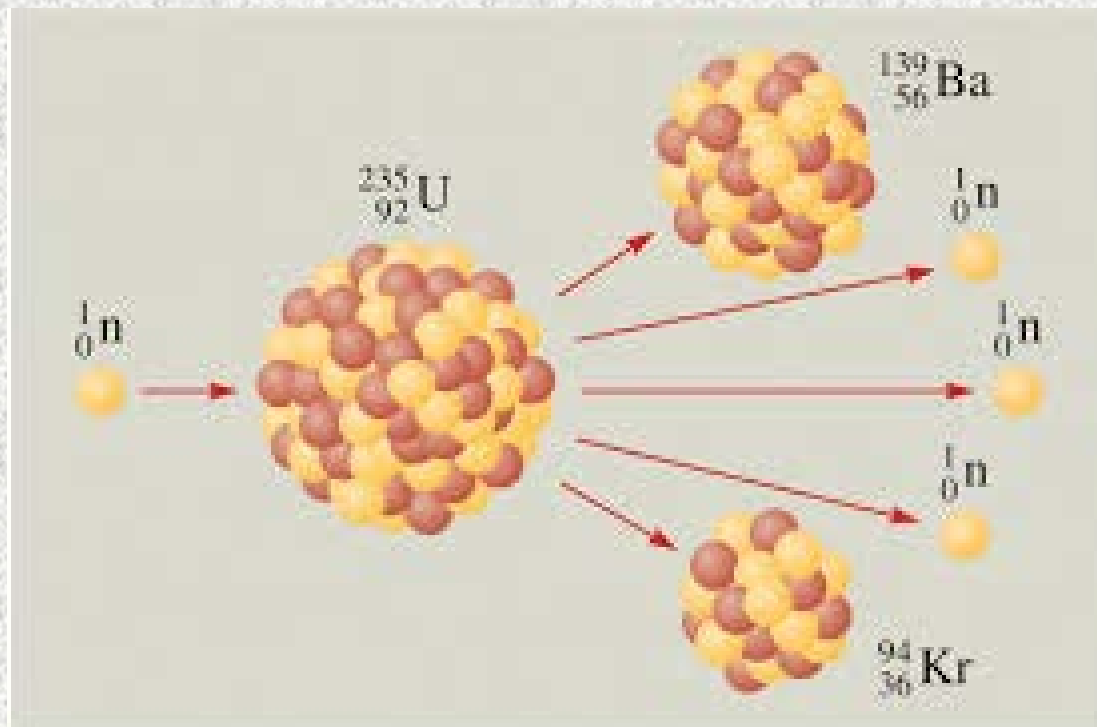


MAGFIZIKA



Az atommagot felépítő részecskék

➤ **Proton:**

A hidrogénatom magja.
töltése:

$$Q_p = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C},$$

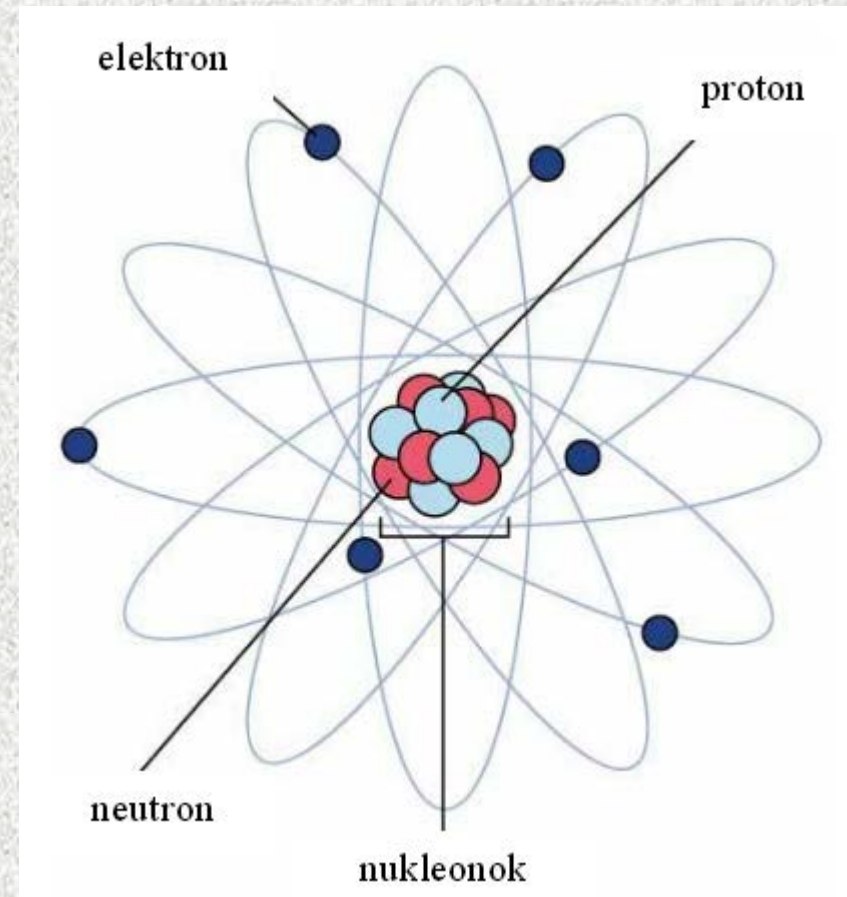
tömege:

$$m_p = 1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg}.$$

➤ **Neutron:** a protonnal közel megegyező tömegű semleges részecske.

tömege:

$$m_n = 1,674 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$



Az atommag fizikai jellemzői

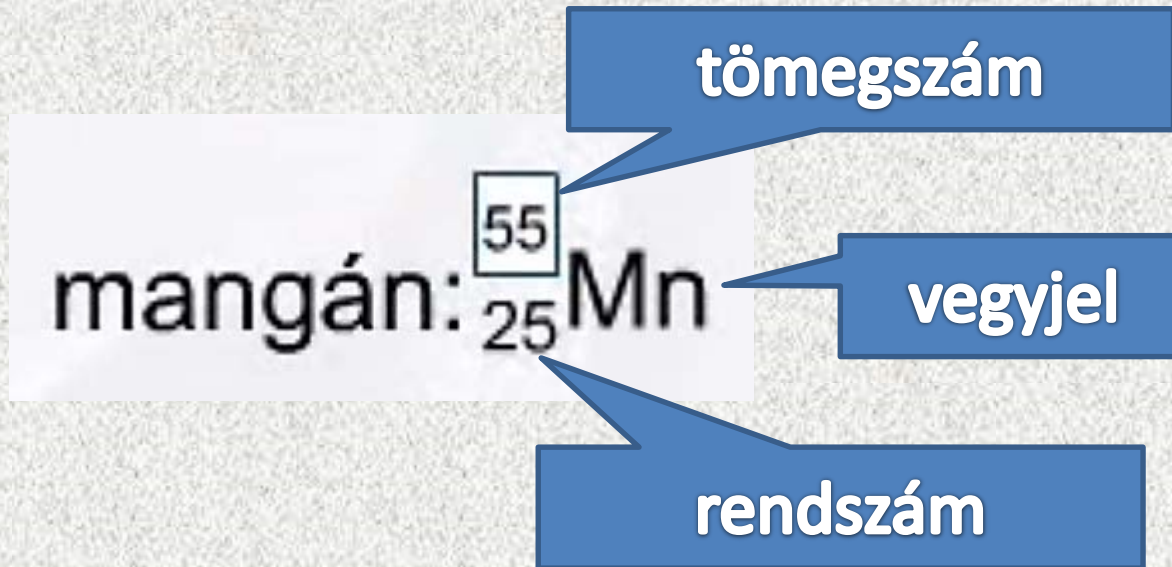
- Az atommagok mérete 10^{-15} m nagyságrendű.
- Az atommagok töltése az elemi e töltés egész számszorosa: $Q_{\text{mag}} = Z \cdot e$, ahol Z az atom rendszáma.
- A nagyobb tömegű atommagok tömege a proton tömegének közel egész számszorosa:

$$M_{\text{mag}} \approx A \cdot m_p$$

- A rendszám (Z) megegyezik az atommagban lévő protonok számával, amely semleges atom esetén az atomban lévő elektronok számával is.
- A rendszám megadja az elem Mendelejev-féle periódusos rendszerben elfoglalt helyét.
- Az atommagban lévő protonok és neutronok számának összege adja meg az adott atom tömegszámát (A).
tömegszám (A) = a protonok száma (Z) + a neutronok száma

- Az **ion** olyan atom vagy molekula (atomcsoport), mely elektromos töltéssel rendelkezik.
- jelölések:
 - Na^+ → egyszeres pozitív töltésű ion
 - Ca^{2-} → kétszeres negatív töltésű ion
- A protonokat és neutronokat összefoglaló néven **nukleonoknak** nevezzük.
- A **tömegszám** a nukleonok számát adja meg.

Elnevezések az atomban



a neutronok száma = $55 - 25 = 30$
tömegszám = 55

Magátalakulás

Fajtái:

- **radioaktivitás:**
Az atommag külső hatás nélkül alakul át másik atommaggá.
- **Atommag és részecske kölcsönhatás:**
Az atommaggal nagy energiájú részecske ütközik.

Történhet:

- *Természetes módon:* kozmikus sugárzás hatására
- *Mesterséges módon:* atommagokat elemi részecskékkel bombázunk

Az első mesterséges atommag- átalakítás

A proton elnevezést Rutherford adta.

A kísérleti kimutatás P. Brackett (1925-ben) nevéhez fűződik, aki atommagok ütközéseit vizsgálta.



A folyamat azt igazolja, hogy a hidrogén atommagja a proton, minden atommag alkotórésze.

A magfizikai egyenletekben az egyenlet bal és jobb oldalán a rendszámok összege azonos és ez a tömegszámokra is igaz.

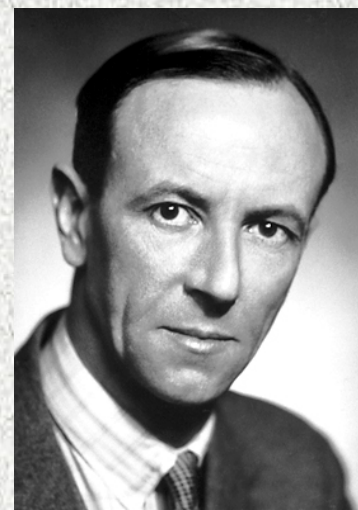
A neutron felfedezése

A neutront James Chadwick angol fizikus fedezte fel 1932-ben a következő magreakció során:



A berilliumot α részecskékkel bombázva egy nagy áthatolóképességű sugárzás keletkezett. (neutronsugárzás)

A neutron elnevezés a részecske semleges voltára utal.



(1891-1974)

Izotópok

- Izotópoknak nevezzük az olyan atomokat, amelyek magjában a protonok száma megegyezik, de a neutronok száma különböző. *Tehát azonos rendszámú, de különböző tömegszámú kémiai elemek, amelyek kémiai minősége megegyezik.*
- Egy adott elem izotópjai ugyanazon helyet foglalják el a periódusos rendszerben.
- Az elemek általában izotópok keverékei (ezért nem egész a tömegszám).

A magerők

Az atommag stabilitását, a magban lévő protonok elektromos taszítását legyőzve, a nukleáris kölcsönhatás (magerő) biztosítja.

A nukleáris kölcsönhatás jellemzői:

- 1.) Független a töltéstől.
(minden nukleon között hat)
- 2.) Mindig vonzó
- 3.) Nagyon rövid hatótávolságú (10^{-15} m)
- 4.) Viszont a hatótávolságon belül nagyon erős

Az atommagok tömeghiánya

A nukleonokból összetevődő atommagok tömege mindig kisebb, mint az alkotórészek tömegeinek összege.

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

ahol az m_p és az m_n a szabad proton és neutron tömegét, m_{mag} pedig az atommag tömegét jelenti. Az A a magban lévő nukleonok, Z a protonok, $A - Z$ pedig a neutronok számát adja meg.

Az atommag kötési energiája.

- ❖ Egy atommag kötési energiáján azt az energiát értjük, melynek befektetésével az atommag egymástól távol lévő, szabad nukleonokra bontható fel. A kötési energia jele: E_k .
- ❖ Az energia-megmaradás elve szerint a szabad nukleonok atommaggá való egyesülésekor (fúziójakor) a kötési energiának megfelelő nagyságú nukleáris energia szabadul fel.

Δm tömegdefektus mérésével a magok
kötési energiája kiszámítható.

$$E_k = \Delta m \cdot c^2 = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{mag}] \cdot c^2$$

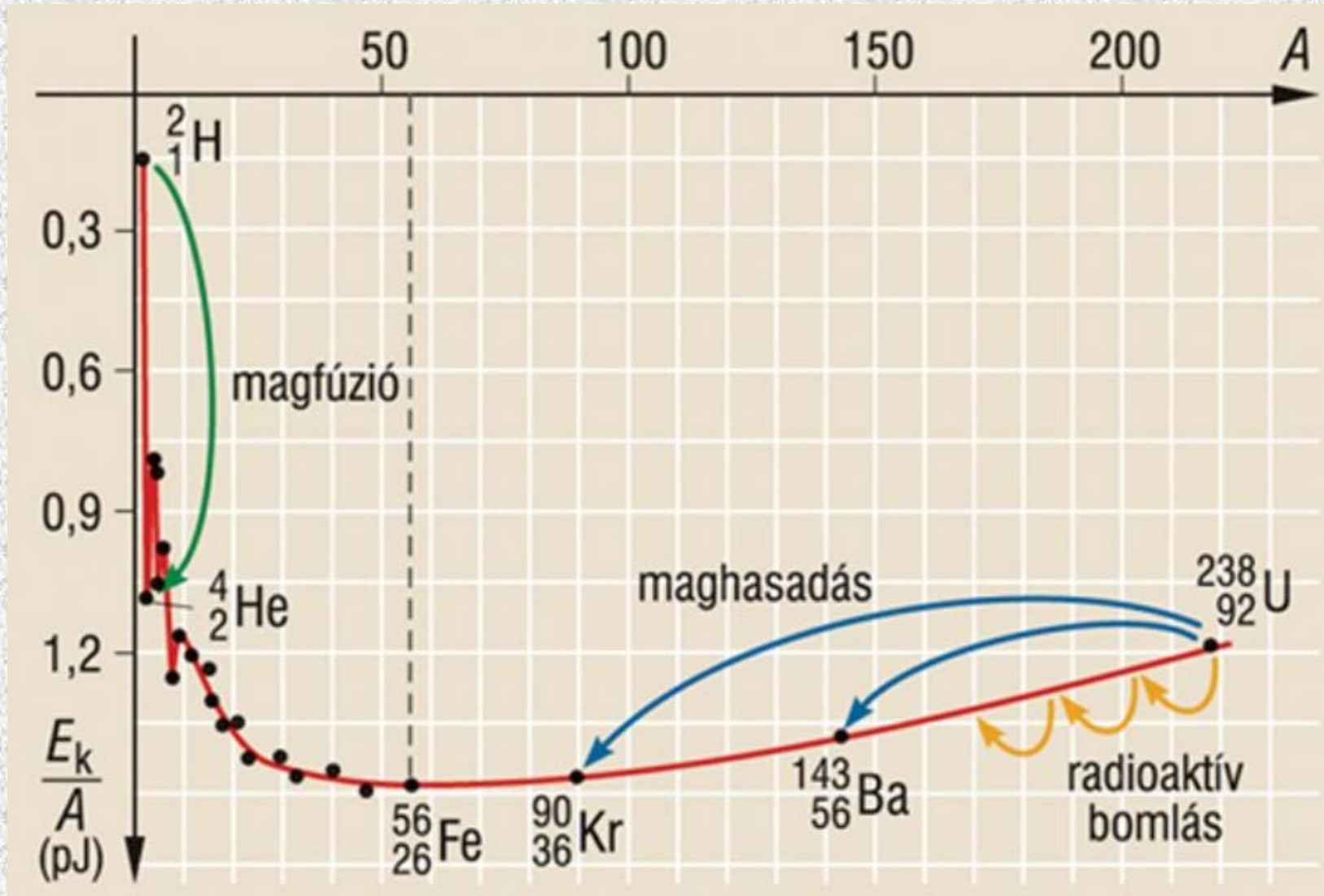
A kötési energia meghatározása
egyben a speciális relativitáselmélet
egyik döntő kísérleti bizonyítéka is.

Az egy nukleonra jutó átlagos (fajlagos) kötési energia.

A kötési energiát elosztva a tömegszámmal, megkapjuk az egy nukleonra jutó átlagos kötési energiát, a fajlagos kötési energiát. $\epsilon = \frac{E_k}{A}$

Minél nagyobb az egy nukleonra jutó kötési energia, annál mélyebb az egy nukleonra jutó teljes energia, vagyis annál kötöttebbek a nukleonok.

Az egy nukleonra jutó átlagos (fajlagos) kötési energia grafikonja.



A magenergia felszabadítása.

A nukleáris energia kétféle módon szabadulhat fel:

- A vasnál kisebb tömegszámú ún. könnyű atommagok valamilyen módon egyesülnek. (amit magfúzióknak nevezünk)
- Az urán körüli ún. nehéz atommagok valamilyen módon könnyebb atommagokra bomlanak fel.(radioaktív bomlás, maghasadás)

A radioaktív sugárzások.

A radioaktív sugárzások az atommagból indulnak ki.

A sugárzó elemek atommagjai a részecske kibocsátásakor átalakulnak: *új mag, új elem keletkezik.*

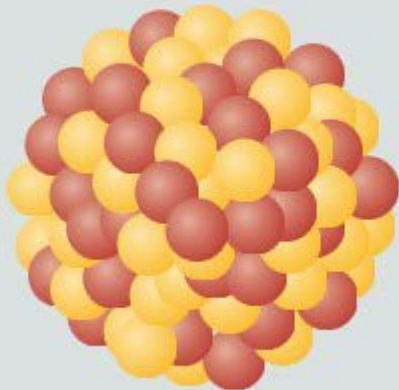
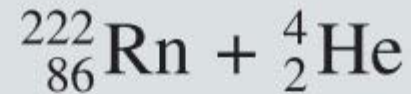
A radioaktív sugárzások tulajdonságai :

1. Az **α sugárzás** ionizáló képessége nagy, ezért kicsi az áthatolóképessége. Kétszeresen ionizált hélium (${}^4_2\text{He}^{2+}$) atommagokból áll. Ezek az **α** részecskék viszonylag nagy tömegűek, pozitív töltésűek. Két proton és két neutron alkotja őket.

- A **β sugárzás** ionizáló képessége közepes, anyagon jobban áthatol, mint az α -sugárzás. Azért alakul ki, mert az instabil atommagokban energia szempontjából nem megfelelő a proton - neutron arány.
- A **γ -sugárzás** elektromos és mágneses térben nem térül el. A legkevésbé ionizáló hatású, ezért nagy az áthatolóképessége. A rendszám és a tömegszám nem változik, tehát nem képződik új elem vagy izotóp. A sugárzás kialakulásának valószínű oka, hogy az atommagban a nukleonok gerjesztett állapotban vannak.

α bomlás

Az elbomló atommagból α -bomláskor egy hélium atommag (${}^4_2\text{He}$) távozik, ezért a **visszamaradó mag Z rendszáma 2-vel, a tömegszáma 4-gyel csökken.**

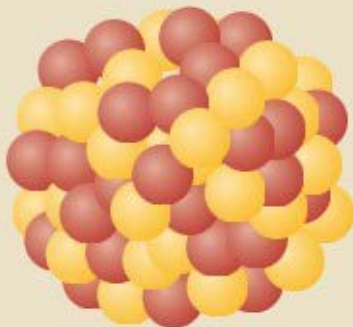
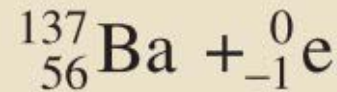
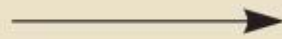
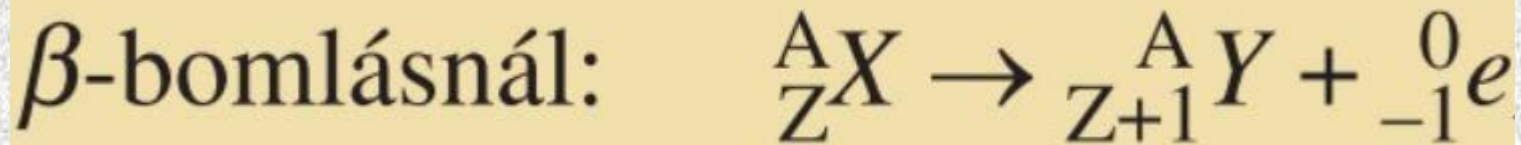


β bomlás

A β -bomlásnál az atommagból úgy távozik egy elektron, hogy közben a magban egy neutron protonná alakul át:



A β -bomlás így eggyel növeli a Z rendszámot és nem változtatja meg az A tömegszámot.

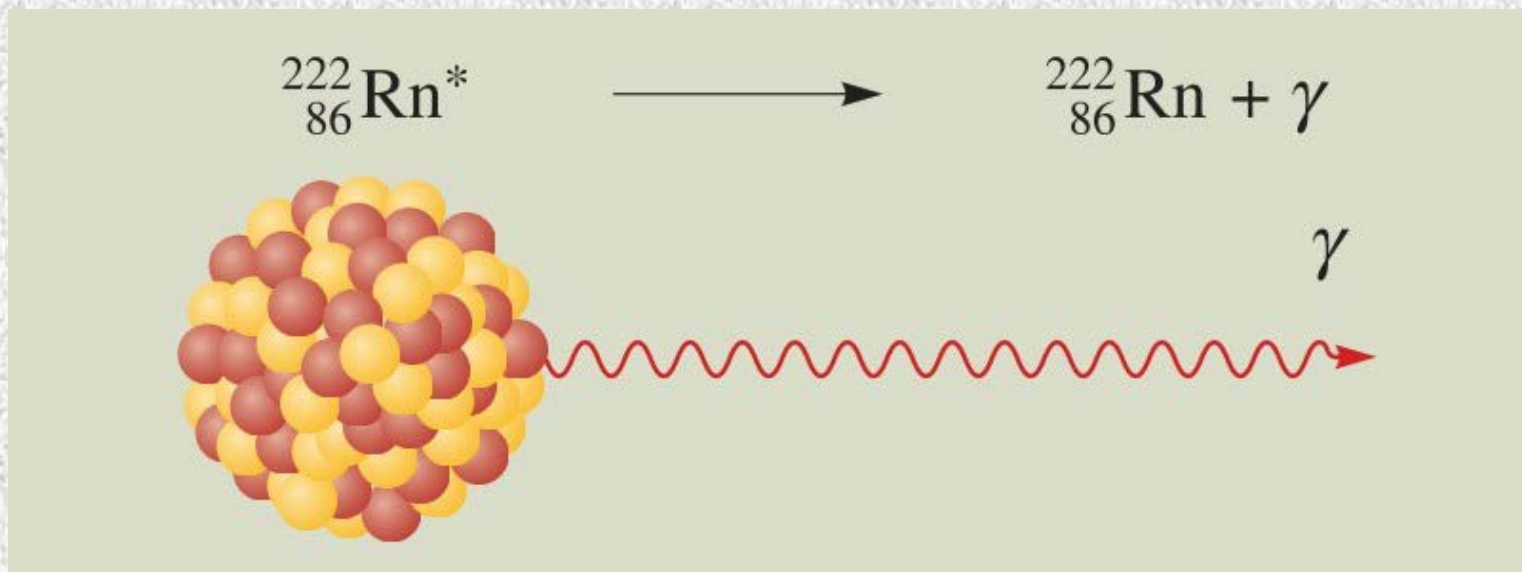
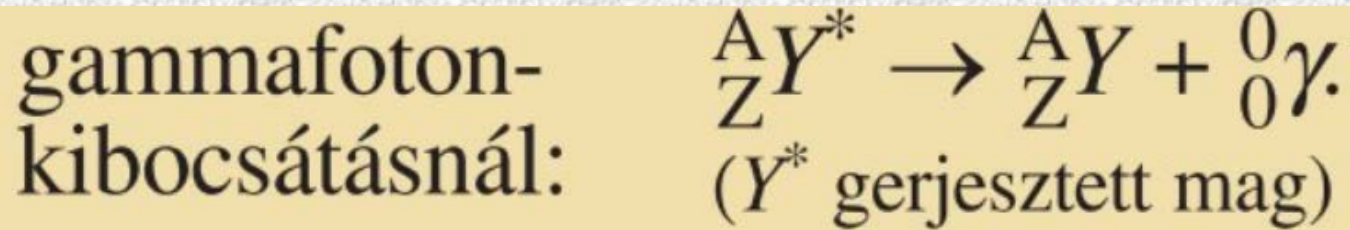


β



γ -foton kisugárzás

A γ -sugárzásnál valójában nincs szó magátalakulásról, mivel **sem az A tömegszám, sem a Z rendszám nem változik**. A gerjesztett atommag egy gamma-fotont bocsát ki.



A radioaktív bomlásokra vonatkozó törvényszerűségek

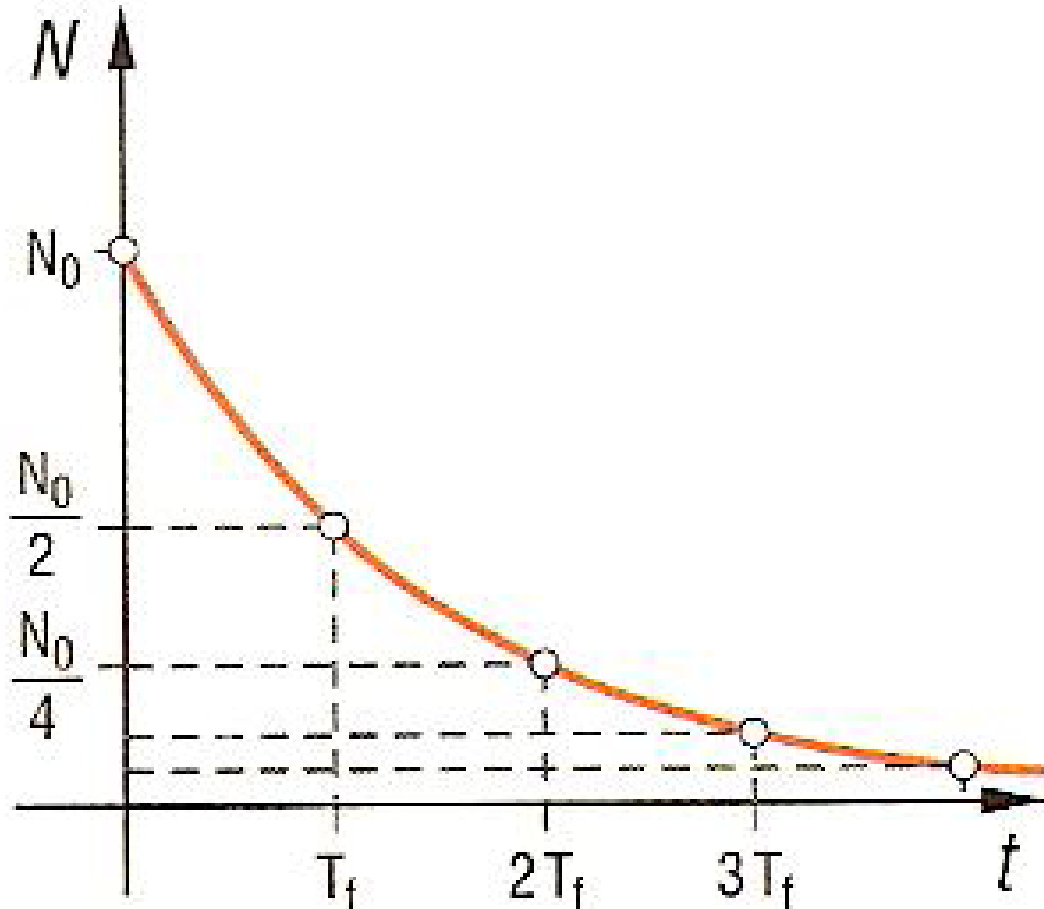
Felezési idő:

A mérések szerint a radioaktív elem atommagjainak száma – a bomlás következtében – mindig ugyanannyi idő alatt feleződik meg. **Azt az időt, amely alatt egy radioaktív anyagban a radioaktív magok száma a kezdeti érték felére csökken, felezési időnek nevezzük.** A felezési idő jellemző az adott izotópra.

- A különböző radioaktív anyagok felezési ideje a tízmilliárd évtől a másodperc milliárdod részéig terjedhet.
- A szabály csak nagyszámú atommag esetén igaz.

A felezési idő jele T .

A radioaktív bomlásokra vonatkozó törvényszerűségek



- A radioaktív izotópok felezési ideje állandó.
- Értéke nem függ sem a hőmérséklettől, sem más makroszkopikus anyagi jellemzőtől, csak az izotóp atommagjának belső szerkezetétől.

IZOTÓP	BOMLÁSI MÓD	FELEZÉSI IDŐ
^{238}U	α	$4,5 \cdot 10^9$ év
^{235}U	α	$7,1 \cdot 10^8$ év
^{226}Ra	α	1600 év
^{90}Sr	β	25 év
^{60}Co	β, γ	5,27 év
^3H	β	12,26 év
^{222}Rn	α	3,82 nap

A radioaktív bomlásokra vonatkozó törvényszerűségek

Aktivitás (bomlási sebesség): megmutatja, hogy az elem atommagjai közül másodpercenként hány bomlik el. Jele: A , mértékegysége: Bq (becquerel)

$$A = - \frac{\Delta N}{t}$$

A negatív előjel arra utal, hogy a magok száma csökken.

A radioaktív bomlási törvény

Az el nem bomlott atommagok száma az idővel exponenciálisan változik.

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

- N_0 a kezdeti atommagok számát jelöli
- $N(t)$ -vel jelöljük a t idő után is megmaradó részecskék számát
- T jelöli a felezési időt, t az eltelt időt.

Az N részecskeszámhoz hasonlóan az aktivitás is az idővel exponenciálisan változik.

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

- A_0 az aktivitás kezdeti értéke
- $A(t)$ -vel jelöljük az aktivitás értékét t idő elteltével
- T jelöli a felezési időt, t az eltelt időt.

Bomlásállandó

Az aktivitás (A) arányos a meglévő magok számával (N), ahol az arányossági tényező a bomlásállandó (λ).

$$A = \lambda \cdot N$$

A bomlásállandó és a felezési idő kapcsolata:

$$\lambda = \frac{0,69}{T}$$

Bomlási sorok

A radioaktív bomlás során egy kémiai elemből egy új elem jön létre. Ha ez radioaktív, újabb bomlás történik. Ez a folyamat addig tart, amíg egy stabil elemhez nem érünk.

Ezt nevezik **bomlási sornak**. A radioaktív bomlás során a tömegszám vagy négyvel csökken (az alfa-bomlás), vagy nem változik (a béta-bomlás és gamma-bomlás). Ezért négy bomlási sor létezik attól függően, hogy a tömegszám négyes osztású maradéka 0, 1, 2 vagy 3.

4 bomlási sort ismerünk

A SOR ELNEVEZÉSE	KEZDŐ VAGY ŐSELEM	ŐSELEM FELEZÉSI IDEJE (MILLIÓ ÉVBEN)	VÉGSŐ STABIL IZOTÓP
$A = 4n$ tórium-sor	${}_{90}^{232}\text{Th}$	14 100	${}_{82}^{208}\text{Pb}$
$A = 4n + 1$ neptúnium-sor	${}_{93}^{237}\text{Np}$	2,1	${}_{83}^{209}\text{Bi}$
$A = 4n + 2$ urán-sor	${}_{92}^{238}\text{U}$	4470	${}_{82}^{206}\text{Pb}$
$A = 4n + 3$ aktínium-sor	${}_{92}^{235}\text{U}$	713	${}_{82}^{207}\text{Pb}$ (aktínium)

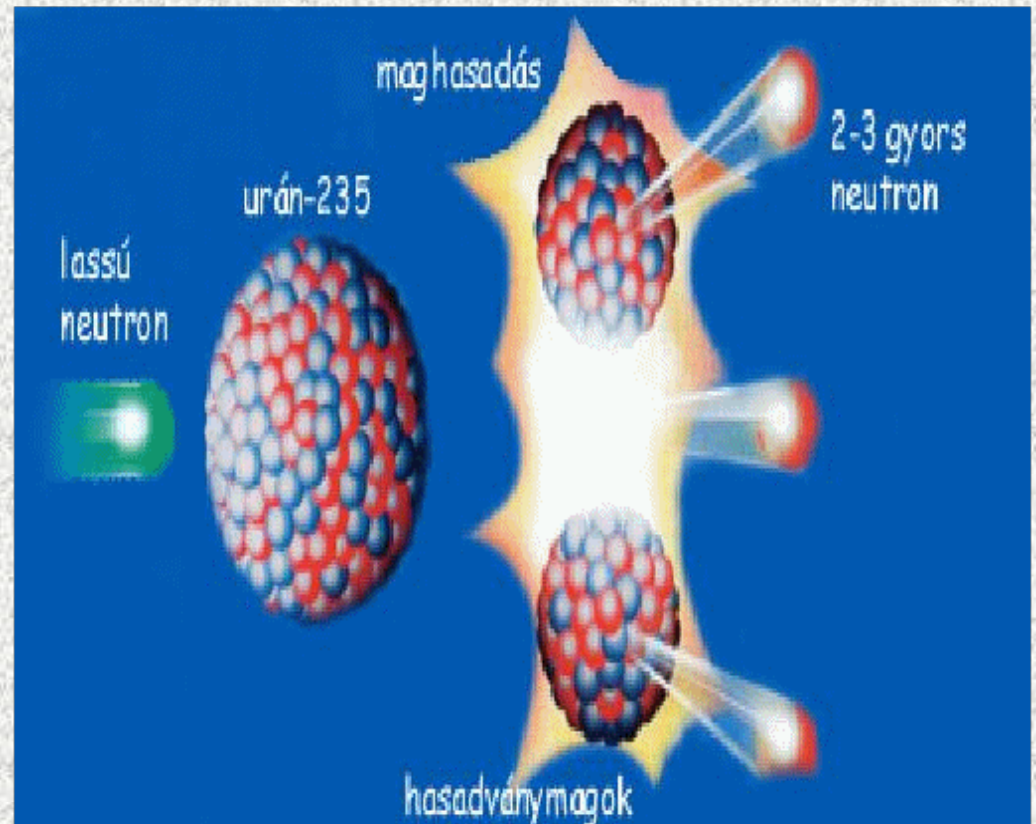
A maghasadás és láncreakció

Előfordulhat, hogy a nagy tömegszámú atommag két kisebb, atommagra bomlik szét. Ez az esemény a maghasadás (fisszió), amely általában a már ismert radioaktív sugárzásokkal jár együtt. Hahn és Strassmann (német fizikusok) mutattak ki először a hasadási folyamatot kísérletileg 1938-ban. A külső gerjesztés általában megnöveli a bekövetkezés valószínűségét. Ilyen külső gerjesztés lehet például egy lassú neutron befogása.

A maghasadás és láncreakció



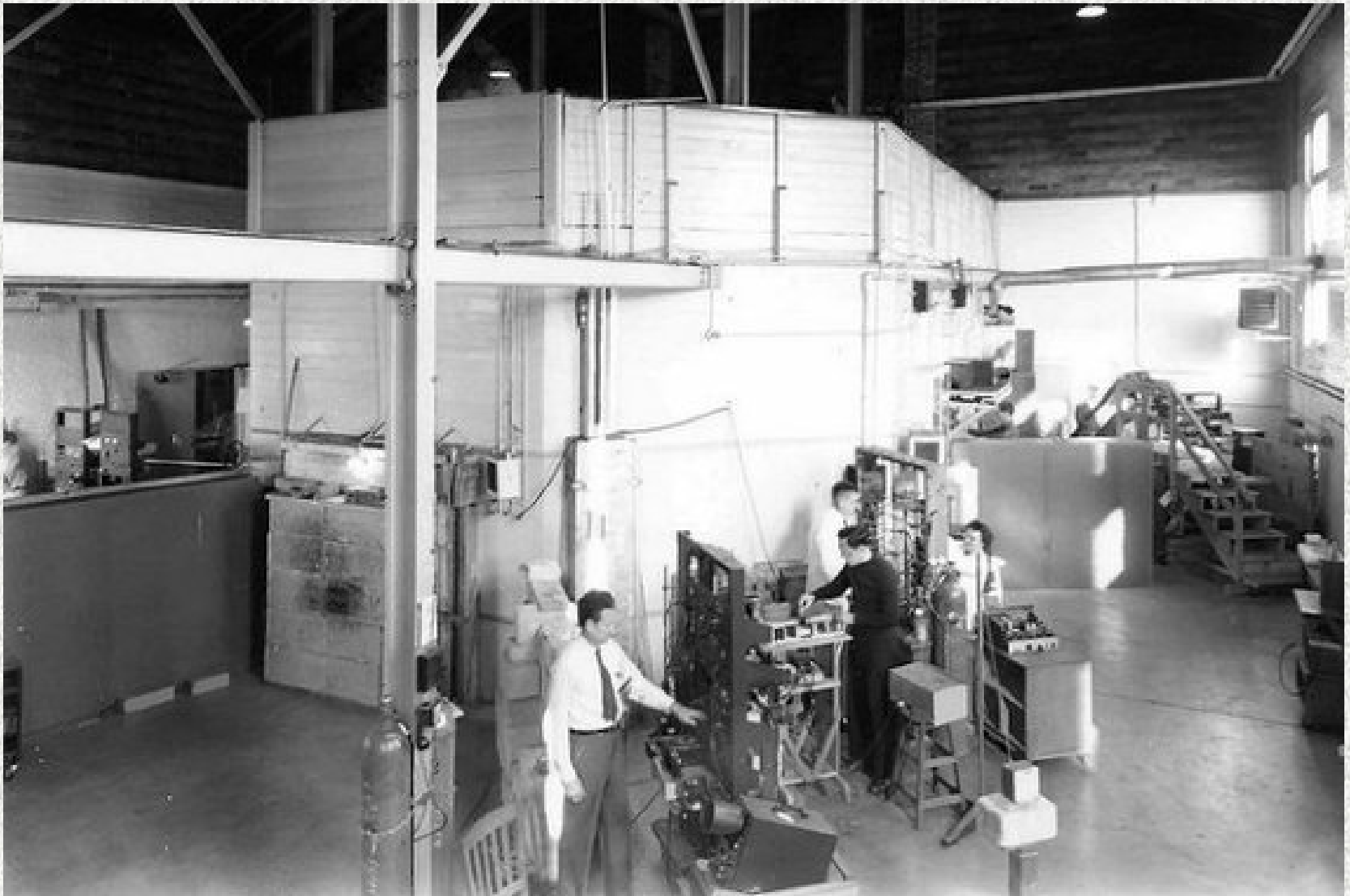
A maghasadás során energia szabadul fel. Egyetlen uránatommag hasadásakor felszabaduló energia kb. 30 pJ.



Gyakorlati célokra is használható mennyiségű atomenergiát csak akkor nyerhetünk, ha a maghasadás folyamatát **önfenntartóvá** tesszük.

Szilárd Leótól származik az ötlet (1934), hogy hasznosítani lehet a maghasadáskor felszabaduló neutronokat, amelyek újabb maghasadásokat idézhetnek elő.

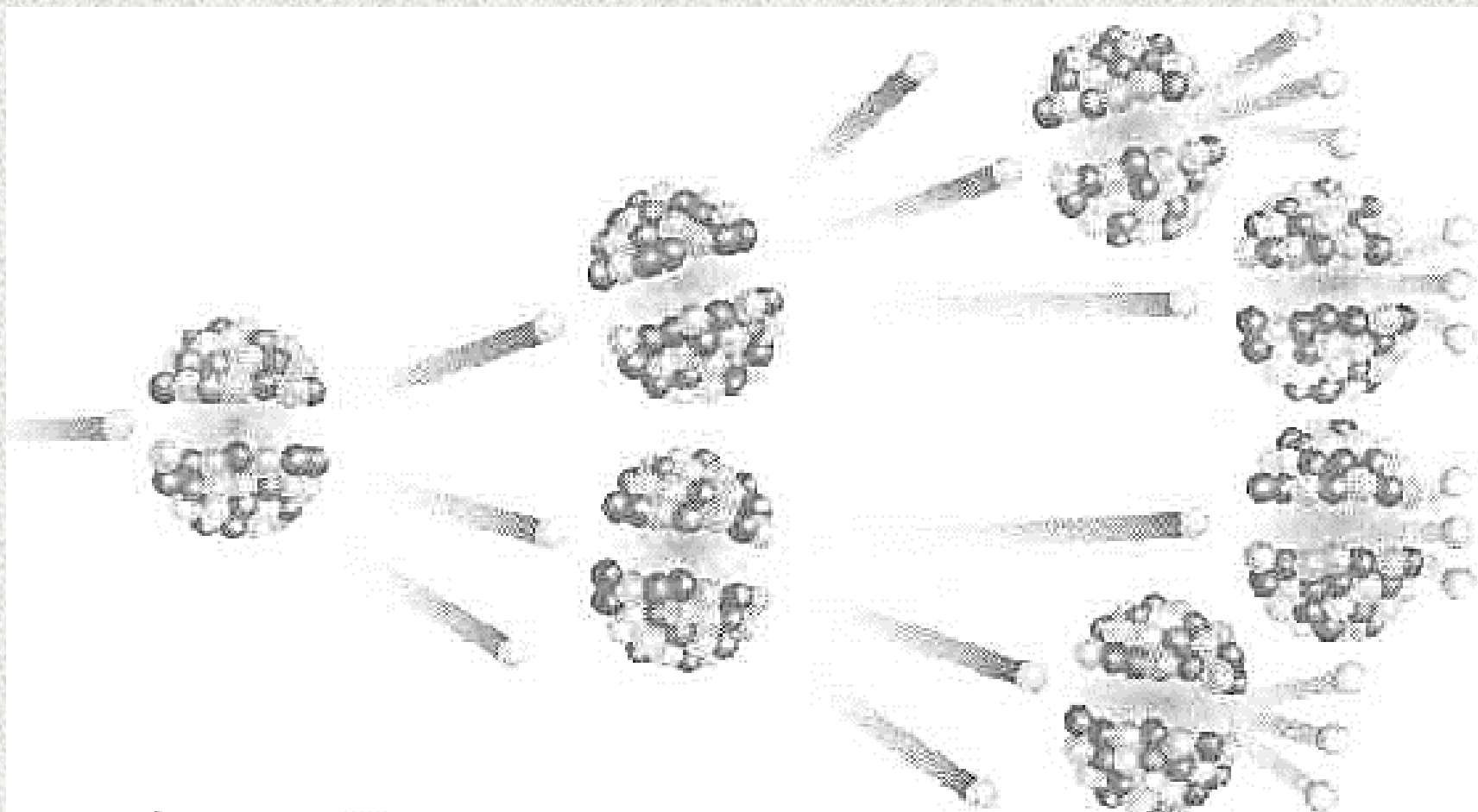
Erre leginkább az urán 235-ös tömegszámú izotópja alkalmas. A **láncreakciót** először 1942-ben **Fermi** csoportjának sikerült a gyakorlatban megvalósítani. („atommáglya”)



A Stagg Field-i reaktor (1942)

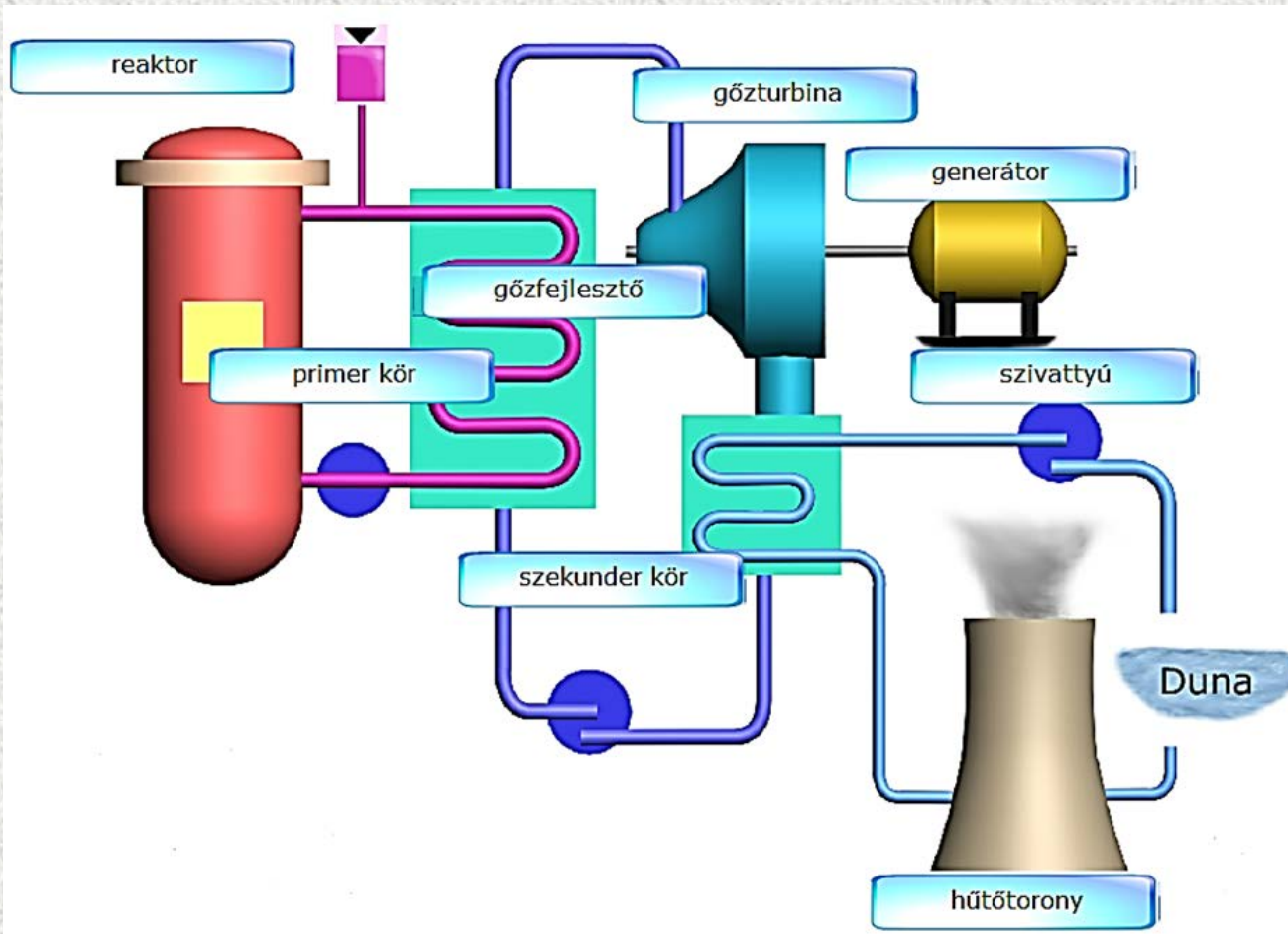
Arról is gondoskodni kell, hogy a neutronok ne szökjenek el, mielőtt újabb magokat hasítanának.

A szükséges urán mennyiségét kritikus tömegnek nevezzük.



A radioaktivitás gyakorlati alkalmazásai

atomerőmű



A láncreakció a reaktorokban ellenőrzött formában zajlik. A felszabaduló energiát elektromos áram előállítására használják.

A szabályozott láncreakció megvalósításának főbb feladatai

A megfelelő fűtőanyag előállítása (dúsítás)

A természetes uránban a 235-ös izotóp aránya csak 0,7%. Ezt kb. 3%-ra kell dúsítani.

Neutronok lassítása

A hasadásakor keletkező gyors neutronokat lassítani kell, hogy újabb atommagokat hasítsanak. A lassításhoz alkalmazott ún. moderátorként vizet vagy grafitot alkalmaznak.

A szabályozás, melynek két módja van:

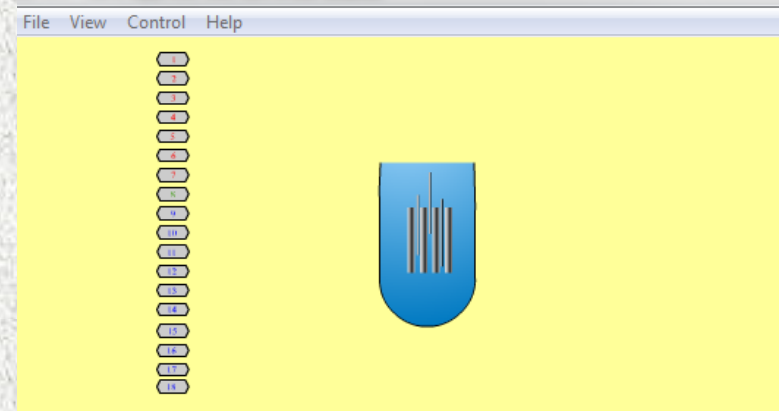
- A keringő hűtővízbe bórt tesznek, amely erősen neutron elnyelő tulajdonságú.
- A finom szabályozást mozgatható kadmium tartalmú rudakkal végzik. Ezek szintén elnyelik a neutronot.

Hűtés:

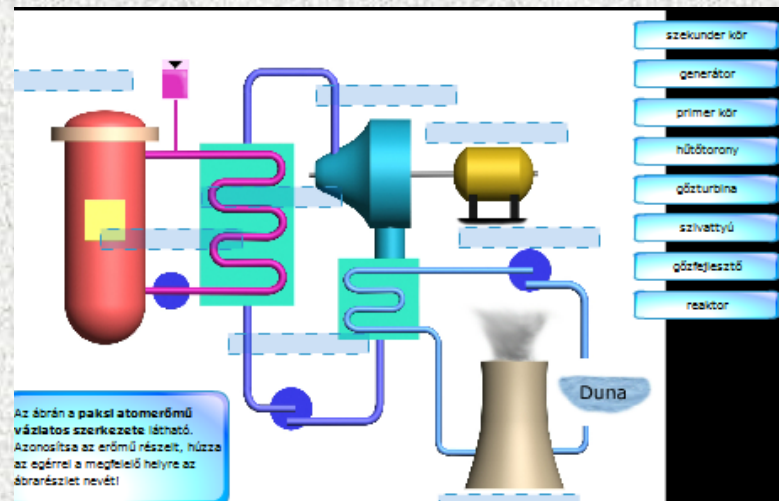
Erre vizet használnak, amely a **moderátor** (lelassítja a maghasadásból származó gyors neutronokat) szerepét is betölti.

Feladatok

1. Atomerőművet építünk



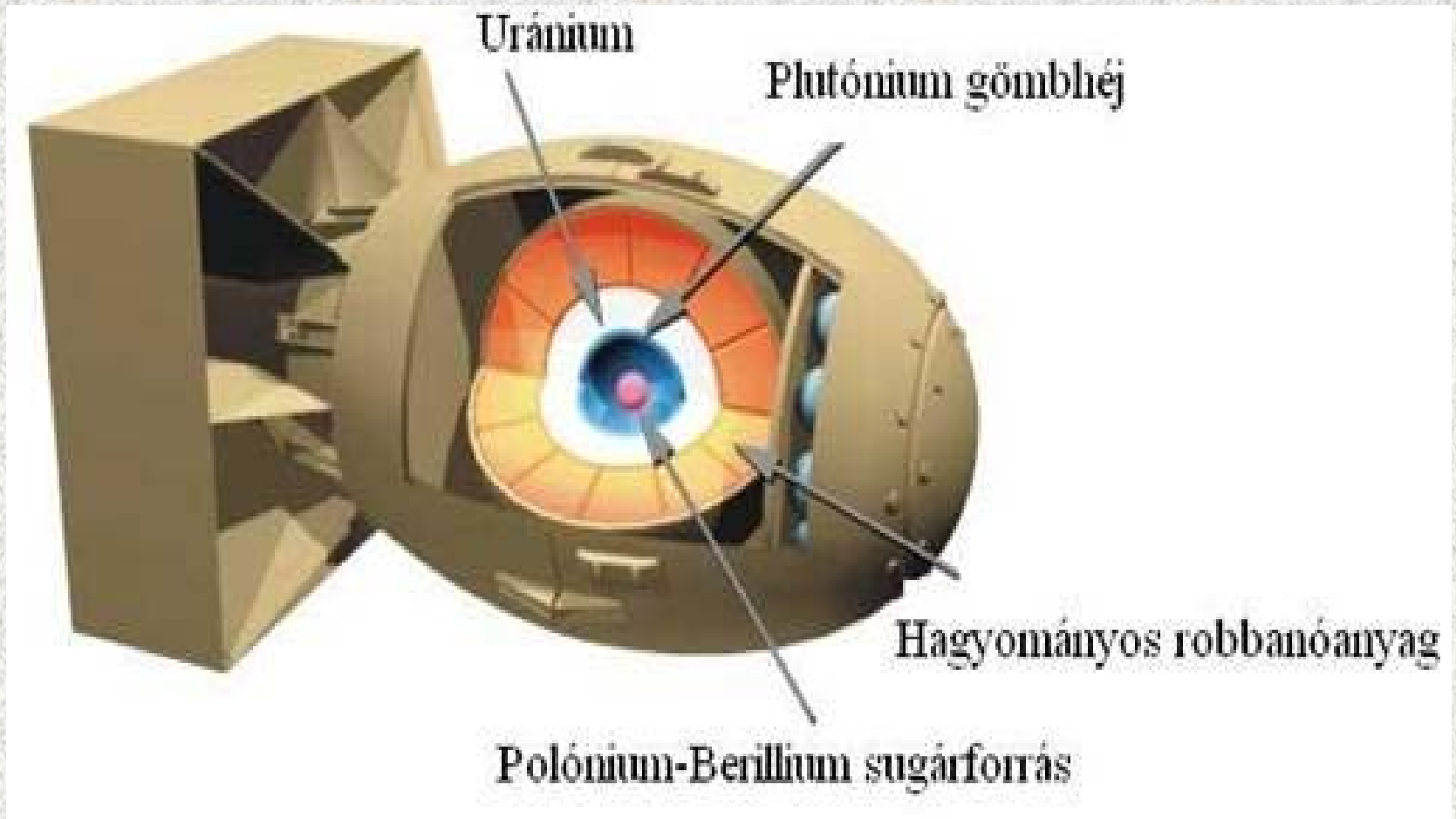
2. Az atomerőmű részei



Az atombomba (1, 2)

Működésekor a közönséges robbanóanyag indítótöltet egyesíti a két részből álló kritikus tömegű (urán vagy plutónium) hasadóanyagot és beindul a láncreakció. A keletkező nagy mennyiségű neutront a neutron-visszaverő réteg tartja vissza a láncreakció biztosítása érdekében.

Az atombomba felépítése

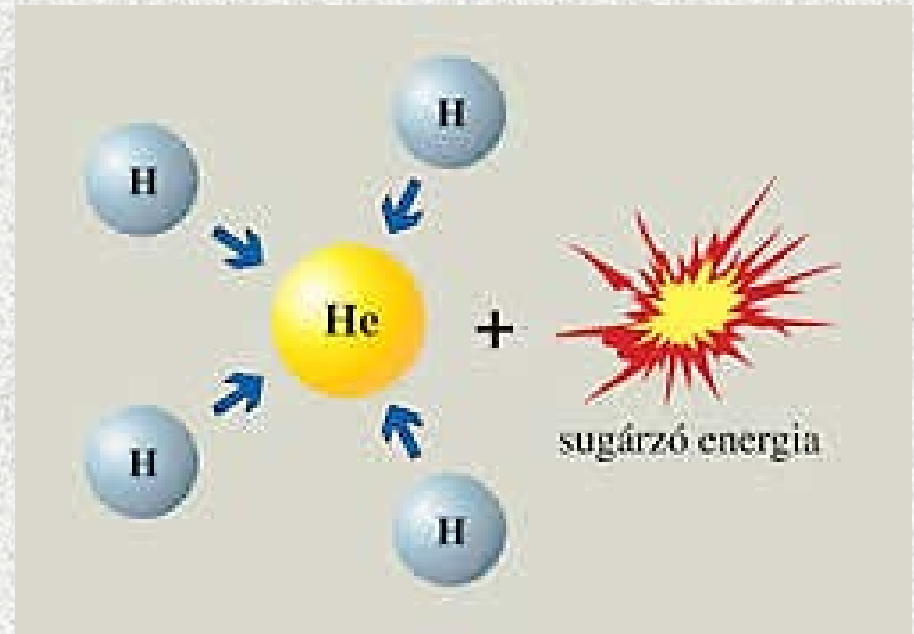
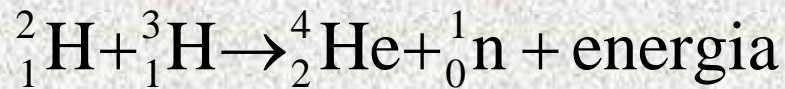


Olyan **nukleáris robbanóeszköz**, amely pusztító hatását a nehéz atomok (pl. az urán-235 vagy a plutónium-239) hasadásakor felszabaduló energia révén fejt ki. Az 1942-től az USA-ban "Manhattan-terv" fedőnév alatt, a II. világháború legtitkosabb tudományos hadműveletének, keretében fejlesztették ki.

Az első atomfegyvert Alamogordóban (New Mexico) robbantották fel (1945. júl. 16.). 1945 augusztusában a japán Hiroshima és Nagaszaki városokat érték az első atomcsapások.

A magfúzió

Kis tömegszámú könnyű atommagok fúziójánál magenergia szabadul fel.

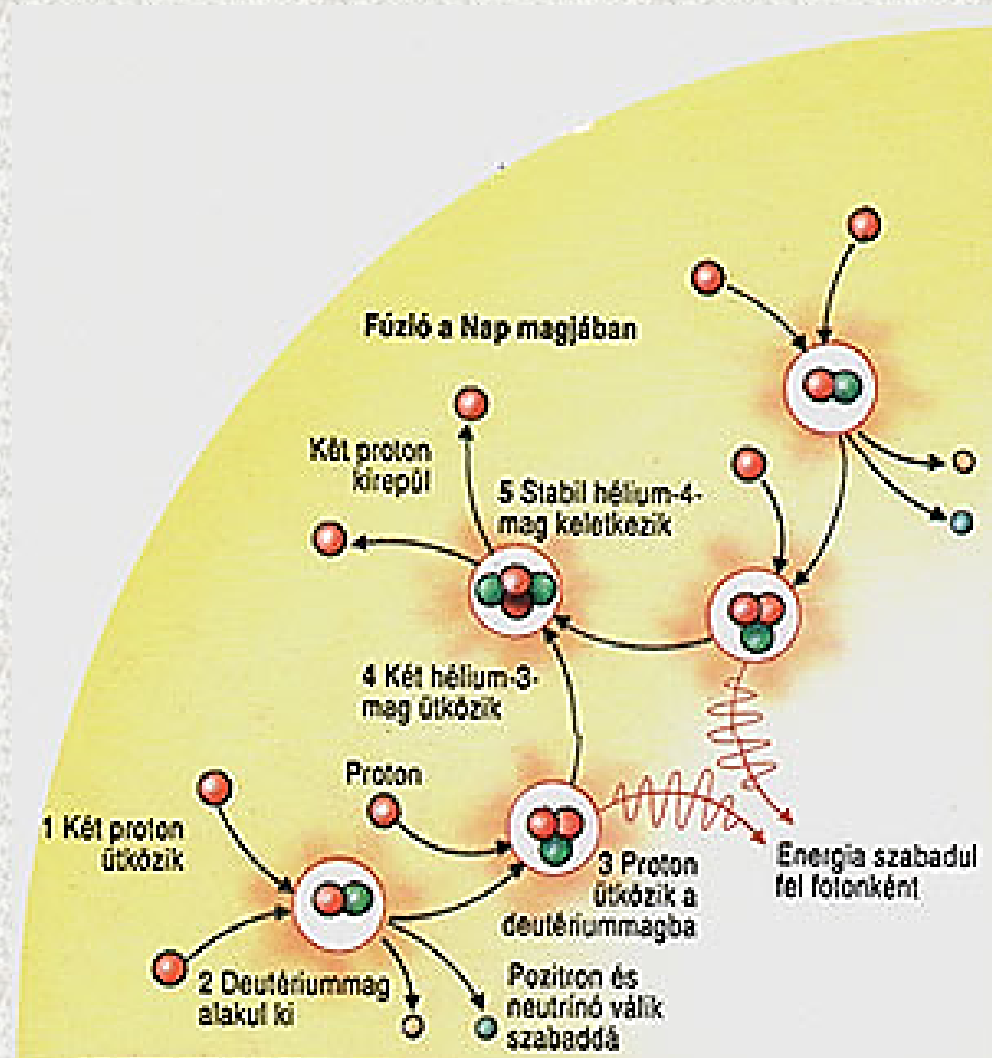


Az atommagok egyesülését a nagy hatótávolságú, taszító Coulomb-erő gátolja. Ezért a fúziós folyamatok beindulásához igen magas (minimum 15 millió K) hőmérséklet szükséges.

Magfúzió a csillagokban

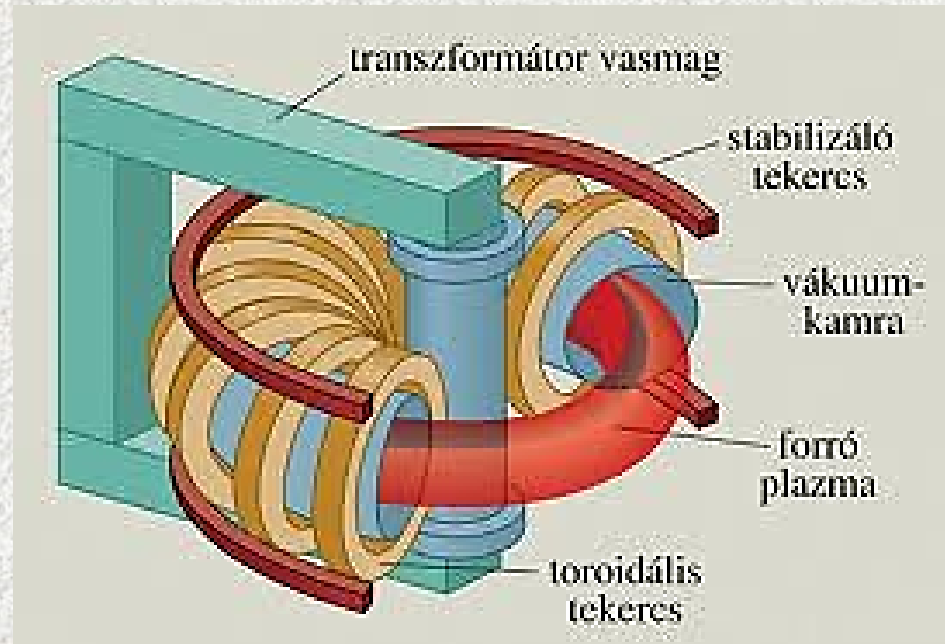
A csillagok belsejében a fúzióhoz szükséges magas hőmérsékletet kezdetben a gravitációs energia, később a beindult fúziós folyamat biztosítja.

A Nap és a hozzá hasonló típusú csillagok belsejében hidrogénatommagok egyesülnek több lépcsőben stabil héliumatommaggá, miközben a kötési energia felszabadul.



Szabályozott fúzió - fúziós rektor

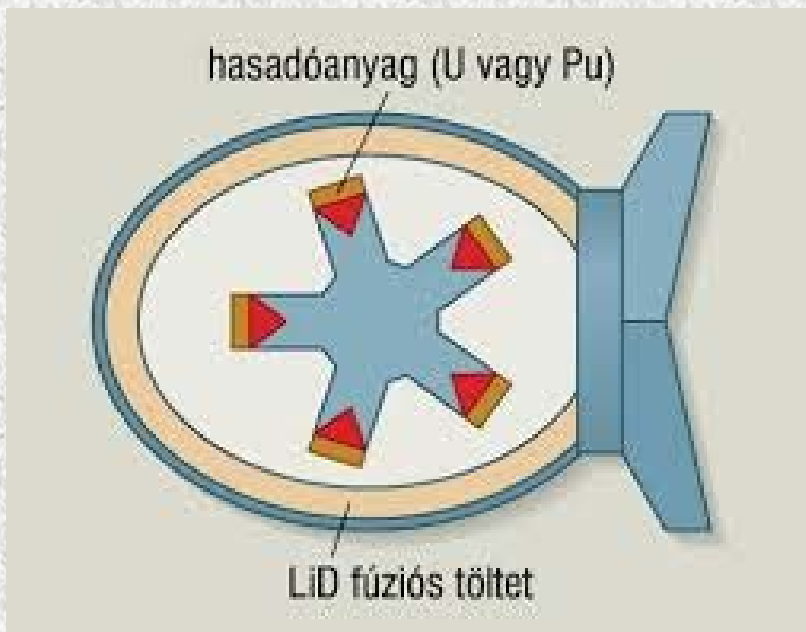
A fúziós reaktorok energiatermelését ipari méretekben még nem sikerült megoldani. Ennek elsősorban technikai akadályai vannak.



A fő problémát a folyamathoz szükséges magas hőmérséklet és nagy nyomás jelenti. A könnyű magokat tartalmazó, plazmaállapotú anyagot mágneses mezővel lehet összetartani. Az erős mágneses mezőt toroid-tekerccsel állítják elő.

Szabályozatlan fúzió – hidrogénbomba (1, 2)

Szabályozatlan formában történő termonukleáris reakciót már sikerült megvalósítani az ún. hidrogénbomba formájában. Itt a reakcióhoz szükséges magas hőmérsékletet és nagy nyomást a hasadóanyagot tartalmazó atombomba felrobbanása szolgáltatja.

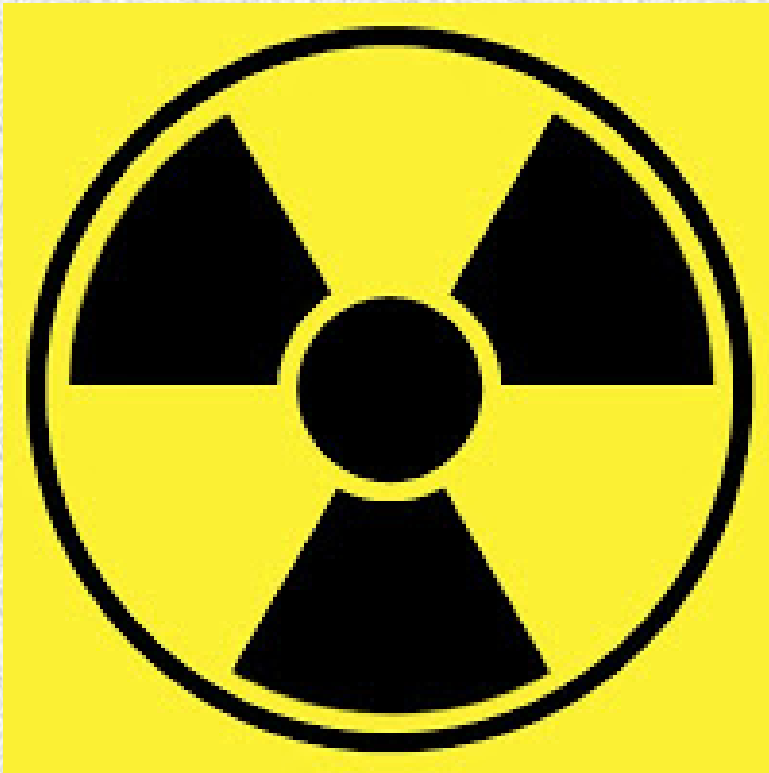


Teller Ede (1908-2003) magyar származású fizikus a hidrogénbomba-kutatásokban való aktív részvétele miatt, mint „a hidrogénbomba atyja” vált közismertté.



Gyakorlati alkalmazások

A radioaktív izotópok által kibocsátott sugárzás a gyakorlatban széles körben felhasználható.



A békés célú alkalmazási területek közül elsősorban az orvostudomány és az energiatermelés említhetők meg, de számos más területen is jól használható. Néhány példa ezek közül:

- ① Energiatermelés
- ② Gyógyászat
- ③ Kormeghatározás
- ④ Szenzorok

Energiatermelés

Az atomenergia biztosítja a világ energiájának 6%-át és az elektromos energia 13-14%-át. Magyarországon a Paksi Atomerőmű termeli az elektromos energia kb. 40 %-át.



A világ 31 országban 439 atomenergia-reaktor működik (2007-es adat).

Az atomenergia felhasználás előnye, hogy megfelelő üzembiztonság esetén káros kibocsátásoktól mentes, így az energiatermelés mellett a globális szennyeződések elmaradnak.

Egy esetleges baleset kapcsán viszont komoly szennyező hatás következhet be. Az üzemeltetés kapcsán keletkező különböző radioaktív hulladékok elhelyezése és hosszú távú tárolása a termelés költségeit növeli.



Gyógyászati alkalmazások

A radioaktív izotópokat a gyógyászatban használják:

- ① nyomjelzésre,
- ② terápiás kezelésre.

Nyomjelzés: a beteg szervezetébe kis mennyiségben sugárzó radioaktív izotópot juttatnak, és érzékeny műszerrel kísérik nyomon annak útját a szervezetben. Így történik a pajzsmirigy vizsgálata.



A radioaktív nyomjelzés ötlete és kidolgozása Hevesy György magyar származású kémikus nevéhez fűződik, aki ezért 1943-ban Nobel-díjat kapott.

Terápiás kezelés: A burjánzó sejtek a radioaktív sugárzással szemben érzékenyek. Ezért az előre meghatározott területre, meghatározott dózissal történik a besugárzás.

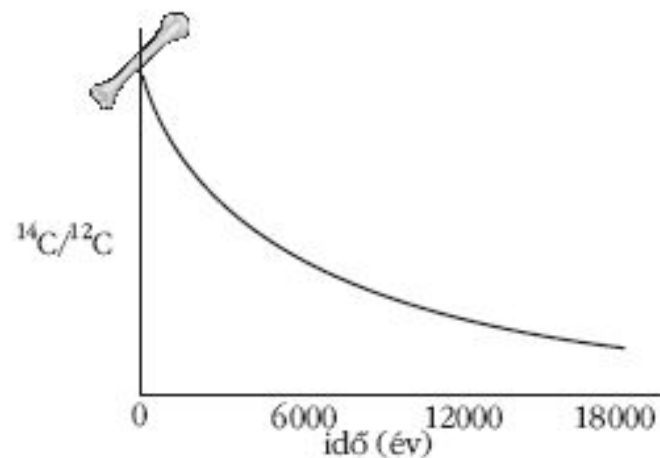
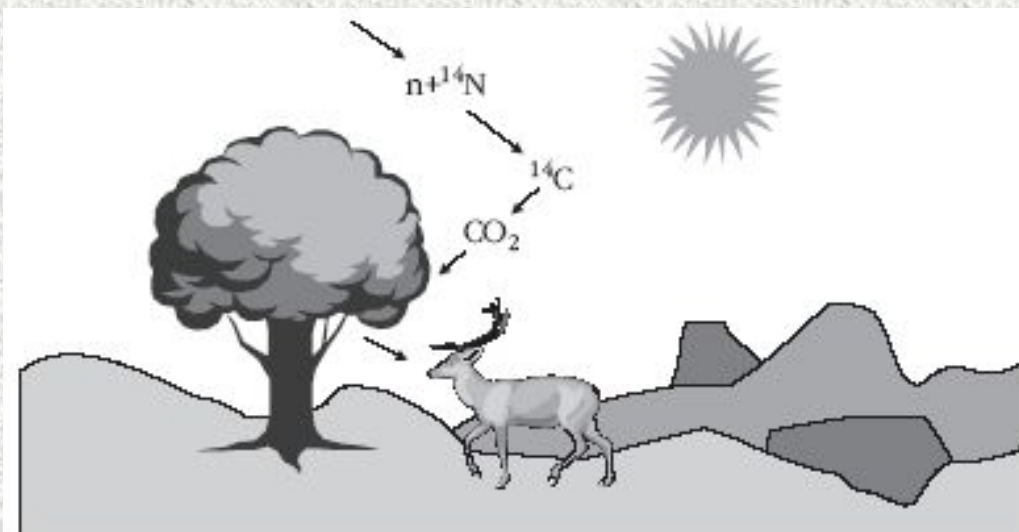


Radiokarbon kormeghatározás

Miután egy élőlény meghal, az anyagcsere megszűnik, tehát a szervezetben lévő ^{14}C izotópok aránya csökkenni kezd.

Az izotóp felezési ideje: 5730 év.

A maradványból kinyert szénizotópok arányából a maradvány életkorára lehet következtetni.



Szenzorok

A radioaktivitást különböző érzékelő berendezésekben is alkalmazzák.

Az ionizációs füstérzékelő kamrájában kis aktivitású radioaktív izotóp ionizálja a levegőt.



Fizikatörténeti vonatkozások

RUTHERFORD, SIR ERNEST (1871-1937)

Angol fizikus

Az egyetemes fizikatörténet egyik legnagyobb kísérleti fizikusa. Munkássága meghatározó az atomszerkezet megismerésében.

A radioaktivitás jelenségét kutatva 1897-ben felfedezte az alfa és a béta-sugárzást, majd 1908-ban kimutatta, hogy az alfarészecskék valójában héliumatommagok.



1911-ben alkotta meg atommagból és a körülötte keringő elektronokból álló atommodelljét. Létrehozta az első mesterséges magátalakulást. 1908-ban Nobel-díjat kapott a kémia területén elért munkásságáért.

CURIE, MARIE (MARIA SKLODOWSKA)

1867 – 1934

Lengyel származású francia fizikus

A radioaktivitás kutatásában elért eredményei tették világhírűvé.

1897-ben Marie Curie felfedezte, hogy a tórium is radioaktív.

1898 nyarán férjével felfedezték a polóniumot, majd néhány hónappal később a rádiumot. 1911-ben a vegytiszta rádium előállításáért megkapta a kémiai Nobel-díjat. Az I. világháború alatt leányával, Irene-nel együtt a röntgengráfia alkalmazásainak fejlesztésén dolgozott.



A hírnevének csúcsán álló Marie Curie-t 1922-ben az Orvostudományi Akadémia tagjai közé választották, s ettől kezdve elsősorban a radioaktív anyagok kémiájának és orvosi alkalmazásának a kutatásával foglalkozott.

1934-ben belehalt a sugárzás okozta fehérvérűségbe.

SZILÁRD LEÓ (1898-1964)

Magyar származású amerikai fizikus

1919-ben elhagyta Magyarországot.

1927 decemberében Einsteinnel közösen megtette mozgóalkatrész nélküli hűtőszekrényre szabadalmi bejelentését.

1934-ben kigondolta a nukleáris láncreakció elvét és

bevezette a kritikus tömeg fogalmát.

1938-ban Angliából az USA-ba költözött.

Részt vett az amerikai atombomba-kutatásban.



1940-ben leírta az inhomogén elrendezésű urán-grafit rendszerű reaktort, de a háború alatt megtiltotta a közzétételét.

1943-ban amerikai állampolgárságot kapott. 1944-ben javasolja az atomenergia nemzetközi ellenőrzését.

WIGNER JENŐ (1902-1995)

Magyar fizikus

Meghatározó szerepe volt az atombomba kifejlesztésében.

Egy évvel a neutron felfedezése után, 1933-ban írt tanulmányában megmutatta, hogy a neutronok és a protonok között ható erőnek nagyon rövid hatótávolságúnak kell lennie. Kimutatta azt is, hogy a magerők függetlenek az elektromos töltéstől. Munkája eredményességét számos megtisztelő kitüntetés fémjelzi.



Kutatásai az atomhéj kvantummechanikájára, az atommagok, az elemi részek elméletére és a modern fizika más központi kérdéseire irányultak. 1963-ban Nobel-díjat kapott az atommagok és az elemi részek elmélete terén elért eredményeiért.

TELLER EDE (1908-2003)

Magyar fizikus

1926-ban elhagyta az országot. A fizikai doktorátusát 1930-ban a Lipcsei Egyetemen szerezte meg. Két évet töltött a Göttingeni Egyetemen és 1934-ben elhagyta Németországot a Zsidó kimenekítő Tanács segítségével. Rövid angliai tartózkodás után az Egyesült Államokba emigrált. 1938-ban a csillagok energiatermelését Gamow és Teller közösen a magfúzióval, vagyis a termonukleáris reakcióval magyarázták.

1942-ben Teller belépett a Manhattan-tervbe. Kutatótársaival együtt ő is ellenezte az atombomba ledobását. Ennek ellenére a fúziós bomba elmélete nagyon érdekelte. Gamow-val együtt ő dolgozta ki a magfúzió elméletét. Teller Edét tekintik a fizikatörténet a hidrogénbomba "atyjának". 1952. november 1-jén volt az első kísérleti robbantás. Sokat foglalkozott az atomreaktorokkal is.



FERMI, ENRICO (1901-1954)

Olasz származású amerikai fizikus

A középiskolát Rómában végezte, majd Pisába járt reáliskolába. 1924-től matematikát és fizikát adott elő a firenzei egyetemen.

Az 1930-as években írta a radioaktív béta-bomlásról szóló híres tanulmányát.

1934-ben felfedezték a mesterséges radioaktivitást. Ekkor Fermi arra gondolt, hogy a neutronokat lehetne felhasználni az atommag átalakítására.



Közben foglalkozott a neutronok lassításának lehetőségével is. (Fermi-effektus). Nobel-díját követően (1938) családjával kivándorolt Amerikába. A Columbia Egyetem fizikaprofesszora lett. Vezetésével 1942. december 2-án a világ első atomreaktorában beindult a láncreakció, az uránmagok hasadása. 1944-ben Los Alamosban az atombomba kifejlesztésén dolgozott.