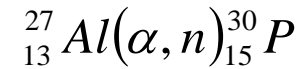
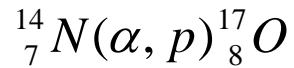
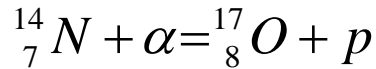


Magreakciók

Első magreakciók



Targetmag

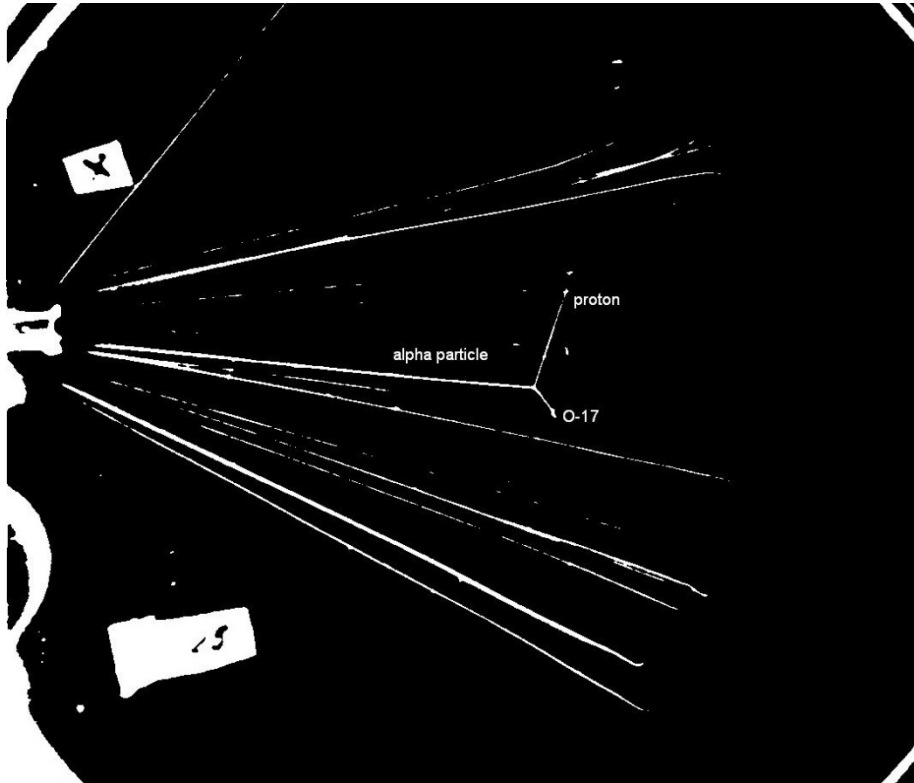
Megmaradási elvek:

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

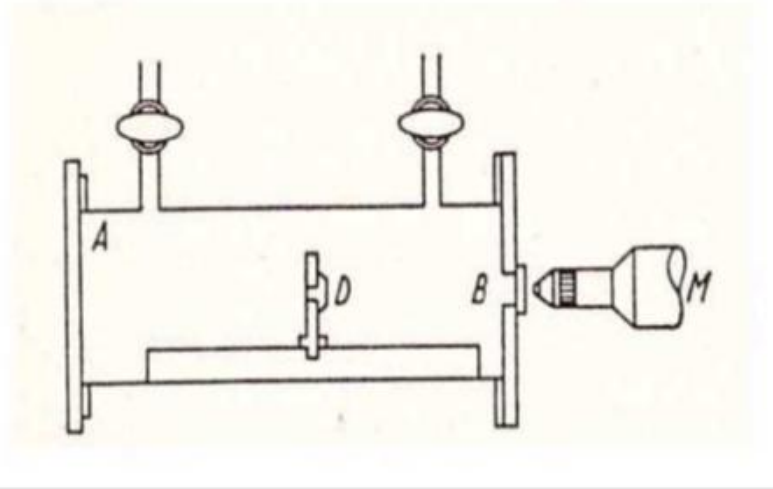
Exoterm és endoterm magreakciók

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

Φ a besugárzó részecske fluxusa

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

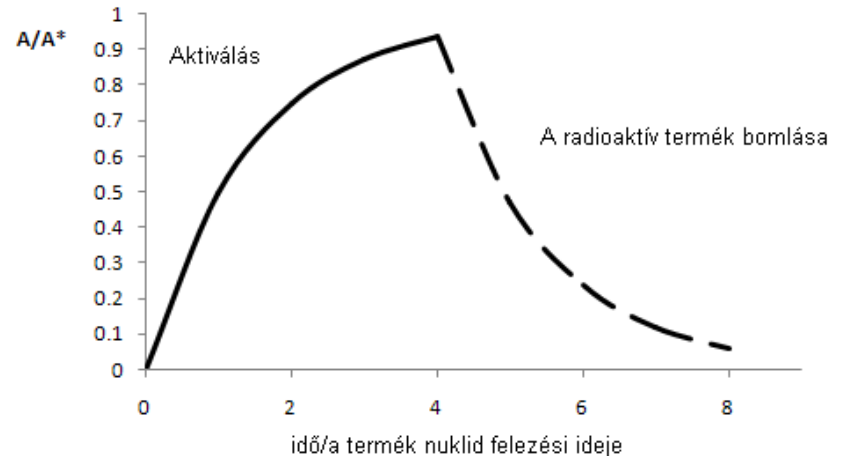
λ a termékmag bomlási állandója

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

Besugárzás megszűnte után:

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

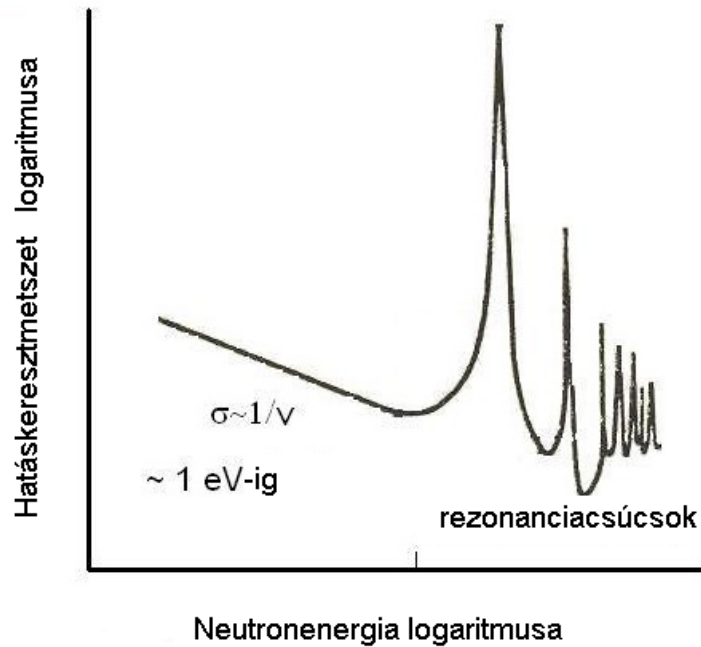
Aktivitással kifejezve: $A^* = \lambda N^* = \lambda N_{\infty} (1 - e^{-\lambda t_{besug}}) e^{-\lambda t} = A_{\infty} (1 - e^{-\lambda t_{besug}}) e^{-\lambda t}$



A magreakciók csoportosítása

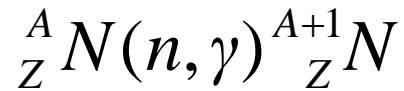
	Belépő részecske	Magreakciók
Töltés nélküli részecske	neutron	n,γ ; n,p ; n,α ; $n,2n$; n,f (hasadás)
	gamma-foton	γ,n ; γ,p
Töltött részecske	proton	p,γ ; p,n ; p,α
	deuteron	d,n ; d,p ; d,α ; $d,2n$
	alfa	α,n ; α,p
	nehezebb magok	lásd transzuránok előállítása

Magreakciók neutronokkal

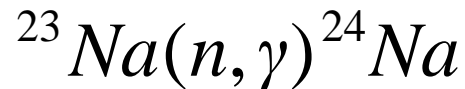


<0,01 eV lassú vagy termikus
>100 keV gyors
epitermikus neutronok

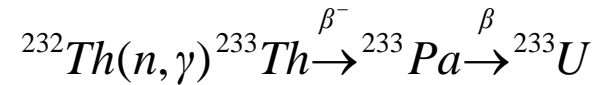
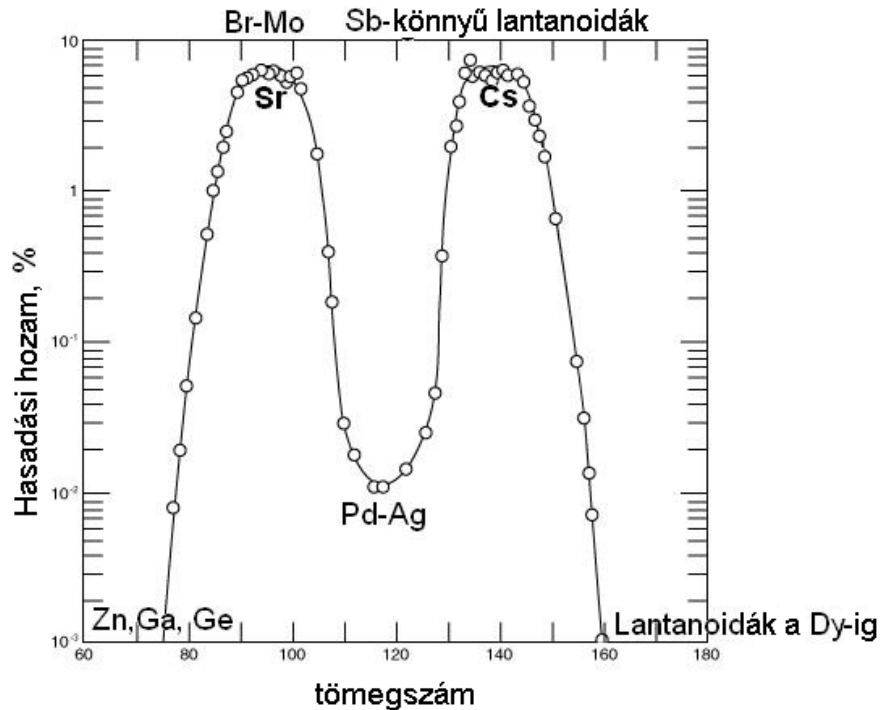
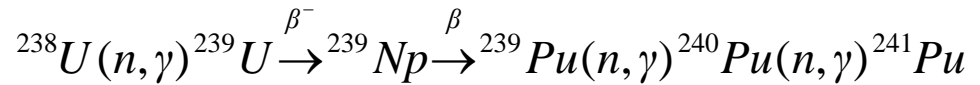
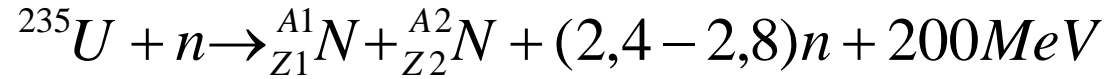
Hatáskeresztmetszet $\sim 1/v$
Rezonanciacsúcsok



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



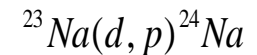
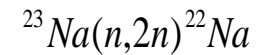
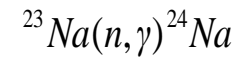
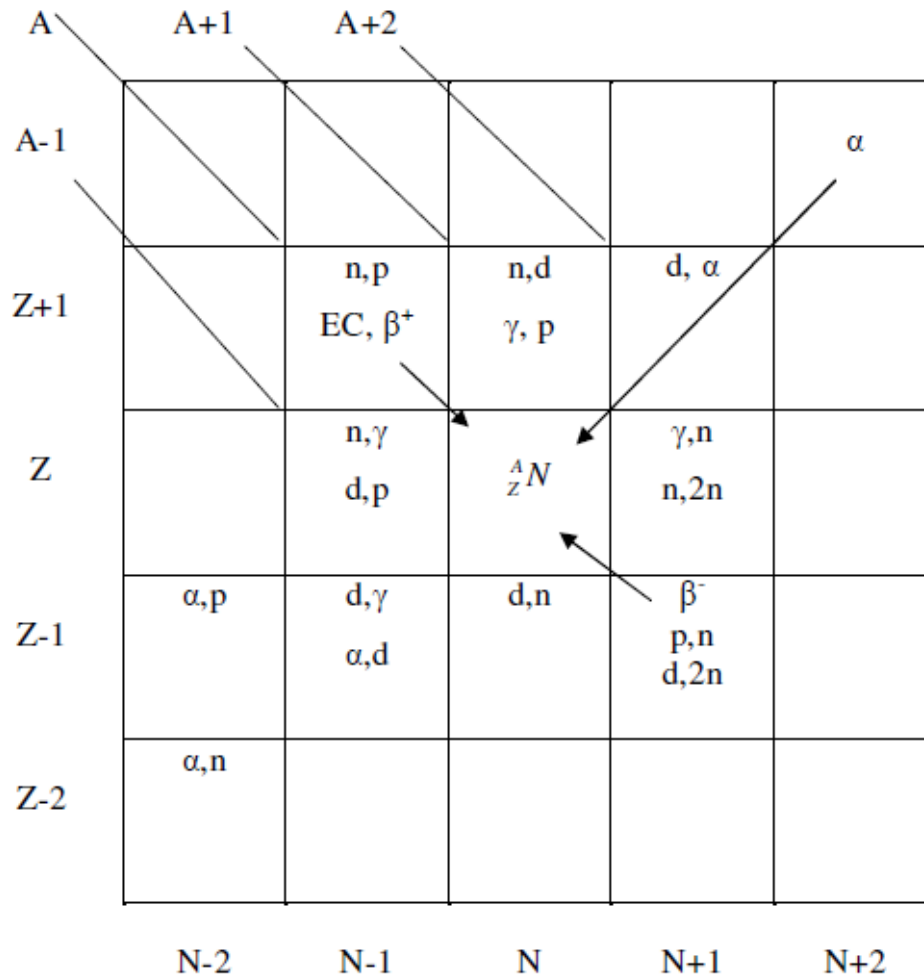
(n,f): hasadás lassú neutronok hatására



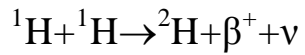
Magreakciók töltött részecskékkel

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

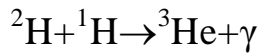
Z rendszámú, A tömegszámú mag keletkezése magreakciókban és radioaktív bomlással



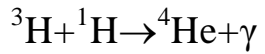
Termonukleáris reakciók



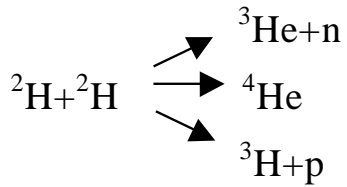
$$\Delta E = -0,44 \text{ MeV}$$



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



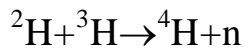
$$\Delta E = -19,8 \text{ MeV}$$



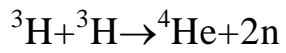
$$\Delta E = -3,27 \text{ MeV}$$

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

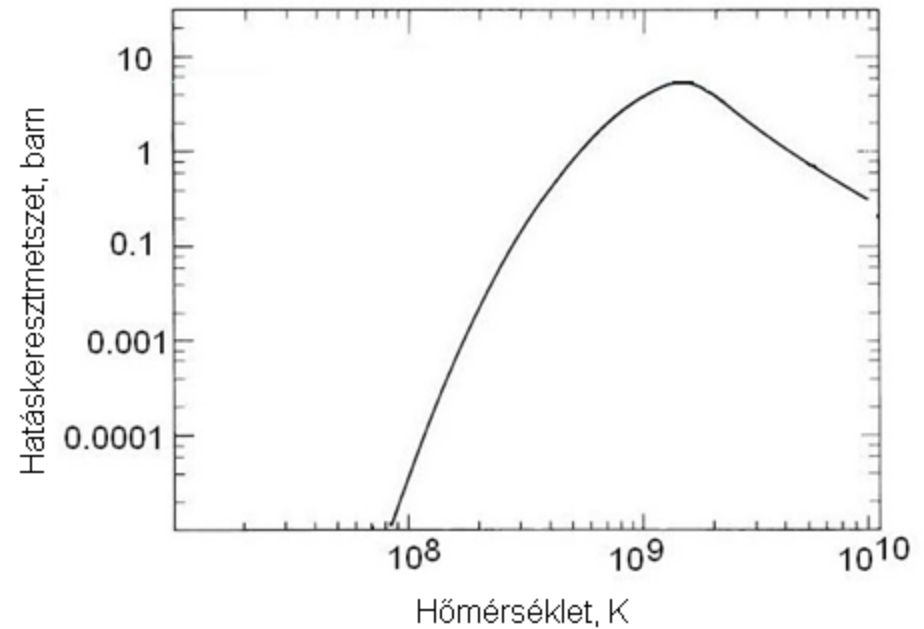
$$\Delta E = -4,03 \text{ MeV}$$



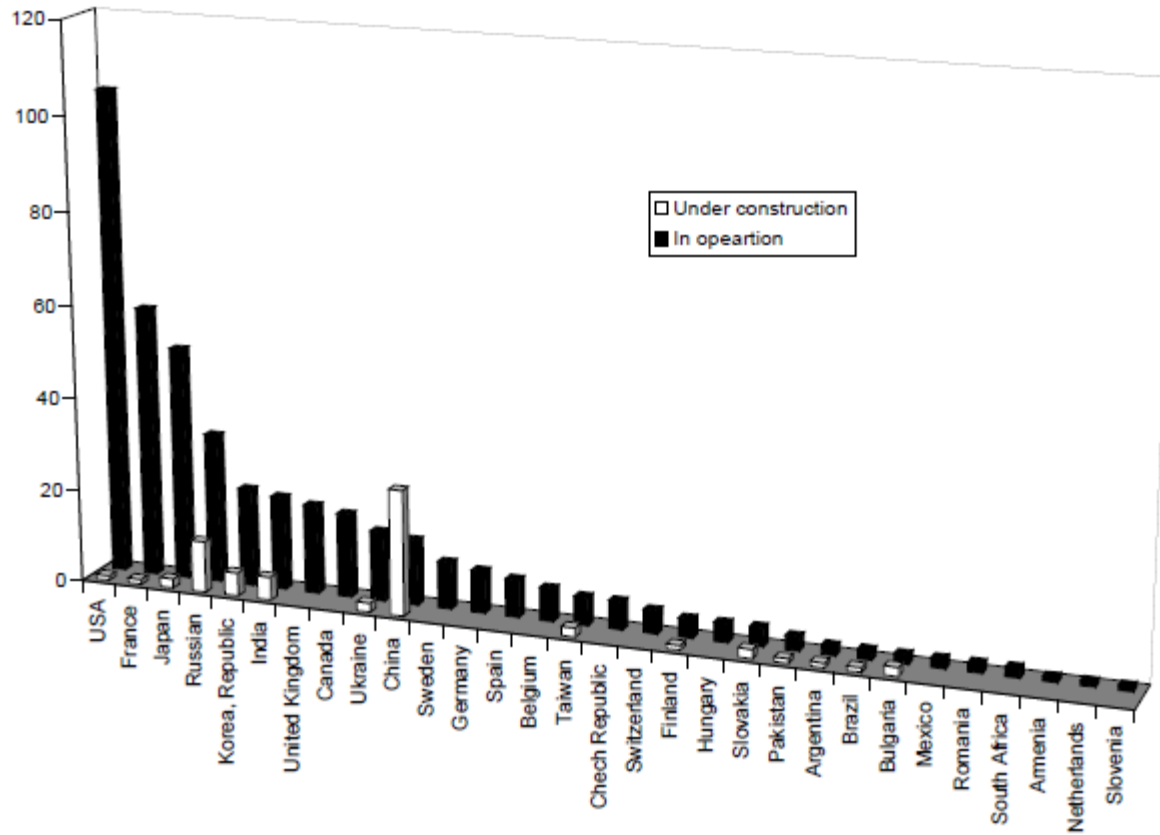
$$\Delta E = -17,59 \text{ MeV}$$

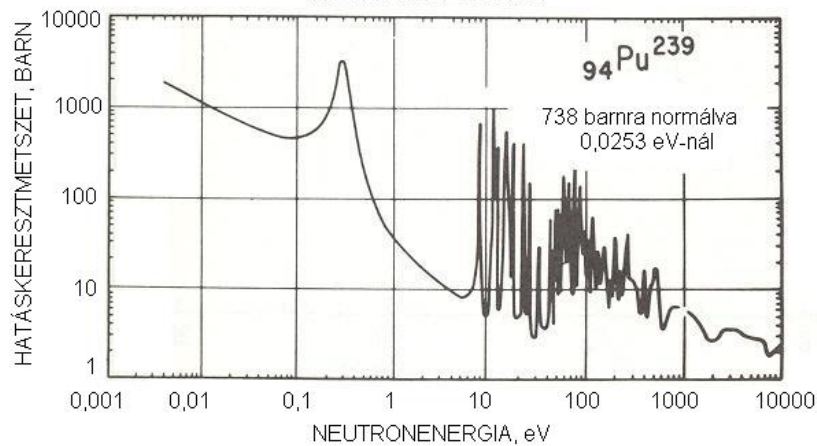
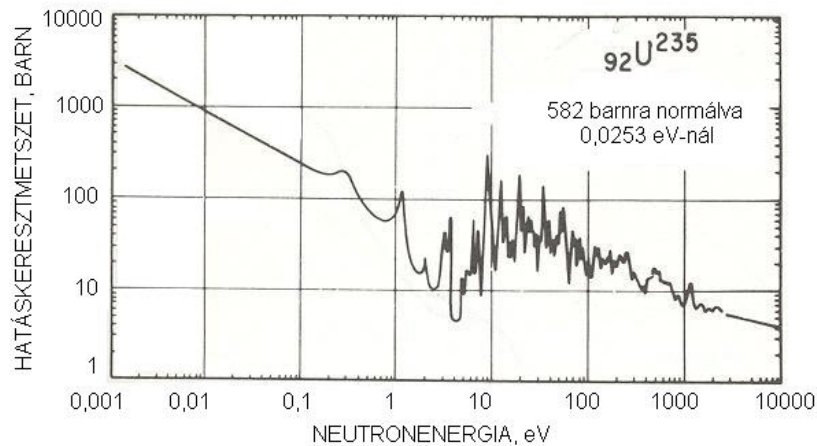
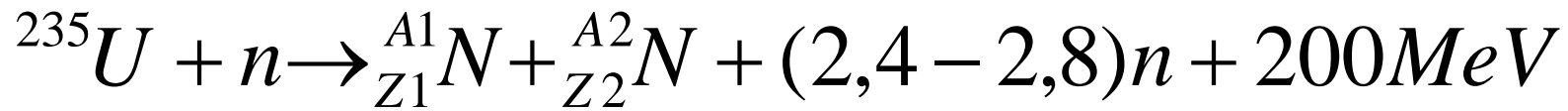


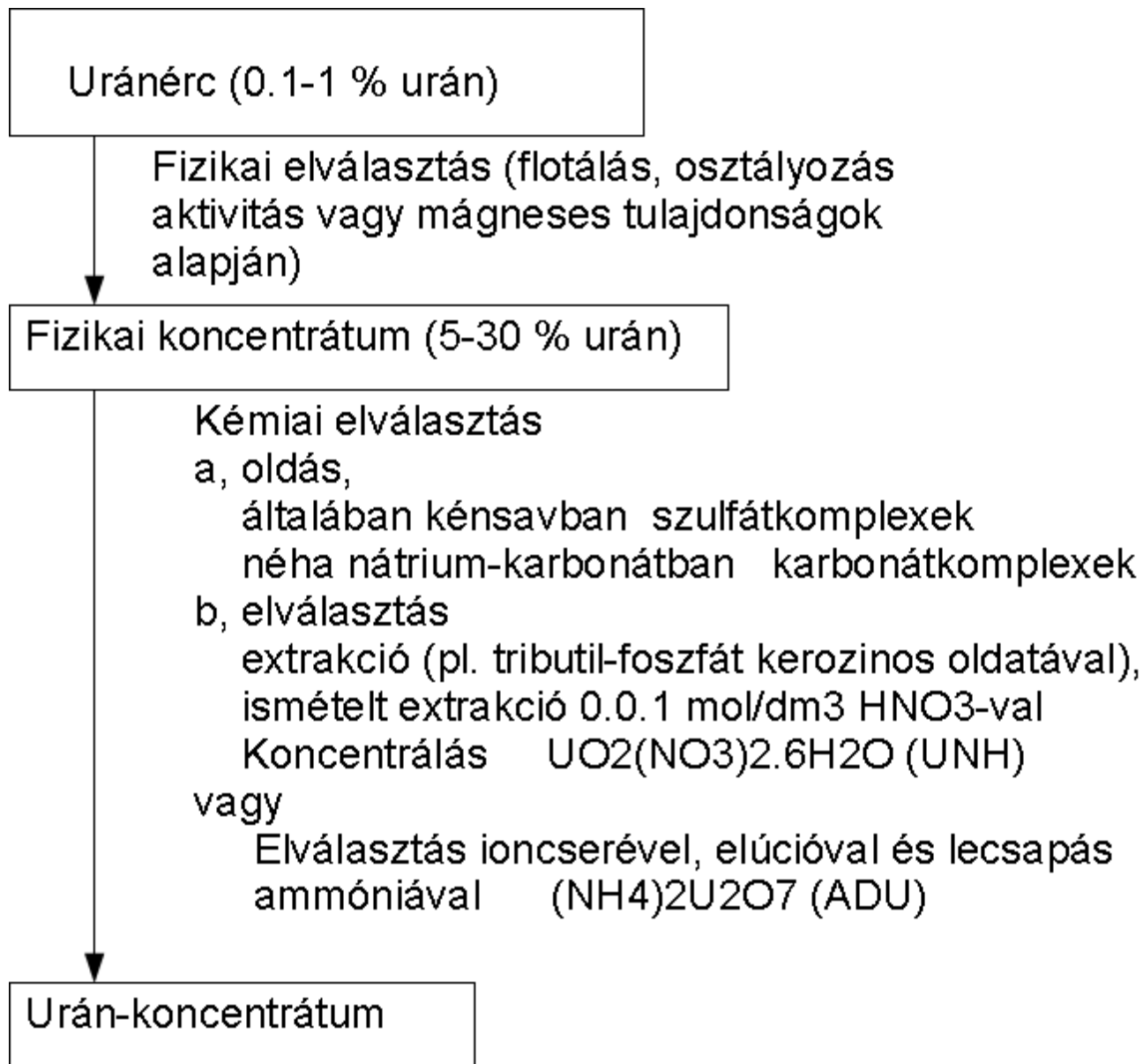
$$\Delta E = -11,32 \text{ MeV}$$

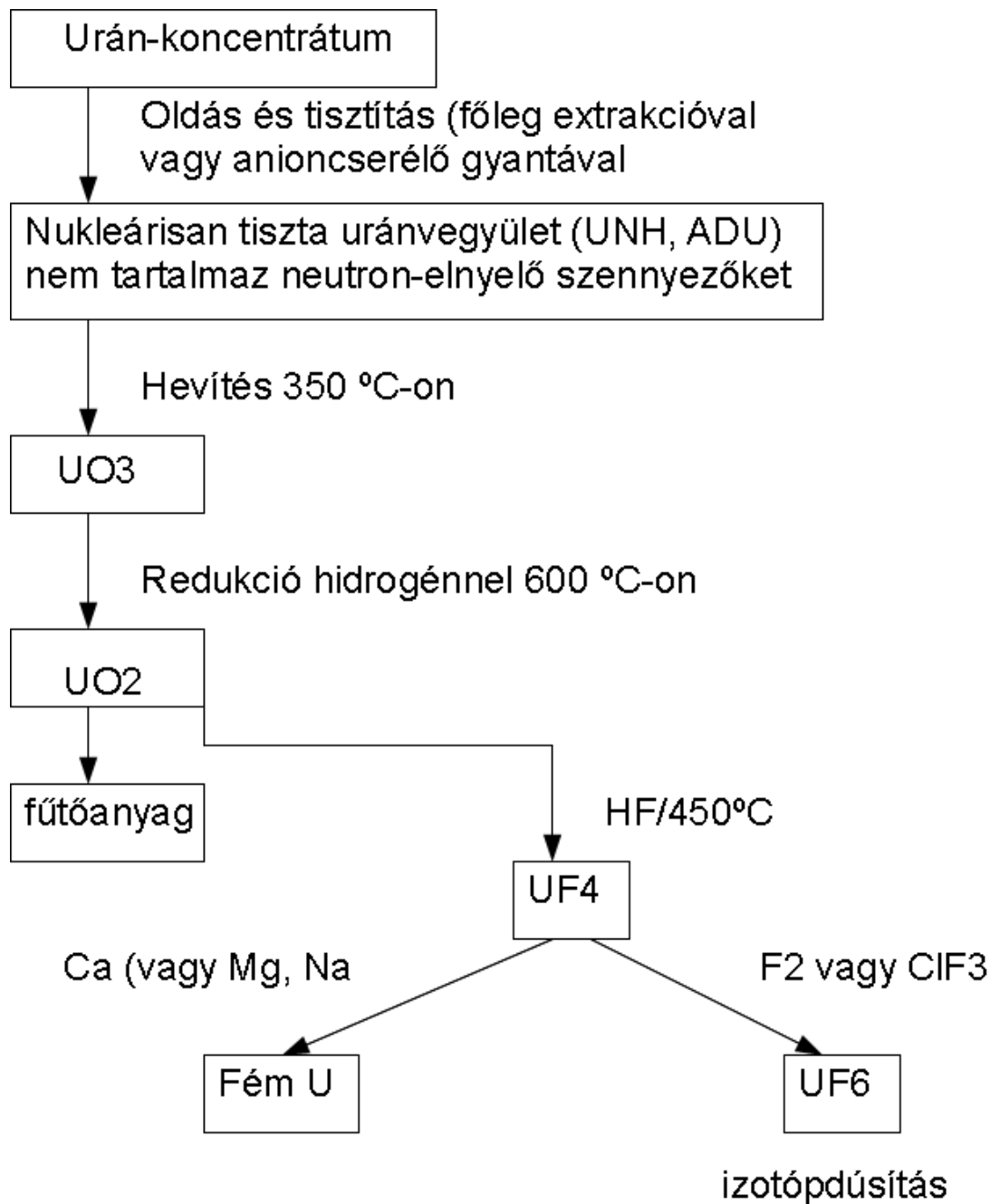


Atomreaktorok

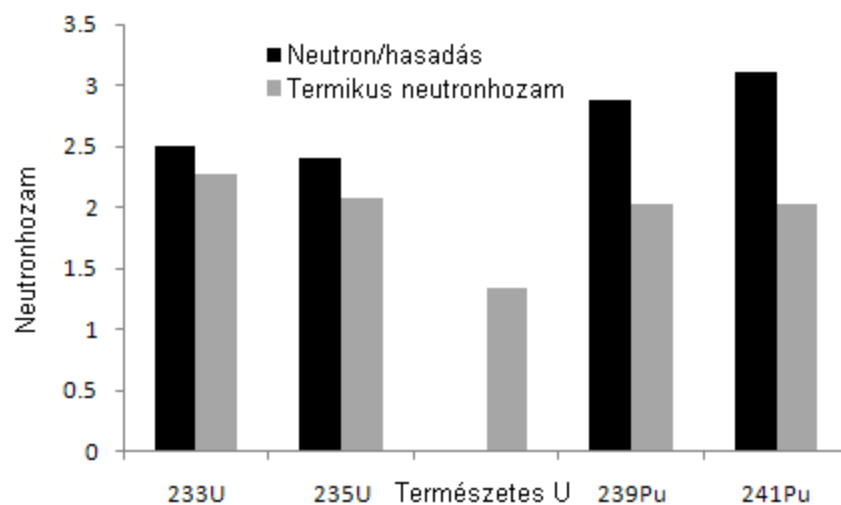
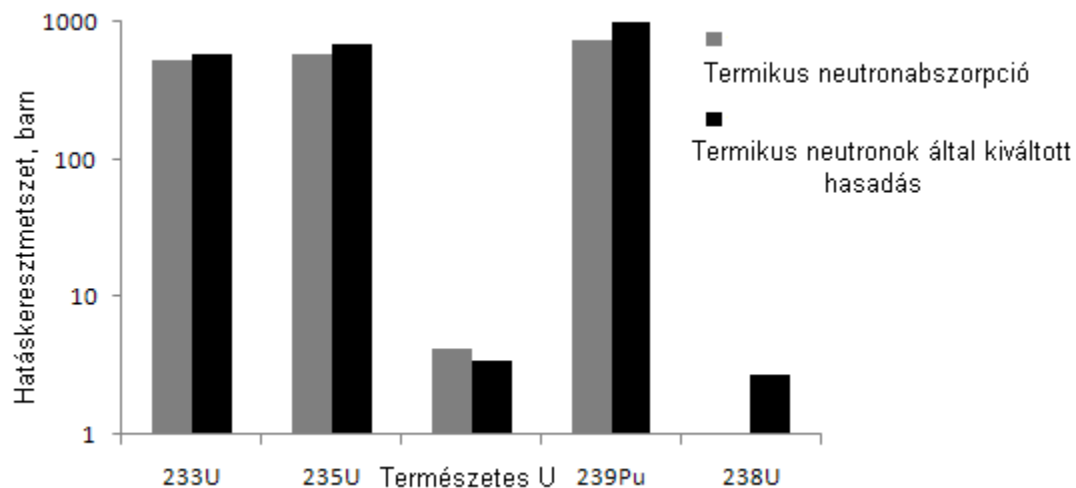








Reaktor-üzemanyagok jellemzői



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

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

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

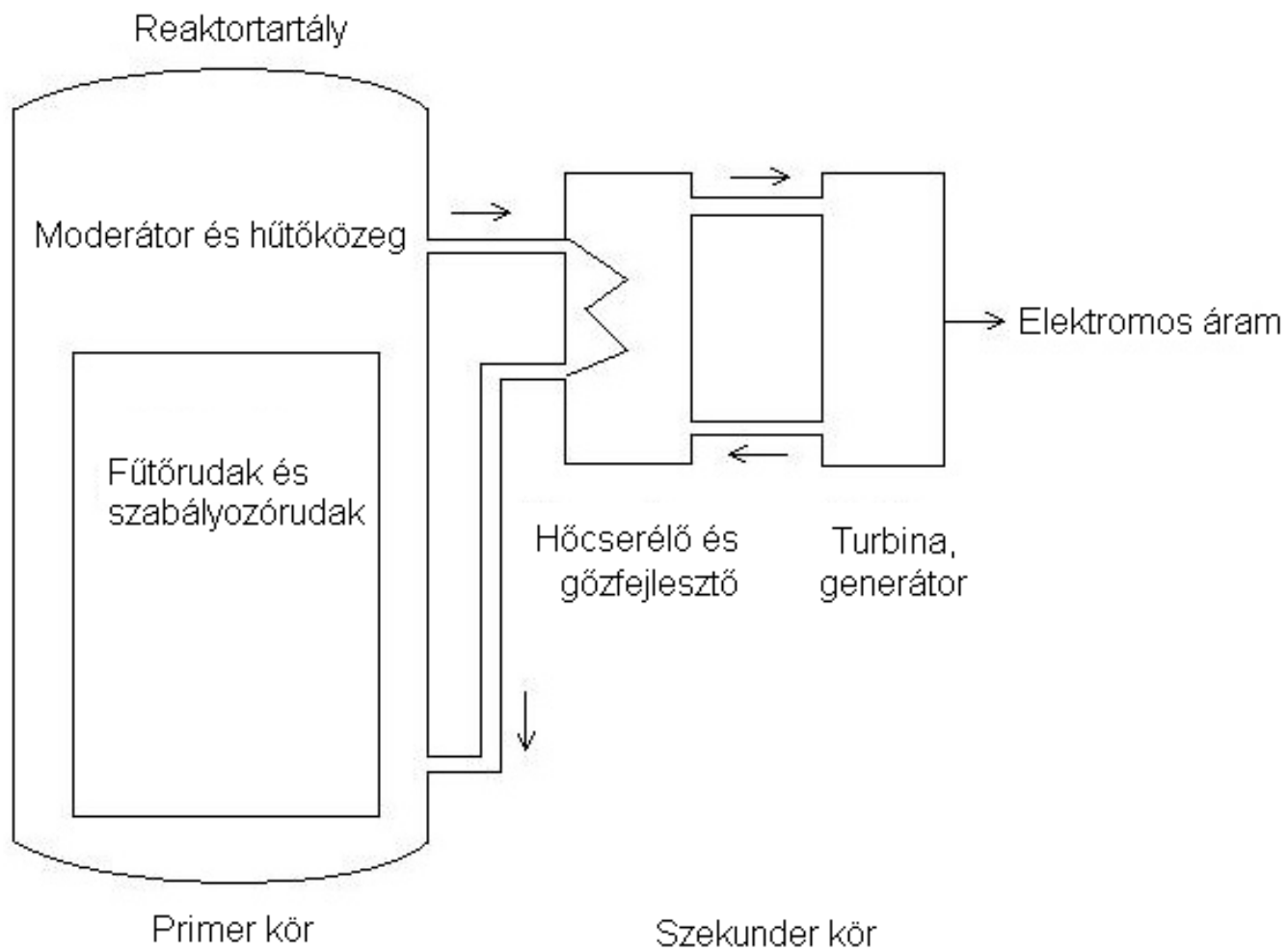
ε a gyorshasítási tényező
 p a rezonanciabefogás kikerülési tényező
 f a termikus hasznosítási tényező
 η : a termikus neutronhozam

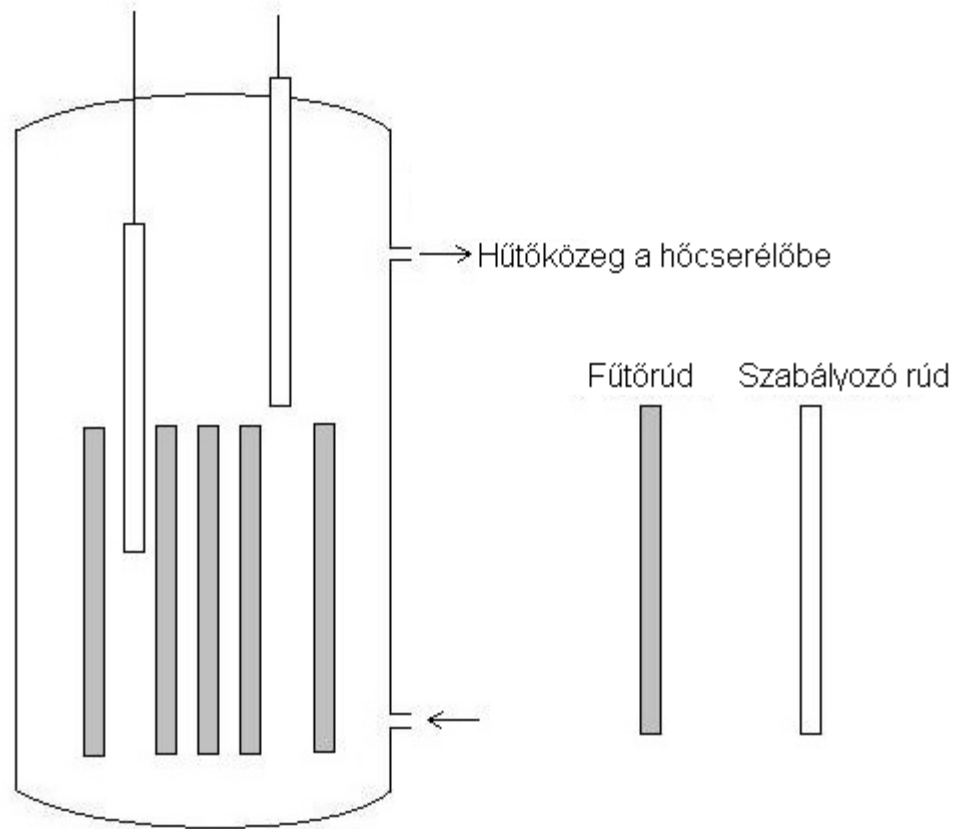
$$q = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}}$$

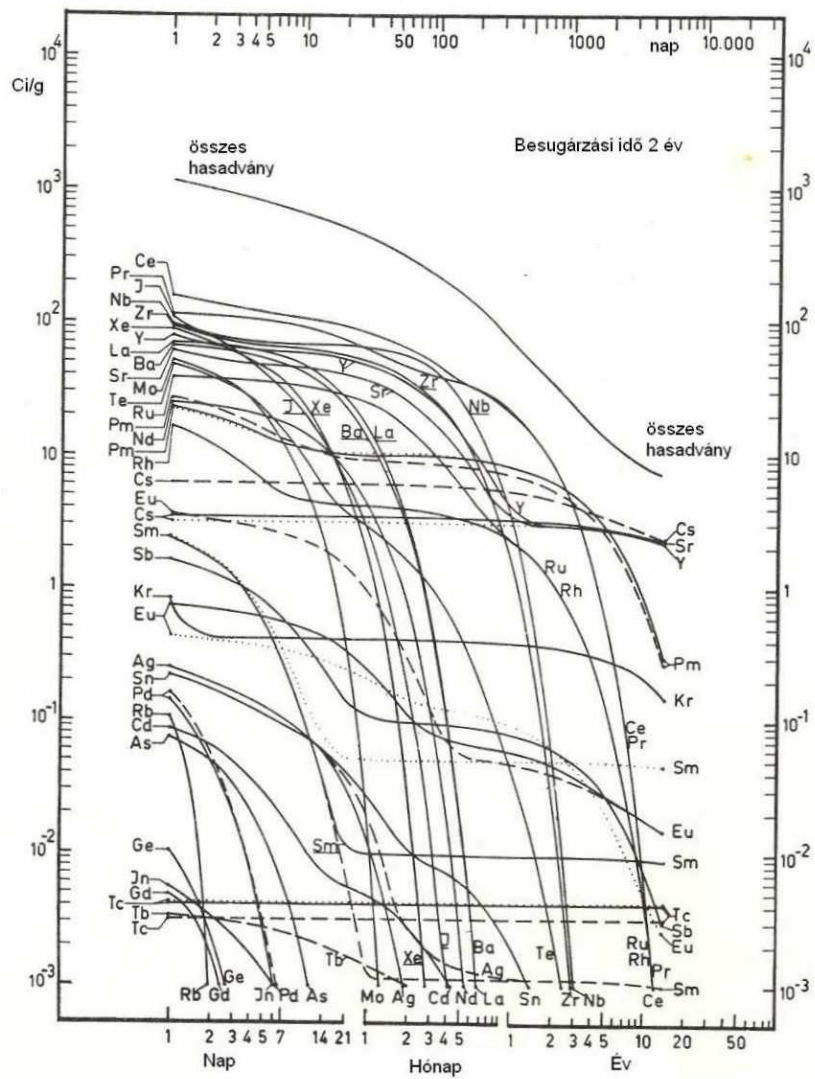
q reaktivitás
 k_{eff} effektív sokszorozási tényező

Az atomreaktor részei

- Üzemanyag
 - ^{235}U -ban dúsított (3-3,6 %) UO_2 , 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 paramétereit

VVER: vízhűtésű, vízzel moderált, energiatermelő, termikus, nyomottvizes reaktor	
Elektromos teljesítmény Hőteljesítmény	440 MW 1375 MW
Üzemanyag ²³⁵ 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 ₂ 44000 312 37

<p>UO₂ tableta (pasztilla) méretei</p> <p>átmérő</p> <p>Magasság</p> <p>Belső (tengelyes) furat átmérője</p> <p>Tabletták száma egy rúdban</p> <p>UO₂ 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/dm³</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 cm³</p> <p>4 cm³</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/m³</p> <p>43,8 W/cm²</p> <p>131 W/cm</p> <p>28600 MWnap/t U</p> <p>10⁻⁹ g ²³⁵U/cm²</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 ⁵ 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 ³ /h
Részáramú kevertágyas ioncserés víztisztító átlagos térfogatárama	20 m ³ /h

