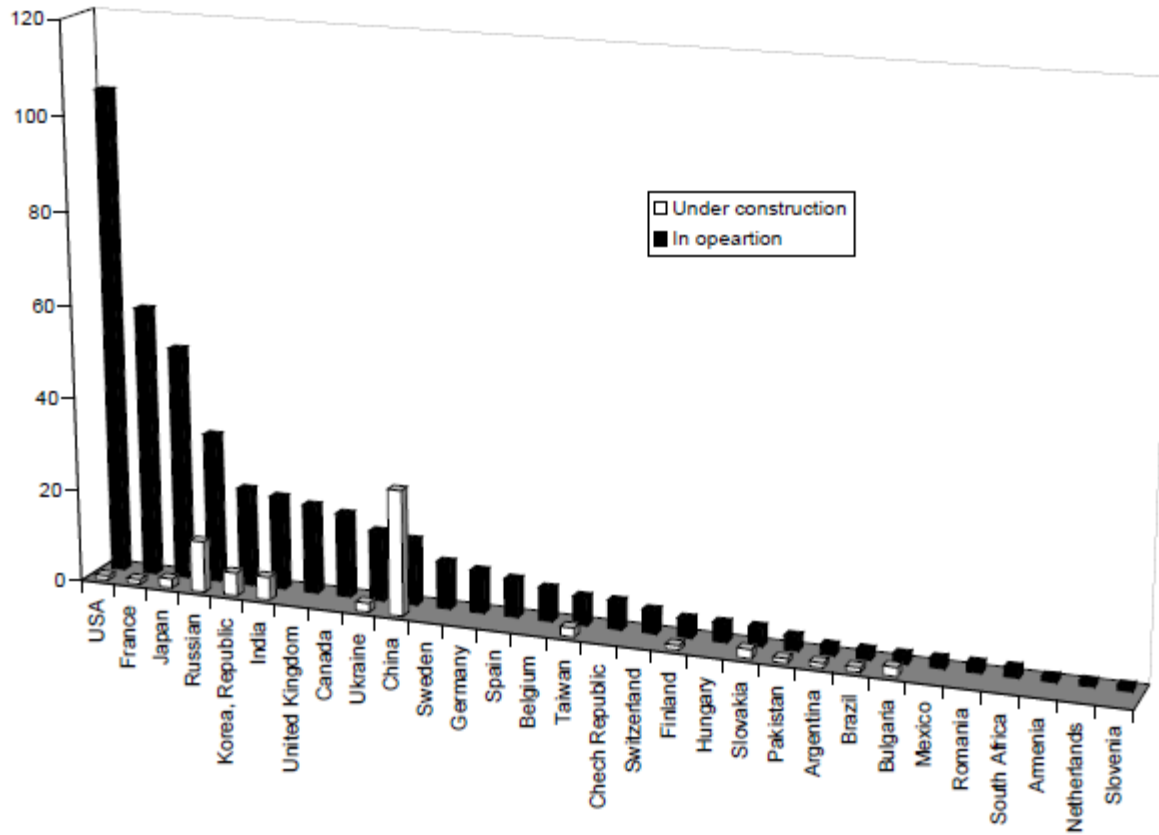
$$\Delta E = -17,59 \text{ MeV}$$

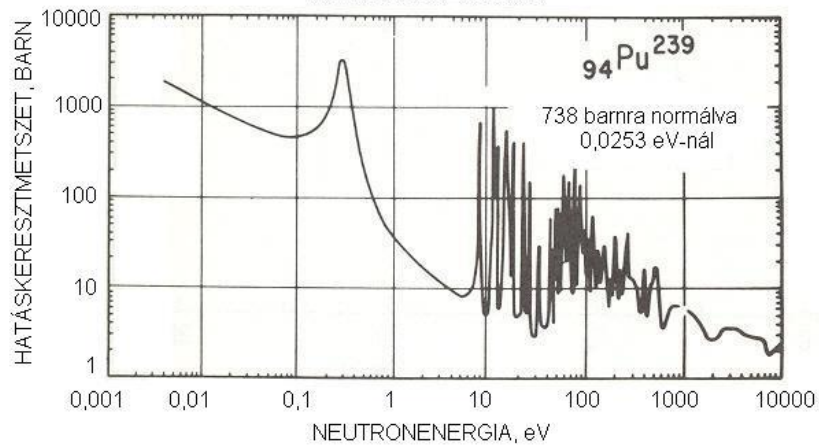
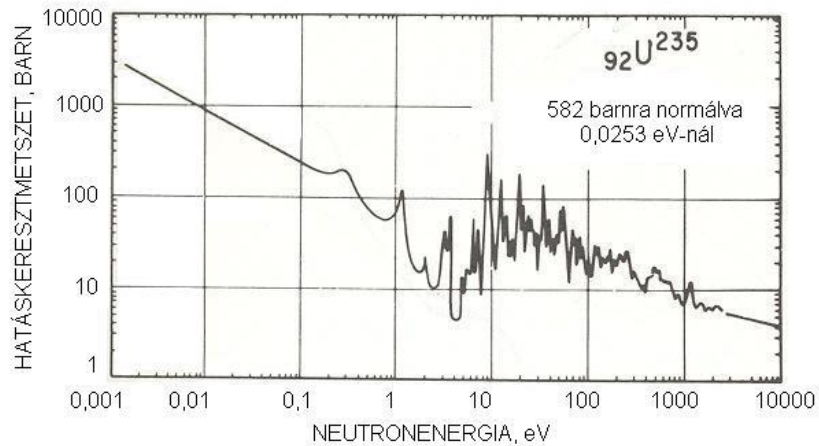
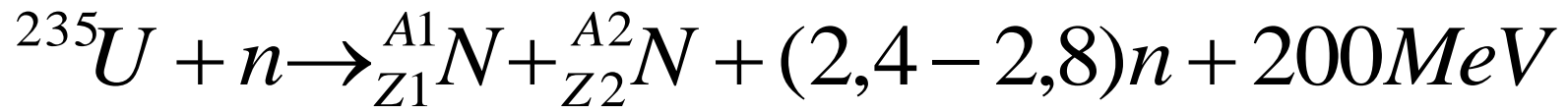


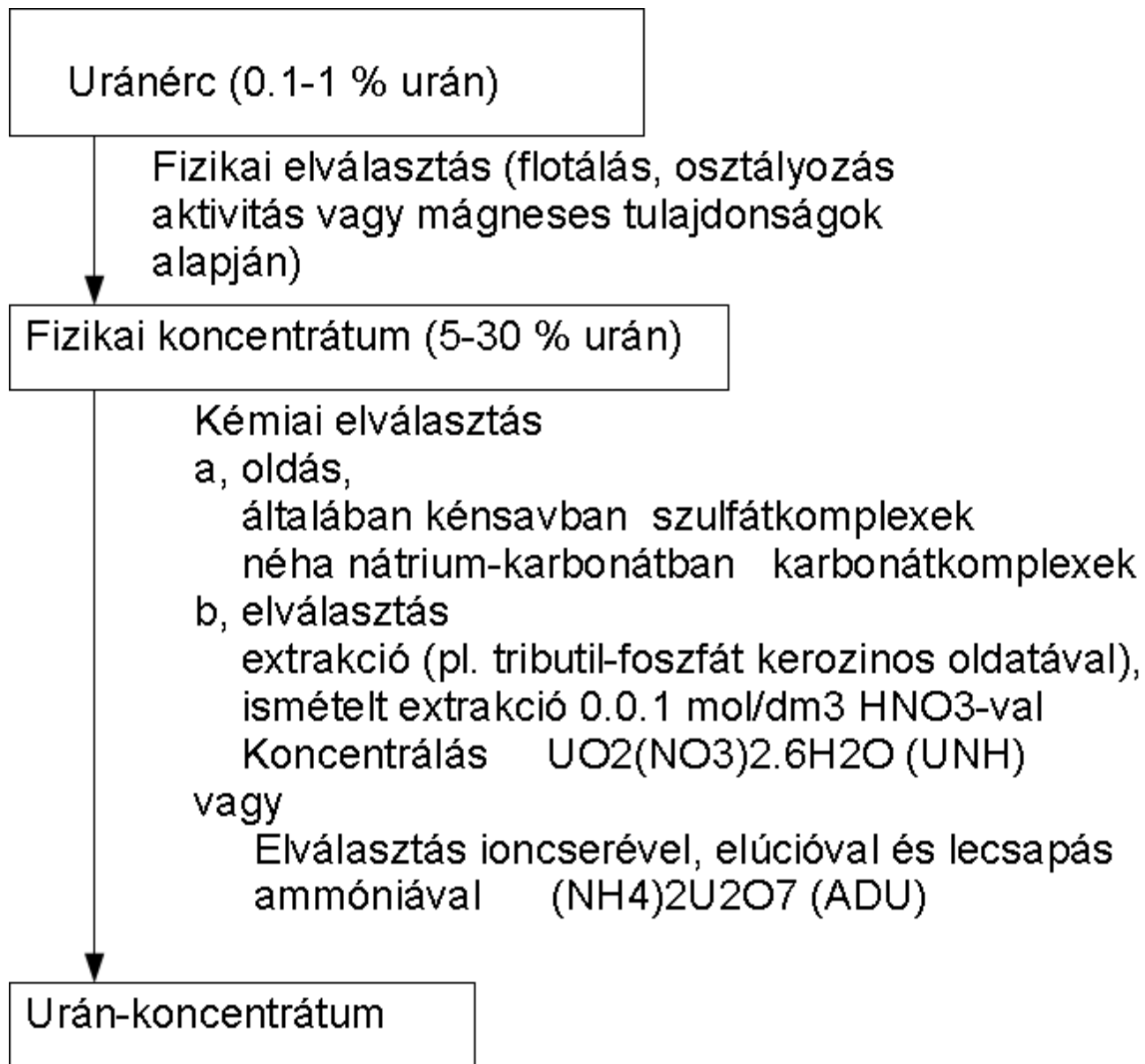
$$\Delta E = -11,32 \text{ MeV}$$

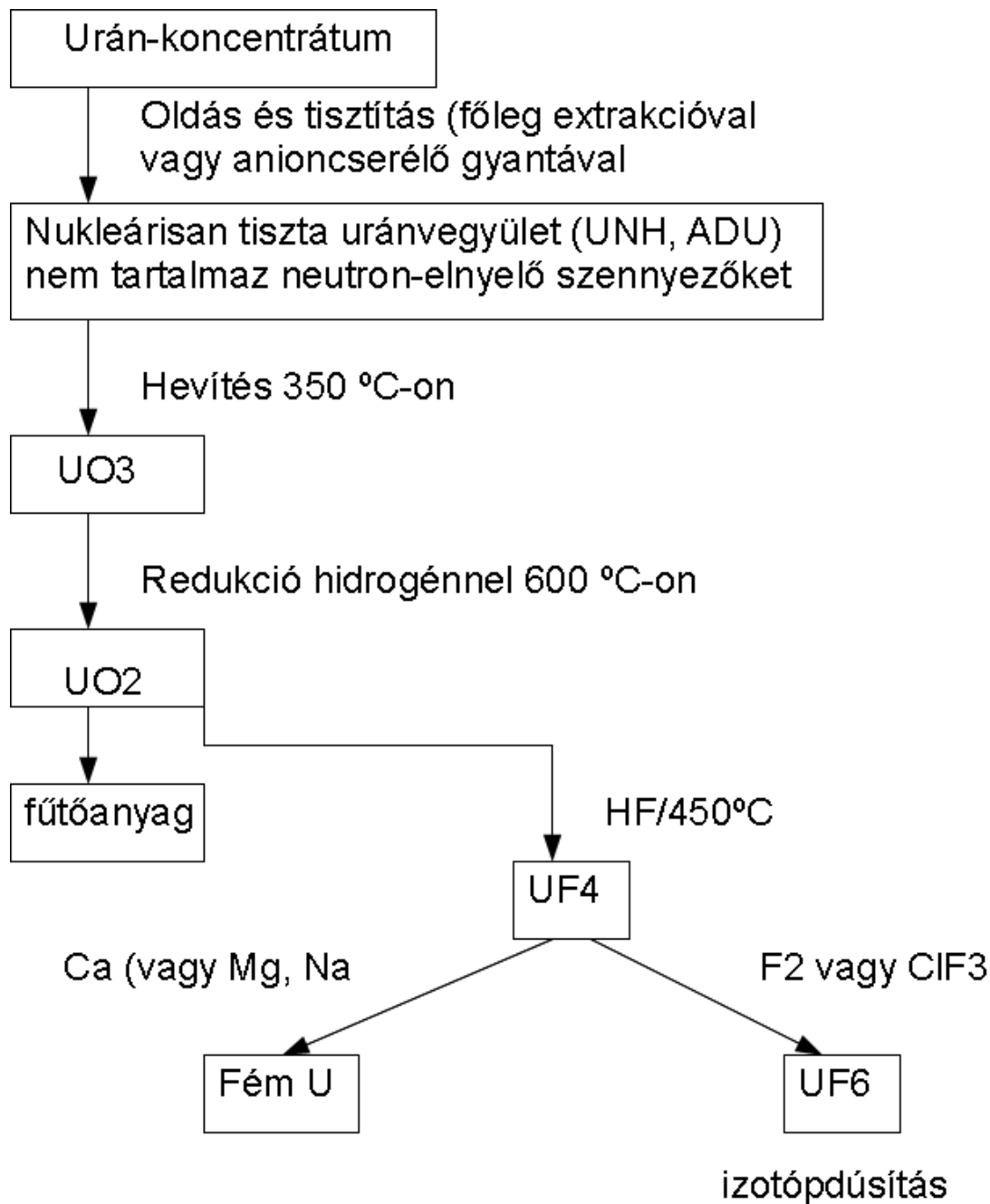


# Atomreaktorok

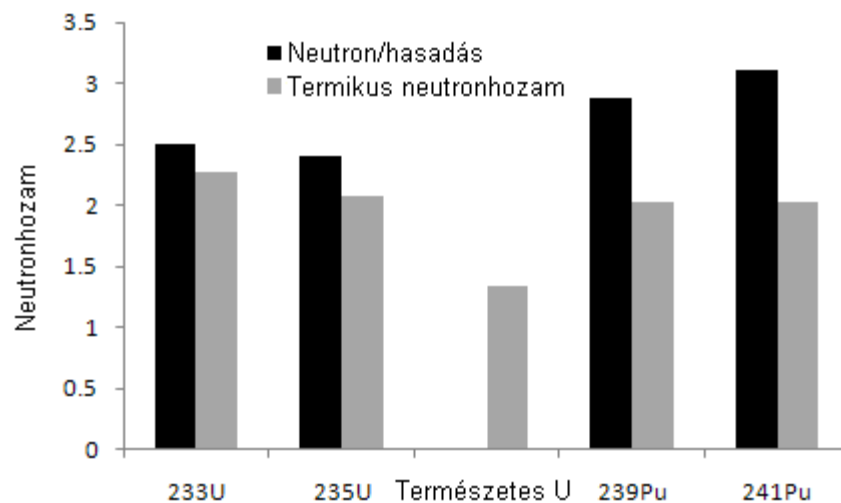
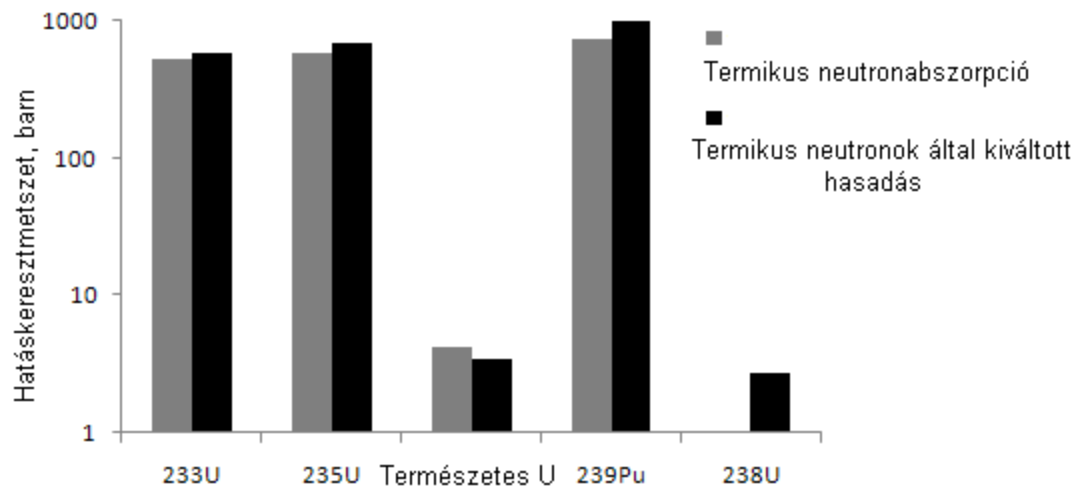








# Reaktor-üzemanyagok jellemzői





$$k = \frac{n_{sz}}{n_p}$$

k sokszorozási tényező  
 $n_p$  primer neutronok száma  
 $n_{sz}$  szekunder neutronok száma

$k < 1$  szubkritikus

$k = 1$  kritikus

$k > 1$  superkritikus.

Természetben is: Oklo

$$k_{\infty} = \varepsilon p f \eta$$

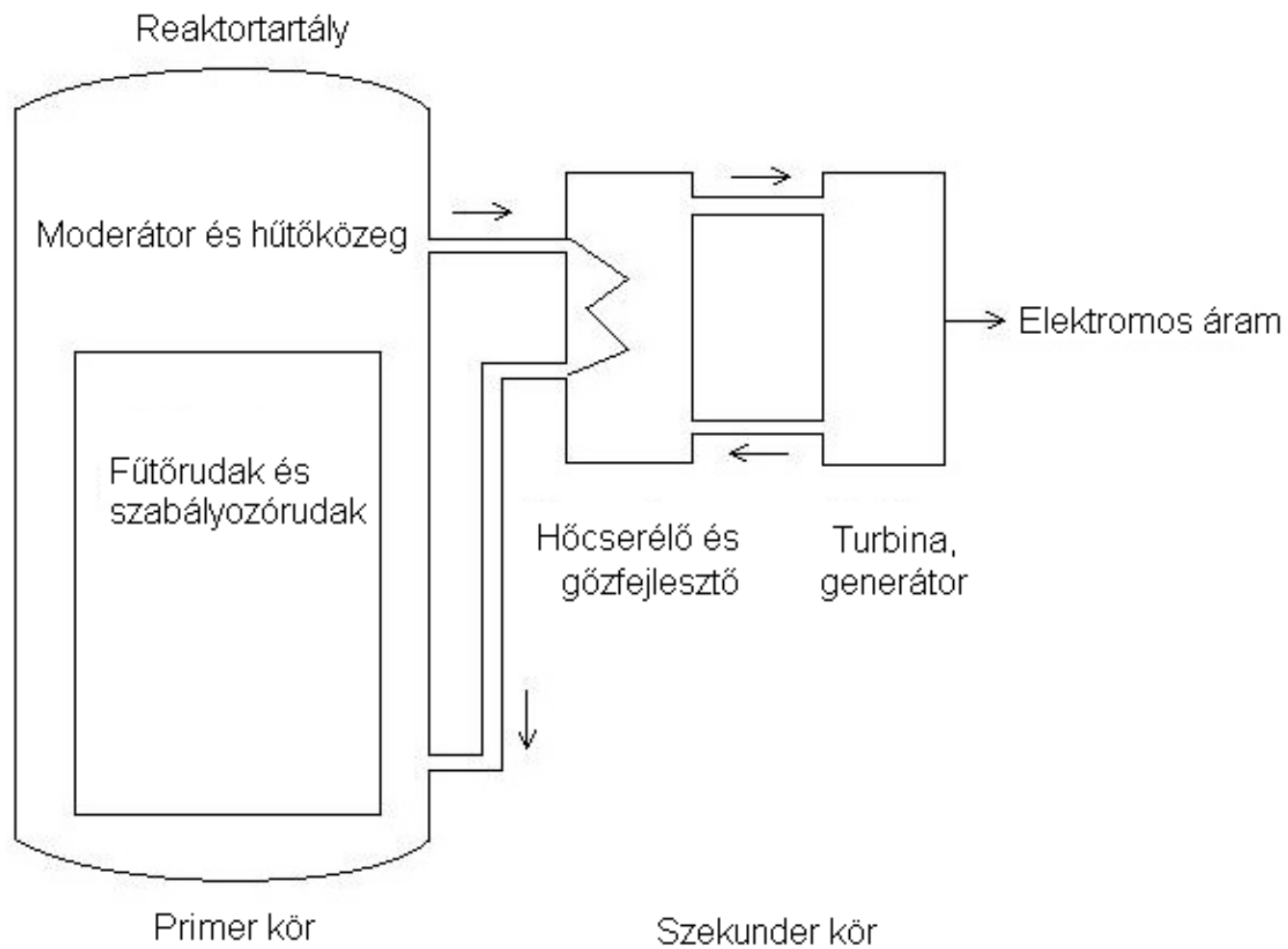
$\varepsilon$  a gyorsasítási tényező  
 $p$  a rezonanciabefogás kikerülési tényező  
 $f$  a termikus hasznosítási tényező  
 $\eta$ : a termikus neutronhozam

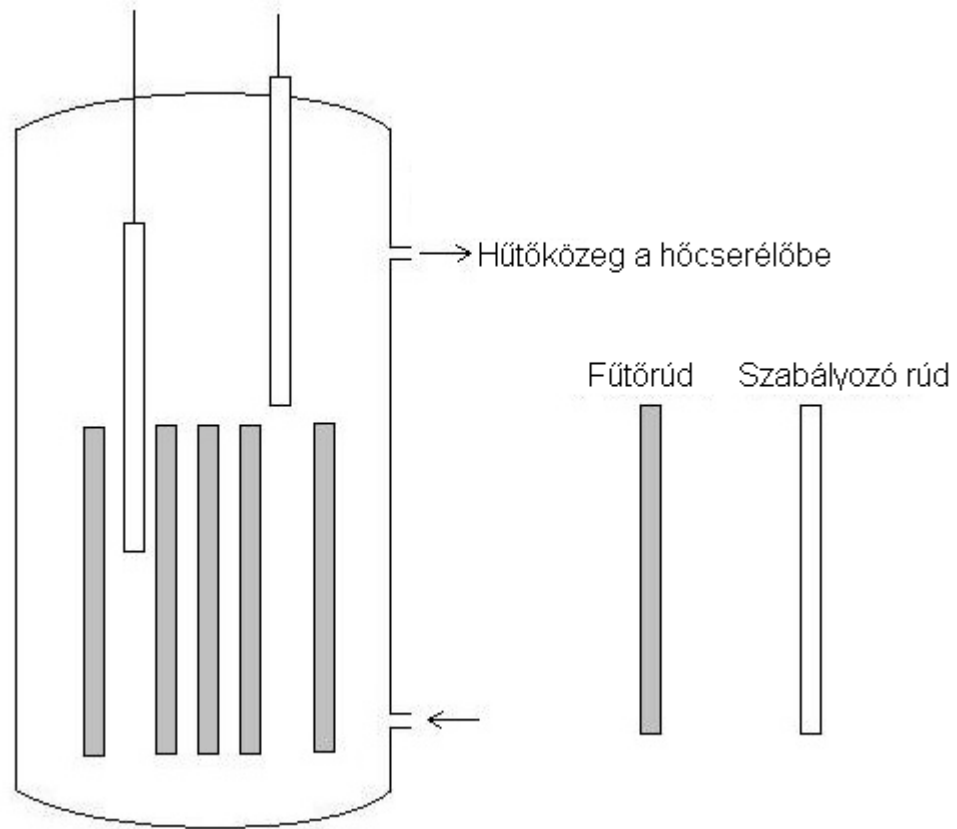
$$q = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}}$$

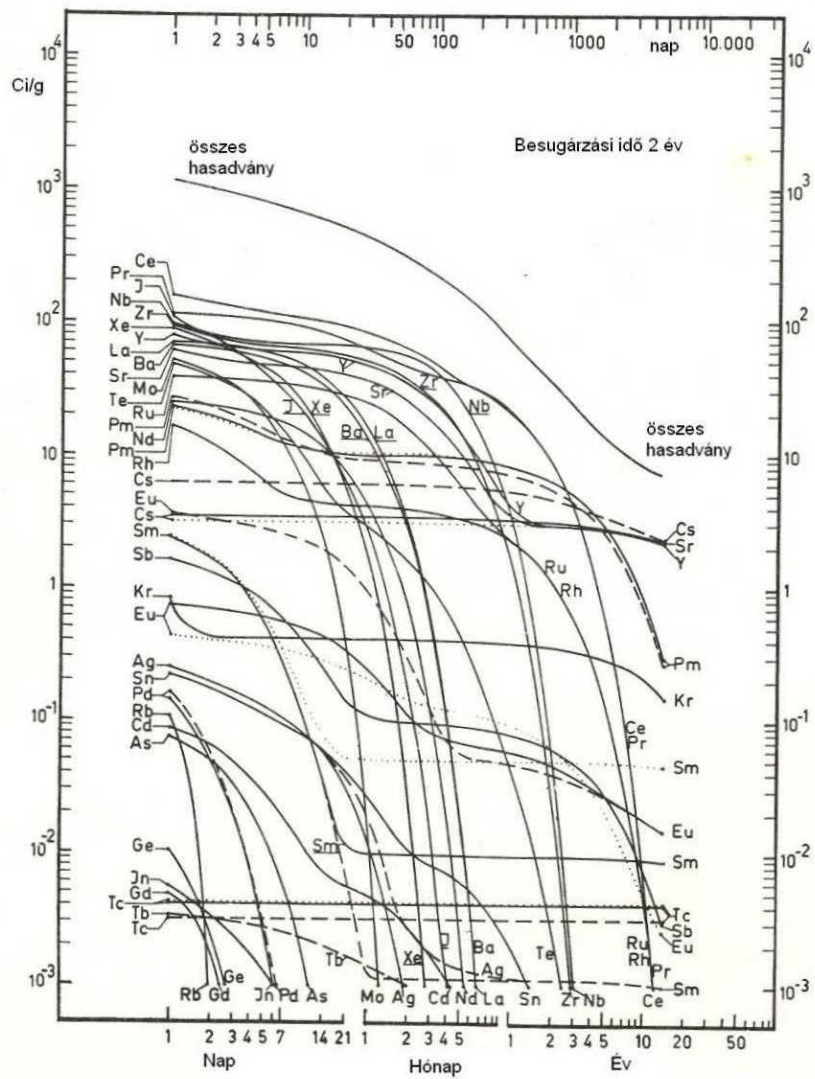
$q$  reaktivitás  
 $k_{eff}$  effektív sokszorozási tényező

# Az atomreaktor részei

- Üzemanyag
  - $^{235}\text{U}$ -ban dúsított (3-3,6 %)  $\text{UO}_2$ ,  $\text{PuO}_2$ , MOX: mixed oxide
- Moderátor
  - A hasadás során keletkező gyors neutronokat lassítja termikussá
  - **Víz**, nehéz víz, grafit, esetleg egyéb könnyű elemek
- Reflektor
  - A kiszökő neutronok visszatérítése, anyaga a moderátorok anyaga
- Hűtőkörök
  - Víz, primer és szekunder kör
- A reaktorok szabályozása
  - Rudak: bórkarbid
  - Oldat: bórsav
- Árnyékolás







# A paksi VVER-440 reaktor üzemanyagának fontosabb paraméterei

VVER: vízhűtésű, vízzel moderált, energiatermelő, termikus, nyomottvizes reaktor	
Elektromos teljesítmény Hőteljesítmény	440 MW 1375 MW
Üzemanyag <sup>235</sup> U-nal dúsított urán, dúsítás A zóna teljes urán-töltete Kémiai formája Fűtőelemek (rudak vagy pálcák) száma Fűtőelem kötegek (kazetták) száma Szabályozó és biztonságvédelmi kazetták száma	1,6-2,4-3,6 % 42 t UO <sub>2</sub> 44000 312 37

<p>UO<sub>2</sub> tableta (pasztilla) méretei</p> <p>átmérő</p> <p>Magasság</p> <p>Belső (tengelyes) furat átmérője</p> <p>Tabletták száma egy rúdban</p> <p>UO<sub>2</sub> sűrűsége</p>	<p>7,65 mm</p> <p>30 mm</p> <p>1,2-2,0 mm</p> <p>≈80</p> <p>10,6-10,97 kg/dm<sup>3</sup></p>
<p>A fűtőelem rúd mérete</p> <p>Külső átmérő</p> <p>hossz</p> <p>falvastagság</p> <p>Rés mérete</p> <p>Töltőgáz</p> <p>Központi furat térfogata</p> <p>Felső plénum térfogata</p> <p>burkolat</p>	<p>9,1 mm</p> <p>2570 mm</p> <p>0,65 mm</p> <p>0,12-0,27 mm</p> <p>He</p> <p>4,7 cm<sup>3</sup></p> <p>4 cm<sup>3</sup></p> <p>1 % Nb-tartalmú Zr</p>

<p>A fűtőelem-köteg jellemzői</p> <p>A fűtőelem-rudak száma egy kötegben</p> <p>Hatszögletű, kulcsméret</p> <p>Egy kötegen belül az urán kezdeti dúsítása azonos</p> <p>Burkolat</p>	<p>126</p> <p>144 mm</p> <p>2,5% Nb-tartalmú Zr</p>
<p>Közepes térfogati hőterhelés a zónára</p> <p>Közepes felületi hőterhelés a fűtőelemre</p> <p>Közepes lineáris hőterhelés a fűtőelemre</p> <p>A kötegek átlagos kiégése 3 év után</p> <p>Max. megengedett felületi U-szennyezettség</p>	<p>84,5 MW/m<sup>3</sup></p> <p>43,8 W/cm<sup>2</sup></p> <p>131 W/cm</p> <p>28600 MWnap/t U</p> <p>10<sup>-9</sup> g <sup>235</sup>U/cm<sup>2</sup></p>
<p>Megengedett inhermetikusság: gáztömörtelenség a fűtőelemek 1 %-ánál</p>	
<p>Makrorepedés (burkolat-felhasadás) a fűtőelemek 0,1 %-ánál</p>	



Moderátor és hőhordozó	Sótalan könnyűvíz
Primerköri hőhordozó tömege nyomása kilépésnél	1,93*10 <sup>5</sup> kg 12,26 MPa
Primerköri bórsav-koncentráció kálium-hidroxid koncentráció ammónia-koncentráció	0-12 g/kg 2-16 mg/kg 0-5 mg/kg
A zárt primerkör 6 hurokból áll, hőátadás a szekunder körnek 1-1 gőzfejlesztőben	
Primerköri víz teljes térfogat-árama	43300 m <sup>3</sup> /h
Részáramú kevertágyas ioncserés víztisztító átlagos térfogatárama	20 m <sup>3</sup> /h

