



MAGHASADÁS ÉS ATOMENERGIA

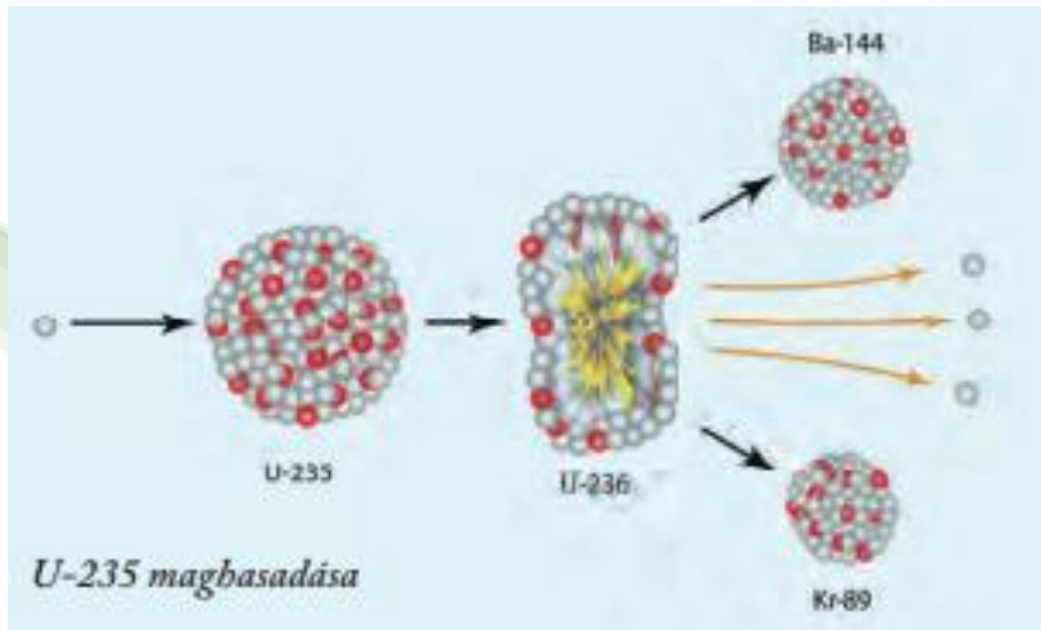
Tóth Benjámín 12.c



A neutron szerepének felismerése

- A neutron felfedezése után a tudósok felismerték, hogy a semleges neutronok behatolnak az atommagba, mivel nem éri őket Coulomb-féle taszítóerő.
- A lassú neutronok hatékonyabbak, mint a gyors neutronok. A neutronok lassítására paraffint vagy könnyű elemeket használnak, mivel ezekkel való ütközéskor a neutron nagy energiavesztességet szenved.

A maghasadás

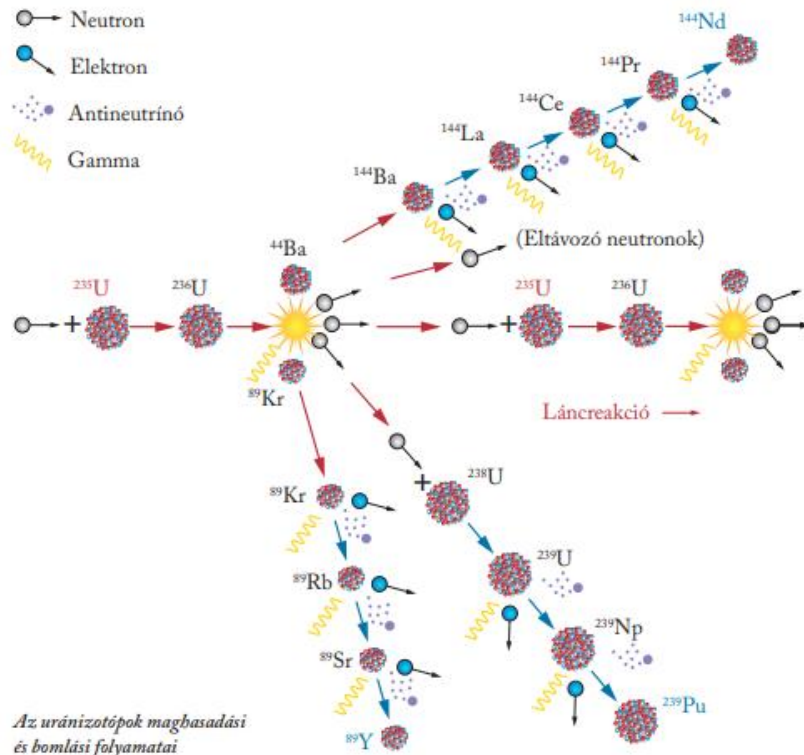


- A maghasadás jelenségét 1938-ban fedezte fel Otto Hahn, Lise Meitner és Fritz Strassmann.
- Az U-235 könnyen hasad lassú neutronok befogásakor. A maghasadáskor az atommag két könnyebb magra szakad fel, közben neutronok és energia szabadul fel.
- Például: $\text{U-235} + \text{n} \rightarrow \text{Ba-144} + \text{Kr-89} + 3\text{n} + \text{energia}$

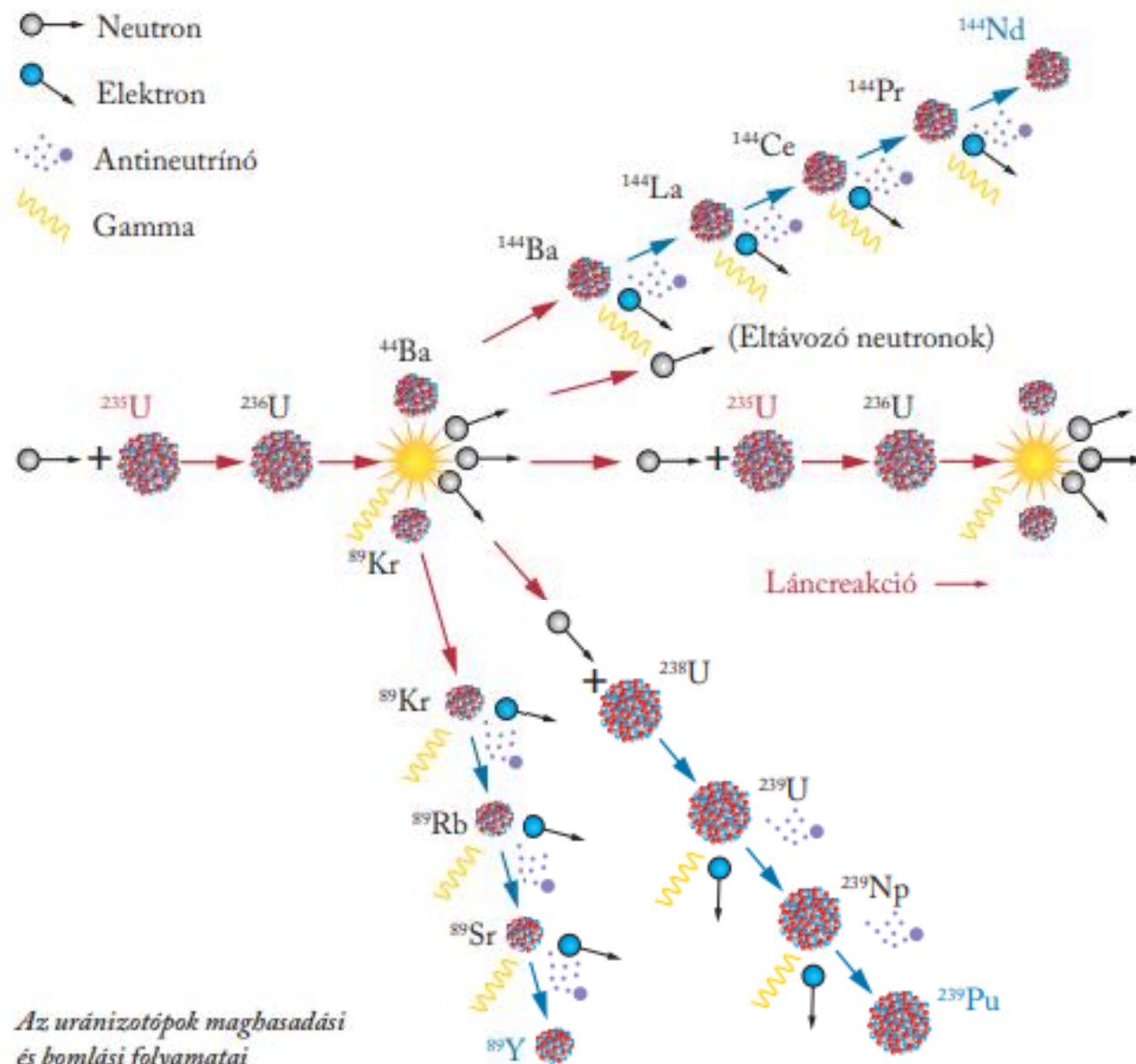
Spontán és indukált maghasadás

- Spontán maghasadás:
- Az atommag külső beavatkozás nélkül hasad fel (U-238, Th-232).
- Ritka jelenség nehéz atommagoknál
- Indukált maghasadás:
- Neutron vagy más részecske ütközésére játszódik le a hasadás (U-235, Pu-239).
- Az energiatermelésben az indukált maghasadást használjuk.

Maghasadási termékek bomlása



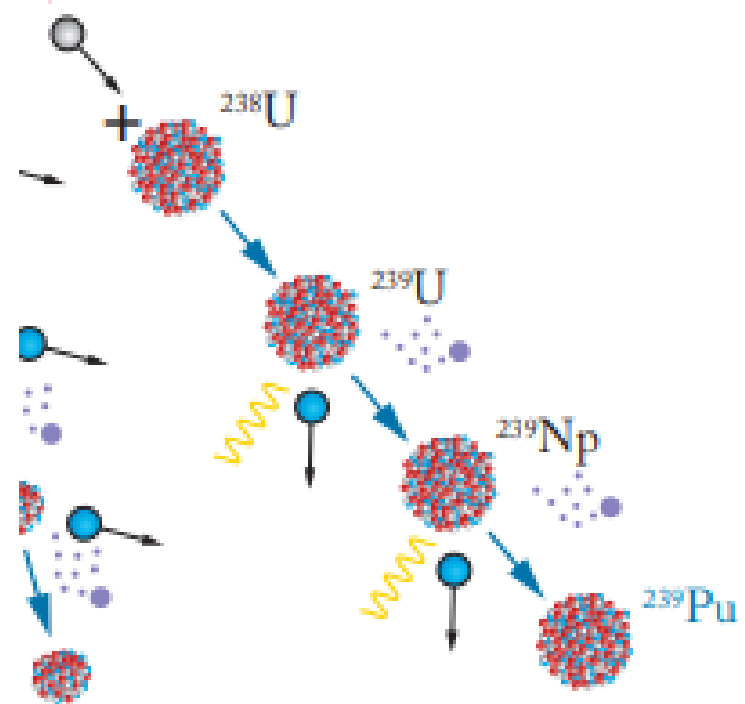
- A maghasadáskor keletkező hasadási termékek instabil atommagok, sok neutronnal.
- Ezek β^- -bomlással átalakulnak és energiát (γ -sugárzás) bocsátanak ki.
- Példa: $\text{Ba-144} \rightarrow \text{La-144} \rightarrow \text{Ce-144} \rightarrow (\text{stabil})$
- A hasadási termékek radioaktívak és hosszú ideig sugároznak.

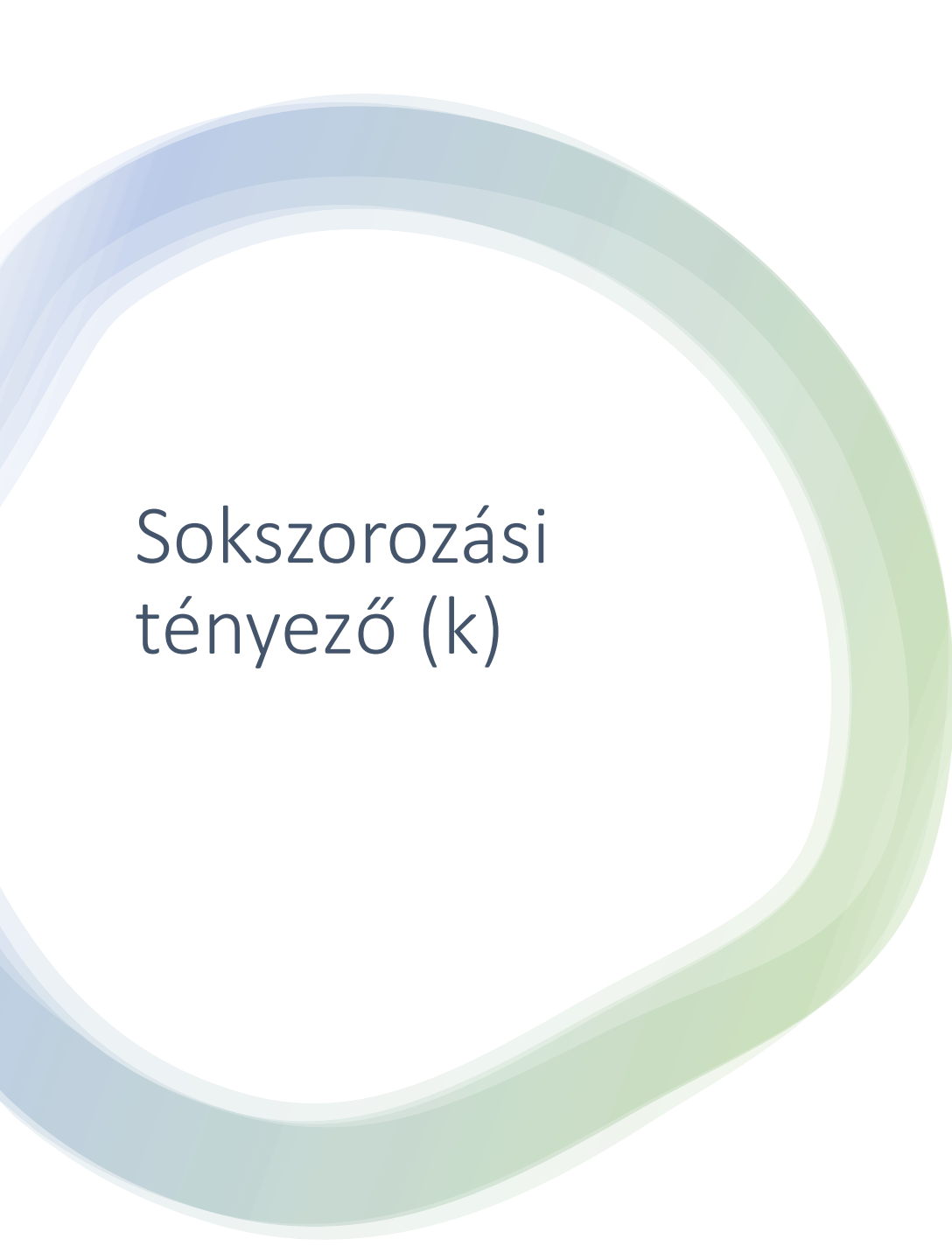


Az uránizotópok maghasadási és bomlási folyamatai

Az U-238 szerepe és plutónium keletkezése

- A természetes uránban az U-235 csak 0,7%-ban fordul elő, 99,3%-a U-238.
- Az U-238 gyors neutron befogásával U-239-é alakul át, majd β^- -bomlással Pu-239-é alakul.
- A Pu-239 hasadható és az energiatermelésben részt vesz.





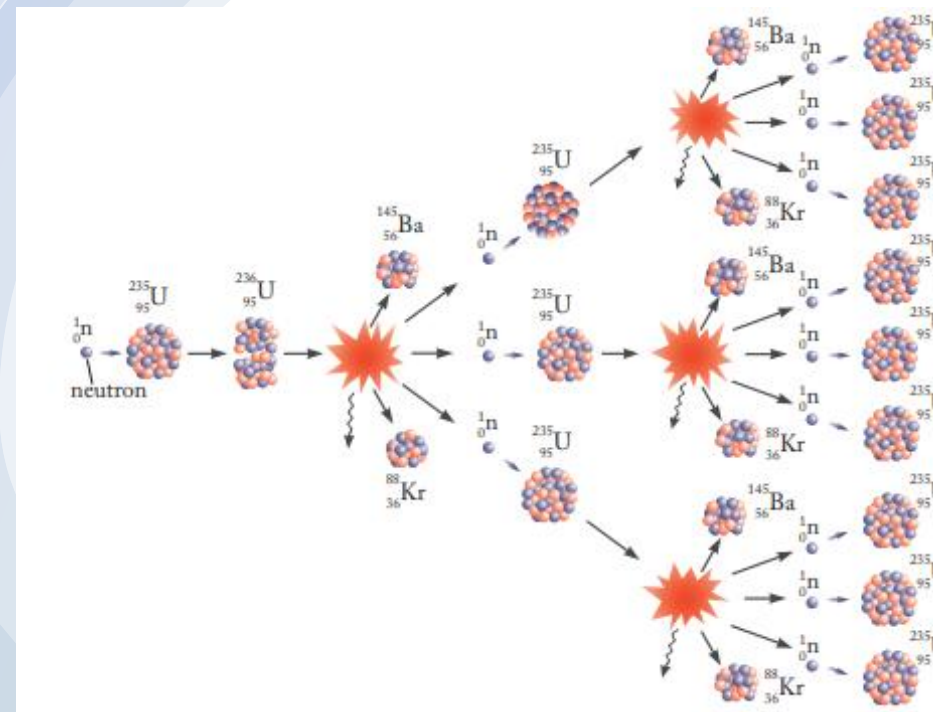
Sokszorozási tényező (k)

- a neutronok számának aránya egy adott és az azt megelőző neutrongenerációban.
- Ha a sokszorozási tényező értéke $k = 1$, kritikus állapotról beszélünk. Ekkor tehát a neutronok száma a rendszerben állandó, azaz másodpercenként ugyanannyi hasadást okoznak.
- $k < 1$ esetén a rendszer szubkritikus, a neutronok száma folyamatosan és exponenciálisan csökken.
- Ha $k > 1$, a neutronok száma egyre nő exponenciálisan, superkritikus

$$k = \frac{\text{újabb hasadások száma}}{\text{elhasadt atommagok száma}}$$

Az urán láncreakciója

- Láncreakció: egy maghasadás több újabb maghasadást indít el.
- Az U-235 hasadásakor 2-3 neutron szabadul fel. Ezek újabb maghasadásokat okoznak.
- A szaporodási faktor k : ha $k > 1$, a neutronok száma növekszik (exponenciális növekedés).
- Kritikus tömeg: U-235 esetén ~52 kg (gömb alakban).



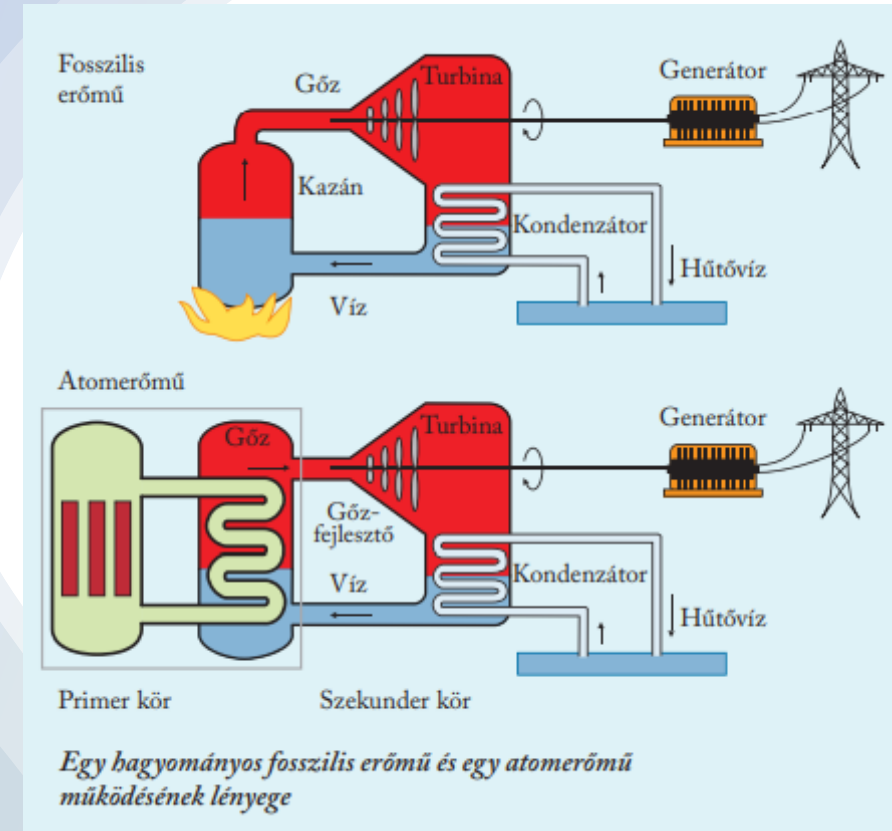


Maghasadáskor felszabaduló energia

- Az U-235 maghasadásakor felszabaduló energia:
- $\Delta m = 0,185 \text{ u}$
- Energia: $E = \Delta m \cdot c^2 = 172,5 \text{ MeV} \approx 2,76 \cdot 10^{-11} \text{ J}$
- Összehasonlítás:
- - 1 kg U-235 hasadása ≈ 20.000 tonna szén energia
- - 1 hasadás $\approx 200 \text{ MeV}$

Az atomreaktor

- Az atomerőmű a hagyományos erőműhöz hasonló, de kazánnal való forralás helyett maghasadásból származik a hőenergia.
- a sugárvédelem miatt az erőművi főegységek elhelyezését primer és szekunder körben oldják meg.
- A primer körben kap helyet az atomreaktor és a hőcserélő
- Hőcserélő: a radioaktív primer körű víz és a szekunder körű nem radioaktív víz szétválasztása és a termelt energia átvezetése a szekunder körbe.



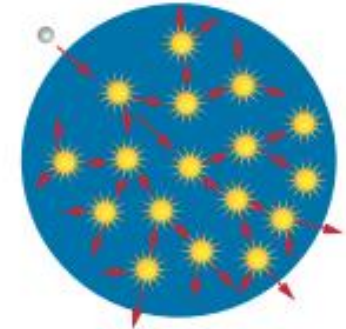
A reaktorok működése

- A láncreakció beindulásához az üzemanyag mennyiségének el kell érnie egy kritikus tömeget: a hasadást okozó lassú neutronok aránya eléri az önfenntartó láncreakció beindulásához szükséges értéket
- Probléma: U-235 nagyon kicsi arányban van jelen -> dúsítás ezzel csökken a kritikus tömeg

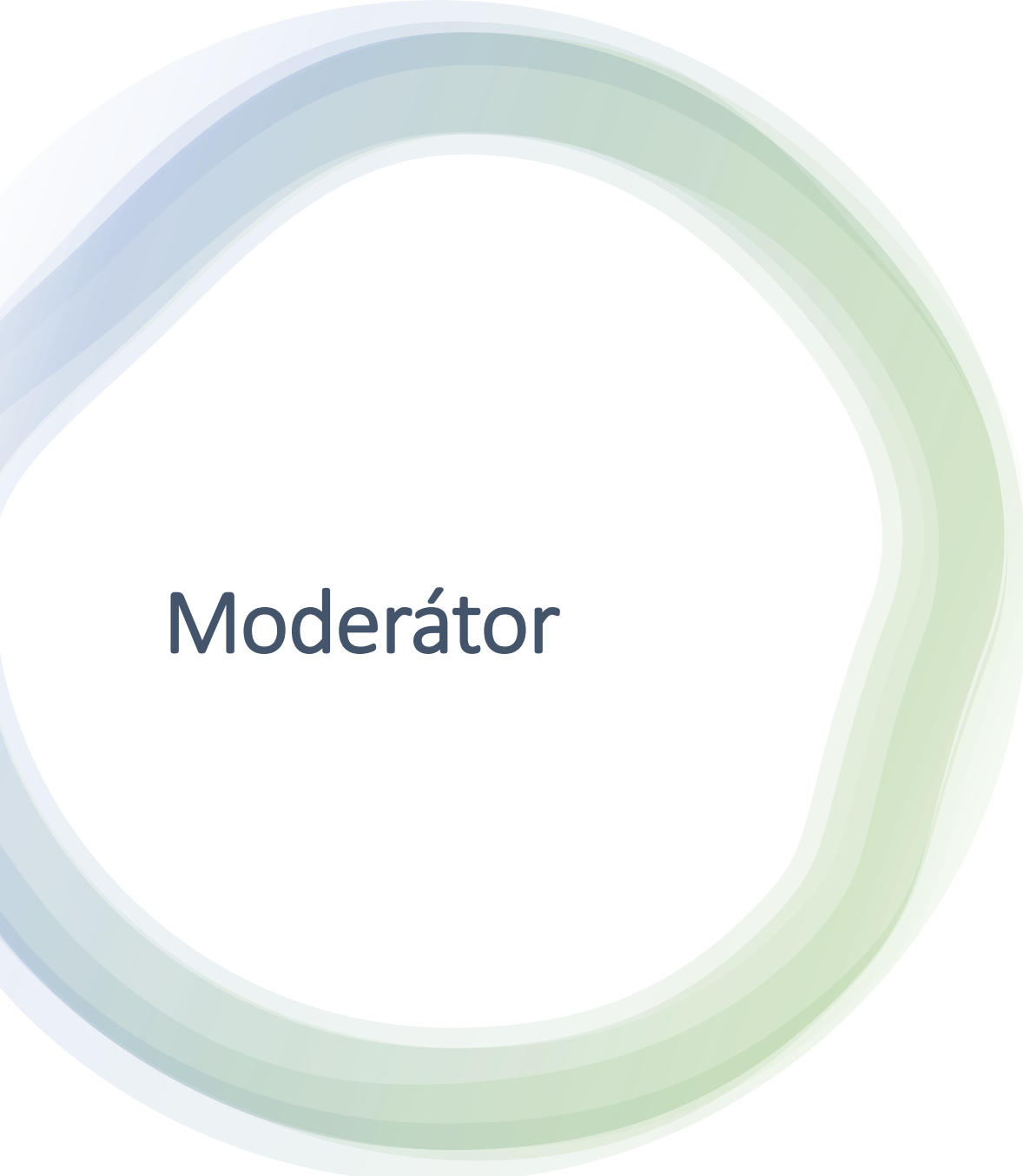
Szubkritikus tömeg



Kritikus tömeg



Kritikus tömeg esetén a hasadást okozó neutronok száma eléri a láncreakció fenntartásához szükséges értéket



Moderátor

- A gyors neutronokat annyira le kell lassítani, hogy nagy valószínűséggel hozzanak létre újabb hasítást
- A moderátor a reaktorban a gyors neutronokat lassítja termális (alacsony energiájú) neutronokká.
- Legyenek minél kisebb rendszámúak, és minél kevésbé legyenek hajlamosak a neutronok elnyelésére legyenek minél kisebb rendszámúak, és minél kevésbé legyenek hajlamosak a neutronok elnyelésére
- A jó moderátorok könnyű atommagokból állnak: víz (H_2O), grafit (C), nehéz víz (D_2O).



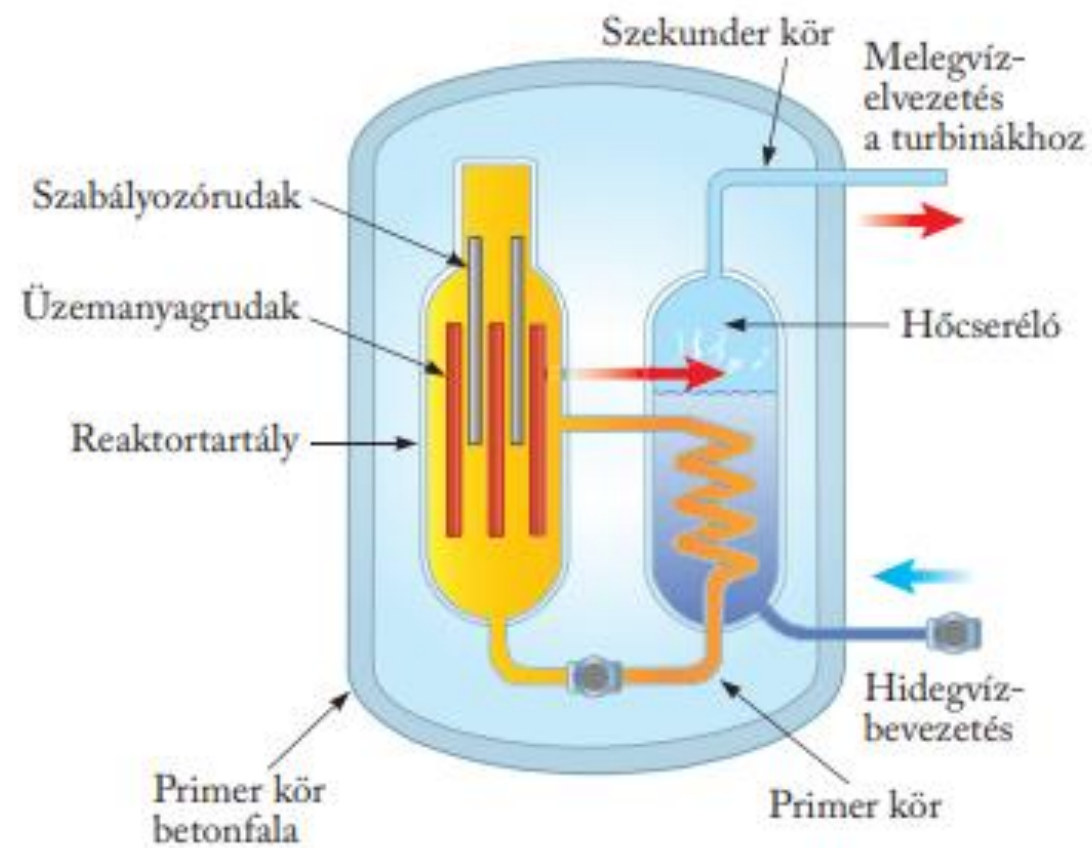
Szabályozórudak

- A neutronok számát a reaktorban szabályoznunk kell, hiszen ettől függ a létrejövő maghasadások száma, és így a felszabaduló energia is.
- A szabályozórudak neutronokat elnyelő anyagokból készülnek (bór, kadmium).
- A szabályozó rudak főleg a rövid időn belüli, gyors beavatkozáshoz és a leálláshoz szükségesek. Ezek be-ki tologatásával szabályozható a láncreakció intenzitása.
- Feladata: $k = 1$ fenntartása (állandó teljesítmény). Ehhez folyamatos felügyeletre van szükség.



Hűtőfolyadék

- A hűtőfolyadék feladata a reaktorból származó hőmenynyiség (nagy nyomású víz vagy gőz) elszállítása az áramtermelő turbinákhoz, amelyek a turbinákra kapcsolt generátorokat hajtják meg
 - Általános hűtőfolyadékok: víz (H_2O), nehéz víz (D_2O),
 - A hűtőfolyadék az energia szállítása és a teljesítmény szabályozása szempontjából kritikus.
- 



Egy nukleáris reaktor főbb egységei



Biztonsági rendszerek az atomerőműben

- a biztonsági rendszereket úgy kell kialakítani, hogy még egy súlyos baleset bekövetkezésekor is biztosítva legyen az erőmű környezetének biztonsága ezért többszörös védelmi rendszerrel vannak ellátva
- Az első és legfontosabb, hogy az atomreaktorban lévő nagy mennyiségű radioaktív anyagot tartalmazó primer kört vastag betonfallal veszik körül: reaktorárnyékolás
- második biztonsági rendszer a szabályozórudak működtetésén alapszik vészhelyzet esetrén a reaktor a szabályozórudak szabadeséssel történő leejtésével automatikusan leállítható



Radioaktív hulladékok kezelése

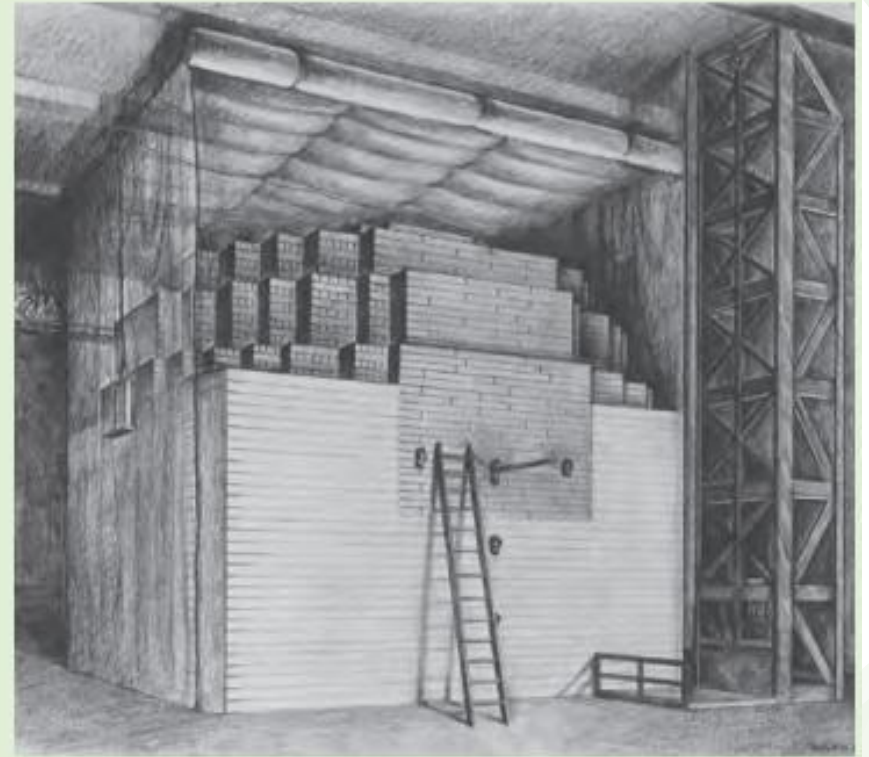
- még nem használt üzemanyagrudak tisztán csak ^{235}U - és ^{238}U -izotópokat tartalmaznak meg vannak tisztítva
- A kiégett üzemanyagrudak már veszélyesek
- nagy mennyiségben felhalmozódó hasadási termékek atommagjaiban magas a neutron-proton arány, így azok instabilak és radioaktívak: nagy aktivitású radioaktív hulladékok
- anyagrudak cseréjére nem az üzemanyag kiégése miatt kerül sor (mindössze az üzemanyag 1%-a hasad el), hanem a neutronelnyelő izotópok (pl. ^{133}Cs , ^{134}Cs) felhalmozódása miatt
- pihentetőmedencébe helyezik őket
- A nagy aktivitású radioaktív hulladékok végleges tárolása jelenleg még nem megoldott.

Izotópgyártás atomreaktorral

- Az atomreaktorok izotópok gyártására is felhasználhatók (tenyésztőreaktorok)
- II.vh. Amerikában volt az első ilyen
- Folyamat: $\text{U-238} + n \rightarrow \text{U-239} \rightarrow \text{Np-239} \rightarrow \text{Pu-239}$
- A plutóniumot a vázolt folyamattal olyan jelentős mennyiségben tudják előállítani, hogy az atombombák előállítására is alkalmas
- Hazánkban is vannak ilyenek Budapesten a Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen egy oktatóreaktor található, és Csillebércen a Központi Fizikai Kutatóintézet telephelyén egy kutatóreaktor itt is foglalkoznak izotópgyártással

Az első atomreaktor

- Szilárd Leó és Enrico Fermi vezetésével 1942 decemberében lépett működésbe az első atomreaktor
- Összetevői:
 - 6 tonna természetes urán
 - -315 tonna grafit (moderátor)
 - -Kadmium szabályozórudak
- Teljesítmény: 0,5 W
- Ez bizonyította, hogy a szabályozott láncreakció lehetséges.



Az első nukleáris atomreaktor



Természetes atomerőművek

- Maghasadás természetes körülmények között is létrejöhet
- Feltételek: elegendő U-235 koncentráció + kritikus tömeg + moderátor (víz)
- Ilyen természetes reaktor maradványait találták Oklo területén
- Az uránércben az U-235 aránya szokatlanul alacsony ($\sim 0,4\%$), mert korábban láncreakció zajlott
- A hasadási termékek (pl. neodímium-izotópok) jelenléte bizonyítja a maghasadást
- A természetes reaktor kb. 1,8 milliárd éve működött, vízzel moderált rendszerként
- Önszabályozó volt: felmelegedéskor a víz felforrt → a reakció leállt
- Teljesítménye kb. 15 kW, működése akár 1 millió évig tarthatott



Érvek az atomerőművek mellett

- Érvek mellette
- Kis mennyiségű üzemanyagból nagyon nagy energia nyerhető
- Az üzemanyag hosszú ideig tárolható, könnyen beszerezhető
- Nincs CO₂-kibocsátás, nem szennyezi a levegőt
- Statisztikailag alacsony egészségügyi kockázat más energiatermelési módokhoz képest
- Folyamatos energiatermelés, időjárástól független
→ jó alaperőmű

- Radioaktív hulladék kezelése hosszú távú feladat
- Súlyos baleset esetén nagy környezeti károk lehetnek (pl. Csernobil, Fukushima)
- Nagyon drága az építés és a leszerelés
- Összefügghet az atomfegyverek elterjedésével
- Nem megújuló energiaforrás
- A keletkező anyagok közül pl. Pu-239 felezési ideje ~24 000 év

Ellenérvek az atomerőművek ellen

Marslakók – XX. századi tudósok

- Magyarország születésű tudósok, akik az atomfizika fejlődésében kulcsszerepet játszottak:
- Szilárd Leó (1898-1964): Láncreakció elve, Manhattan Projekt
- Wigner Jenő (1902-1995): Nobel-díj 1963, reaktortudomány
- Teller Ede: Hidrogénbomba
- Neumann János: Számítógépek alapjai
- Mind az USA-ban dolgoztak és befolyásolták az elmúlt évszázad történelmét.



Paksi Atomerőmű

- 4 db nyomottvizes reaktor (PWR) működik
- Üzemanyag: urán-oxid (UO_2), kb. 5%-os dúsítású U-235
- Moderátor és hűtőközeg: könnyűvíz (H_2O)
- Két zárt vízkör: primer és szekunder kör
- Működés
 - Primer kör: $\sim 300^\circ\text{C}$, 123 bar nyomás, ezért a víz nem forr fel
 - A hő a gőzfejlesztőben gőzt hoz létre a szekunder körben
 - A gőz turbínát hajt, amely a generátorban villamos energiát termel
- Teljesítmény
 - Egy blokk: ~ 500 MW villamos teljesítmény
 - Összesen: ~ 2000 MW
 - Magyarország villamos energiájának kb. 40%-át termeli
- Hűtés
 - A gőz a Duna vizével hűl vissza
 - A víz kb. 8°C -kal melegebben kerül vissza a folyóba

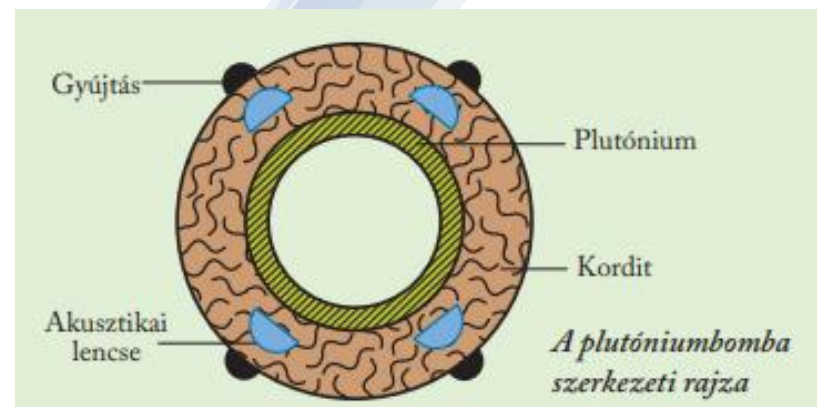
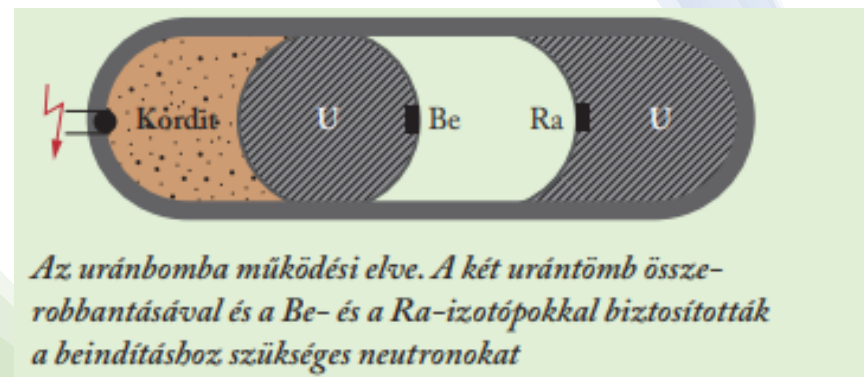
Szabályozatlan láncreakció: tömegpusztító fegyverek

Uránbomba működése

- Két külön kritikus tömeg alatti urántömb
- Hagyományos robbanószer összelöki őket
- Az egyesített tömbben beindul a gyors láncreakció
- A folyamat mikroszekundumok alatt zajlik le, hatalmas energia szabadul fel

Plutóniumbomba (implóziós elv)

- Üreges plutóniumgömb → nem kritikus tömeg
- Robbanótöltetek összenyomják a gömböt
- A sűrűség növekedése → kritikus tömeg létrejön → robbanás





Köszönöm a Figyelmet