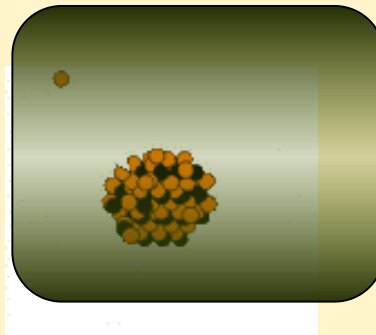


# NUKLEÁRIS ENERGIA FELHASZNÁLÁSA

## Maghasadás, fúzió



# AZ ATOMMAG

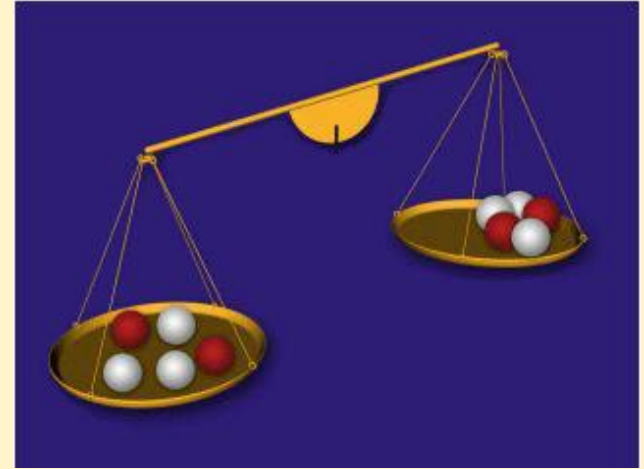


A körülbelül  $10^{-14}$  m méretű,  $Z$  protonból és  $N$  neutronból, vagyis  $A$  nukleonból felépülő  $X$  atommag (nucleus, nuklid).

A nukleonokat, az igen kicsi hatótávolságú, a coulomb erőnél nagyságrendekkel nagyobb, magerő tartja össze.

# TÖMEGHIÁNY (TÖMEGDEFEKTUS)

Az egynél több nukleont tartalmazó atommag tömege mindig kisebb, mint az őt alkotó nukleonok tömegének az összege.



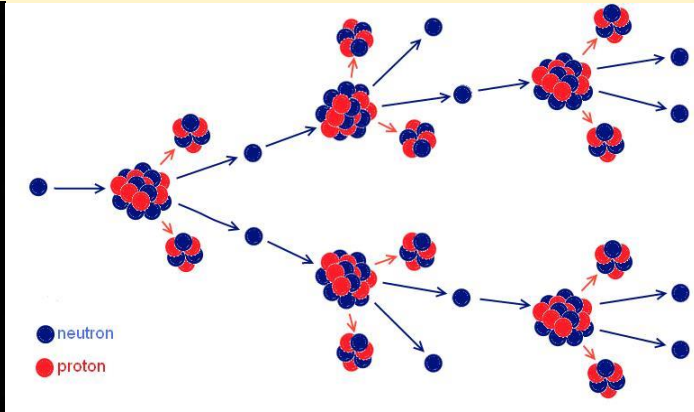
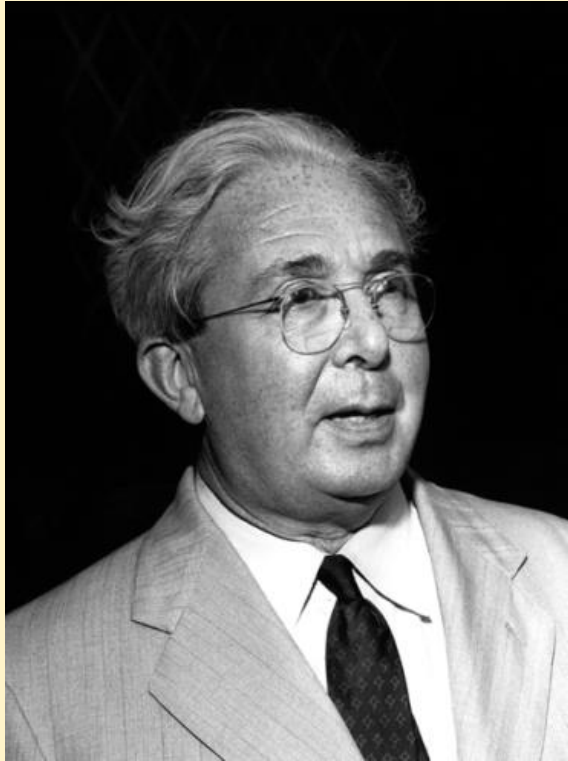
Amikor a nukleonok „összeállnak” egy atommaggá, **tömegük egy része energiává alakul át**, ez a tömeg hiányzik.

Minden magra felírhatjuk:  $\Delta m = Z \cdot m_p + (A-Z) \cdot m_n - m_{mag}$

$\Delta m$  tömeghiány segítségével meghatározható az atommag kötési energiájának nagysága:  $E = (\Delta m) \cdot c^2$ .

**A felszabaduló energia felhasználható!**

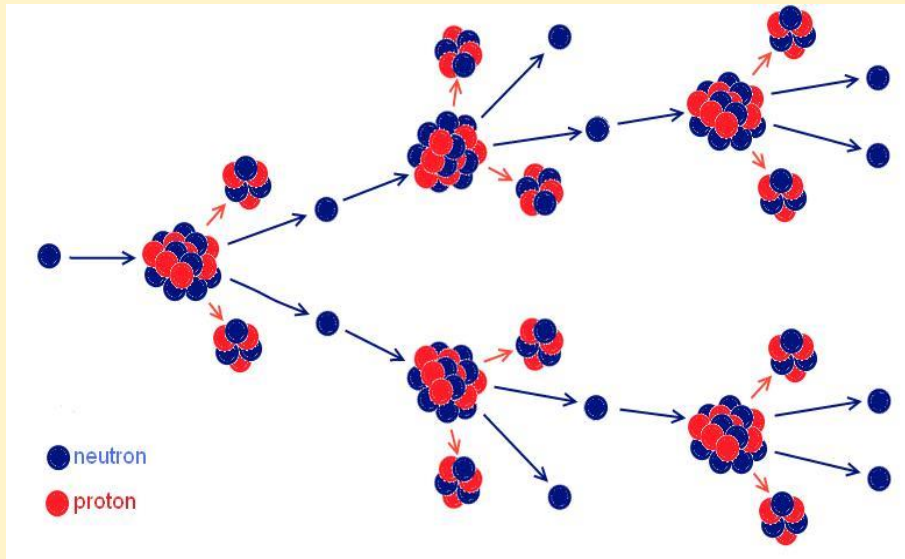
# SZILÁRD LEÓ ÉS A LÁNCREAKCIÓ GONDOLATA 1933. SZEPTEMBERÉBEN



„Vártam, hogy a lámpa átváltson. Amikor zöld lett és az úton haladtam át, hirtelen az jutott az eszembe, hogy ha találnánk egy olyan elemet, amelyik a neutronok hatására felhasad, és közben két neutronot bocsát ki, de csak egy neutronot nyel el, és ha még azt is megtehetnénk, hogy ebből az elemből elegendően nagy mennyiséget gyűjtsünk össze egy darabban, **akkor létrejönne a nukleáris láncreakció** feltételei. Abban a pillanatban semmilyen elképzelésem sem volt, hogyan lehetne az alkalmas elemet megtalálni, milyen kísérletek lennének ehhez szükségesek, de a gondolat többé sosem hagyott el. „

(W. Lanouette, Szilárd Leó 116. oldal)

# 1934. MÁRCIUS 12-ÉN SZABADALOM BEJELENTÉSE

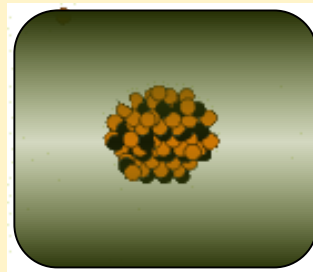


A „láncreakció  
rögeszme” – ahogy  
maga elnevezte -  
továbbra sem hagyta  
nyugodni Szilárdot.  
*1934. március 12-én  
szabadalmat jelentett  
be, amely a 440023  
szám alatt lett  
bejegyezve és  
kérésére a Brit  
Admiralitás  
titkosította.*

***Kérdés: Melyik lehet az az elem, amelynek felhasználásával megvalósítható a láncreakció?***

# Maghasadás

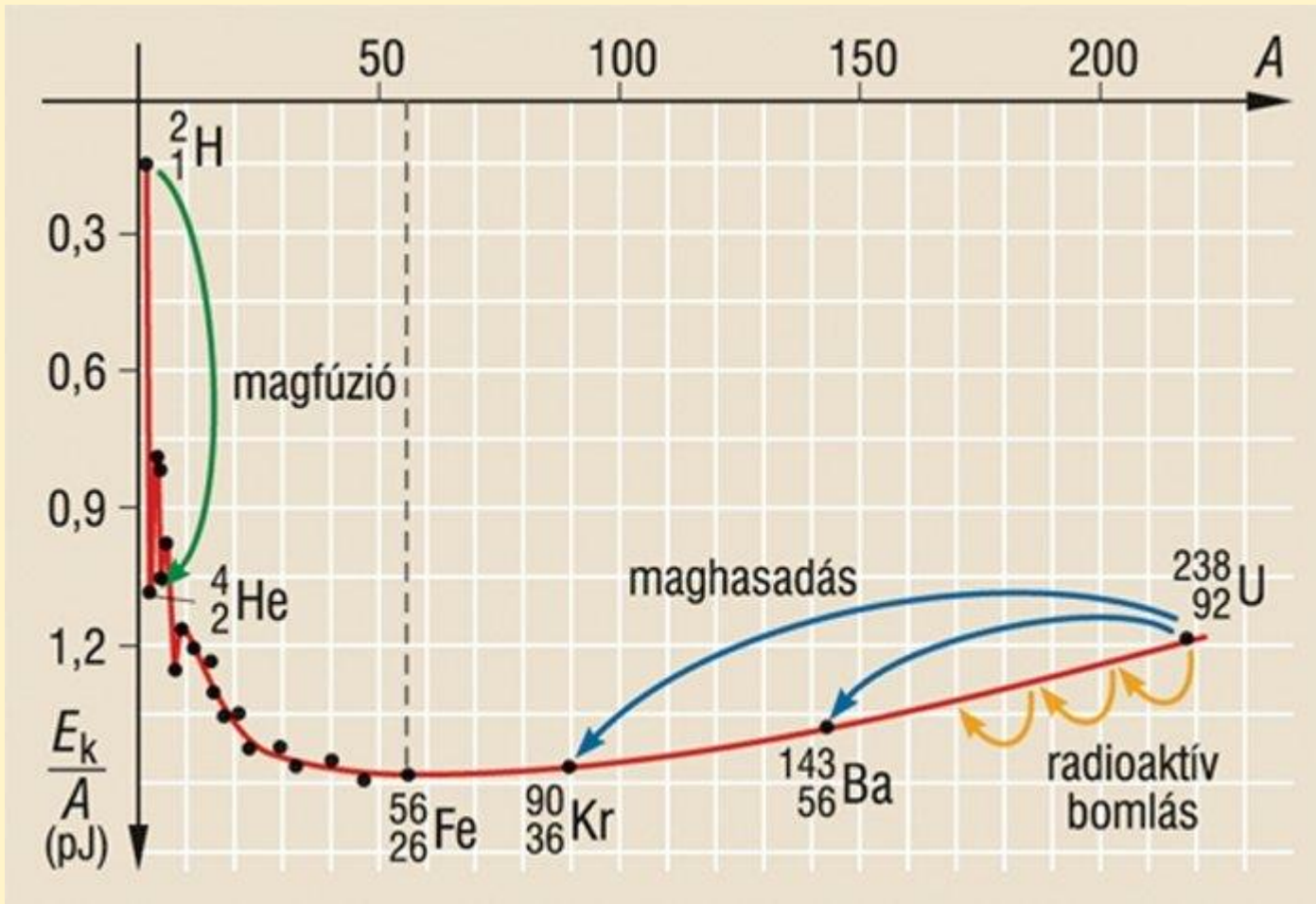
## AZ URÁN MAGOK HASADÁSA



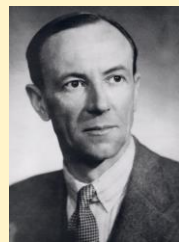
# A NEHÉZ ATOMMAGOKBÓL ENERGIA SZABADUL FEL, HA EZEK KÖNNYEBB ATOMMAGOKRA HASADNAK EL SZÉT

Egy nukleonra jutó átlagos kötési energia

Tömegszám



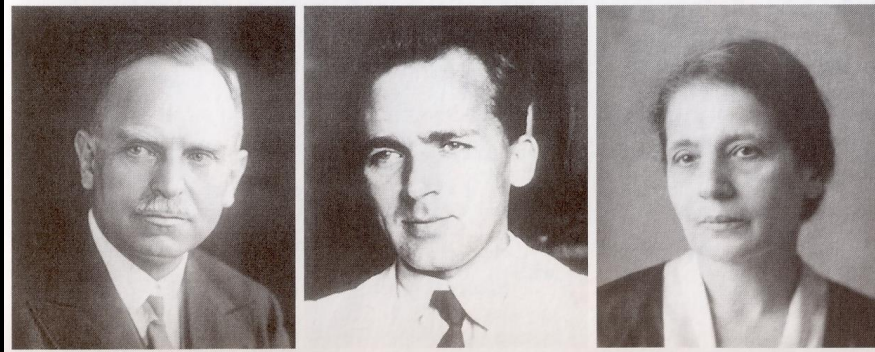
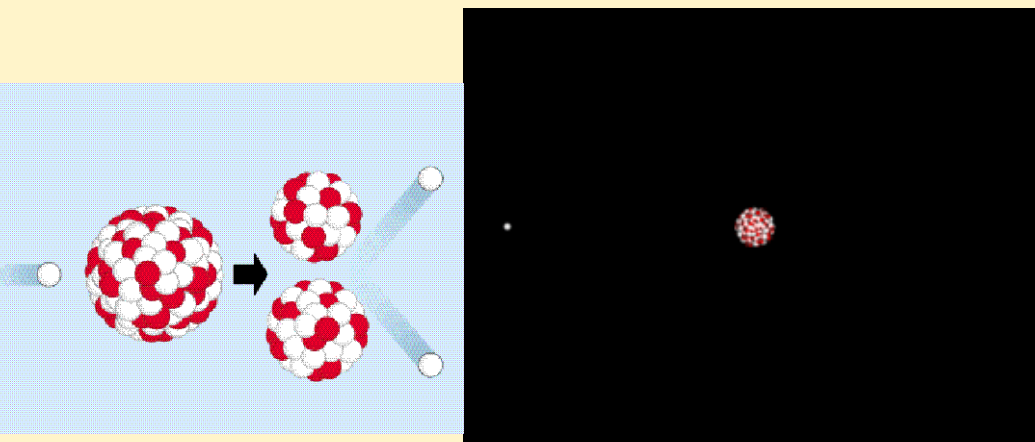
# MEGHATÁROZÓ ESEMÉNY: MAGHASADÁS FELFEDEZÉSE



Chadwick

Német tudósok uránt neutronokkal(1932-ben Chadwick fedezte fel) besugározva azt tapasztalták, hogy az uránmagok két közepes tömegű magra váltak szét.

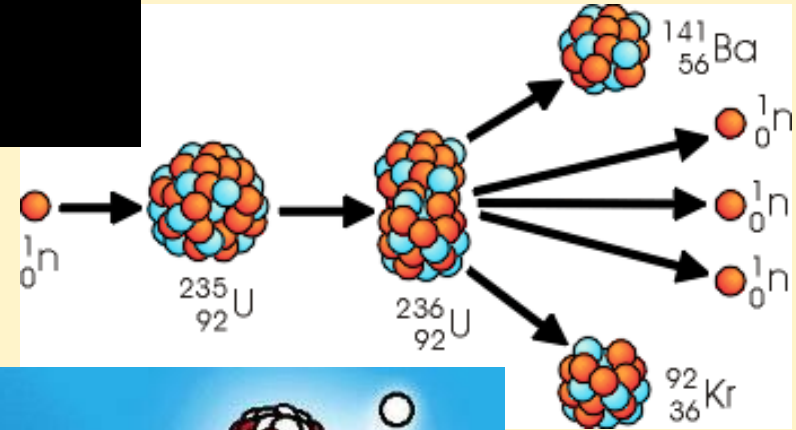
**A kísérletileg először megvalósított maghasadás (fisszió) Otto Hahn, Fritz Strassmann és Lise Meitner nevéhez fűződik. Írásuk 1939. január 6-án jelent meg a Die Naturwissenschaften című lapban.**



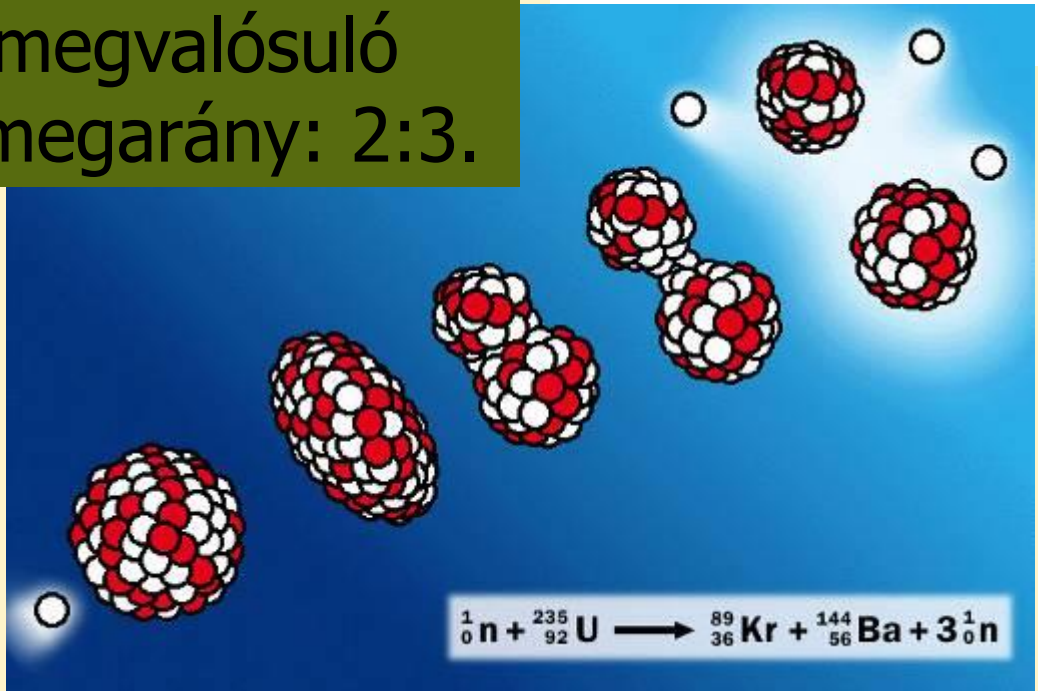
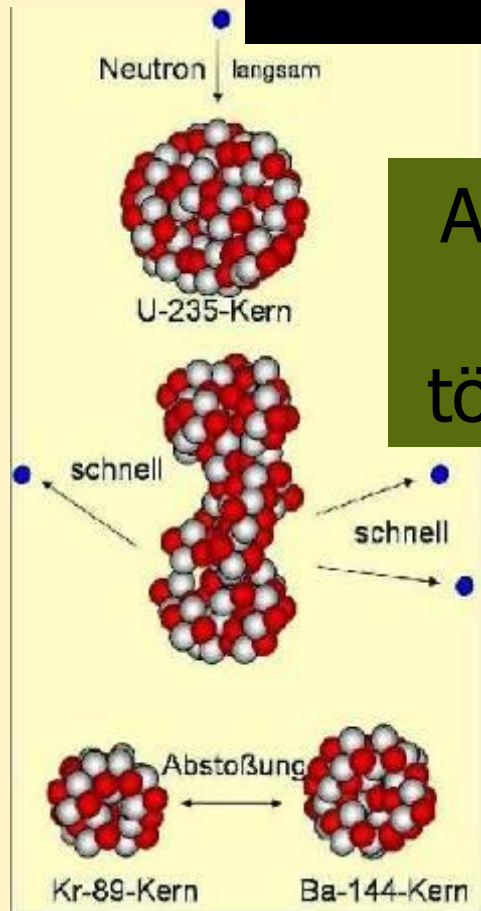
Otto Hahn, Fritz Strassmann és Lise Meitner



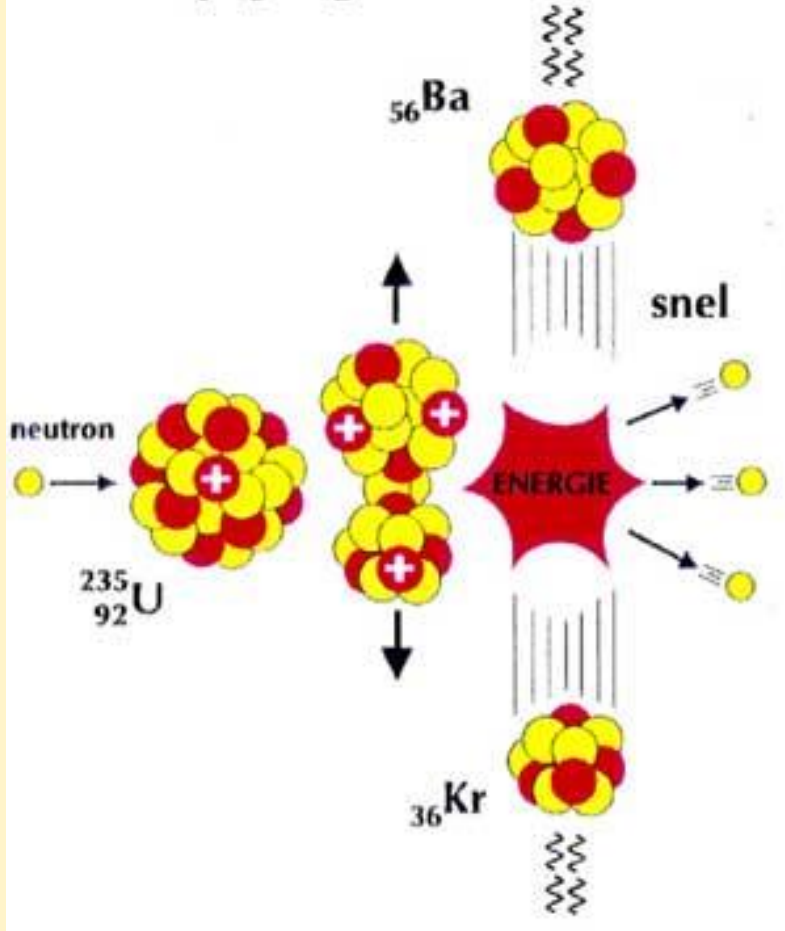
# Az uránmagok sokféle módon hasadhatnak ketté:



A leggyakrabban megvalósuló tömegarány: 2:3.

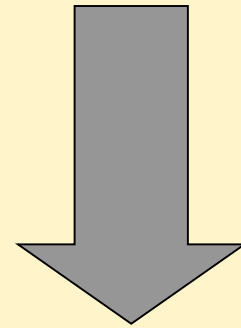


## Kernsplijting



Egy uránmag hasadásakor  
felszabaduló energia:

kb. 30 pJ



1 kg uránt használva ez:

kb.  $4,2 \cdot 6 \cdot 10^{23} \cdot 30 \text{ pJ} =$

76 millió MJ !

(Ez kb. 4000 tonna jó minőségű szén elégetésével nyerhető!!!)

# **SZILÁRD LEÓ: AZ URÁN MAG HASADÁSA RÉVÉN MEGVALÓSULHAT A LÁNCREAKCIÓ!**

A maghasadás gyakorlati felhasználásához a folyamatot önfenntartóvá lehet tenni



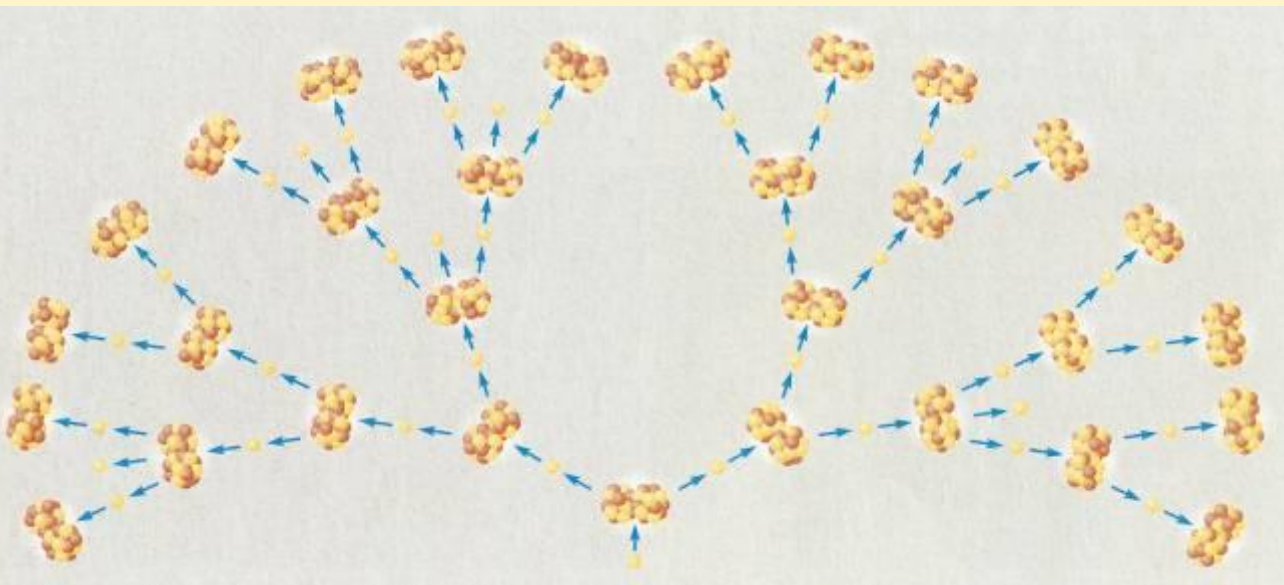
**láncreakció**

Szilárd Leó felismerte, hogy az urán magok hasadásával megvalósítható a láncreakció.

Neutron-besugárzással olyan magátalakulásokat hozunk létre, amelyek további – hasításra képes – neutronokat keltenek.

# A láncreakció megindulásának feltételei:

1. átlagosan **1-nél több neutron szabaduljon fel** hasadásonként (a  $^{235}\text{U}$  alkalmas erre)
2. A keletkező neutronokat **lassítani (moderálni)** kell, mert csak ezek hoznak létre hasadást
3. a felszabaduló neutronok közül több, mint 1 **hozzon létre újabb hasadást** (kritikus tömeg, lassú neutronok, izotópdúsítás)



Ha ezek a feltételek teljesülnek, akkor a hasadások száma lavinaszerűen megnő. Rövid időn belül hatalmas energia szabadul fel.



szabályozatlan hasadási láncreakció

# KRITIKUS TÖMEG

**A láncreakciónál  
ügyelni kell, hogy a  
neutronok ne  
szökjenek ki az  
urán tömbből,  
mielőtt újabb  
magokat  
hasítanának.**

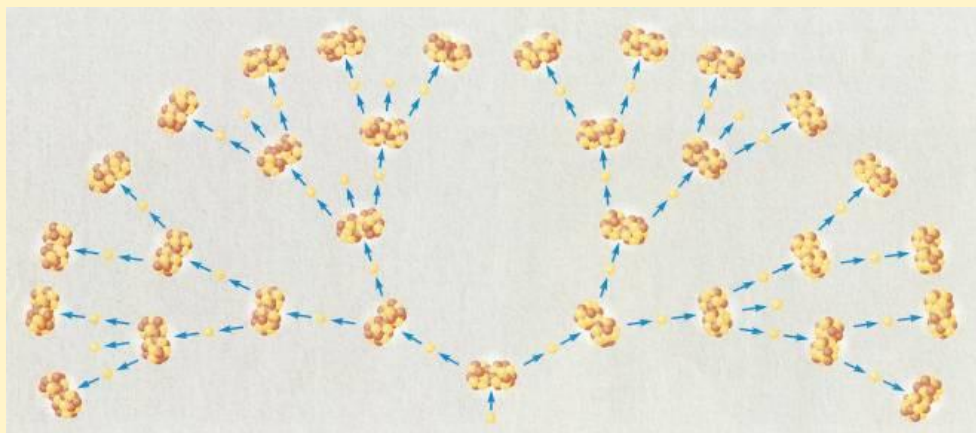
**Ezért elegendően  
nagy tömegű  
uránra van  
szükség. Kritikus  
tömeg.**

**A kritikus tömegnél  
nagyobb tömegben  
a láncreakció  
spontán is  
beindulhat.**

# SOKSZOROZÁSI TÉNYEZŐ, AMELY A LÁNCREAKCIÓ FOLYAMATÁNAK ÁLLAPOTÁT JELLEMZI

$k$  megadja, hogy egy hasadásra átlagosan hány újabb hasadás jut:

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

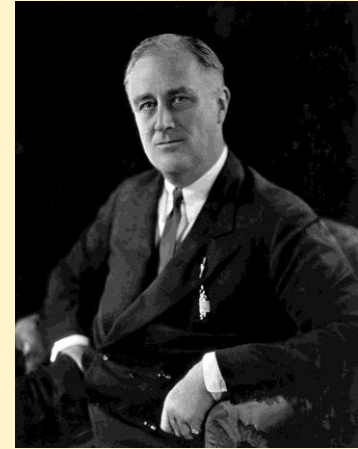


$k > 1$  **szuperkritikus állapot** (megszaladó láncreakció)

$k = 1$  **kritikus állapot** (normál üzemmód)

$k < 1$  **szubkritikus állapot** (láncreakció leállítás)

# ***EINSTEIN HÍRES LEVELE***



Franklin Delano Roosevelt,  
az Egyesült Államok 32.  
elnöke 1933–1945 között.

Szilárd Leó 1939 augusztusában megírta és Albert Einstein aláírta a híres levelet, hogy figyelmeztessék Franklin D. Rooseveltnél arra a lehetőségre, hogy a nácik atombombát építenek.

# A LÁNCREAKCIÓ MEGVALÓSÍTÁSA: CHICAGÓI ATOMMÁGLYA (1942. DECEMBER 2.)



Einstein levelét követően megindulnak a kísérletek.  
A Chicagói Egyetem Metallurgiai Laboratóriumnak közreműködésével egy stadionban építették meg az első atomreaktort, akkori nevén atommáglyát. A reaktorba 6 tonna urán és 315 tonna grafit volt beépítve. (Szilárd moderátorként  $^{12}\text{C}$  atomokat ajánlott).



The Chicago Pile on 6 December 1942, drawn with the graphite of the reactor.  
The faces are Leo Szilard, Arthur H. Compton, Enrico Fermi, Eugene P. Wigner.

A chicagói atommáglya indításáról készült egykorú rajz. Az atommáglya fölött lebegő fejek:  
Szilárd Leó, Arthur H. Compton, Enrico Fermi és Wigner Jenő.

Forrás: Marx György: A marslakók érkezése. Akadémiai Kiadó, 2000., 56. oldal.



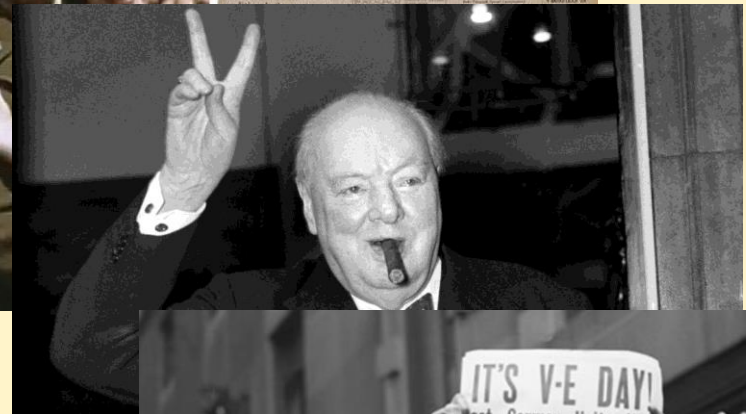
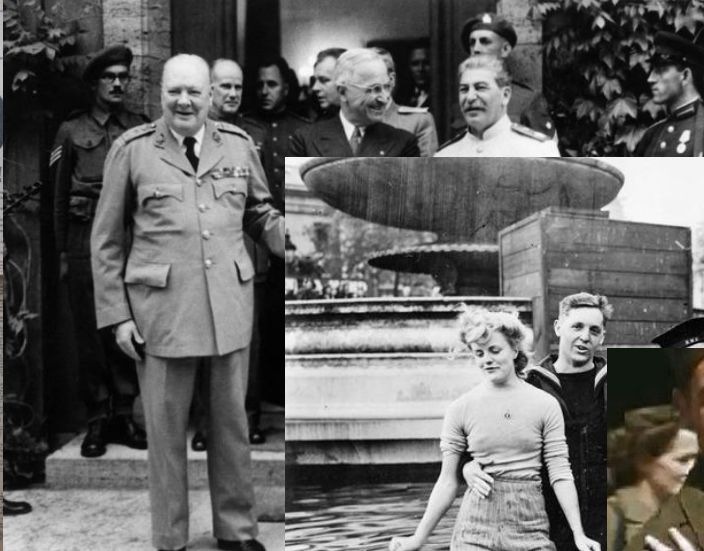
# LOS ALAMOS



A **Manhattan terv** a második világháborúban **az atomfegyver kifejlesztésére szolgáló közös vállalkozás**, melyben részt vett az Amerikai Egyesült Államok, Nagy-Britannia és Kanada. Megindításáról 1942-ben döntött Franklin D. Roosevelttel .

A terv során **Los Alamos** (Új-Mexikó) lett a kutatás központja, Robert Oppenheimer fizikus és Leslie R. Groves tábornok vezetésével.

# SZILÁRD SIKERTELEN PRÓBÁLKOZÁSA A BOMBA BEVETÉSE ELLEN



1945. május 8. Európában véget ért a háború.

1945. július 16. első kísérleti bomba felrobbantása Los Alamosban.

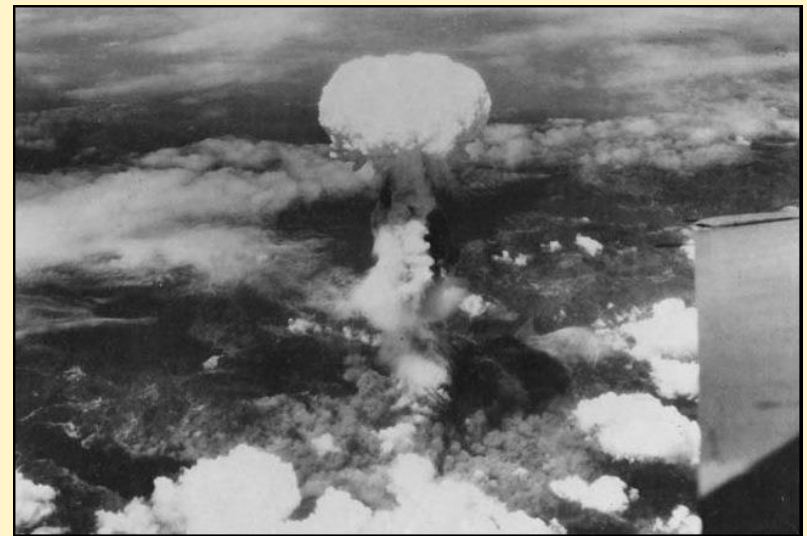
Az atombombát a VE Day után is be akarták vetni Japán ellen.

Szilárd Roosevelt halála után Trumannak leveled írt. Petíciót fogalmazott meg a bomba bevetése ellen.

Próbálkozásai sikertelenek voltak.

# AZ ATOMBOMBA BEVETÉSE, ÓRIÁSI PUSZTÍTÁS

A Rooseveltet követő Truman elnök az ellenzések dacára döntött az új fegyver éles bevetéséről Japán ellen, amire 1945. augusztus 6-án **Hirosima** és 9-én **Nagaszaki** felett sor is került. Az atomtámadások azonnali következménye **több mint kétszáz ezer civil áldozat** volt, és ez döntő szerepet játszott Japán feltétel nélküli kapitulációjában.

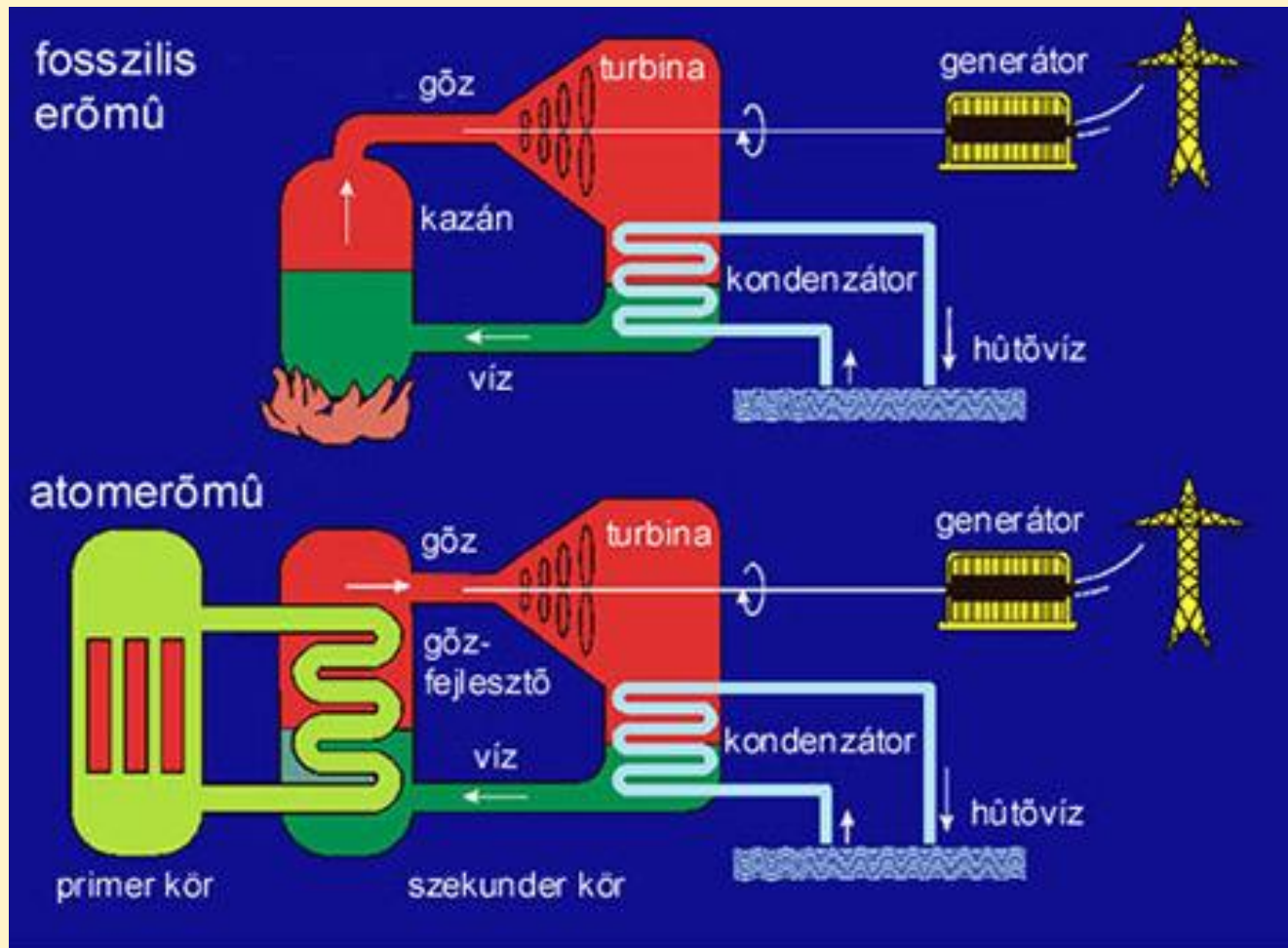


# **Az atomenergia békés felhasználása**

## **VILLAMOS ENERGIA TERMELÉSE ATOMERŐMŰVEKBEN**



# MAGHASADÁS SORÁN NYERT ENERGIÁVAL MŰKÖDŐ REAKTOROK



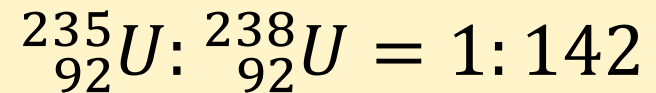
**Az atomerőművekben a turbinák meghajtásához szükséges gőzt nukleáris energiával állítják elő.**

# SZABÁLYOZOTT LÁNCREAKCIÓ

A hasadások  
túlzott  
növekedését meg  
kell akadályozni.

A folyamatot  
egyensúlyban kell  
tartani.

**Természetben:**



**Az  ${}_{92}^{235}\text{U}$  hasad és  
2-3 neutron  
keletkezik.**

**Dúsítani kell.**

# REAKTORBAN: SZABÁLYOZOTT LÁNCREAKCIÓ

Megakadályozzuk az egyidejű hasadások számának túlzott növekedését és a folyamatot egyensúlyban tartjuk.

**Az első atomreaktor, amelyben szabályozott láncreakció folyt, Chicagói Atommáglya volt.**

**k sokszorozási tényező:**

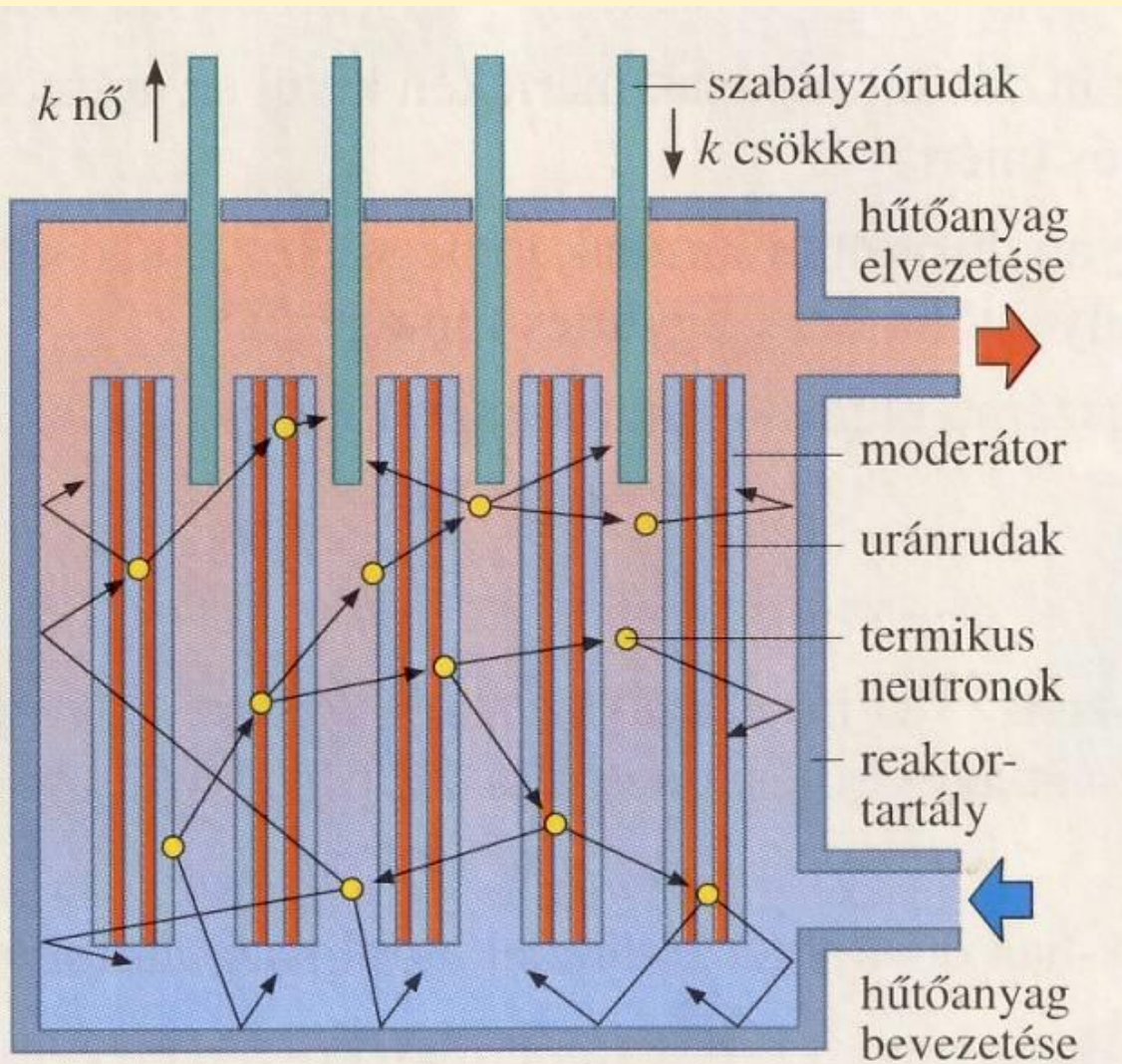
$$k = \frac{\text{újabb hasadások száma}}{\text{elhasadt magok száma}}$$

$k > 1$ : szuperkritikus állapot (atomreaktor beindítása)

$k = 1$ : kritikus állapot (atomreaktor normál üzemmódja)

$k < 1$ : szubkritikus állapot (atomreaktor leállítása)

# SZABÁLYOZOTT LÁNCREAKCIÓ ATOMREAKTORBAN



Folyamatos  
üzem mód  
esetében  $k=1$ .

A tartályon belüli  
rész az aktív zóna.

Szabályozás a  
**szabályzó rudak**  
fel-le  
mozgatásával  
történik.



Az első villamos energiát termelő atomerőművet  
1954-ben indították be Moszkva mellett (Obnyinszk).



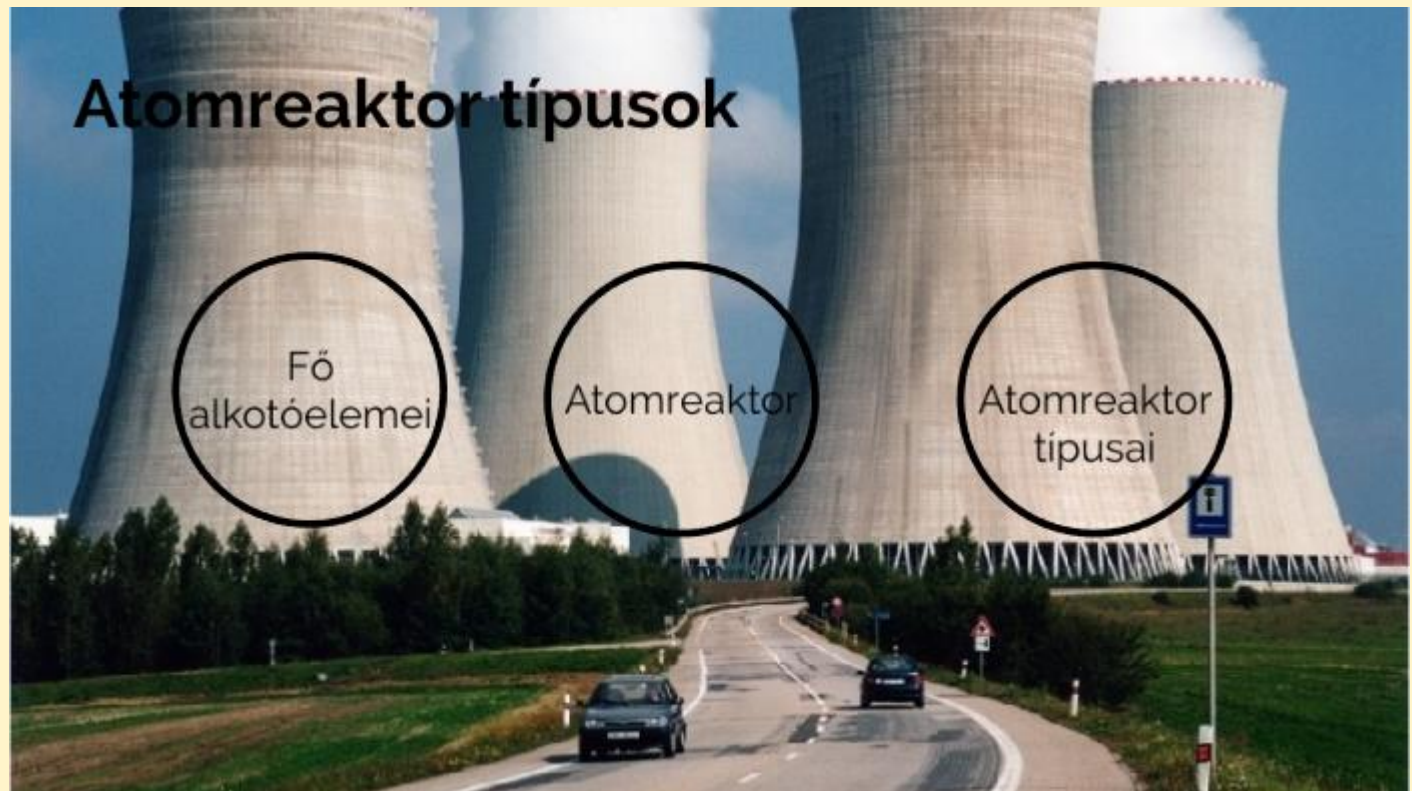
(5 MW villamos teljesítmény)

# NÉHÁNY GYAKORI REAKTOR TÍPUS

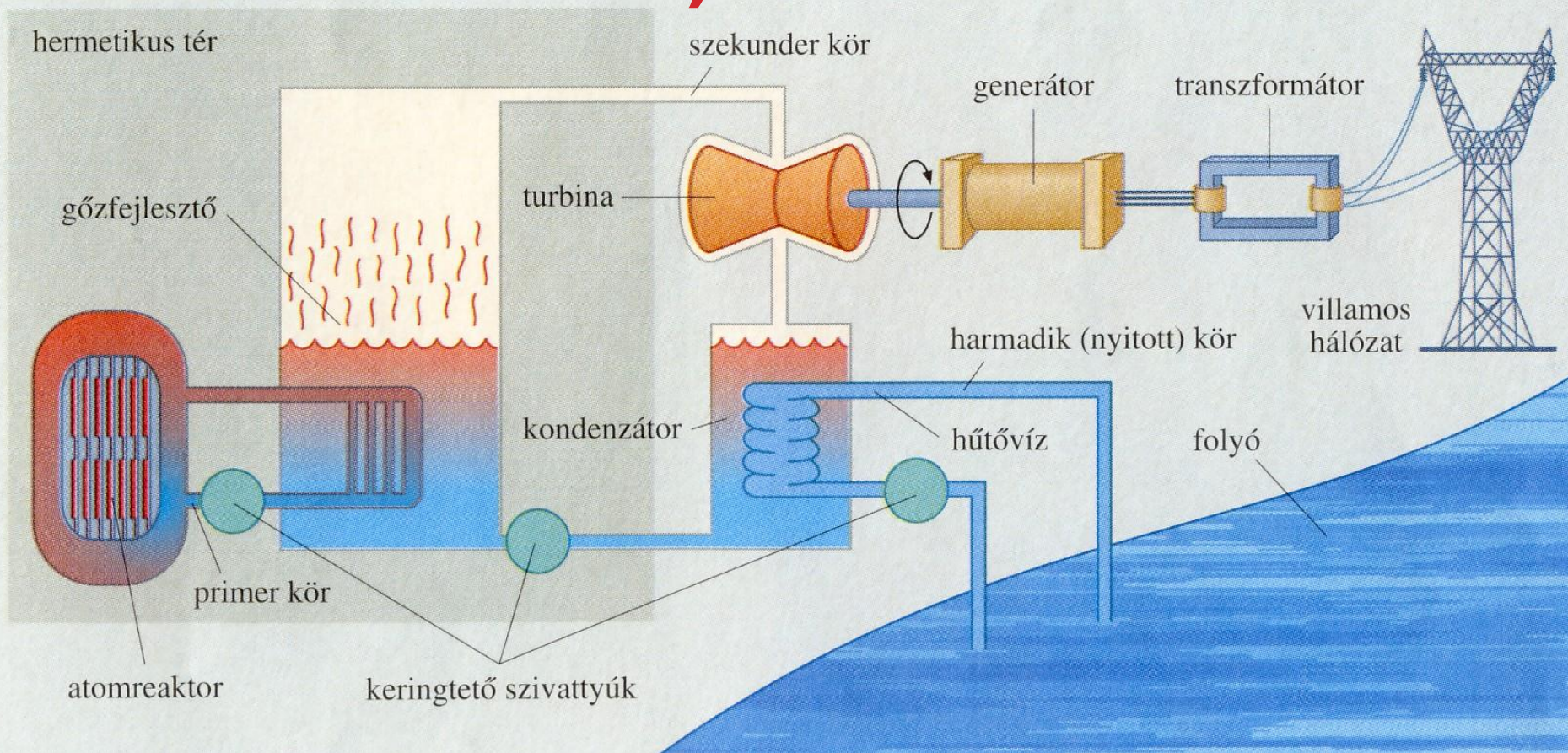
Paks

Fukusima

Csernobil



# NYOMOTTVIZES REAKTOR (PRESSURIZED WATER REACTOR, OROSZUL VVER)



A **primer kör**i víz nem jut el a turbinákhoz. Hőcserélőn keresztül adja át a hőt a turbinákra jutó **szekunder kör**i víznek..

# **NYOMOTTVIZES REAKTOR MŰKÖDÉSE (PAKS)**

**A nyomottvizes reaktorban (Pressurized Water Reactor, oroszul VVER) a fűtőelemeket nagynyomású víz veszi körül.**

**A víznek kettős szerepe van: egyrészt moderátor, másrészt a nagynyomású vizet (primer kör) hőcserélőbe vezetik, ahol a termelt hőt átadja a kisnyomású rendszernek.**

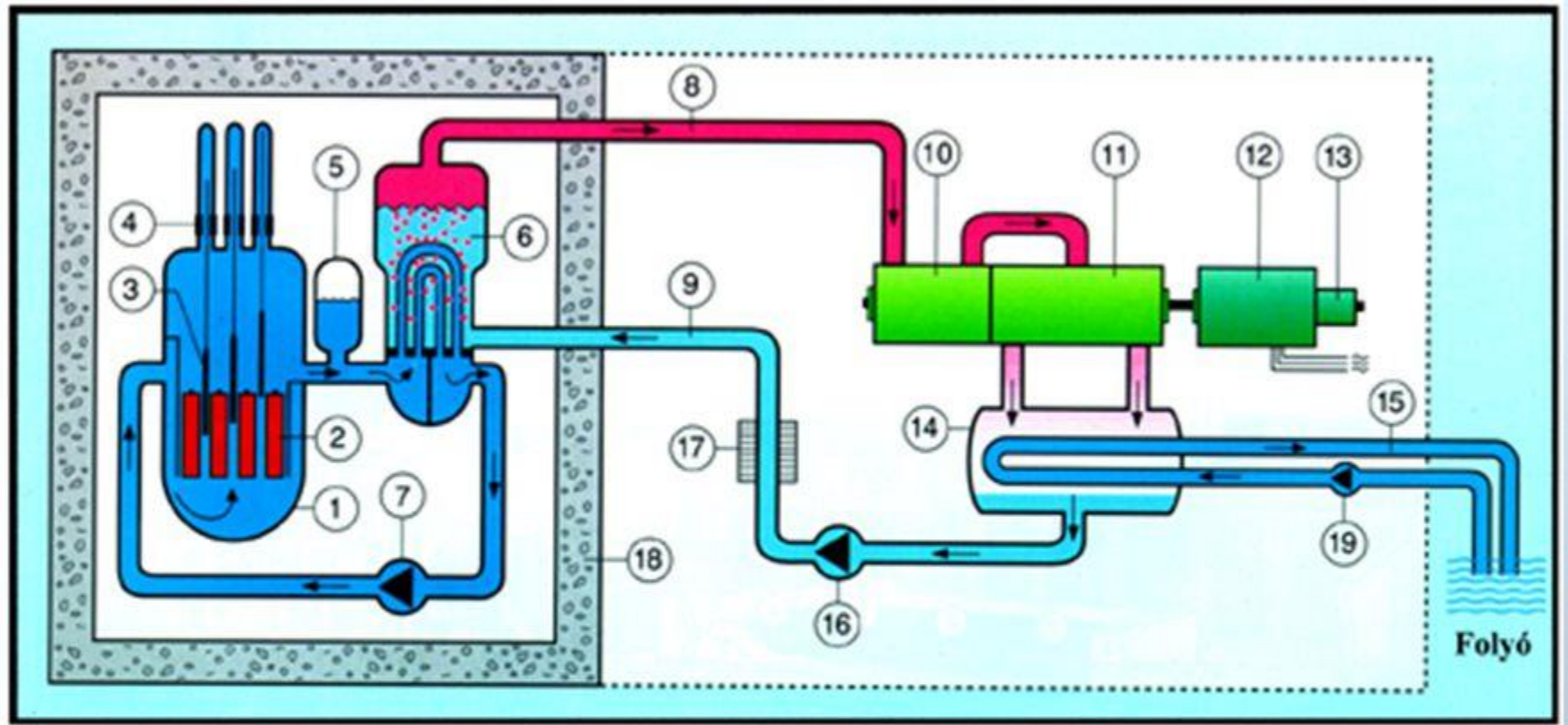
**A primer körbe belépő víz hőmérséklete mintegy 275 °C, melyet a nukleáris reakció körülbelül 315 °C-ra melegít fel.**

**Nagy nyomás (100-150 bar). A primerköri víz gőzfejlesztőkben adja át a hőt a szekunder köri tápvíznek, elforralva azt. A keletkezett gőzt azután a turbinákba vezetik. A reaktor aktív zónájával érintkező (és így radioaktív elemeket tartalmazó) primer köri víz zárt rendszerben kering.**

**A PWR-ben a teljesítményt más módon szabályozzák, mint a forralóvizes reaktor esetében: a szabályzórudak mellett a hűtővízbe kevert bórsavval (a bór jó termikus neutronelnyelő). A szabályzórudakat az üzemanyagöltet kiégéséig csak teljesítményváltoztatásokra, valamint a reaktor gyors leállítására használják.**

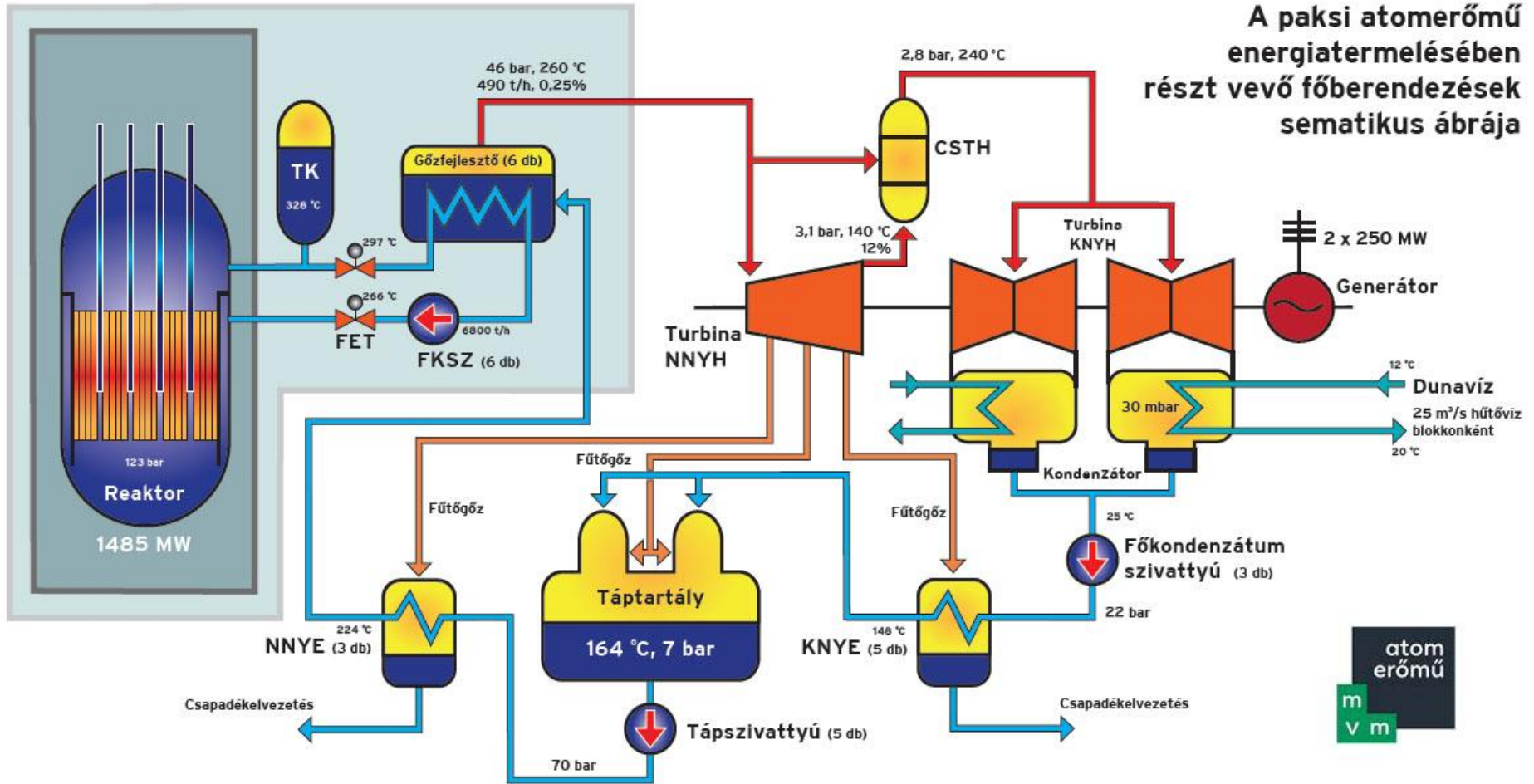
**Ez a legnépszerűbb reaktortípus, sok van különféle járművekbe építve. A Paksi Atomerőműben is ilyen típusú reaktor üzemel.**

# NYOMOTTVIZES REAKTOR (PWR)



- |                         |                          |                        |                              |
|-------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|
| 1. Reaktortartály       | 6. Gőzfejlesztő          | 11. Kisnyomású turbina | 16. Szekunder körű szivattyú |
| 2. Fűtőelemek           | 7. Primer körű szivattyú | 12. Generátor          | 17. Tápvíz előmelegítő       |
| 3. Szabályozórudak      | 8. Gőz                   | 13. Gerjesztő          | 18. Betonvédelem             |
| 4. Szabályozórúd hajtás | 9. Tápvíz                | 14. Kondenzátor        | 19. Hűtővíz szivattyú        |
| 5. Térfogatkompenzátor  | 10. Nagynyomású turbina  | 15. Hűtővíz            |                              |

# A paksi atomerőmű energiatermelésében részt vevő főberendezések sematikus ábrája



Rövidítések: TK- térfogat-kiegyenlítő, FET- fő-elzárótolózá, FKSZ- fő-keringtetőszivattyú, CSTH- csepleváltató túlhevítő, NNYH- nagynyomású ház, KNYH- kisnyomású ház, NNYE- nagynyomású előmelegítő, KNYE- kisnyomású előmelegítő. Megjegyzés: a nyomások abszolút értéként értendők.

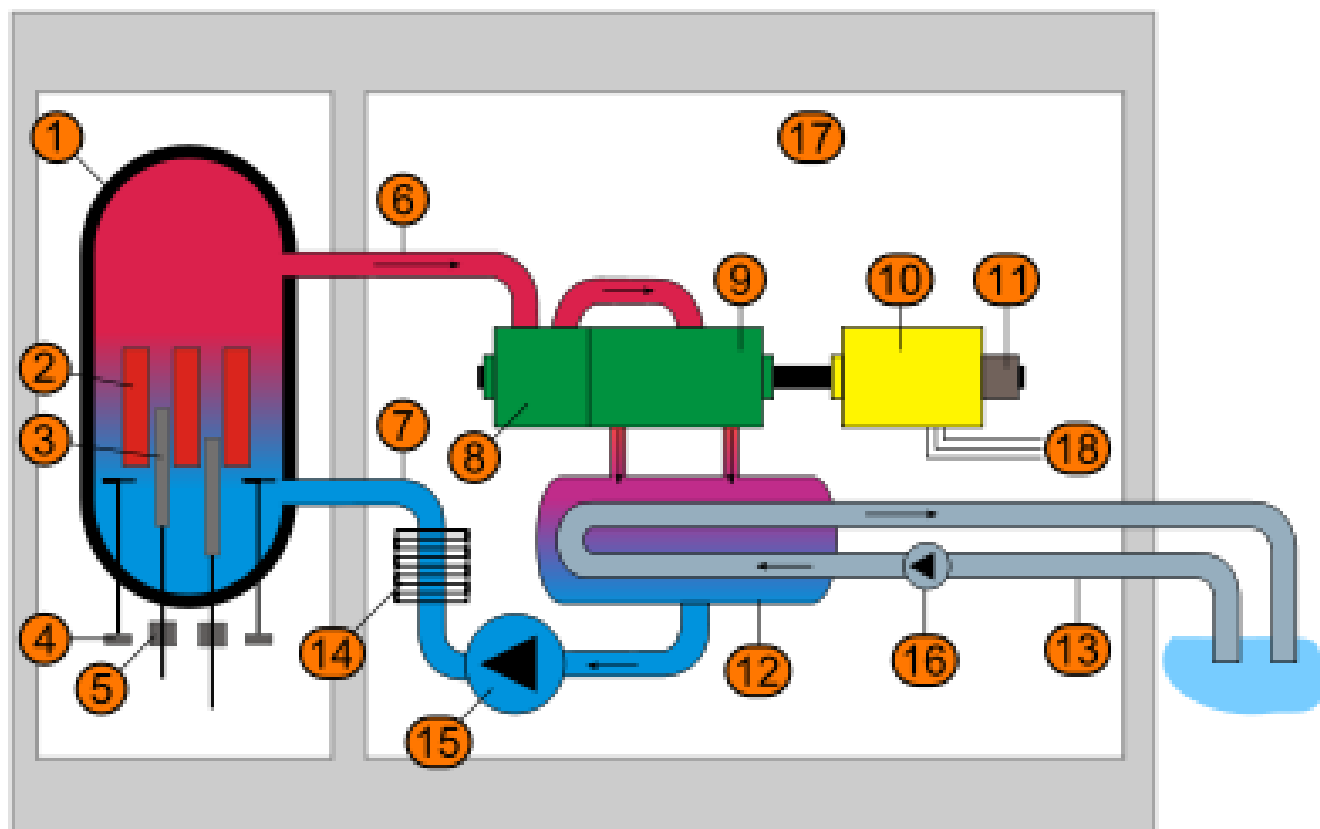
# A paksi atomerőmű:



- 4 reaktorblokk (VVER-440)
- Nyomottvizes
- Elektromos teljesítmény: 4·500 MW  
(ez több, mint 40%-a az országos felhasználásnak)
- Üzemanyag: 42 t  $\text{UO}_2$  (2,4-3,6%  $^{235}\text{U}$ )
- Egyes blokkok üzembe helyezése: 1982, 1984, 1986, 1987
- Egyes blokkok tervezett leállítás: 2032, 2034, 2036, 2037



# FORRALÓVIZES REAKTOR(BOILING WATER REACTOR, BWR)



Ilyen típusú volt a **fukusimai** reaktor.

Az aktív zóna hűtését és a neutronok lassítását is a víz végzi. Sokban hasonlít a nyomottvizes reaktorhoz, azzal a különbséggel, hogy **az aktív zónában keletkező gőzt juttatják a turbinákra.**

1. Reaktortartály

2. Fűtőelem

3. Szabályozórúd

4. Keringetőszivattyú

5. Szabályozórúd hajtás

6. Friss gőz

7. Tápvíz

8. Gőzturbina nagynyomású ház

9. Gőzturbina kisnyomású ház

10. Generátor

11. Gerjesztőgép

12. Kondenzátor

13. Hűtővíz

14. Tápvíz előmelegítő

15. Tápvízszivattyú

16. Hűtővízszivattyú

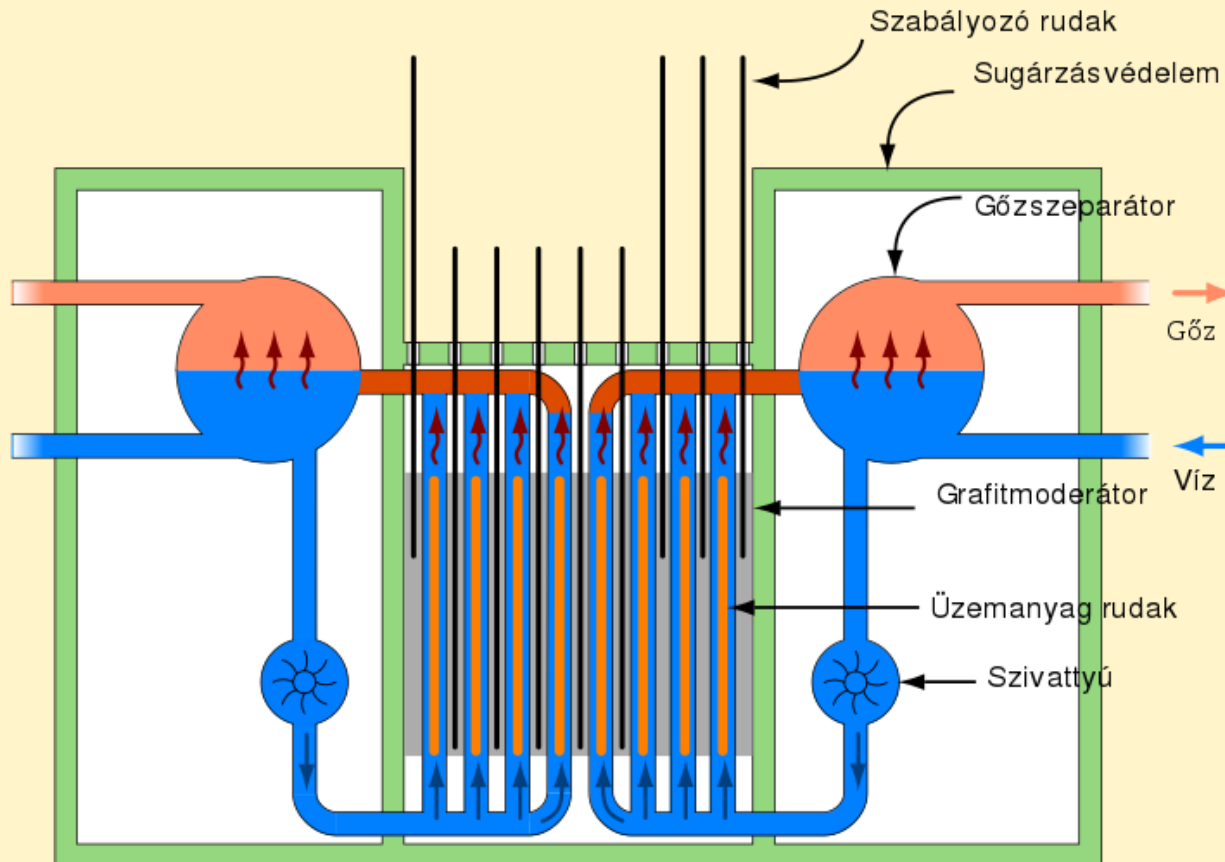
17. Betonsugárvédelem

18. Villamos távvezetékhez



***РВМК (OROSZUL: РБМК – РЕАКТОР БОЛЬШОЙ  
МОЩНОСТИ КАНАЛЬНЫЙ, MAGYAR  
ÁTÍRÁSBAN: REAKTOR BOLSOJ MOSNOSZTYI  
KANALNIJ, MAGYARUL: CSATORNA-TÍPUSÚ, NAGY  
ENERGIAKIMENETŰ REAKTOR) SZOVJET  
GRAFITMODERÁTOROS ATOMREAKTOR***

Ilyen típusú  
volt a  
**csernobili**  
reaktor.



Moderátor: Grafit

# RBMK REAKTOROK

**Előnye, hogy természetes uránnal is működik, így nincs szükség drága dúsítóüzemekre.**

**Ennél a típusnál nincs szükség zárt reaktortartályra, így elvileg igen nagyméretű reaktorok is építhetők, továbbá a hűtési rendszere miatt a fűtőelemkötegek működés közben is cserélhetők.**

**A működési elve megegyezik a forralóvizes reaktoréval, azzal a különbséggel, hogy a neutronokat **grafittal** lassítják.**

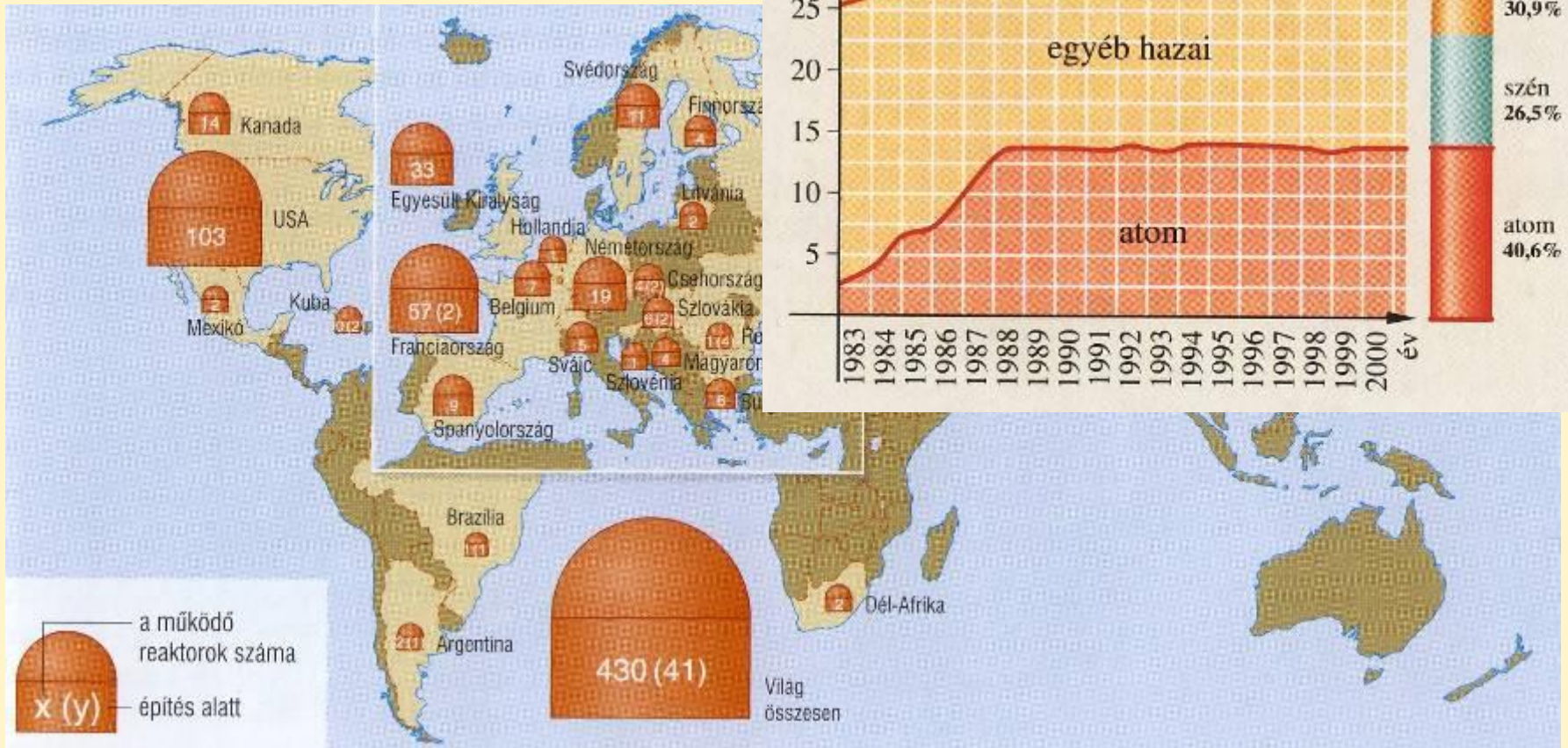
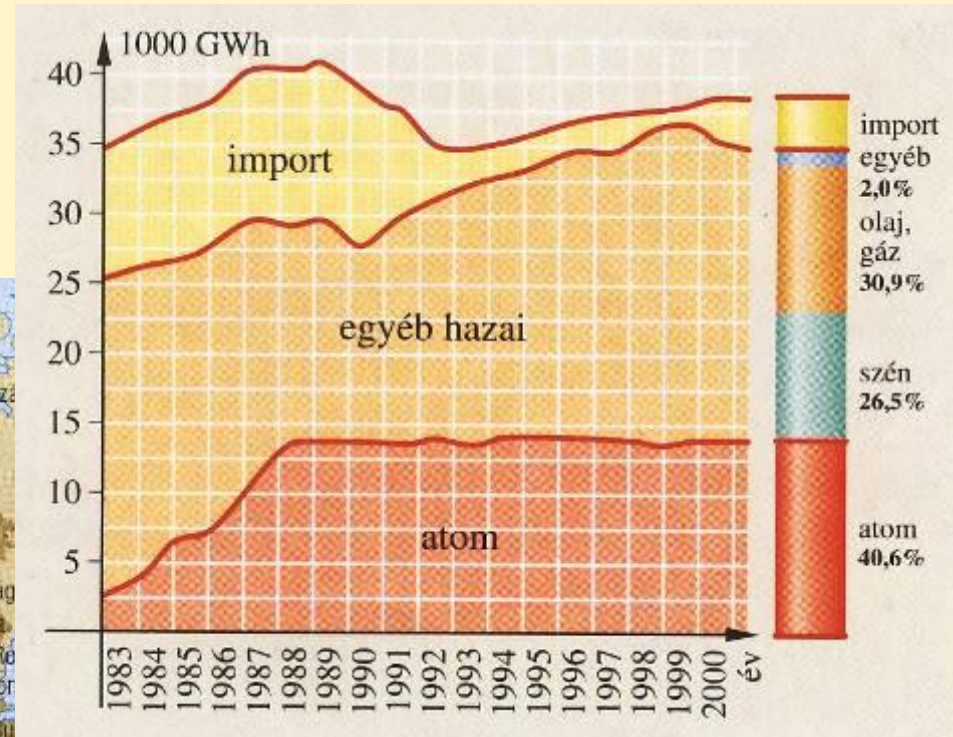
# VILÁG ATOMERŐMŰVEI



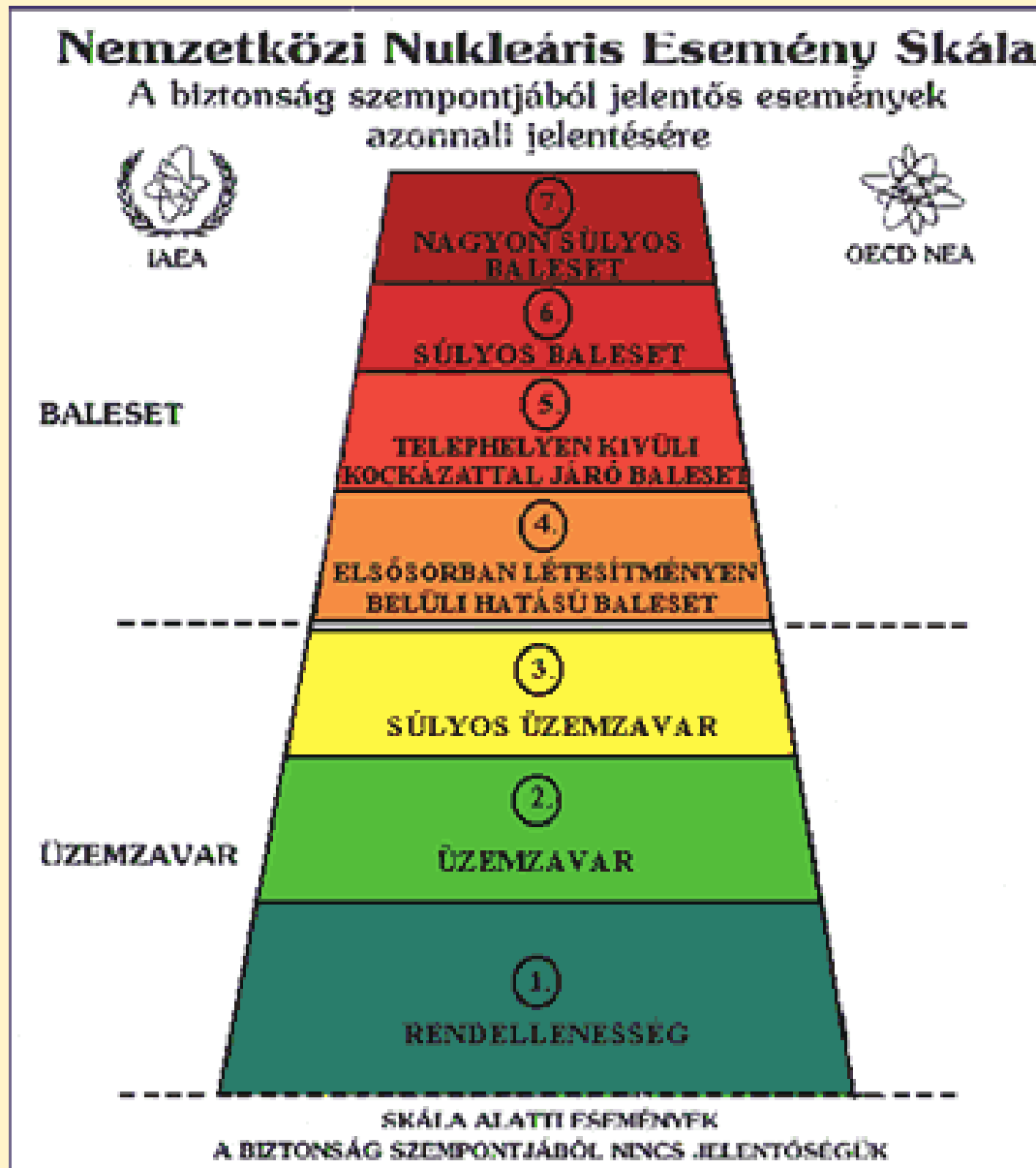


# Atomerőművek a villamosenergia-termelésben:

- A világ vill.energia-termelésének 17%-át atomerőművek adják.
- Magyarországon ez közel 50%.



# Atomerőművek biztonsága és környezeti hatása:

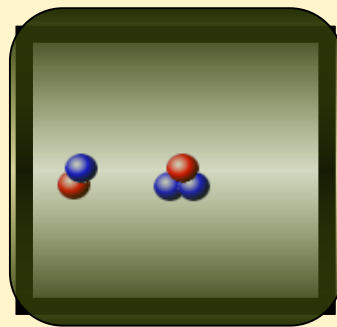


Szint, megnevezés	Kritériumok	Példák
<b>7. Nagyon súlyos baleset</b>	A reaktor zónájában lévő anyag nagy részének környezetbe való kibocsátása, beleértve jellemzően a rövid és hosszú élettartamú radioaktív hasadási termékek keverékét (több tízezer TBq jód-131 egyenérték mennyiségben). Akut egészségkárosodás lehetősége fennáll. Késői egészségi hatások nagy területen, feltehetőleg több, mint egy országot érintően. Hosszú távú környezeti következmények.	Csernobil, Szovjetunió, 1986
<b>6. Súlyos baleset</b>	Hasadási termékek kibocsátása a környezetbe (ezer-tízezer TBq jód-131 egyenérték mennyiségben). A helyi balesetelhárítási terv teljes körű alkalmazására nagy valószínűséggel szükség van a súlyos egészségi hatások korlátozása érdekében.	
<b>5. Telephelyen kívüli kockázattal járó baleset</b>	Hasadási termékek kibocsátása a környezetbe (száz-ezer TBq jód-131 egyenérték mennyiségben). A balesetelhárítási tervek részleges végrehajtása (pl. helyi elzárkóztatás, kitelepítés) szükséges egyes esetekben az egészségi hatások valószínűségének csökkentésére. A zóna nagy részének súlyos károsodása mechanikus hatások és/vagy megolvadás következtében.	Windscale, Nagy Britannia, 1957 Three Mile Island, USA, 1979
<b>4. Elsősorban létesítményen belüli hatású baleset</b>	Radioaktivitás környezeti kibocsátása, amely a környezetben a legjobban veszélyeztetett személynél néhány mSv dózist eredményez. általában nem valószínű, hogy a telephelyen kívül védelmi intézkedésre legyen szükség, kivéve esetleg az élelmiszerek helyi ellenőrzését. A reaktor zónájának károsodása mechanikai hatások és/vagy megolvadás következtében. A dolgozók sugárterhelése olyan mértékben, ami akut egészségi hatásokkal járhat (1 Sv nagyságrendben)	Saint Laurent, Franciaország, 1980 Tokai Mura, Japán, 1999

<b>3. Súlyos üzemzavar</b>	<p>Radioaktivitás környezeti kibocsátása, a megállapított korlátnál nagyobb mértékben, amely a környezetben a legjobban veszélyeztetett személynél néhány tized mSv dózist eredményez. A telephelyen kívüli védelmi intézkedésre nincs szükség.</p> <p>A berendezéshibák vagy üzemviteli zavarok következtében magas sugárszint és/vagy szennyeződés a telephelyen. A dolgozóknak a korlátnál nagyobb mértékű sugárterhelése (50 mSv-et meghaladó egyéni dózisok).</p> <p>üzemzavarok, amelyekben a biztonsági rendszerek egy további hibája baleseti körülményeket teremthetett volna, vagy olyan helyzetek, amelyekben a biztonsági rendszerek nem tudták volna megakadályozni a balesetet, ha bizonyos kiváltó események felléptek volna.</p>	Vandellos, Spanyolország, 1989
<b>2. Üzemzavar</b>	<p>Műszaki üzemzavarok, vagy rendellenességek, amelyek ugyan közvetlenül vagy azonnal nem befolyásolták az erőmű biztonságát, de a biztonsági intézkedések újraértékeléséhez vezethetnek.</p>	
<b>1. Rendellenesség</b>	<p>Működési vagy üzemviteli rendellenességek, amelyek nem járnak kockázattal, de a biztonsági intézkedések hiányosságát jelzik. Ez adódhat berendezéshibából, emberi tévedésből, vagy eljárásrendi hiányosságból. (Ezeket a rendellenességeket meg kell különböztetni azoktól a helyzetektől, amikor az üzemviteli korlátokat és feltételeket nem sértik meg, és amelyeket a vonatkozó eljárás szerint megfelelően kezeltek. Ezek jellemzően "Skála alattiak".)</p>	

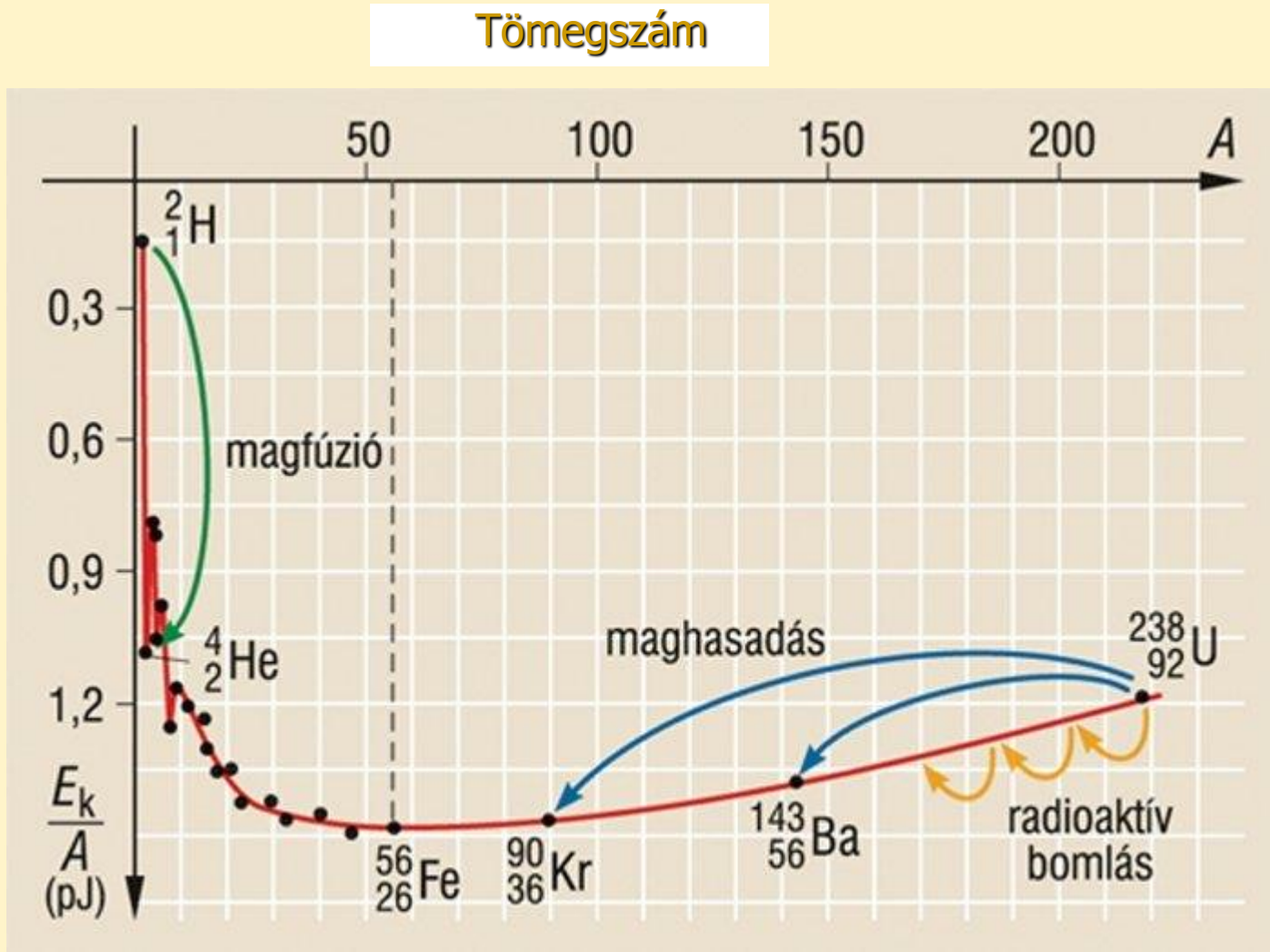


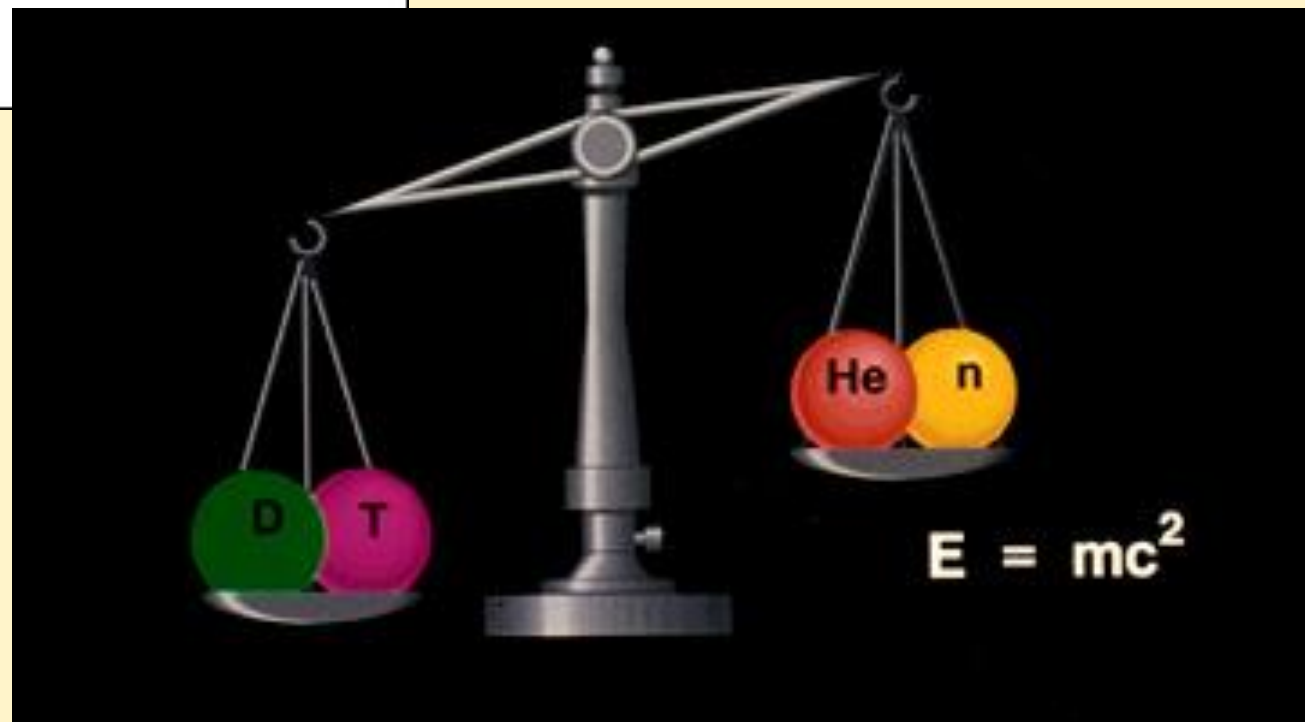
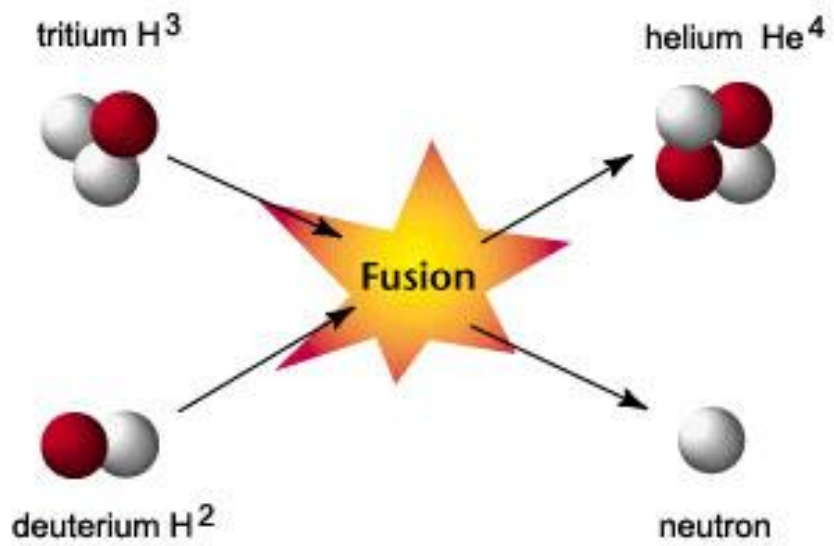
# A KÖNNYŰ ATOMMAGOK FÚZIÓJA



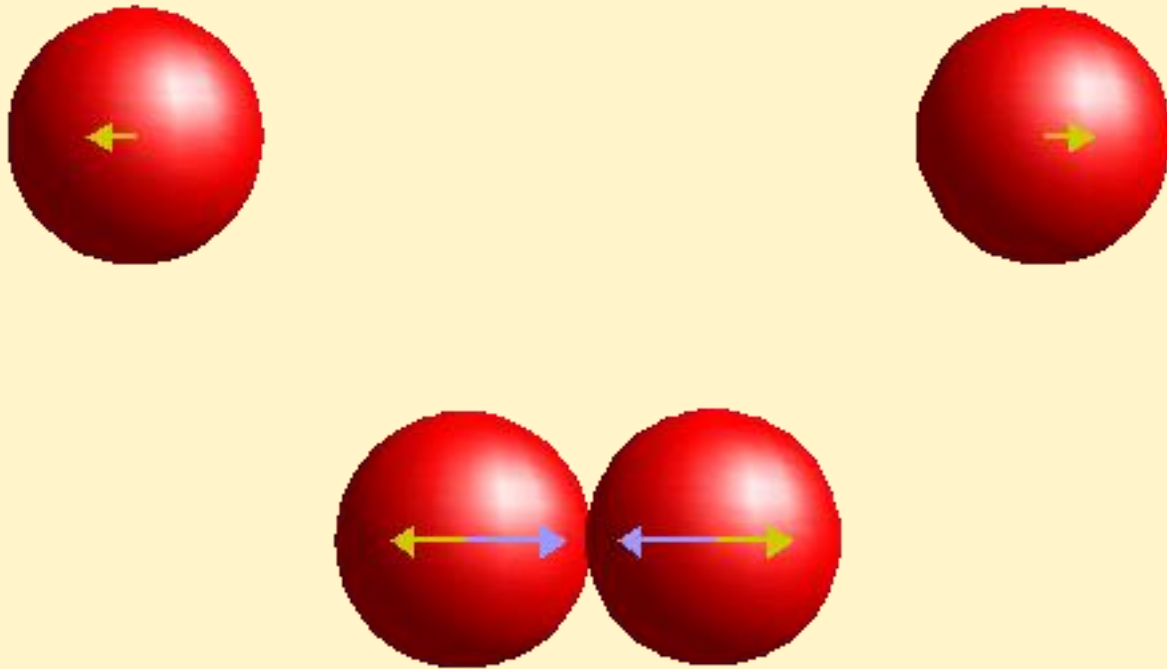
A könnyű (kis tömegszámú) atommagok fúziójánál (egyesülésénél) magenergia szabadul fel:

Egy nukleonra jutó átlagos kötési energia



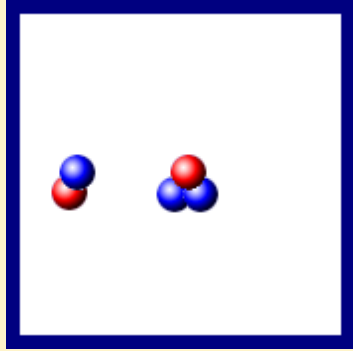


# A fúziós magreakció megvalósulásának feltétele:



A két atommagnak egészen közel kell kerülnie egymáshoz, hogy a nagy hatótávolságú **elektromos taszítóerő** ellenében érvényesülhessen a rövid hatótávolságú, **vonzó jellegű magerő**.

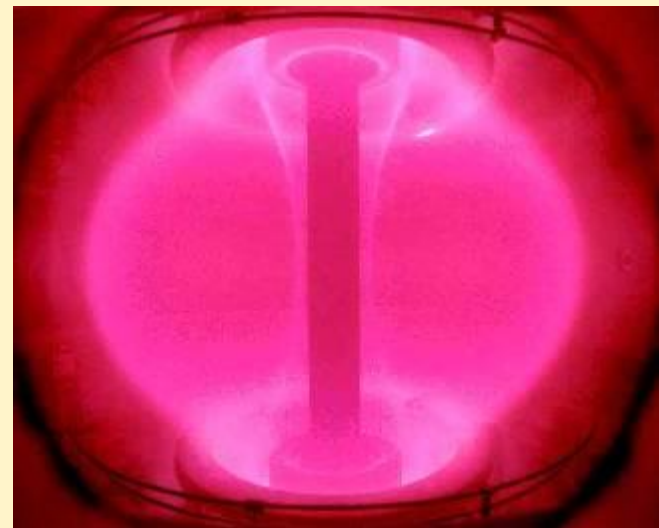
# A fúziós magreakciók tömeges megvalósulásának feltétele:



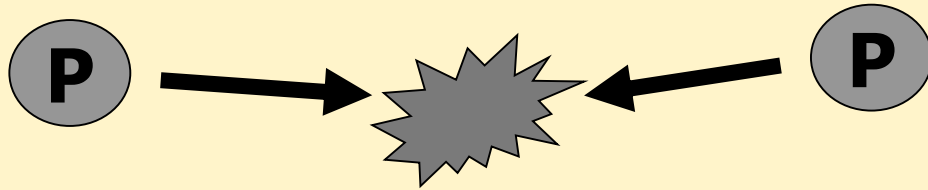
Kellően magas hőmérséklet, amelyen a részecskék intenzív hőmozgása biztosítja az elektromos taszítóerő leküzdéséhez szükséges energiát.

Termonukleáris reakció: makroméretekben megvalósuló tömeges magfúziós reakció

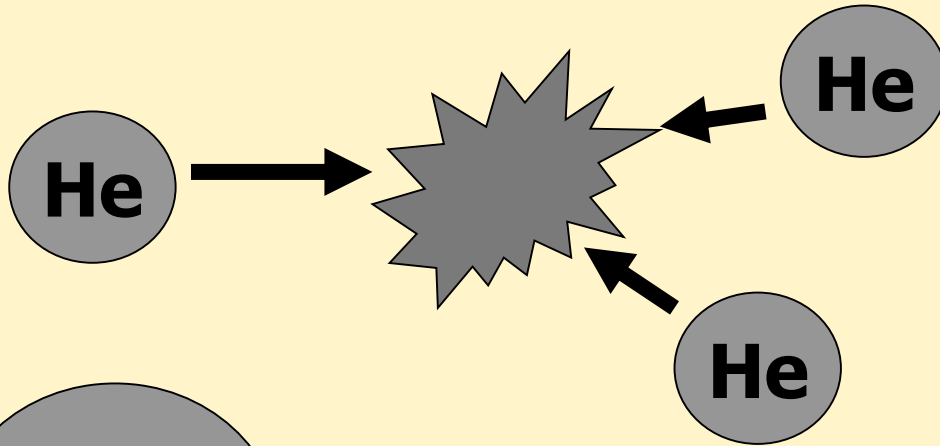
Plazma: „ atommaggáz ”



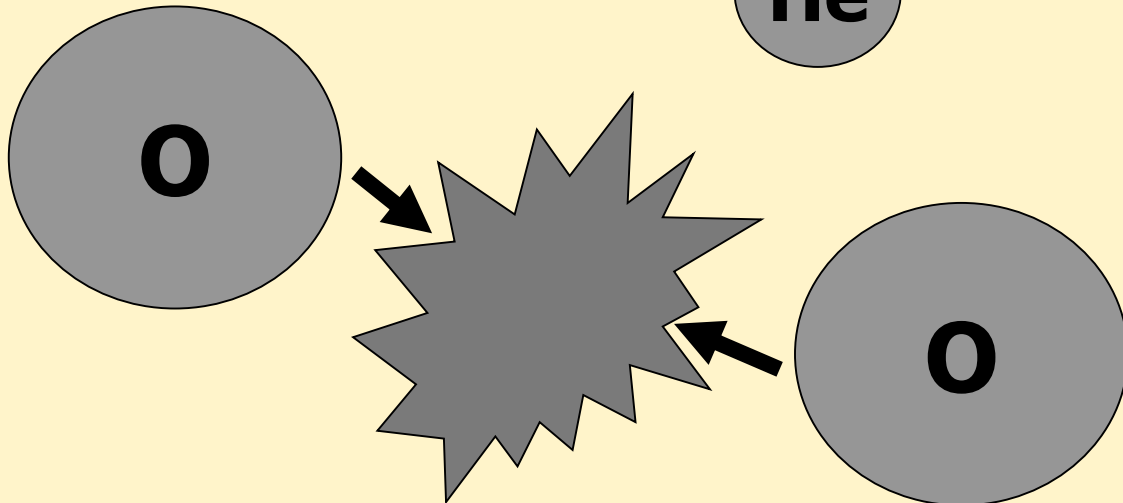
A fúziós folyamatok beindulásához szükséges hőmérséklet függ az atommagok rendszámától:



**15 millió fok**



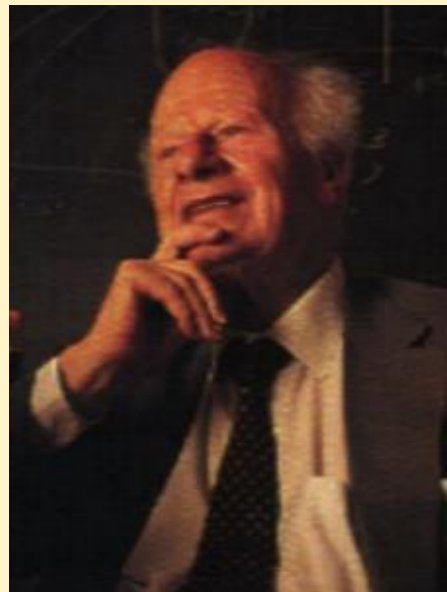
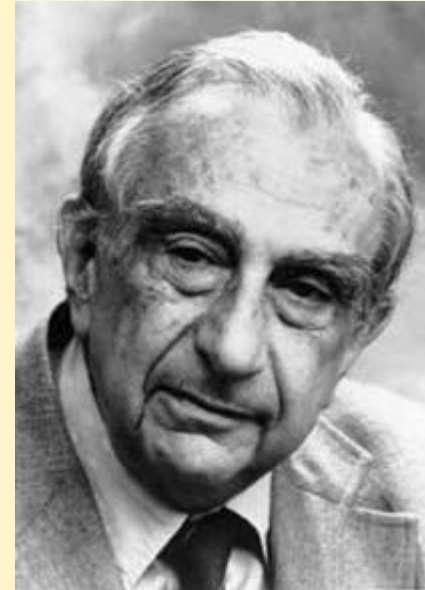
**100 millió fok**



**1000 millió fok**

# A könnyű atommagok fúziójának elméletét

az 1930-as évek elején Teller Ede és George Gamow dolgozta ki.



Ennek alapján 1938-ban Hans Bethe oldotta meg a csillagok energiatermelésének problémáját.

# Magfúzió a Napban



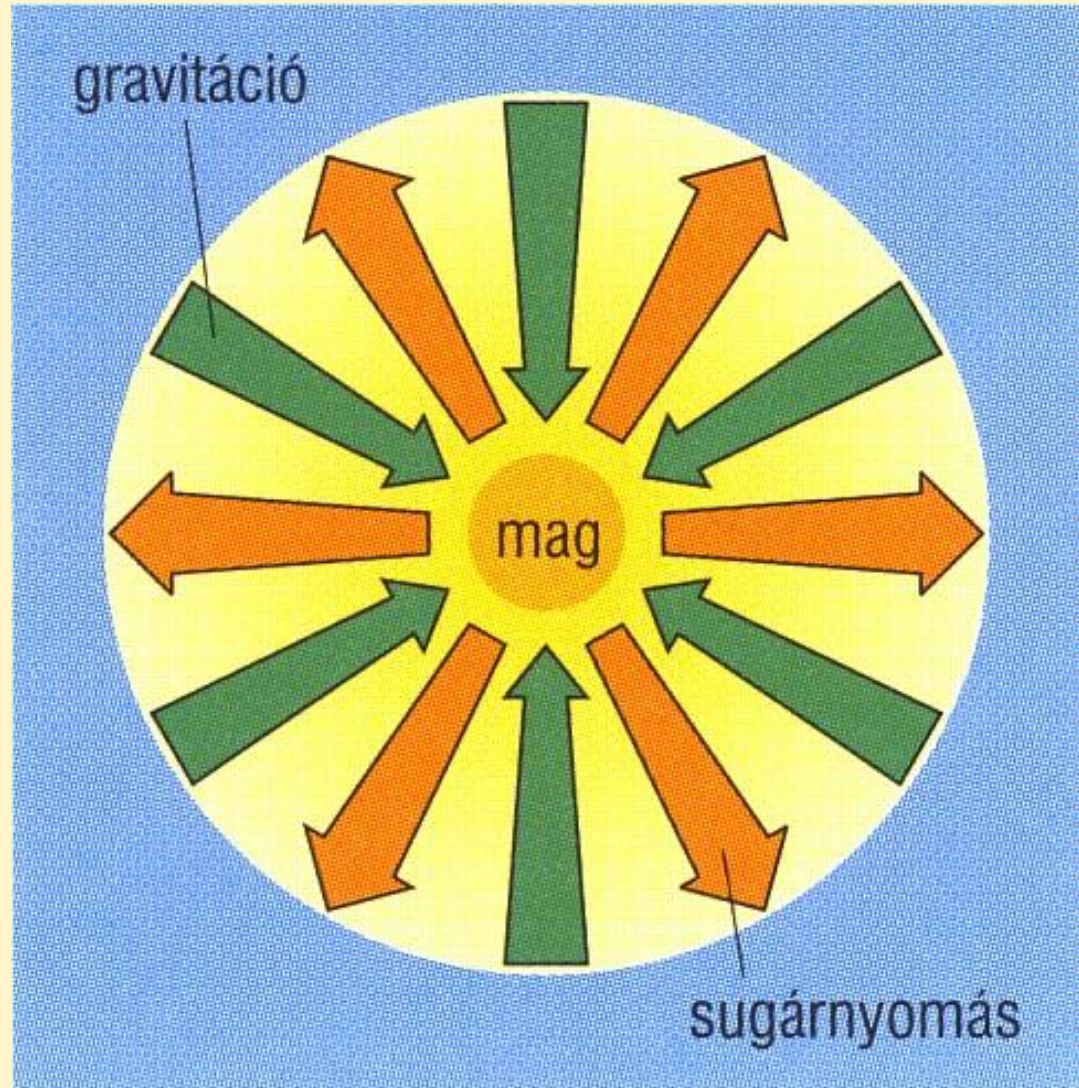
A fúzióhoz szükséges magas hőmérsékletet a csillag keletkezésekor az összehúzódás során felszabadult gravitációs energia,



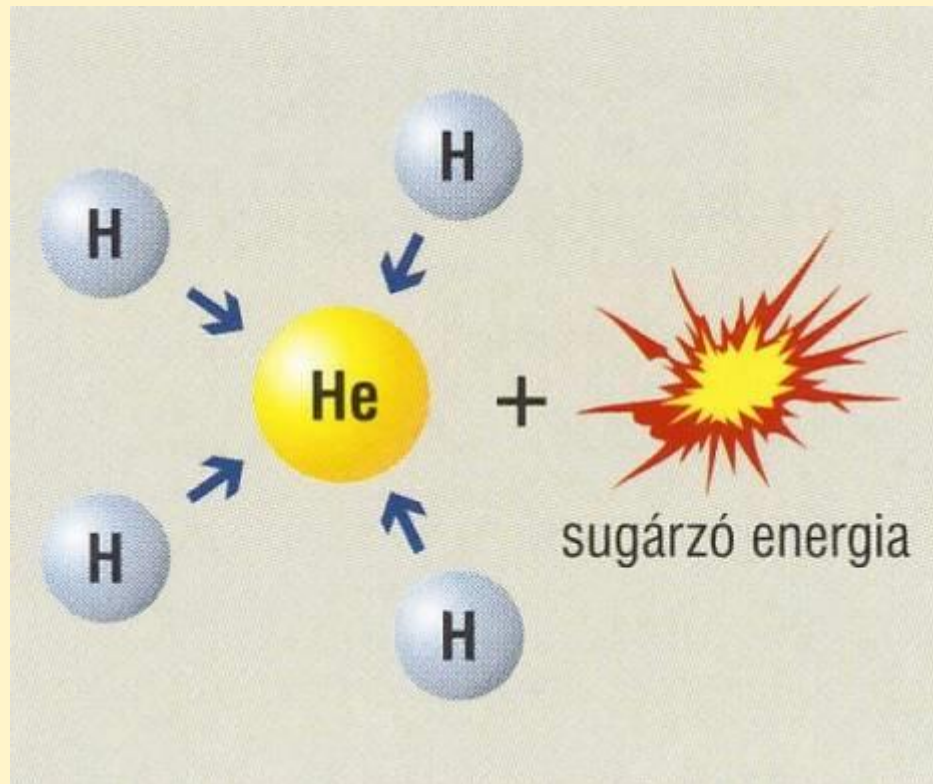
majd később a beindult fúziós folyamat során felszabadult nukleáris energia biztosítja.



A forró plazma hőmozgásából és sugárzásából adódó óriási nyomást a csillag külső rétegeinek gravitációs nyomása egyensúlyozza ki.



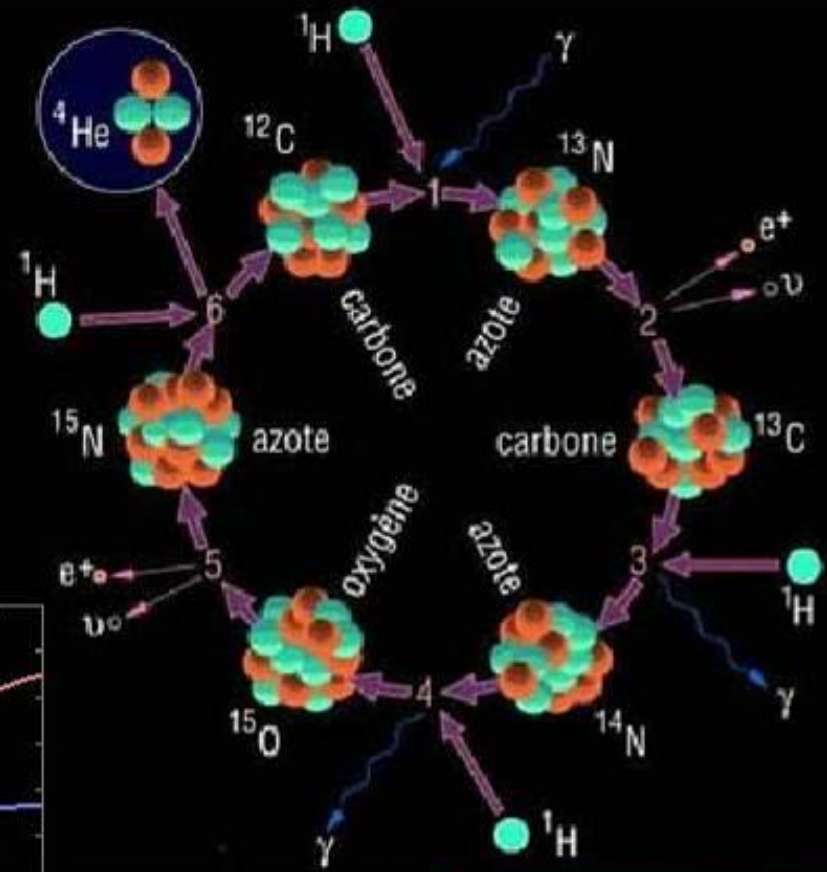
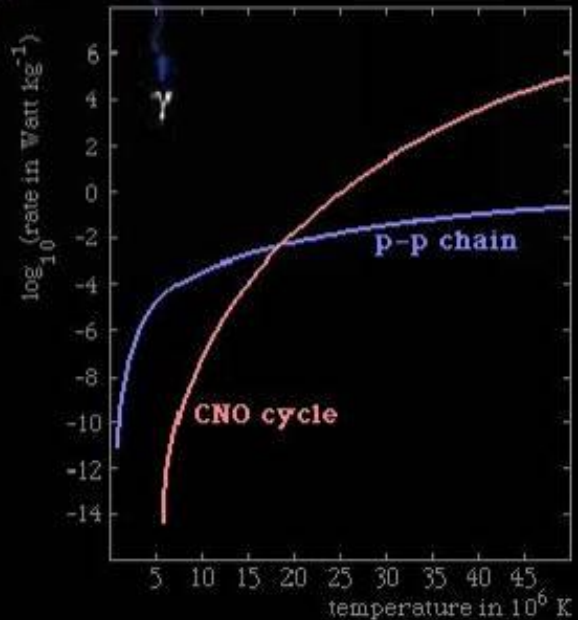
# A Napban lejátszódó termonukleáris reakció:



# A Napban lejátszódó termionukleáris reakció:



**pp – ciklus**



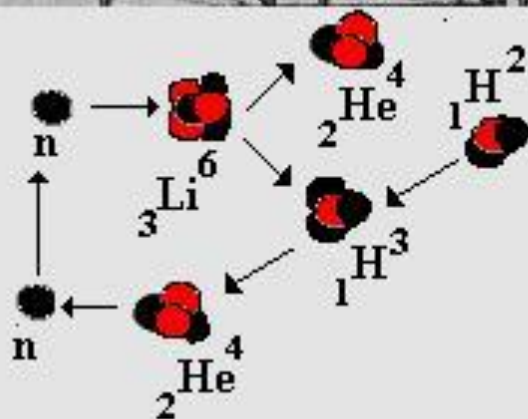
**CNO – ciklus**



# A magfúzió mesterséges megvalósítása

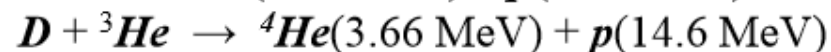
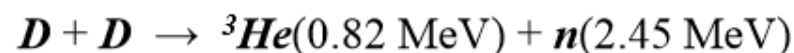
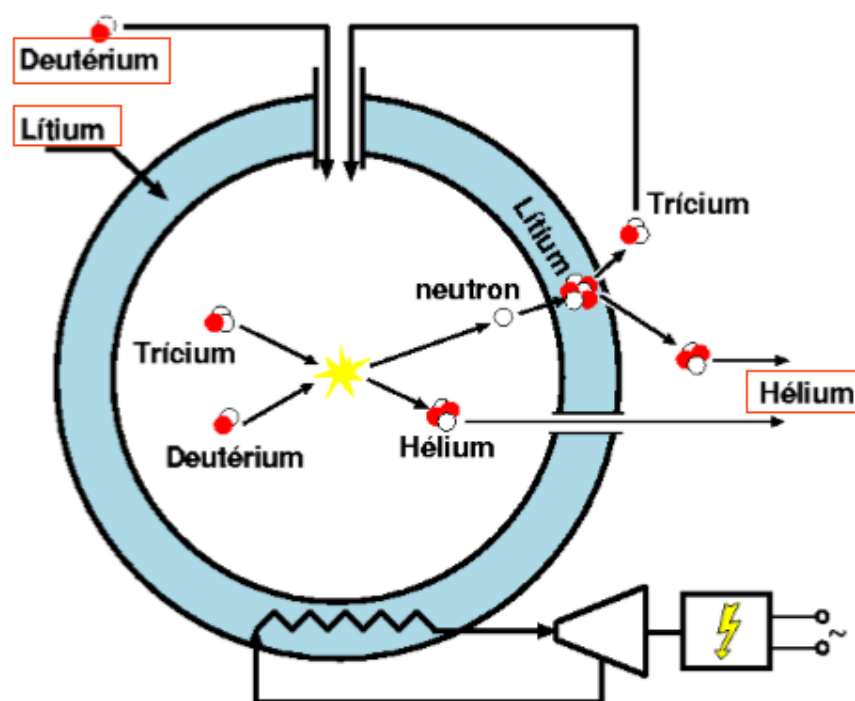
Szabályozatlan formában: hidrogénbomba (az első robbantás  
1954 – Bikini szigetek)

A fúzióhoz szükséges magas hőmérsékletet egy atombomba felrobbantása biztosítja. Az atombomba töltetét körülveszi a fúziós anyag töltete. (kétfázisú bomba)

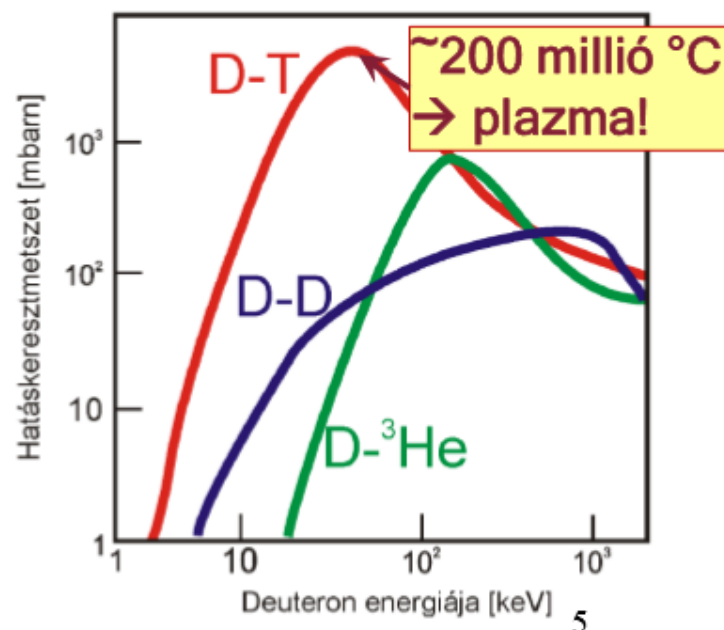


Teller Ede

## Fúziós reaktor üzemanyagciklusa



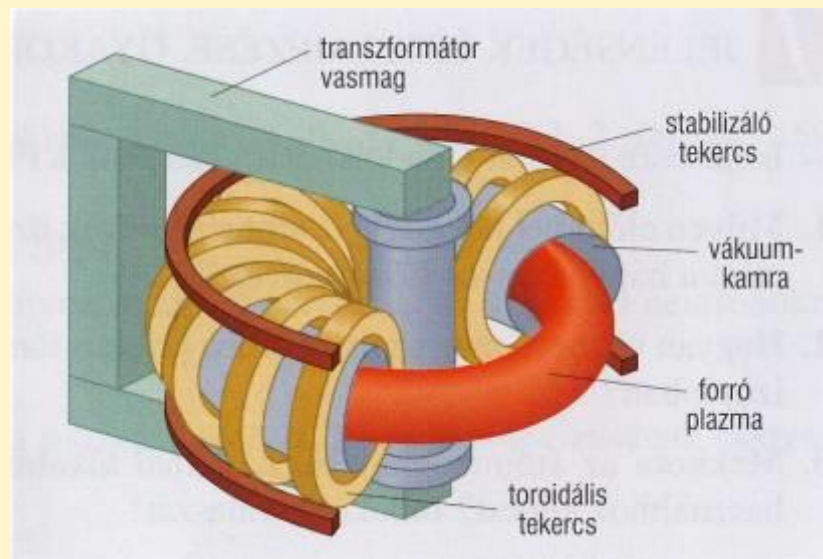
A fúziós reakcióban nem keletkeznek radioaktív izotópok!



# A magfúzió mesterséges megvalósítása

Szabályozott formában: csak laboratóriumban sikerült eddig, ipari méretekben még nem.

A fő probléma: a plazma együtt-tartása, szabályozása



# A FÚZIÓS REAKTOR MEGVALÓSÍTÁSA MÉG VÁRAT MAGÁRA

2008 óta a franciaországi Cadarache város mellett, nemzetközi összefogással épül egy **ITER**-nek nevezett **kísérleti erőmű**, amely már 500 MW leadására lesz képes és aminek várható költsége 16 milliárd euró körül várható.

Az első kereskedelmi célú fúziós reaktor, a hasonló nemzetközi összefogás keretében tervezett, 1500 MW-os DEMO erőmű üzembe állítását 2050-re tervezik

### Fúziós folyamatok:

