

Mag- és neutronfizika 10. előadás

Emlékeztető: Láncreakció neutronokkal



Láncreakció időbeli változása:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{\left(\frac{k_{eff} - 1}{\ell}\right)t}$$

Késő neutronok, és szerepük!

Neutronok generációs ideje

Késő neutron hányad: β

Reaktivitás:
$$\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}}$$

Reaktivitás dollár (\$) = ρ/β

Mitől függ a k_{eff} ?

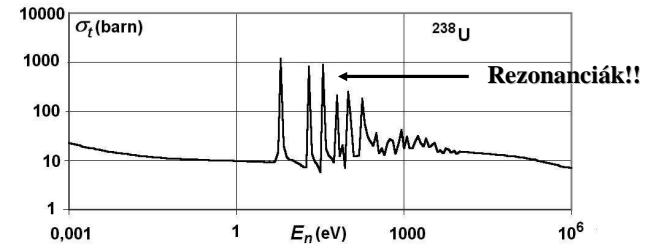
Egyelőre tekintsünk el a **kiszökéstől** → „végtelen nagy” reaktor!

Ennek jellemzője lesz: k_{∞}

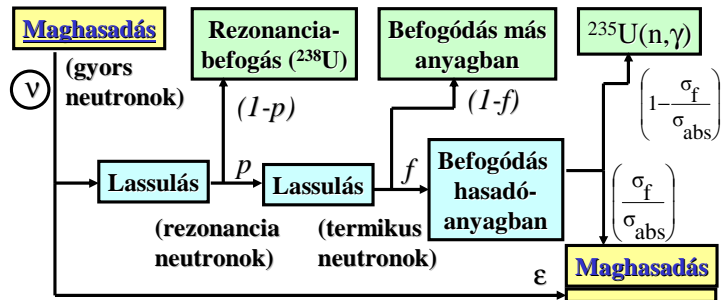
A reaktorunk jellemzői:

- termikus reaktor (moderátor, lassú neutronok),
- szerkezeti anyagok (nemcsak üzemanyag)
- üzemanyag dúsított urán (tehát marad ^{238}U is)

Figyelembe kell majd venni a ^{238}U abszorpcióját:



„Négyfaktor” formula (végtelen kiterjedésű n-szorzó közeg)



Rezonancia-kikerülési tényező $0,6 < p < 0,9$

Termikus hasznosítási tényező (f)

„Termikus neutronhozam” (csak a hasadó magtól függ)

$$k_{\infty} = v \cdot p \cdot f \cdot \left(\frac{\sigma_f}{\sigma_{abs}}\right) \cdot \epsilon$$

$\eta = v \cdot \frac{\sigma_f}{\sigma_{abs}}$ (Termikus neutronhozam)
 ϵ (Gyorshasítási tényező)

„Négyfaktor” formula (folvt.)

Összefoglalva: $k_{\infty} = \eta \cdot p \cdot f \cdot \epsilon$

Termikus neutronhozam → η
 Rezonancia-kikerülési tényező → p
 Termikus hasznosítási tényező → f
 Gyorshasítási tényező → ϵ

Reaktor-üzemanyagok jellemzői (termikus neutronokra):

	σ_f (barn)	σ_a (barn)	ν	η
^{233}U	531	577	2,50	2,30
^{235}U	584	683	2,43	2,08
^{238}U	$5 \cdot 10^{-4}$	2,71	-	-
U_{nat}	4,18	7,69	2,27	1,34
^{239}Pu	750	1021	2,88	2,11

η mutatja, hogy a többi faktoral mennyit kell elérni!

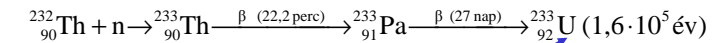
Pl. természetes urán üzemanyagra $p \cdot f \cdot \epsilon > 1/1,34 = 0,746$, különben végtelen nagy reaktornál sem lehet önfenntartó láncreakció

Az atomreaktorok osztályozása (2)

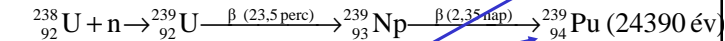
• Hasadóanyag szerint

- ^{235}U (különböző dústítások)

- ^{233}U **Előállítás:**



- ^{239}Pu **Előállítás:**



Szaporítás! (Breeder) Hasadóanyagot „állítunk elő”

- **MOX (mixed oxide fuel):** urán és plutónium oxid keverék

Jelentősége: atomfegyverekből származó ^{239}Pu megsemmisítése

• Üzemananyag elrendezése szerint

- homogén reaktorok (hasadóanyag és moderátor elkeverve)

- heterogén reaktorok (hasadóanyag szétválasztva a moderátortól)

9/24

Az atomreaktorok osztályozása (3)

• Moderátor szerint

- H_2O (könnyűvíz)

- D_2O (nehévíz)

- **C** („reaktortisztaságú” grafit)

- **Be** (berillium)

- szerves anyag (C és H)

• Hűtőközeg szerint

- H_2O (könnyűvíz)

- D_2O (nehévíz)

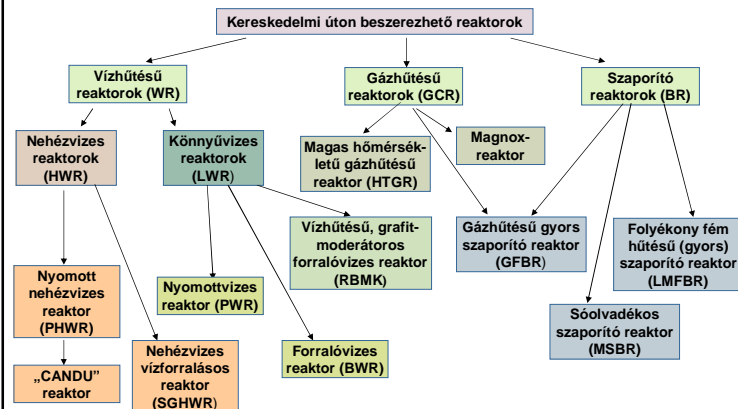
- folyékony fém (Na, Pb...)

- gáz (He , CO_2)

- szerves anyag

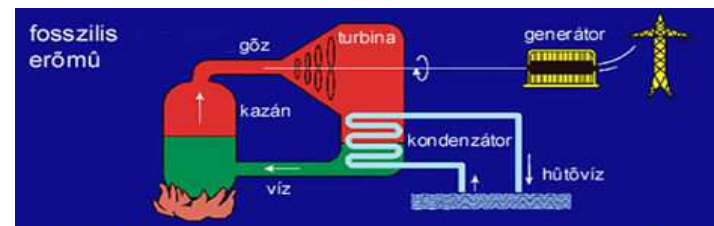
10/24

A jelenleg üzemelő reaktortípusok (elvi – technológiai) jellegű csoportosítása



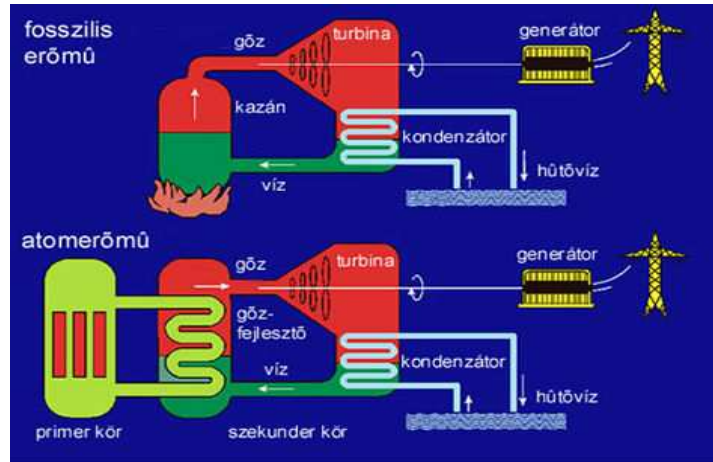
11/24

A fosszilis erőmű és az atomerőmű elvi felépítése



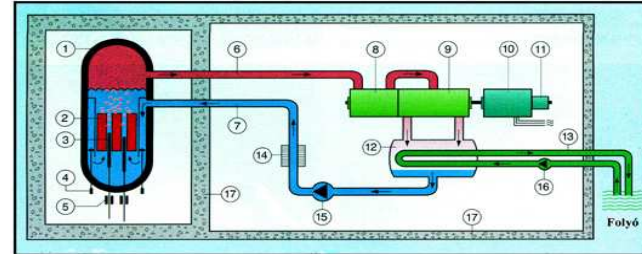
12/24

A fosszilis erőmű és az atomerőmű elvi felépítése



13/24

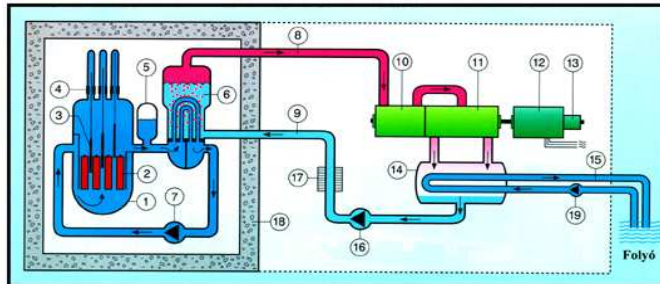
A FORRALÓVIZES ATOMREAKTORRAL MŰKÖDŐ ERŐMŰVEK ELVI FELÉPÍTÉSE



- | | | |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 Reaktortartály | 7 Tápvíz | 13 Hűtővíz |
| 2 Fűtőelemek | 8 Nagynyomású turbina | 14 Tápvíz előmelegítő |
| 3 Szabályozórúd | 9 Kisnyomású turbina | 15 Tápvíz szivattyú |
| 4 Keringtető szivattyú | 10 Generátor | 16 Hűtővízszivattyú |
| 5 Szabályozórúd hajtás | 11 Gerjesztő gép | 17 Betonvédelem |
| 6 Friss gőz | 12 Kondenzátor | |

14/24

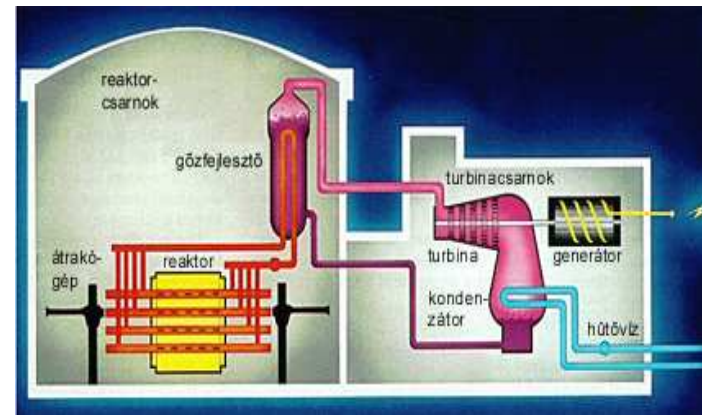
A NYOMOTTVIZES ATOMREAKTORRAL MŰKÖDŐ ERŐMŰVEK ELVI FELÉPÍTÉSE



- | | | |
|---------------------------|------------------------|----------------------|
| 1 Reaktortartály | 8 Friss gőz | 14 Kondenzátor |
| 2 Fűtőelemek | 9 Tápvíz | 15 Hűtővíz |
| 3 Szabályozó rudak | 10 Nagynyomású turbina | 16 Tápvíz szivattyú |
| 4 Szabályozórúd hajtás | 11 Kisnyomású turbina | 17 Előmelegítő |
| 5 Térfogatkompenzátor | 12 Generátor | 18 Biológiai védelem |
| 6 Gőzfejlesztő | 13 Gerjesztő gép | 19 Hűtővíz szivattyú |
| 7 Fő keringtető szivattyú | | |

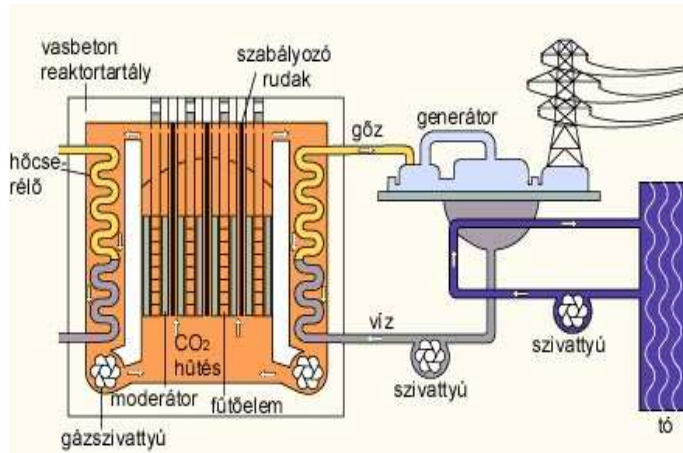
15/24

A NEHÉZVIZES ATOMERŐMŰ ELVI FELÉPÍTÉSE



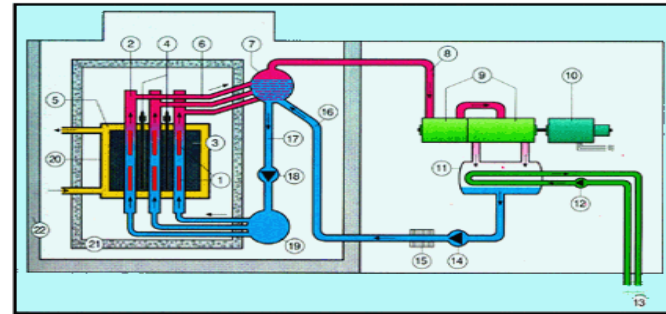
16/24

A GÁZHŰTÉSŰ ATOMERŐMŰ ELVI FELÉPÍTÉSE



17/24

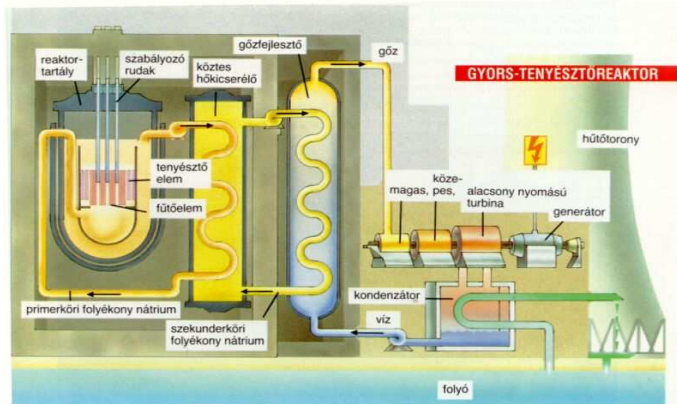
AZ RBMK ATOMERŐMŰ ELVI FELÉPÍTÉSE



- | | | |
|--------------------|----------------------|-------------------------|
| 1 Urán-üzemanyag | 9 Gőzturbina | 16 Tápvíz |
| 2 Nyomócső | 10 Generátor | 17 Víz visszafolyás |
| 3 Grafit moderátor | 11 Kondenzátor | 18 Keringtető szivattyú |
| 4 Szabályozórúd | 12 Hűtővíz szivattyú | 19 Vízelosztó tartály |
| 5 Védőgáz | 13 Hőelvezetés | 20 Acélköpeny |
| 6 Víz/gőz | 14 Tápvíz szivattyú | 21 Betonárnyékolás |
| 7 Cseppeválasztó | 15 Előmelegítő | 22 Reaktorépület |
| 8 Gőz a turbinához | | |

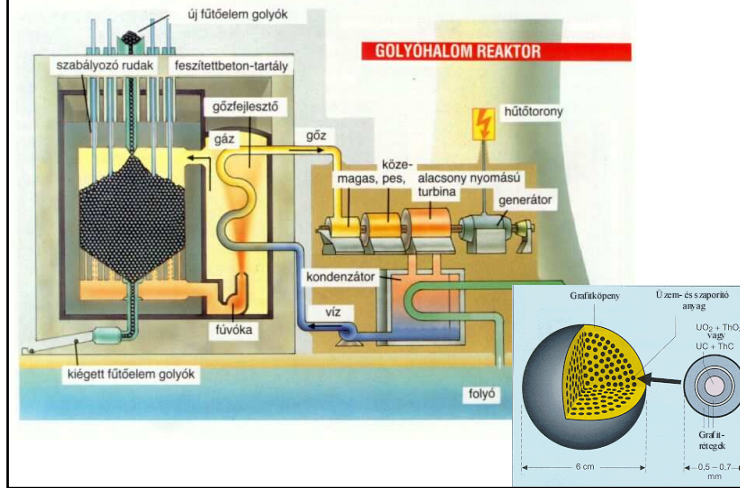
18/24

GYORS TENYÉSZTŐREAKTOROS ERŐMŰ ELVI FELÉPÍTÉSE



19/24

GOLYÓHALOM REAKTOROS ERŐMŰ ELVI FELÉPÍTÉSE (Thorium High Temperature Reactor)



Egy kis történelem:

1932 Neutron felfedezése (James Chadwick)

1934 Neutronos láncreakció ötlete (Szilárd Leó)

1938 Maghasadás felfedezése

(Otto Hahn, Friedrich Strassmann, Lise Meitner)

1942 dec. 2. Első atommáglya (Chicago)

(Enrico Fermi, Szilárd Leó, Wigner Jenő)

1943 Hanfordi nagyteljesítményű atomreaktorok elindulnak

(Wigner Jenő) Cél: plutónium termelés

1939-1945 Manhattan Project (atomfegyver kifejlesztése)

tudományos vezető: Robert Oppenheimer

1945. július 16. Első kísérleti atomrobbantás („Trinity kísérlet”)

Alamogordo sivatag, USA ^{239}Pu -alapú bomba

1945. augusztus 6. Hiroshima bombatámadás (^{235}U -alapú bomba)

1945. augusztus 9. Nagasaki bombatámadás (^{239}Pu -alapú bomba)

1954 Első békés célú atomerőmű (Obnyinszk, Szovjetunió, 5 MW_e)

21/24

1942 dec. 2. Első atommáglya (Chicago)

(Enrico Fermi, Szilárd Leó, Wigner Jenő, ...)

Üzemanyag: természetes urán (fém gömbök)

Moderátor: tiszta grafit

Szabályozó elemek: kadmium lemezek

Hűtőközeg: nincs (max. teljesítmény 2 W)



22/24

Hogyan lehet megközelíteni a kritikus állapotot?

(Csak „kicsivel” szabad túllépni, nehogy prompt-kritikus legyen!)

Kiindulás: $k_{eff} = \frac{N_{i+1}}{N_i}$

Ebből: $N_{i+1} = k_{eff} \cdot N_i$ akkor, ha **csak** n-sokszorozás van!

Tegyünk be egy neutronforrást is, amelynek intenzitása olyan, hogy S neutront bocsát ki egy generációs idő alatt!

Ekkor: $N_{i+1} = S + k_{eff} \cdot N_i$
forrásból előző generációból

Amíg $k_{eff} < 1$ előbb-utóbb egyensúly áll be, azaz $N_{i+1} = N_i = N_{egy}$

azaz $N_{egy} = S + k_{eff} \cdot N_{egy}$ amiből

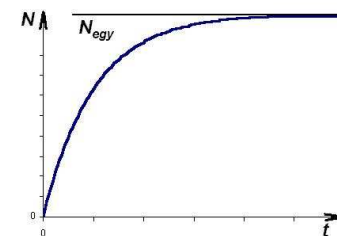
$$N_{egy} = \frac{S}{1 - k_{eff}}$$

Ezzel k_{eff} mérhetővé válik!!

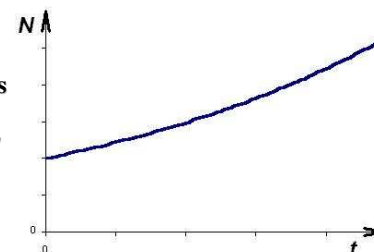
23/24

Amíg $k_{eff} < 1$
egyensúly áll be:

$$N_{egy} = \frac{S}{1 - k_{eff}}$$



Amikor túlléptünk a
kritikus állapoton,
exponenciális növekedés
indul be:
„exponenciális kísérlet”



24/24