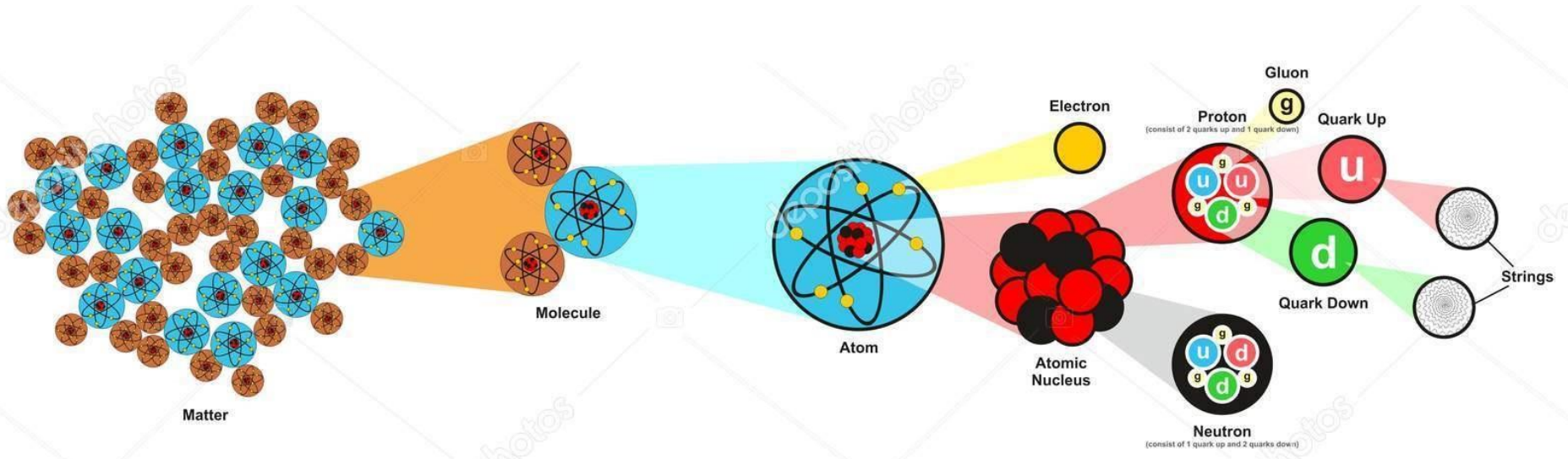
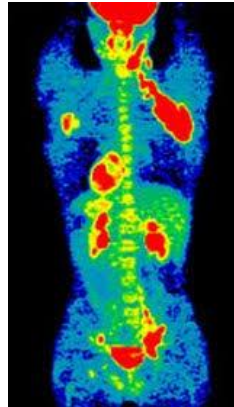


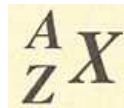


ATOMFIZIKA

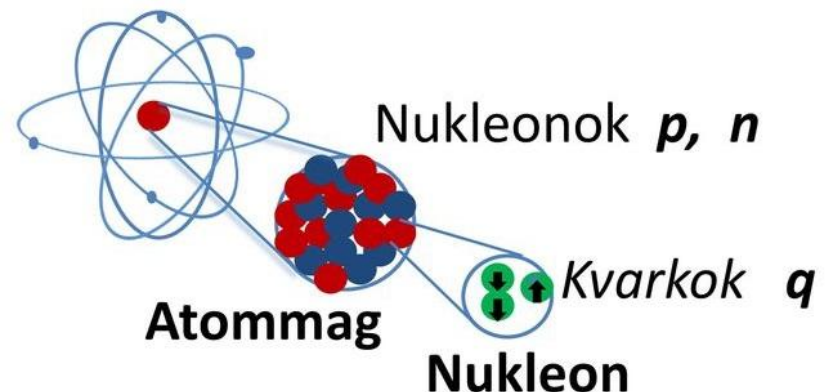
AZ ATOMMAG SZERKEZETE

A természetben előforduló legnagyobb atommagok tömegszáma nem éri el a 240-et. A Z rendszám a kisebb tömegű atommagoknál közel fele a tömegszámnak $Z \approx A/2$, nagyobb tömegű atommagoknál viszont kisebb. A természetben előforduló legnagyobb rendszámú elem az urán ($Z = 92$).

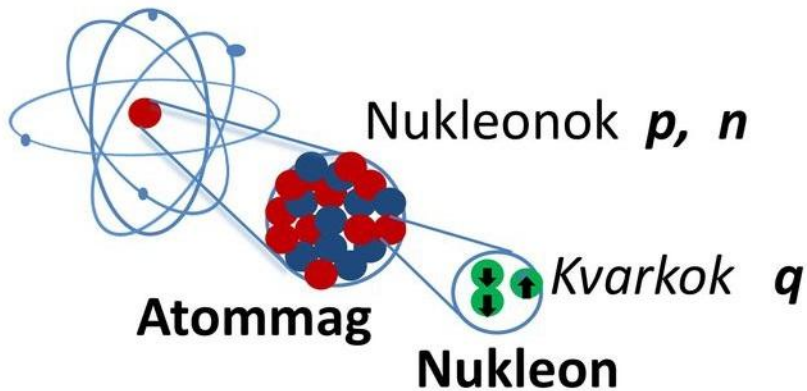
Az atommagokat az atomok elemének vegyjelével jelöljük, bal felső indexben az A tömegszámot, bal alsóban pedig a Z rendszámot feltüntetve:



Korabeli feltevések szerint az atommag csak protonokból állt. Mivel $A > Z$, ezért úgy gondolták, hogy a protonok mellett az atommagokban $A - Z$ számú negatív töltésű elektron is található. Később kiderült, hogy ez a felvetés hamis és nem található a magban elektron.



AZ ATOMMAG SZERKEZETE



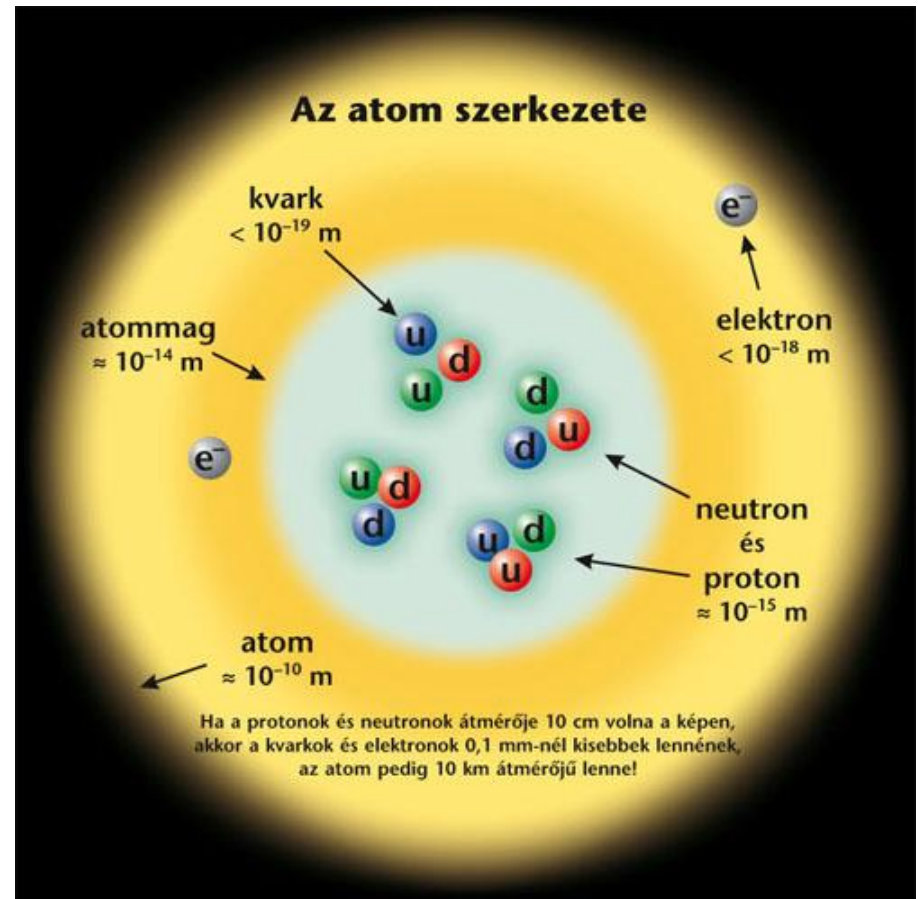
A legkisebb tömegű és töltésű atommag a hidrogénatom magja: a proton.

A proton töltése: $Q = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
tömege: $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

A nagyobb tömegű atommagok tömege a proton tömegének közel egész szám-szorosa:

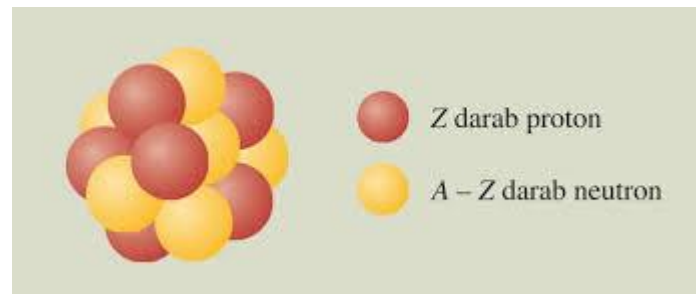
$$m_{\text{mag}} \approx A \cdot m_p.$$

Az A egész számot az atommag tömegszámának nevezzük.



AZ ATOMMAG SZERKEZETE

Az atommag szerkezetének kérdése a neutron (semleges részecske) felfedezésével oldódott meg.



1932-ben James Chadwick (1891—1974) angol fizikus egy mesterséges magátalakítás során fellépő, elektromosan semleges sugárzásról kimutatta, hogy az töltés nélküli részecskékből áll. A részecskét neutronnak nevezték el (a neutrális latin eredetű szó, jelentése: semleges).

Chadwick He^{2+} -ionokkal bombázta berilliumatomok magjait. Az ezekből kiinduló sugárzás paraffinból nagy energiájú protonokat lökött ki. A lendületmegmaradásból a tudós arra következtetett, hogy a sugárzást a protonokkal közel egyenlő tömegű, semleges részecskék — a neutronok — alkotják.

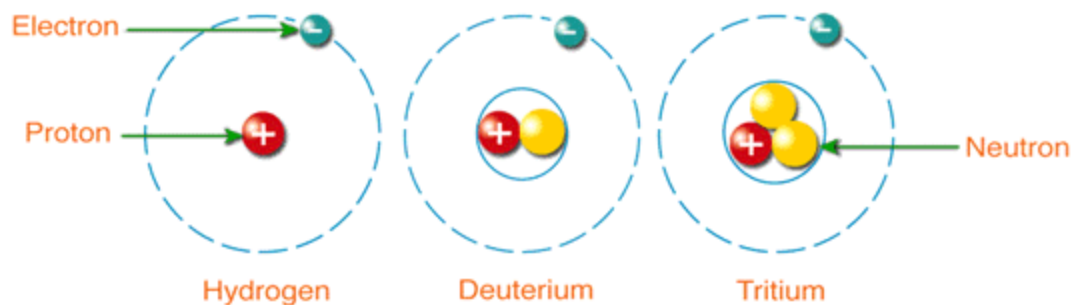
Ezt követően a német W. Heisenberg és a szovjet D. Ivanyenko — egymástól függetlenül — közzétette az atommag összetételére vonatkozó első feltevést, amely alapján véve ma is érvényes.

AZ ATOMMAG SZERKEZETE

A neutron tömege közel azonos a proton tömegével ($m_p \approx m_n$). Az elektron m_e tömegével kifejezve $m_p = 1836 m_e$ és $m_n = 1838 m_e$.

Az azonos Z rendszámú, de különböző A tömegszámú atommagokat — illetve ezek semleges atomjait vagy azok elemeit **izotópoknak** nevezzük. (Az izotóp görög szó, jelentése: azonos hely).

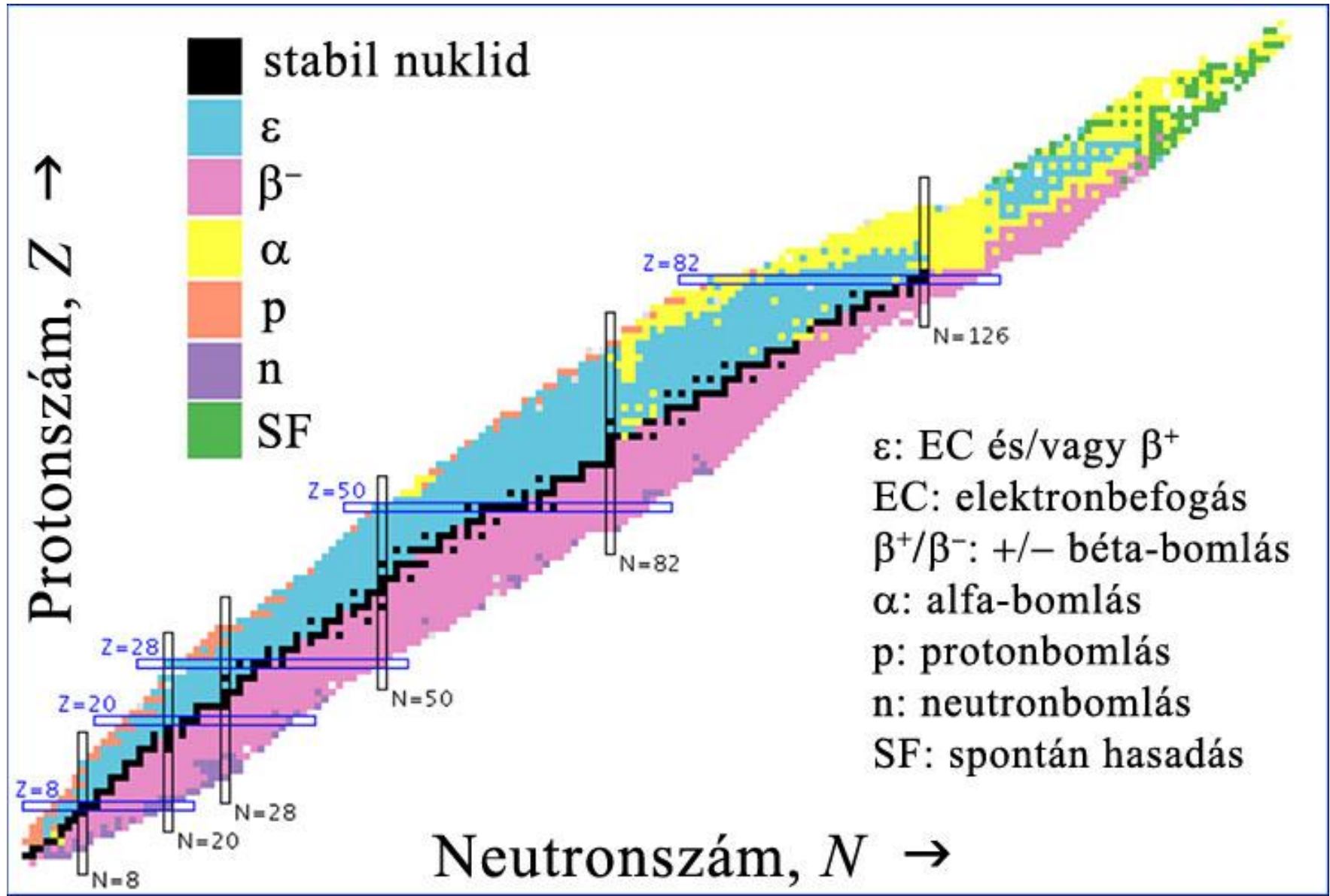
semleges izotóp atomok $\rightarrow$ azonos kémiai tulajdonság



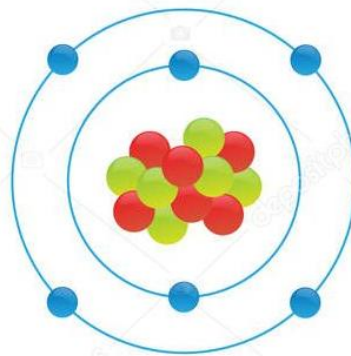
A nukleáris technikában gyakran alkalmazott két izotópcsoport: a hidrogénizotópok: a könnyű hidrogén ${}_1^1\text{H}$, valamint a nehézhidrogének: a ${}_1^2\text{D}$ deutérium, illetve a ${}_1^3\text{T}$ trícium; és az atomreaktorok üzemanyagában előforduló uránizotópok: ${}^{238}\text{U}$ ${}^{235}\text{U}$ ${}^{236}\text{U}$

Eltérő belső szerkezetük miatt az izotóp atommagok különböző magfizikai sajátossággal (pl. stabilitás, radioaktív bomlás) rendelkeznek.

IZOTÓPTÁBLÁZAT

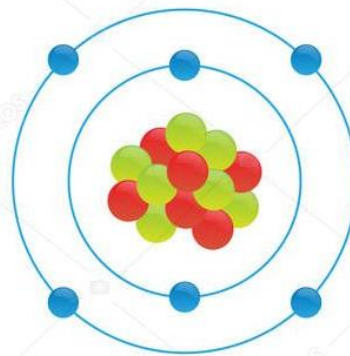


IZOTÓPTÁBLÁZAT



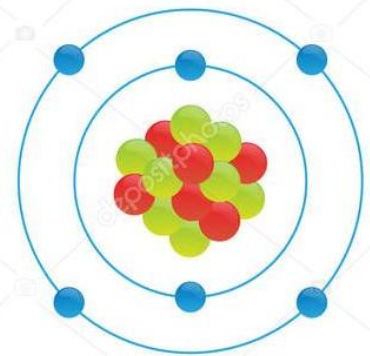
6 Protons
6 Neutrons
 $6+6=12$

¹²₆C



6 Protons
7 Neutrons
 $6+7=13$

¹³₆C



6 Protons
8 Neutrons
 $6+8=14$

¹⁴₆C

Z	4	5	6	7	8	9	10	11	N
9		14F P	16Ne 122 KeV P: 100.00%	17Ne 109.2 MS e: 100.00% p: 100.00%	18Ne 1672 MS e: 100.00%	19Ne 17.22 S e: 100.00%	20Ne STABLE 90.48%	21Ne STABLE 0.27%	22Ne STABLE 9.25%
8	12O 0.40 MeV P	13O 8.58 MS e: 100.00% p: 100.00%	14O 70.606 S e: 100.00%	15O 122.24 S e: 100.00%	16O STABLE 99.762%	17O STABLE 0.038%	18O STABLE 0.200%	19O 26.88 S β-: 100.00%	20O 13.51 S β-: 100.00%
7	11N 1.58 MeV P: 100.00%	12N 11.000 MS e: 100.00%	13N 9.965 M e: 100.00%	14N STABLE 99.634%	15N STABLE 0.366%	16N 7.13 S β-: 100.00% β-α: 1.2E-3%	17N 4.173 S β-: 100.00% β-n: 95.1%	18N 624 MS β-: 100.00% β-n: 14.30%	19N 271 MS β-: 100.00% β-n: 54.60%
6	10C 19.290 S e: 100.00%	11C 20.334 M e: 100.00%	12C STABLE 98.89%	13C STABLE 1.11%	14C 5700 Y β-: 100.00%	15C 2.449 S β-: 100.00%	16C 0.747 S β-: 100.00% β-n: 99.00%	17C 193 MS β-: 100.00% β-n: 32.00%	18C 92 MS β-: 100.00% β-n: 31.50%

NUKLEÁRIS KÖLCSÖNHATÁS

Az atommagok belső szerkezetének megismerése után a fizikusokban nyomban felmerült a kérdés, hogy vajon milyen kölcsönhatások biztosítják a magok rendkívüli sűrűségét és a kémiai reakciókkal szembeni nagyfokú stabilitását.

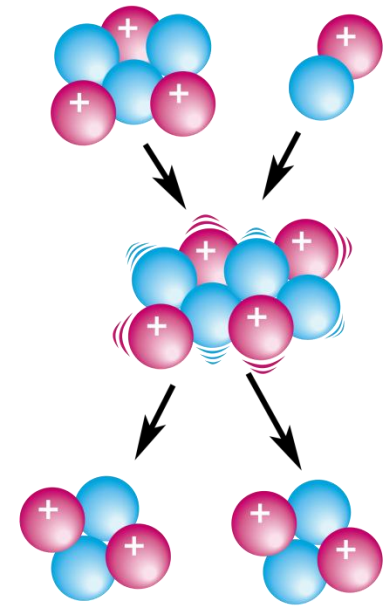
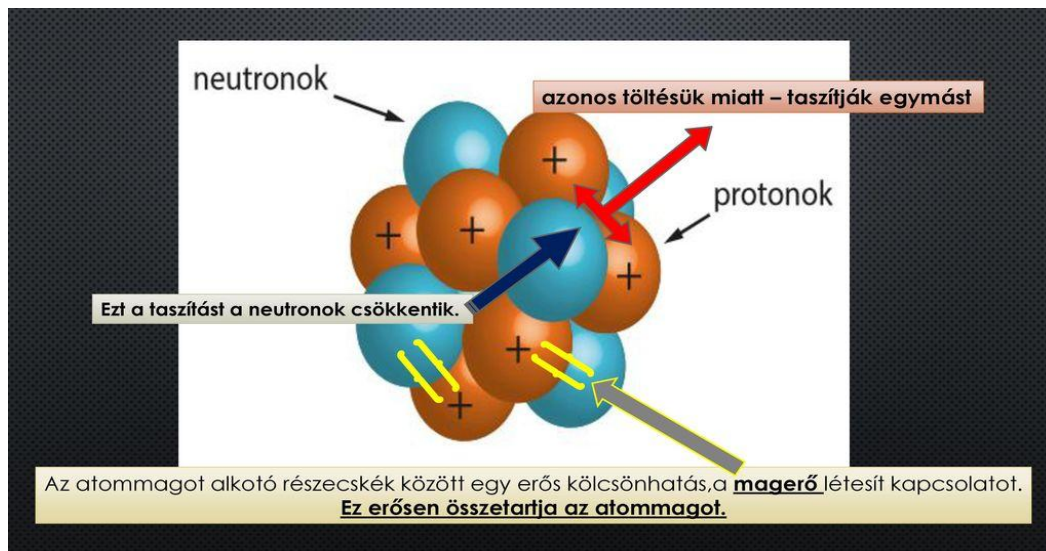
A magból és elektronból álló atomi rendszert a vonzó elektromos kölcsönhatás tartja fenn. Az atommagon belül viszont az azonos pozitív töltéssel rendelkező protonok közötti elektromos kölcsönhatás taszító jellegű. A protonok között fellépő taszító Coulomb-erő a magot „szétrobbantani” igyekszik, ezért a nukleonokból álló magstruktúrát az elektromos kölcsönhatás gyengíti. A nukleonok között fellépő elektromos taszítóerők 36 nagyságrenddel nagyobbak a gravitációs vonzóerőknél. Így az atommag szerkezetének kialakításában a protonok taszításának ellensúlyozására a gravitációs kölcsönhatás nem jöhet szóba.

Fel kell tételeznünk, hogy a természetben van egy olyan vonzó jellegű kölcsönhatástípus, amely a magon belül az elektromos taszítással szemben is stabil rendszert képes teremteni. Ezt nukleáris vagy erős kölcsönhatásnak, röviden magerőnek nevezzük. A magon belüli erő- és energiaviszonyokat döntő mértékben ez a kölcsönhatás határozza meg.

NUKLEÁRIS KÖLCSÖNHATÁS

A magfizikai kísérletek eredményeiből adódnak a magerő alábbi jellemzői:

- A magon belül a magerő kb. két nagyságrenddel (néhány százszor) erősebb, mint az elektromos taszítóerő. (Ebből ered az erős kölcsönhatás elnevezés.)
- Az erős kölcsönhatás rövid hatótávolságú: csak a szomszédos nukleonok között hat. A hatótávolság nagyságrendje 10^{-15} m.
- A kölcsönhatás töltésfüggetlen. Ez azt jelenti, hogy proton és proton között éppúgy hat, mint proton és neutron vagy neutron és neutron között. Vagyis a magerő szempontjából a nukleonok egyformák.



TÖMEGDEFEKTUS

A pontos tömegmérések azt mutatják, hogy a nukleonokból összetevődő atommagok tömege mindig kisebb, mint az alkotórészek tömegeinek összege. Ezt a kísérleti tapasztalatot nevezzük tömegdefektusnak vagy tömeghiánynak. (A defekt német szó, jelentése: hiányos.) A hiányzó tömeget az alábbi képlettel határozhatjuk meg:

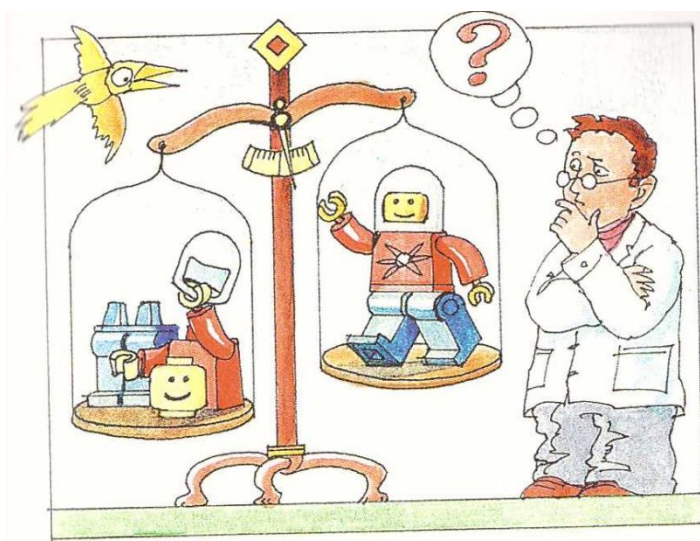
$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{mag}},$$

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.

A Δm tömegdefektus mérésével a magok kötési energiája kiszámítható:

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

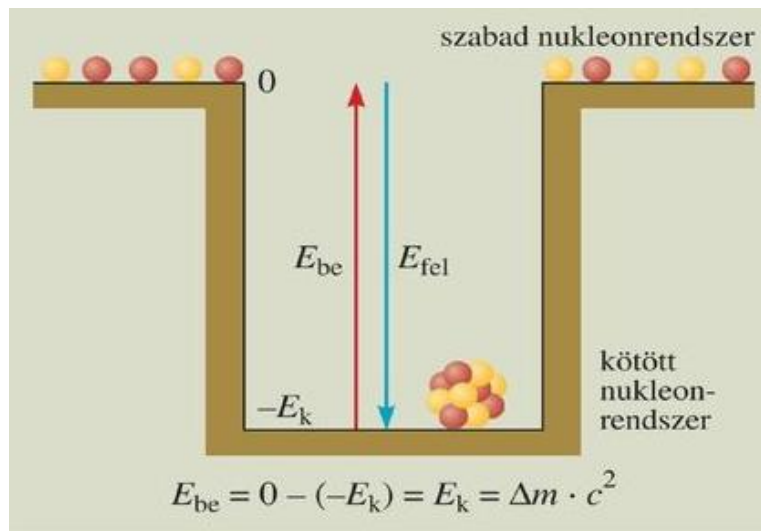


KÖTÉSI ENERGIA

Az atommagok belső szerkezetének megváltozásakor (az atommagok bomlásakor, egyesülésekor) energia szabadulhat fel vagy nyelődhet el. Az atommag-átalakulások energiamérlegének vizsgálatára célszerű bevezetni a kötési energia fogalmát.

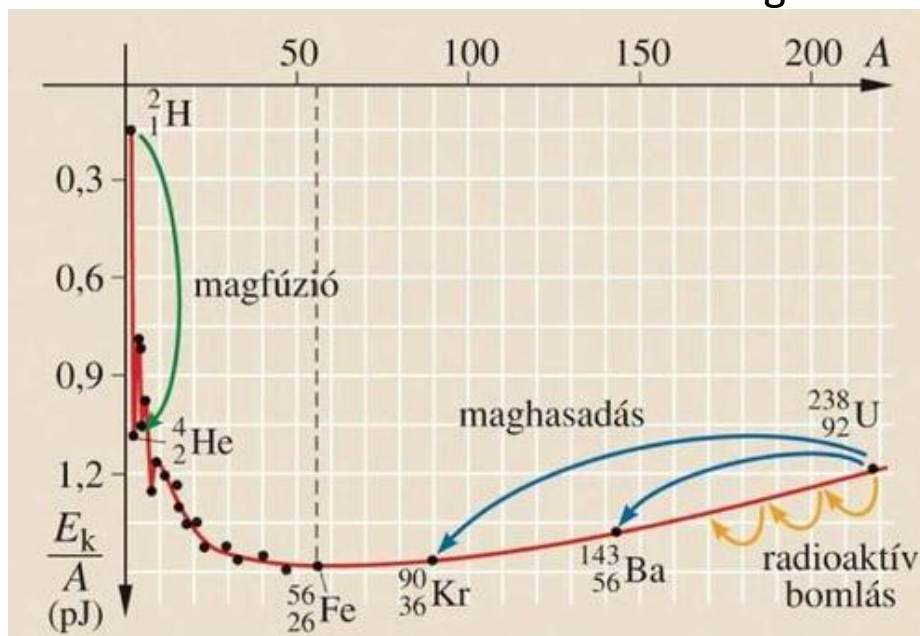
Egy atommag kötési energiáján azt a munkát értjük, amelyet akkor kell végeznünk a magerőkkel szemben, ha az adott atommagot alkotórészeire — egymástól távol lévő, nyugvó protonokra és neutronokra — bontjuk szét.

Az energiamegmaradás elve szerint: ha a mag szabad alkotórészei ismét egyetlen atommaggá egyesülnek, akkor a kötési energiának megfelelő energia szabadul fel. A kötési energia jele: E_k .



ENERGIAFELSZABADULÁS

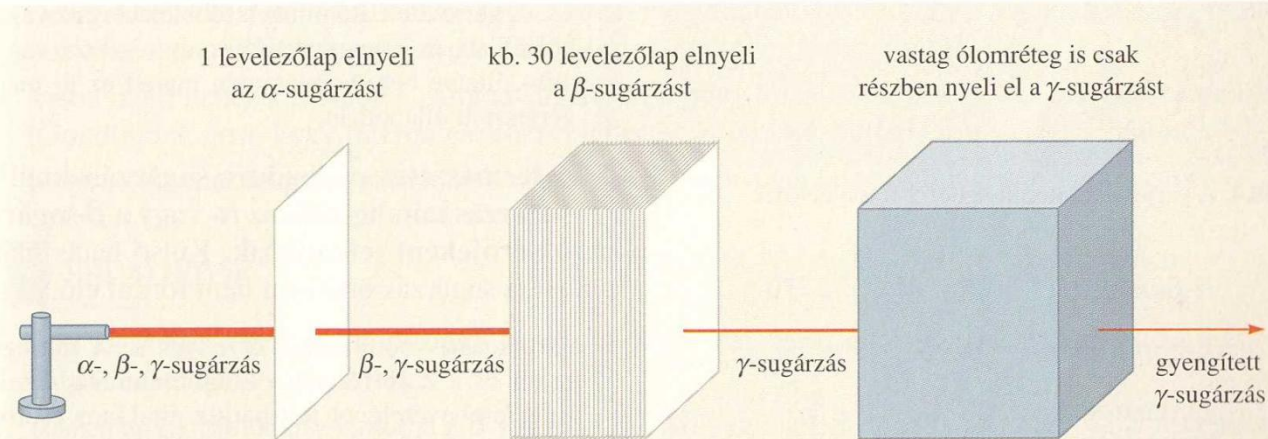
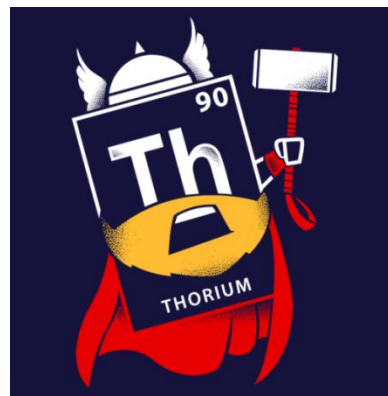
A mérési eredmények azt mutatják, hogy az atommag kötési energiája közel arányos a magban lévő nukleonok számával. Célszerű megvizsgálni az egy nukleonra jutó átlagos kötési energia pontos értékének változását különböző tömegszámú atommagoknál.



A grafikon menetéből látszik, hogy a könnyű atommagok egyesítésekor (**fúzió**), vagy a nehéz atommagok hasítása során (**fisszió**) energia szabadul fel. Szintén energiaszabadulással jár, ha a nehéz atommagok több lépésben — radioaktív bomlás útján — alakulnak át kisebb tömegszámú atommagokká.

RADIOAKTIVITÁS

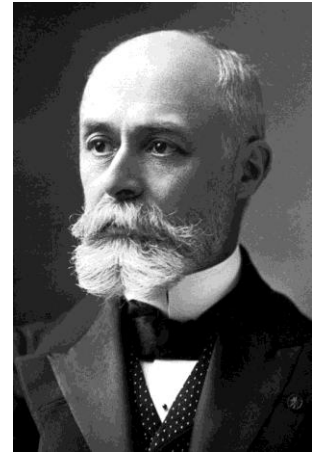
A radioaktivitás a nem stabil (úgynevezett radioaktív) atommagok bomlásának folyamata. Az atommag ezen az úton szabadul meg az energiafeleslegétől. Ez a folyamat nagy energiájú ionizáló sugárzást kelt. Radioaktív sugárzás a természetben is előfordul. Mérésére részecskedetektorokat használnak. Az elnevezés a latin radio (sugároz) és activus (cselekvő) szó összetételéből származik.



FELFEDEZÉSEK

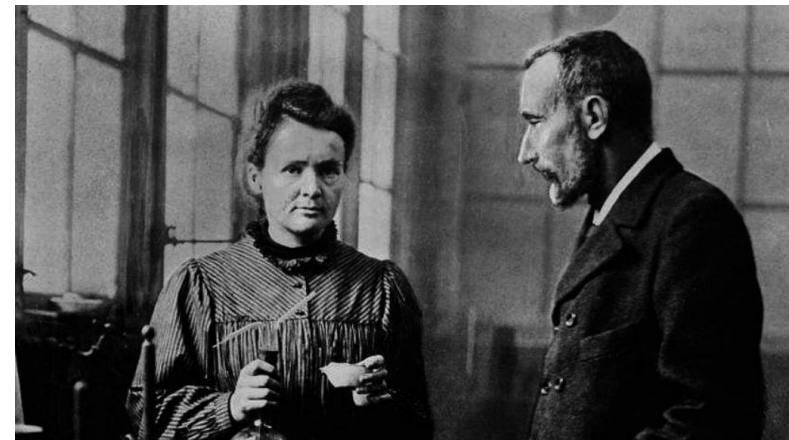
A radioaktív sugárzást Henri Becquerel (1852—1908) francia fizikus fedezte fel 1896-ban. Becquerel különböző ásványok fluoreszkálását (megvilágítás utáni saját fénykibocsátását)

vizsgálta. Megfigyelte, hogy az elzárt helyen tartott uránszurokérc nyomot hagyott az alatta lévő fényérzékeny lemezen, holott előtte külső napsugárzás nem érte az ércet. Ebből arra következtetett, hogy az uránvegyületek láthatatlan sugárzást bocsátanak ki anélkül, hogy előzőleg külső megvilágítás érte volna azokat.



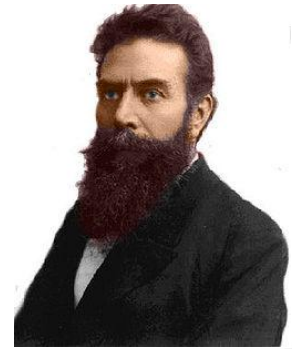
A Marie Curie (1867—1934), Pierre Curie (1859—1906) francia fizikus házaspárnak 1898-ban sikerült további radioaktív elemeket kémiai elválasztani más elemektől. Ennek során fedezték fel a rádiumot és a polóniumot.

A rádiumot a sugárzás szóról, a polóniumot pedig Marie Curie szülőhazájáról, Lengyelországról nevezték el. Becquerel és a Curie házaspár a radioaktivitás felfedezéséért és tanulmányozásáért 1903-ban megosztott fizikai Nobel-díjban részesült. 1911-ben Marie Curie a kémiai Nobel-díjat is megkapta az új radioaktív elemek felfedezéséért.

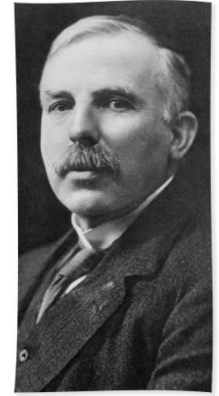


FELFEDEZÉSEK

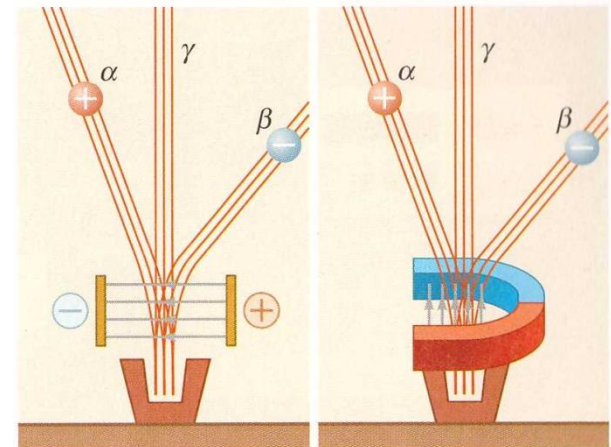
Az ionizáló sugárzás felfedezése Wilhelm Conrad Röntgen nevéhez fűződik. (1895)



Ernest Rutherford 1902-ben Frederick Soddy-val közösen megfogalmazta a radioaktív bomlás elméletét, 1910-ben pedig kísérletek alapján kikövetkeztette az atommag, majd 1918-ban a proton létezését.

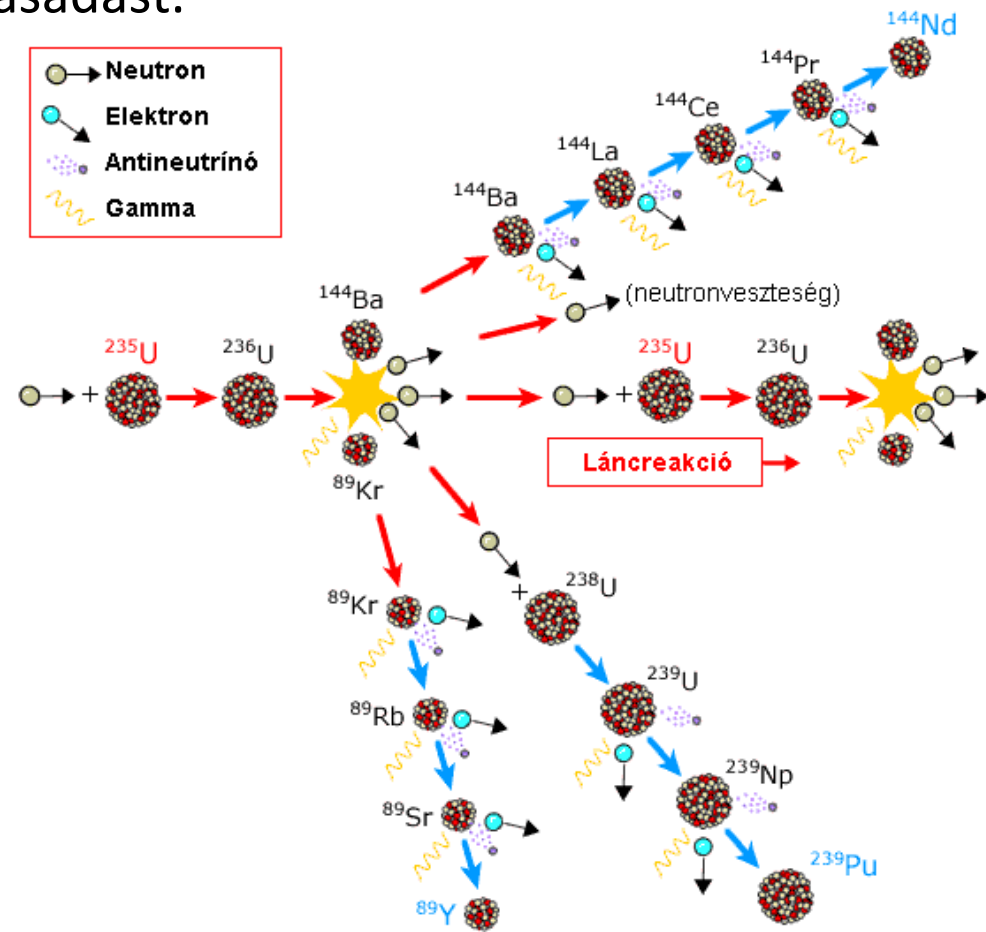


Az elektromos és mágneses mezőben való eltérülés alapján kétfajta töltéssel rendelkező sugárzást észleltek. Az egyik a pozitív töltésű α -sugárzás, a másik a negatív töltésű β -sugárzás. A sugárzások harmadik komponense, a γ -sugárzás nem térül el sem elektromos, sem pedig mágneses mezőben.

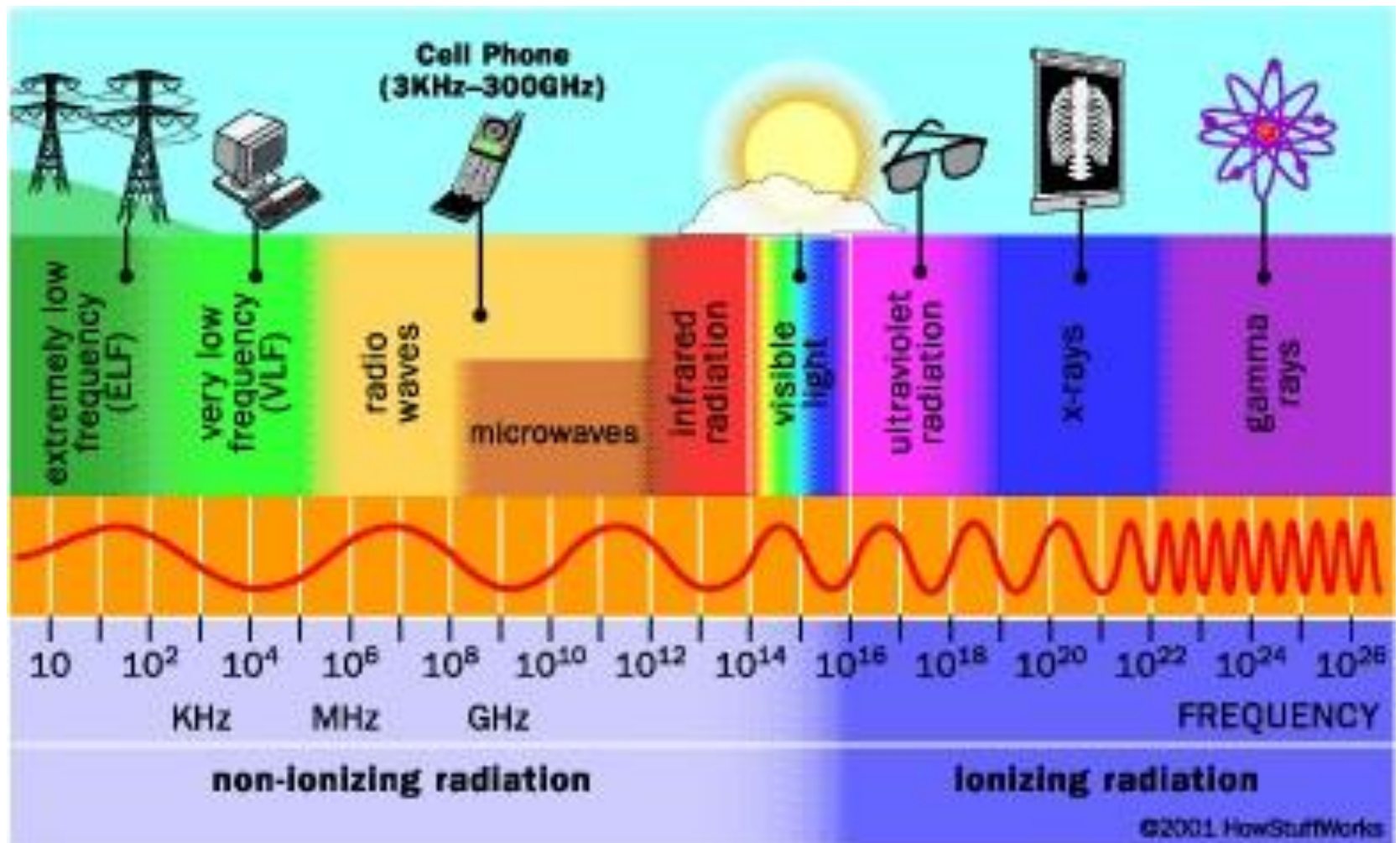


FELFEDEZÉSEK

1939-ben Otto Hahn, Fritz Strassmann és Lise Meitner urán atommagok neutronokkal történő besugárzása során felfedezte az addig ismeretlen reakciót, a maghasadást.

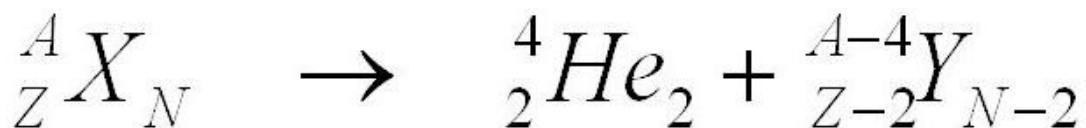
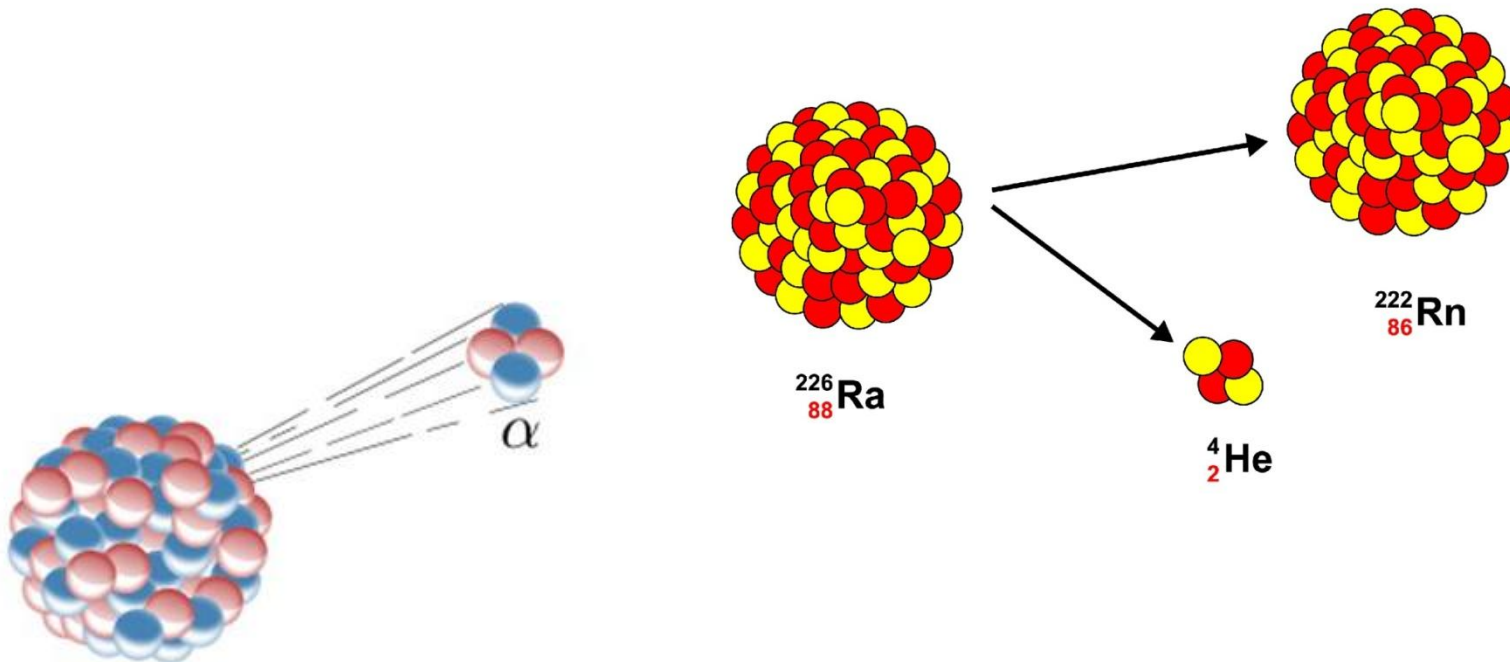


SUGÁRZÁSOK



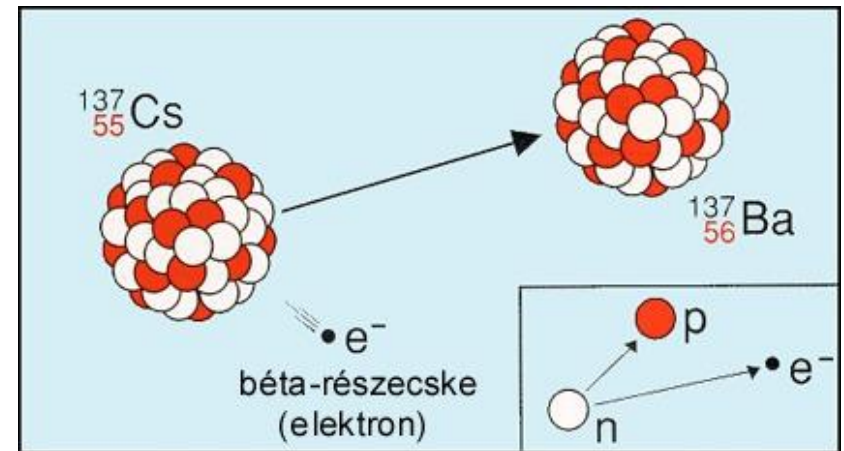
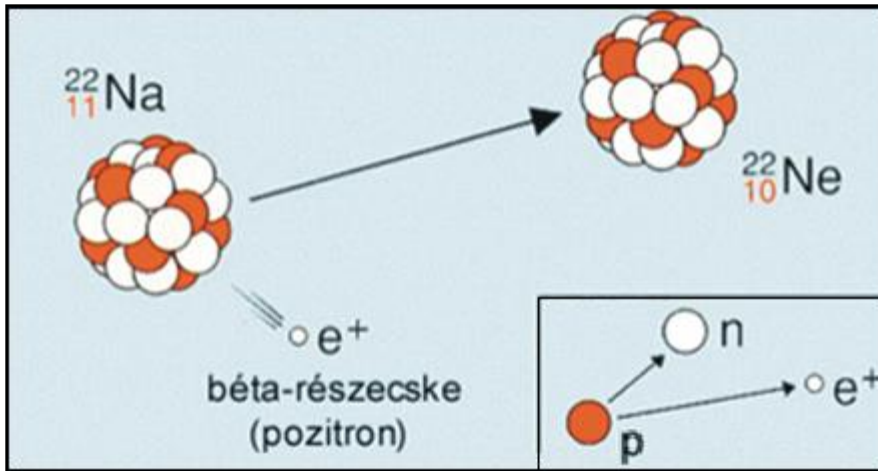
ALFA SUGÁRZÁS

Igen rövid hatótávolságú (levegőben néhány cm-ig eljutó), erősen ionizáló sugárzás. Tulajdonképpen nagy sebességgel repülő hélium atommagok. Az α -sugárzást alkotó részecskék nagy energiájú héliumatommagok. Ezek az anyagban lefékeződve — két elektron felvételével — semleges héliumatommá alakulnak át.



BÉTA SUGÁRZÁS

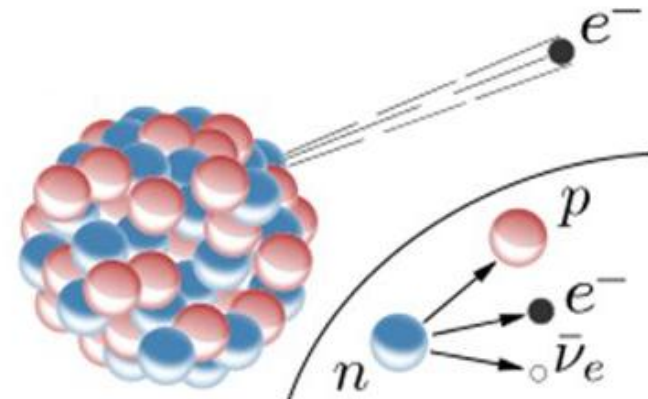
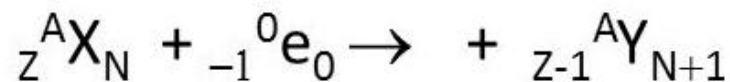
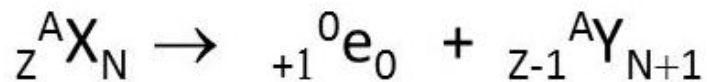
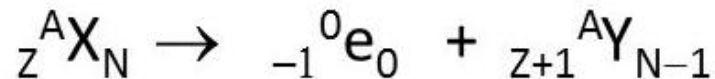
Rövid (de az alfa-sugárzásénál nagyobb) hatótávolságú sugárzás, nagy sebességgel (nagy energiájú) repülő elektronokból áll.



β^- -bomlás

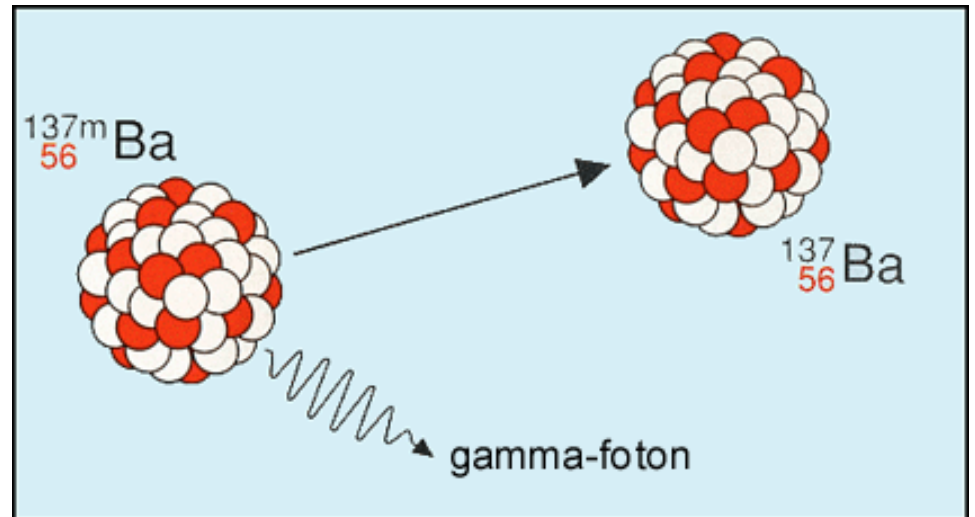
β^+ -bomlás

e^- -befogás

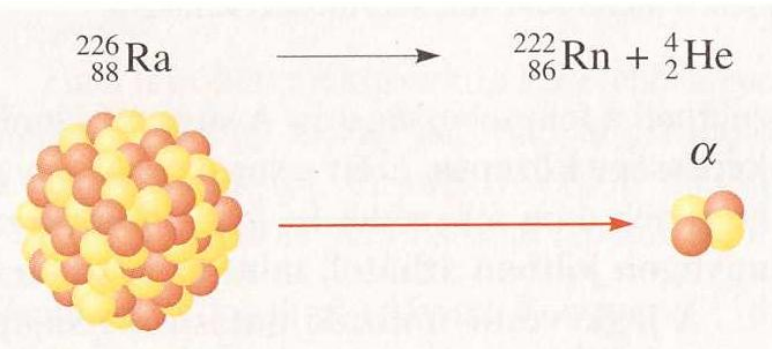


GAMMA SUGÁRZÁS

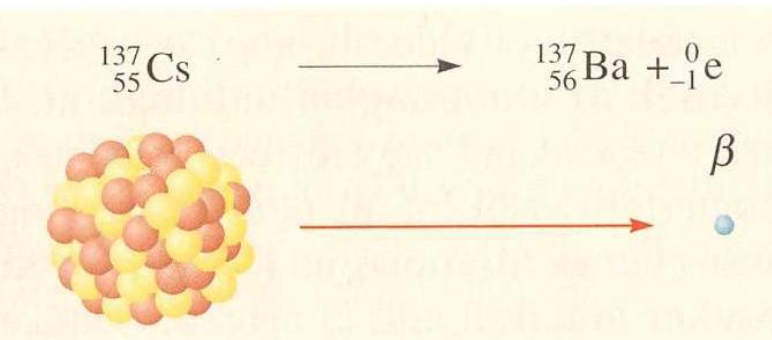
Elektromágneses sugárzás, mint a fény vagy a hősugárzás, de rövidebb hullámhosszú. Míg a látható fény vagy a röntgensugárzás az atom elektronhéjában lejátszódó folyamatok eredménye, a gamma-sugárzás az atommagban bekövetkező, ezért nagyobb energiájú folyamatokból származik. A gamma-sugár kibocsátása egy nuklid gerjesztett állapotból alacsonyabb energiaállapotba kerülésének eredménye. A gamma-bomlás tehát minőségi magátalakulással nem jár.



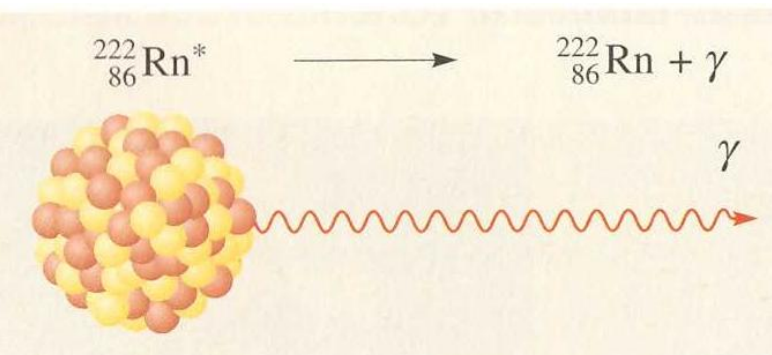
REAKCIÓEGYENLETEK



α -bomlásnál: $^A_ZX \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^4_2\text{He},$



β -bomlásnál: $^A_ZX \rightarrow ^A_{Z+1}Y + ^0_{-1}e,$



gammafoton-
 kibocsátásnál: $^A_ZY^* \rightarrow ^A_ZY + ^0_0\gamma.$
 (Y^* gerjesztett mag)

A természetes radioaktív sugárzásoknál a γ -sugárzás mindig csak az α - vagy a β -sugárzás kísérőjeként jelentkezik. Külső hatás hiányában a sugárzás önállóan nem fordul elő.

AKTIVITÁS

Egy adott mennyiségű radioaktív elem aktivitása megmutatja, hogy az elem atommagjai közül másodpercenként hány bomlik el.

Az aktivitás jele: A, mértékegysége: 1/s .

Az egységet (a radioaktivitás felfedezőjének tiszteletére) becquerelnek nevezzük.

Jele: **Bq**.

Az aktivitás értékét úgy kaphatjuk meg, ha az elbomlott atommagok ΔN számát elosztjuk a közben eltelt Δt idővel:

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

Az aktivitás annál nagyobb, minél nagyobb a radioaktív anyag mennyisége. Pontosabban: egy adott mennyiségű radioaktív izotóp A aktivitása egyenesen arányos az izotópban lévő, még el nem bomlott atommagok N számával. A radioaktív elemek aktivitása függ az elemek atommagjainak belső felépítésétől is.

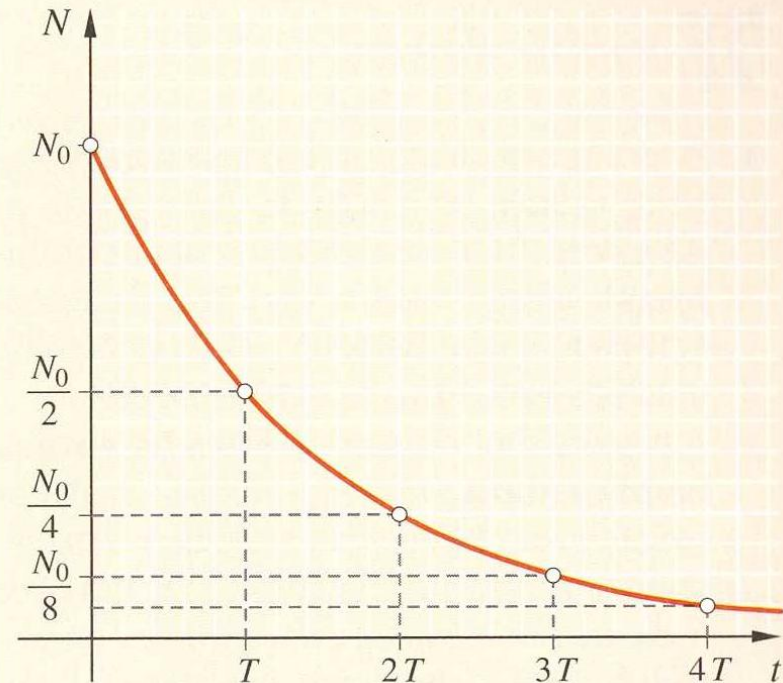
Az aktivitás a távolság négyzetével csökken!!!

FELEZÉSI IDŐ

A radioaktív anyagok aktivitásának folyamatos méréséből következtethetünk az atommagok számának időbeli csökkenésére. A mérések szerint a radioaktív elem atommagjainak száma — a bomlás következtében — mindig ugyanannyi idő alatt feleződik meg.

Ezt az állandó időt **felezési idő**nek nevezzük, jele T . (vagy $T_{1/2}$)

Ha kezdetben a radioaktív anyagban N_0 számú atommag volt jelen, akkor T , $2T$, $3T$ stb. elteltével a megmaradt stb. lesz. A radioaktív izotópok felezési ideje állandó. Illetve nem függ sem a hőmérséklettől, sem más makroszkopikus anyagi paramétertől (csak az izotóp atommagjának belső szerkezetétől).



BOMLÁSTÖRVÉNY

Az el nem bomlott atommagok N száma az idő függvényében:

$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}},$$

ahol t az eltelt idő, N_0 a kezdeti atommagok száma, T pedig a felezési idő.

Az adott atomra jellemző az úgynevezett bomlásállandó, mely konstans.

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

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

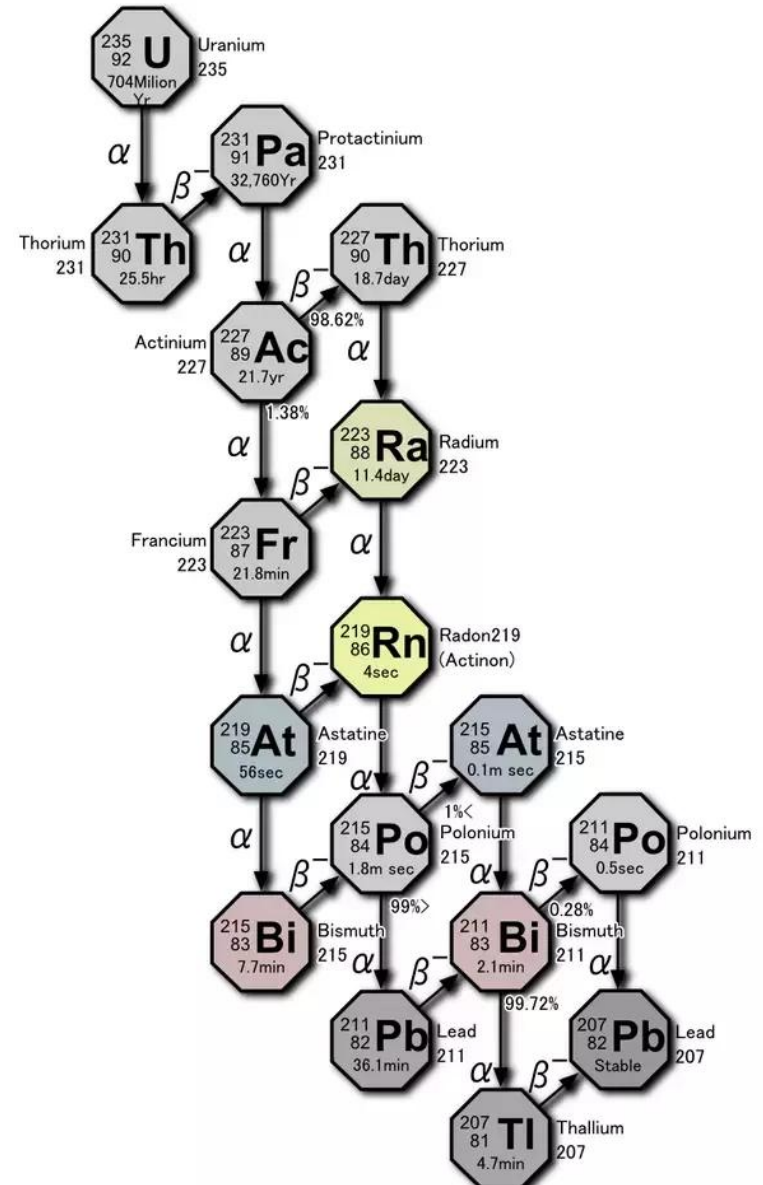
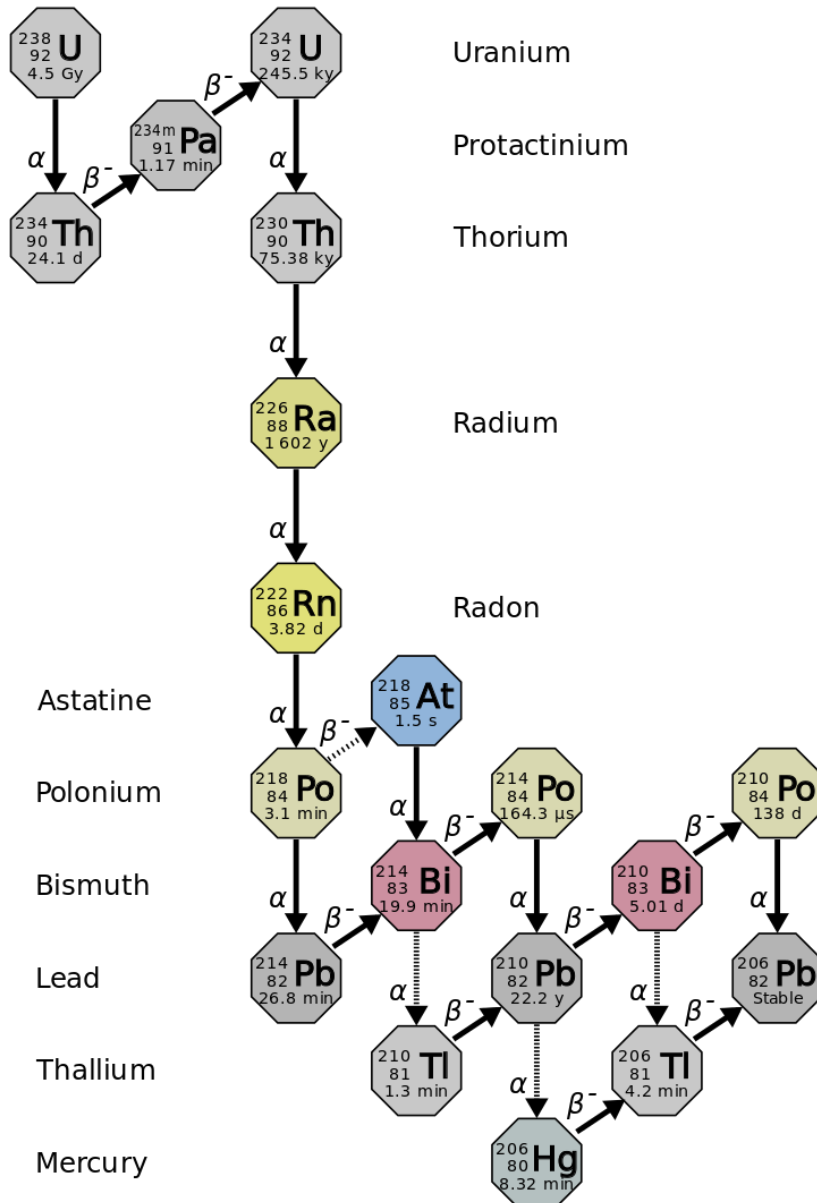
BOMLÁSI SOROK

A természetben előforduló nehéz atommagok bomlásakor keletkező újabb atommagok általában szintén radioaktívak, ezért szokás ezeket az előző elem leányelemének nevezni. Az egymást követő radioaktív nehéz atommagok váltakozva alfa- vagy béta-bomlással kerülnek egyre mélyebb energiaállapotba a stabil vasatommagok felé haladva. Az egymásból kialakult radioaktív elemek bomlási sorokat alkotnak. Mindegyik sornak van egy leghosszabb felezési idővel rendelkező őseleme (általában ez a névadó), és van egy stabil végső eleme, amely valamelyik ólom izotóp, illetve a bizmut.

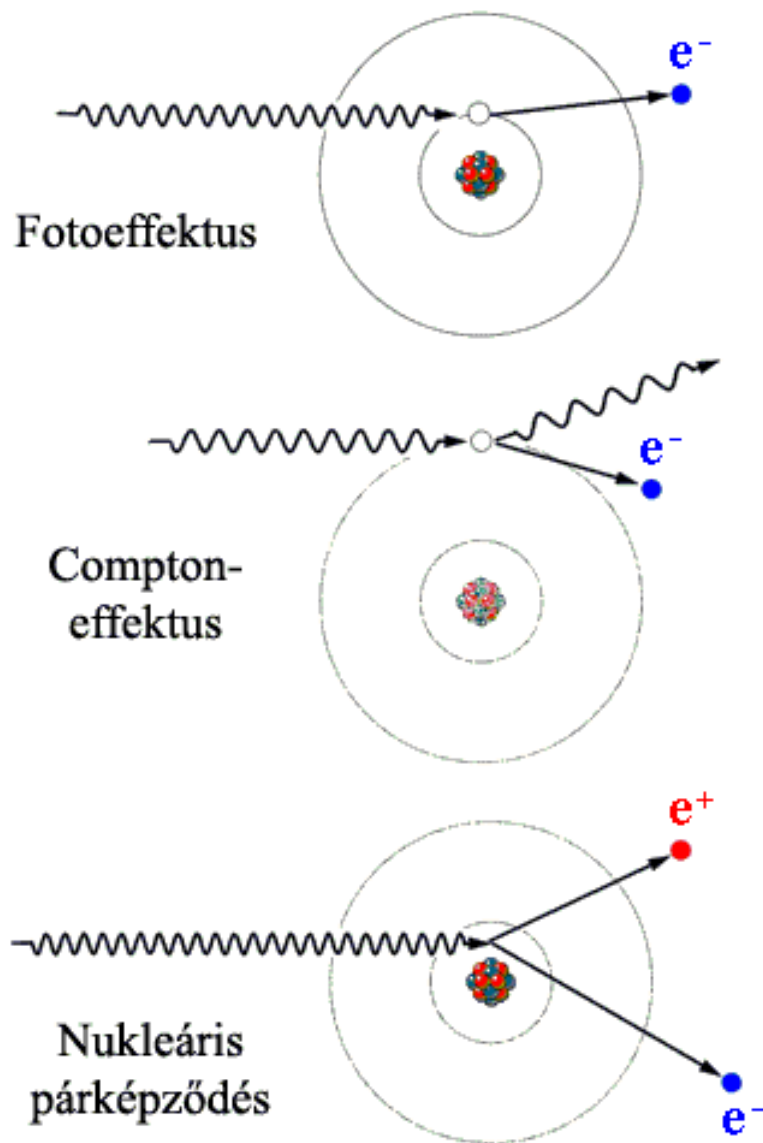
A SOR ELNEVEZÉSE	KEZDŐ VAGY ŐSELEM	ŐSELEM FELEZÉSI IDEJE (MILLIÓ ÉVBEN)	VÉGSŐ STABIL IZOTÓP
$A = 4n$ tórium-sor	${}^{232}_{90}\text{Th}$	14 100	${}^{208}_{82}\text{Pb}$
$A = 4n + 1$ neptúnium-sor	${}^{237}_{93}\text{Np}$	2,1	${}^{209}_{83}\text{Bi}$
$A = 4n + 2$ urán-238-sor	${}^{238}_{92}\text{U}$	4470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

A neptúnium-sor tagjai már nem találhatók meg a Földön, mivel az őselem felezési ideje mindössze 2 millió év, ezért a Föld keletkezése (kb. 4,5 milliárd év) óta a sok feleződés következtében a tagok lebomlottak. Korábbi előfordulásukról az árulkodik, hogy a Földön megtalálható a bomlási sor utolsó stabil eleme, a ${}^{209}\text{Bi}$ izotóp. A természetes radioaktivitás a természetben előforduló radioaktív elemek bomlásából származik. Ennek túlnyomó részét a Földön még jelen lévő 3 bomlási sor tagjai adják.

BOMLÁSI SOROK



γ -FOTON HATÁSA AZ ATOMRA



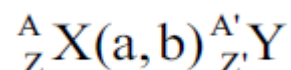
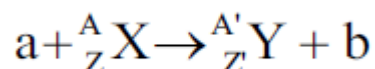
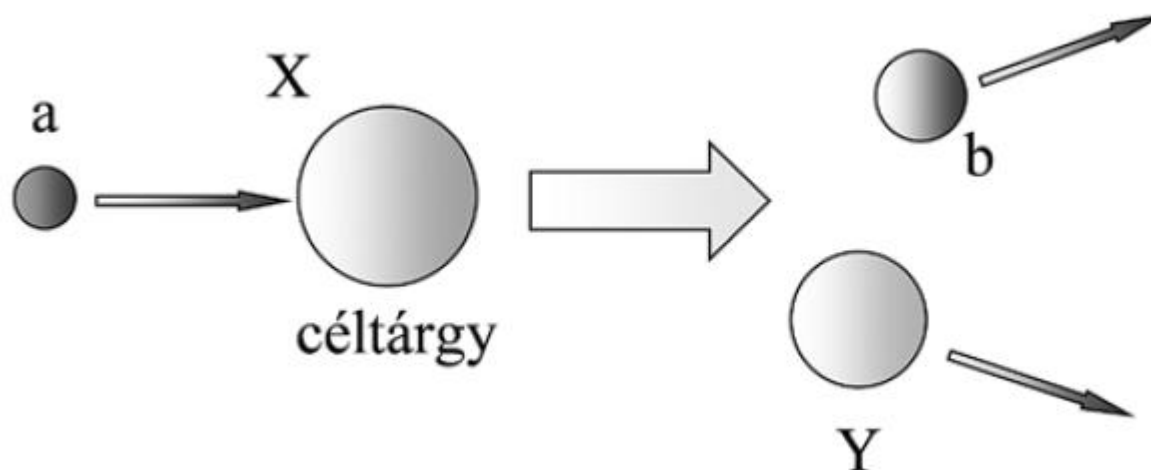
A Compton-szórás főleg a sugárterápia során jelentős, akkor jön létre, ha elegendően nagy az elektromágneses sugárzás energiája.

Ezzel szemben a fotoelektromos hatás az alacsony energia tartományban, pl. a diagnosztikus röntgensugárzásoknál jellemző. A nagyobb rendszámú molekulák, mint például a kalcium, ami a csont fő alkotórésze, jobban elnyelik a kis energiájú sugárzásokat.

Így egy röntgenfelvételen könnyen elkülöníthető pl. a csont- és a környező izomszövet.

A mammográfiás szűrések során, ahol lágyrészekben akarunk különbségeket látni, nagyon kis energiájú sugárzásokat alkalmaznak.

MAGREAKCIÓK



Szórás – nincs magátalakulás, lehet rugalmas és rugalmatlan

Spalláció – nagy energiájú töltött részecske ütközik a célmaggal, melynek hatására sok részecske és magtöredék szabadul fel

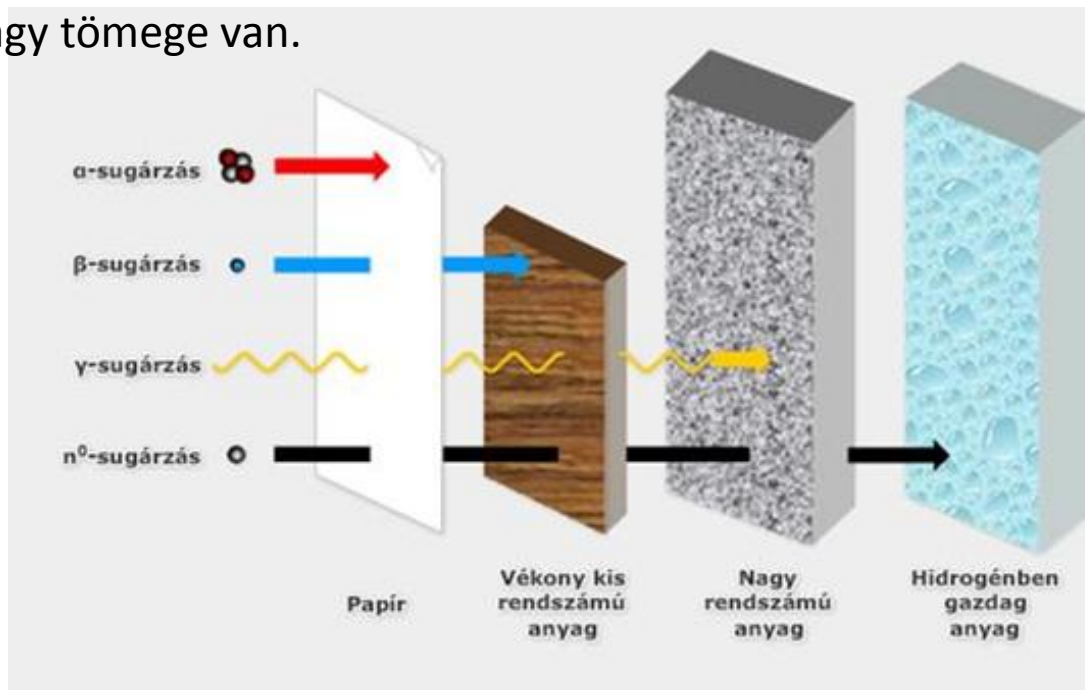
Maghasadás – két kisebb tömegszámú hasadványmag keletkezik gamma sugárzás és energia felszabadulás kíséretében

NEUTRONSUGÁRZÁS

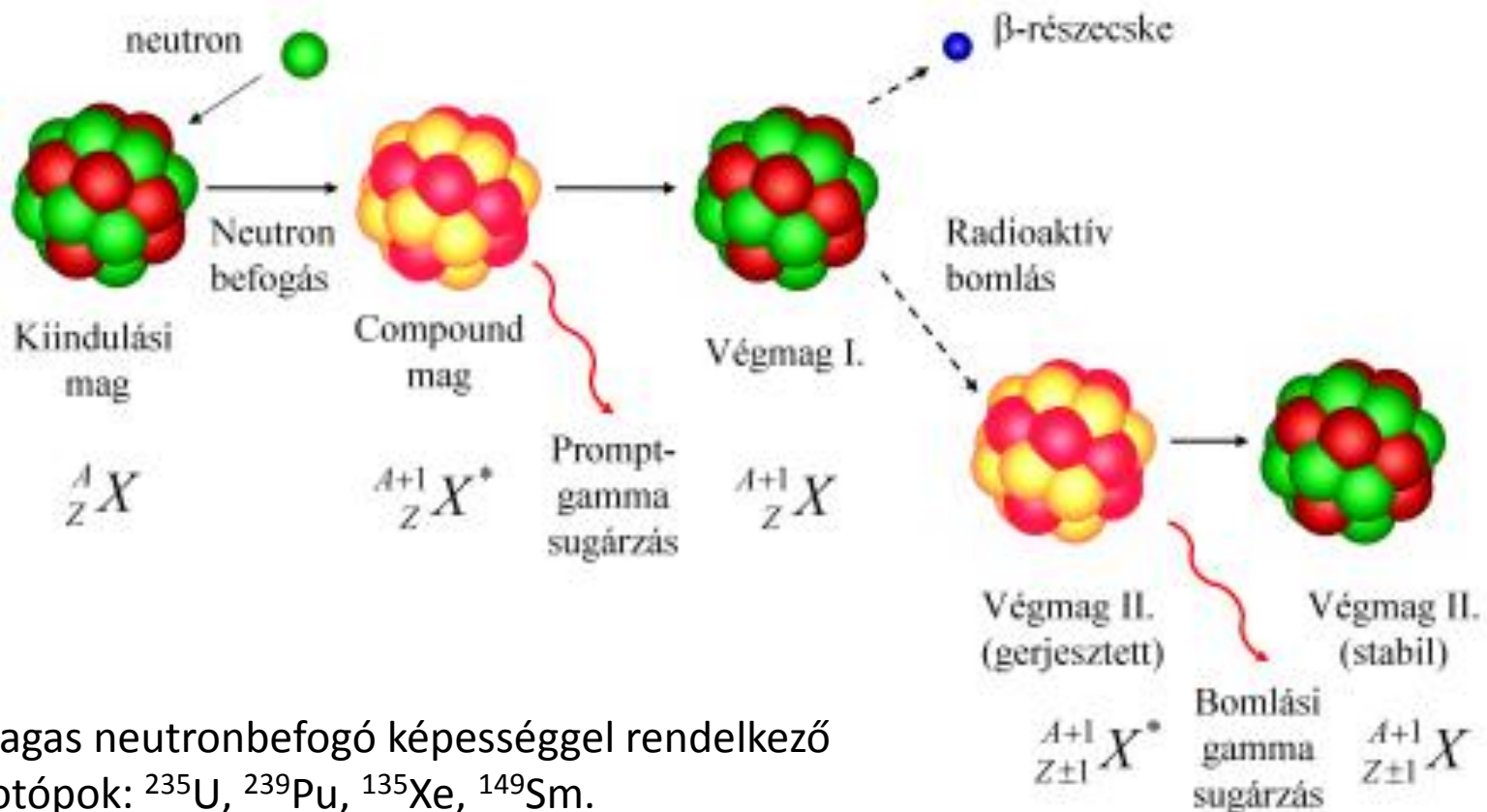
Mivel a neutron nem töltött részecske, így nem képes önmagában ionizálni. A neutronok másodlagos, töltéssel rendelkező részecskéket hoznak létre.

Elasztikus szórás során a gyors neutron egy hidrogén atommaggal ütközik. A neutron csökkent energiával, megváltozott irányba folytatja útját, és további ütközésekben is részt vehet. Ekkor az ionizációs események kialakításáért a pozitív töltéssel rendelkező másodlagos proton - azaz a hidrogén atommag - lesz a felelős.

Rugalmatlan szórás során a nagy energiával rendelkező neutron egy szén vagy egy oxigén atom atommagjával ütközik és α -részecskék keletkeznek. Az alfa részecskéknak pozitív töltése és az elektronhoz képest nagy tömege van.



NEUTRONBEFOGÁS



Magas neutronbefogó képességgel rendelkező izotópok: ${}^{235}\text{U}$, ${}^{239}\text{Pu}$, ${}^{135}\text{Xe}$, ${}^{149}\text{Sm}$.

A RADIOAKTIVITÁS ÉLETTANI HATÁSAI

Mindennapos tapasztalatok

Tartós napsugárzásnak kitett anyagokban jelentős változás következik be.

- fehér papír megsárgul
- a színes anyagok kifakulnak
- egyes műanyagok elvesztik rugalmasságukat, törékennyé válnak



Az anyagokban bekövetkezett változást elsősorban a napsugárzásban jelen lévő láthatatlan ultraibolya fény nagy energiájú fotonjai okozzák.

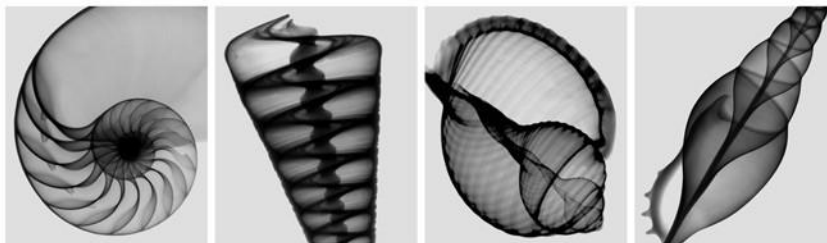
Még ennél is nagyobb energiával rendelkeznek a röntgensugárzás fotonjai!

A RADIOAKTIVITÁS ÉLETTANI HATÁSAI

A röntgensugárzás éppen ezért képes az anyagokon, így az emberi szöveteken is áthatolni — miközben azokban jelentős változásokat is okozhat. Ezért kell az orvosi röntgenvizsgálatoknál különösen körültekintően eljárni. Csak a vizsgálandó testrészt szabad — a lehető legrövidebb ideig — a sugárzásnak kitenni.



A nagy energiájú részecskékből álló radioaktív sugárzások is jelentős változásokat hoznak létre az anyagokban. Eközben maguk is megváltoznak: a sugárzások egy része vagy egésze elnyelődik az anyagban.



A RADIOAKTIVITÁS ÉLETTANI HATÁSAI

A radioaktív sugárzás és az anyag kölcsönhatása elsősorban az atomok és a molekulák ionizálásában nyilvánul meg.

A sugárzást alkotó nagy energiájú részecskék elektronokat szakítanak ki az atomokból, molekulákból.

(Ionizálják a semleges atomi részecskéket.)

Előfordulhat, hogy a becsapódó részecske egy molekulából akár egy egész atomot is kilök.

A nem túl erős radioaktív sugárzás melegítő hatása jelentéktelen, ezért károsító hőhatásától eltekinthetünk!

A RADIOAKTIVITÁS ÉLETTANI HATÁSAI

Az ionizáló részecskék a kölcsönhatás során energiát veszítenek, az anyagban lefékeződnek.

- A lefékeződő alfa-részek két elektron felvételével semleges héliumatomokká alakulnak át.
- A béta-részecskék az ionokba befogódnak.
- A gamma-fotonok a közönséges látható fény fotonjaihoz hasonlóan elnyelődnek.

Az anyagban elnyelődött radioaktív sugárzás részecskéi abban további fizikai változásokat már nem hoznak létre. Az anyag stabil atomjai nem válnak radioaktívvá. (Ezért félrevezető a sugárbetegséget sugárfertőzésnek nevezni.)

A RADIOAKTIVITÁS ÉLETTANI HATÁSAI

A radioaktív sugárzások sem szabad szemmel sem pedig más érzékszervvel közvetlenül nem észlelhetők.

Hőhatás hiányában hőérzetet sem keltenek. A sugárzások megfigyeléséhez, tanulmányozásához olyan mérőeszközökre van szükség, amelyek jelzik a sugárzások jelenlétét és mérik azok fizikai jellemzőit.

Ezeket általában detektoroknak nevezzük.

A legtöbb detektor működése a sugárzások ionizáló hatásán alapszik.

A legelső megfigyelőeszközök a ködkamrák voltak.

A RADIOAKTIVITÁS ÉLETTANI HATÁSAI

A radioaktív sugárzások által okozott ionizáció és molekulafelbomlások révén a sejtekben ionok keletkeznek, melyek a sejt egyedi működésében zavarokat okoznak.

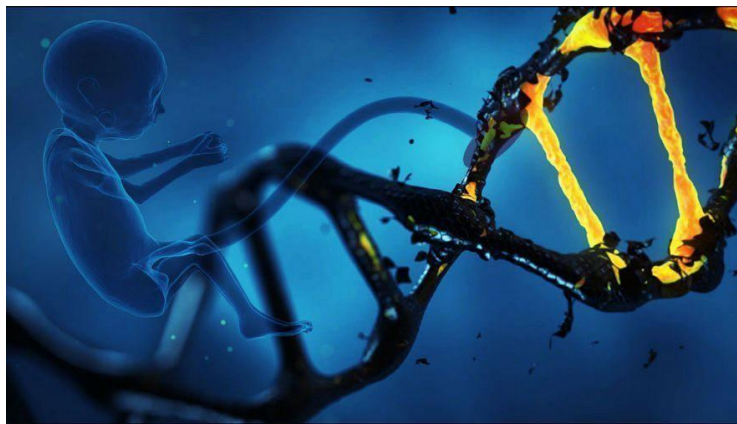
Ha sok sejtben következik be működési rend-ellenesség, akkor ez az élőlénynél a sugárzást követően különböző tünetek formájában jelentkezik. A tünetek súlyossága annál nagyobb, minél nagyobb az élő anyag egységnyi tömegében elnyelődött sugárzási energia.

A RADIOAKTIVITÁS ÉLETTANI HATÁSAI

Ha a radioaktív sugárzások elnyelődésekor a sejtek működési és genetikai programját tartalmazó DNS-molekula sérül.

Ekkor a sejt működésében késői zavarok léphetnek fel, amelyek sejtburjánzást (rákos daganatok) formájában, vagy — az ivarsejtek sérülése esetén — az utódoknál előforduló genetikai károsodás formájában jelentkezhetnek.

A biológiai hatások és az elnyelt sugárzás közötti kapcsolat mennyiségi jellemzésére kétféle dózismennyiséget használunk.



DÓZISFOGALMAK

Effektív dózis

A különböző szövetek eltérő kockázatonövelő hatását figyelembe vevő, egész testre vonatkozó, számított biológiai dózisfogalom.

Egysége a sievert (Sv) = J/kg

Effektív dózisteljesítmény

A szöveteket időegység alatt érő effektív dózis.

Egysége: sievert/másodperc (Sv/s).

Elnyelt dózis

A besugárzott anyag egységnyi tömegében a sugárzásból elnyelt energia.

Egysége a Gy (gray). $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$.

Elnyelt dózisteljesítmény

Egységnyi idő alatt elnyelt dózis.

Egységei: Gy/h, mGy/h, mGy/h.

HATÁSOK

A véletlenszerű késői hatásnál csak a betegség bekövetkezésének valószínűségét tudjuk megadni a dózisegyenérték függvényében. Itt nincs küszöbdózis, bármilyen kis dózis okozhat késői megbetegedést.

A Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ICRP) által megadott kockázati tényező a rákos megbetegedések bekövetkezésére: $1,65 \cdot 10^{-5}$ 1/mSv.

Ez azt jelenti, hogy ha 100 ezer ember kap 1 mSv többletdózist, akkor közülük 1-2 embernél valószínűsíthetjük a többletsugárzásból eredő rákos megbetegedést.

AZ EMBERI SZERVEZET EGÉSZÉT ÉRT SUGÁRZÁS DÓZIS-EGYENÉRTÉKE (mSV)	A SUGÁRZÁS SZÜKSÉGSZERŰEN BEKÖVETKEZŐ ÉLETTANI HATÁSA
< 250	nincs kimutatható hatás
250 küszöbdózis	orvosilag kimutatható, de tünetmentes
750–1000	múló rosszullét, fáradékonyság
1000–2000	tartós zavarok jelentkeznek a vérképző szervek működésében
4000 félhalálos dózis	súlyos sérülés, orvosi kezelés hiányában 50%-os az elhalálozás
6000 halálos dózis	igen súlyos károsodás, speciális orvosi kezelés hiányában 2 héten belüli halál

TERMÉSZETES HÁTTÉRSUGÁRZÁS

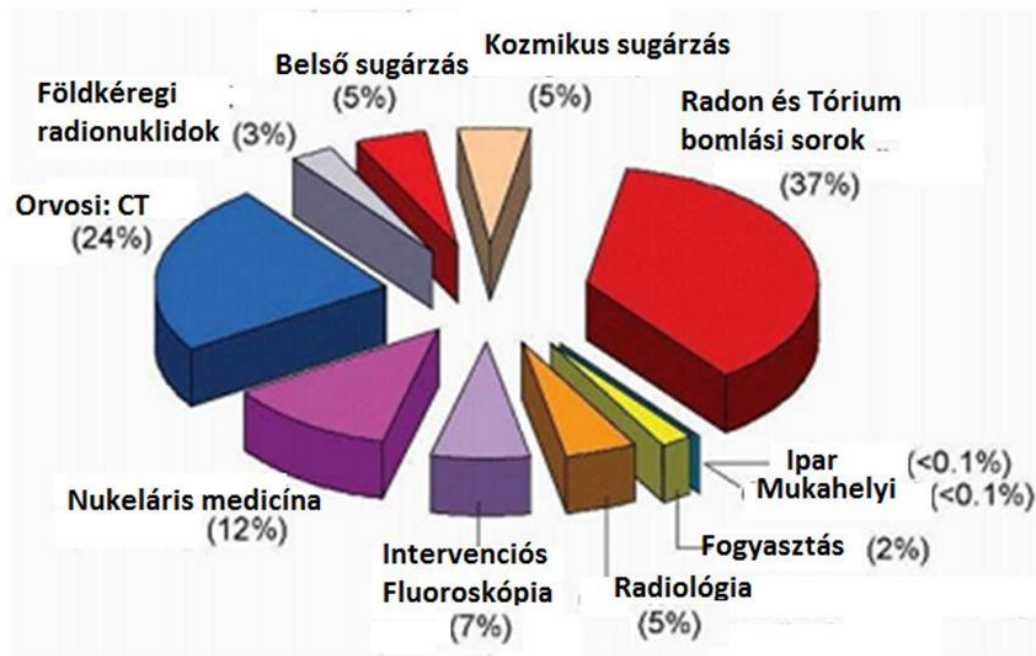
Környezetünkben mindenhol megtalálható a radioaktív sugárzás. A sugárzás a Földünkön a bolygó keletkezése óta jelen van. Kezdetben, amikor még nem alakult ki bolygónk védő légköre, a világűrből érkező intenzív kozmikus sugárzás miatt a Föld felszínén a sugárzás intenzitása a mai értéknek többszöröse lehetett.

NCRP tanulmány 160 USA Lakosság effektív dózis eloszlása sugár források szerint (2006)

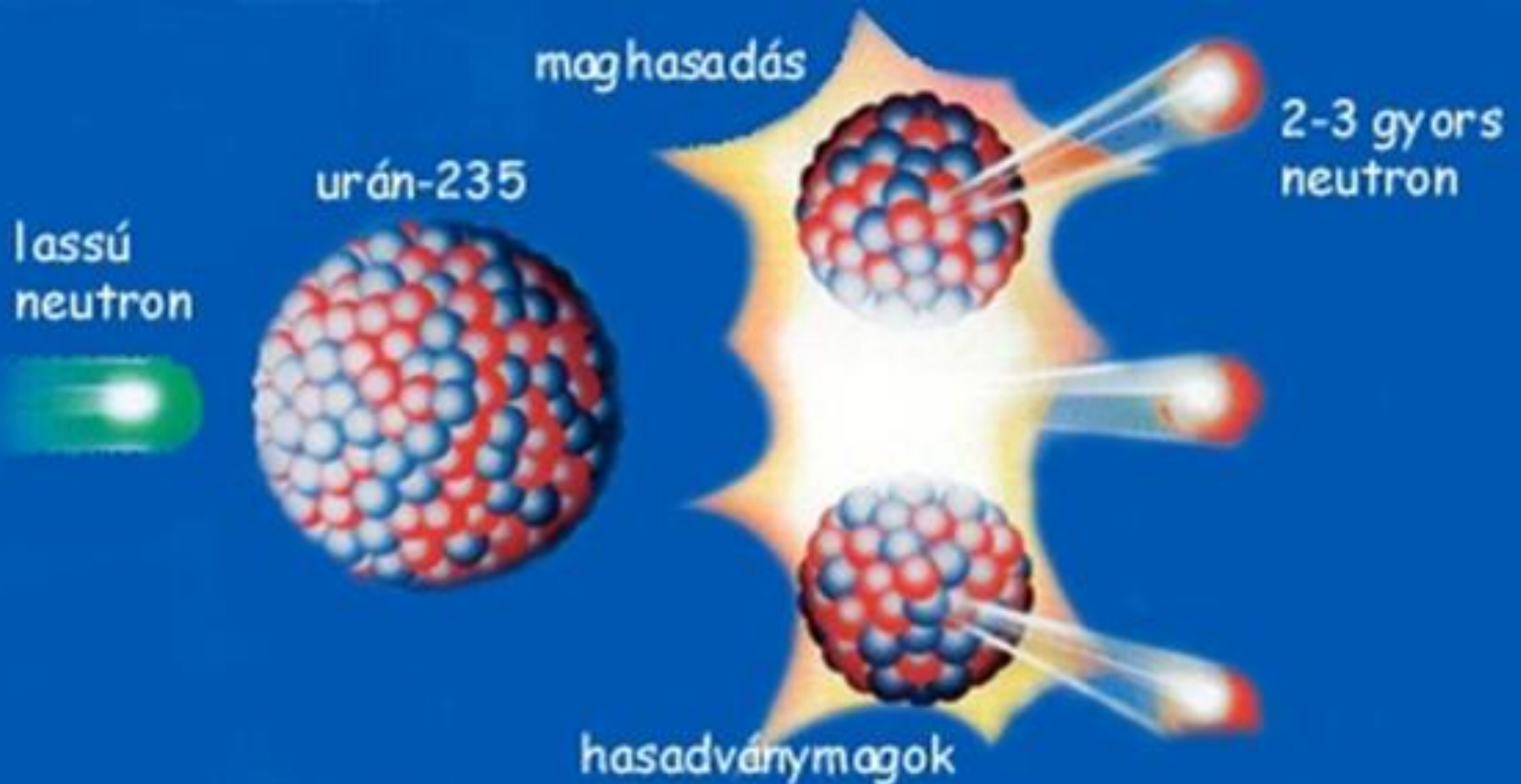
A sugárzás megtalálható:

- levegőben
- talajban
- felszíni vizekben
- saját testünkben

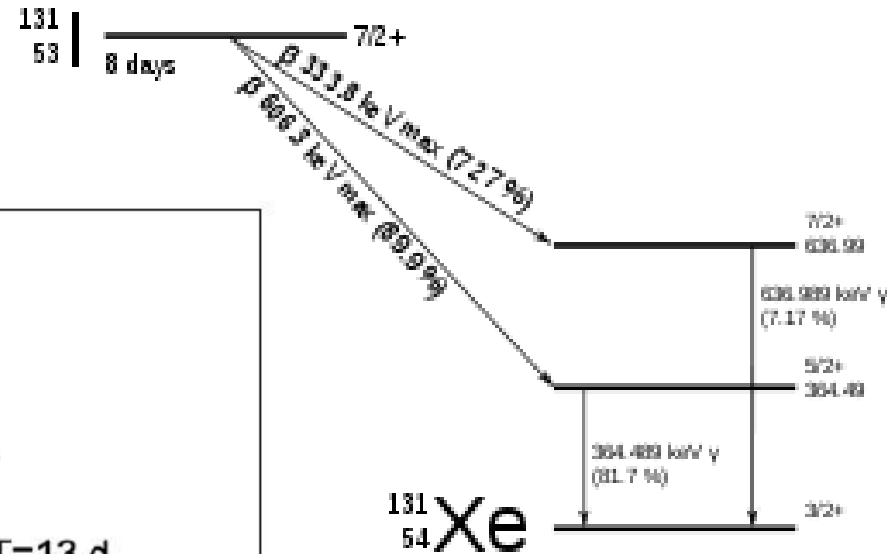
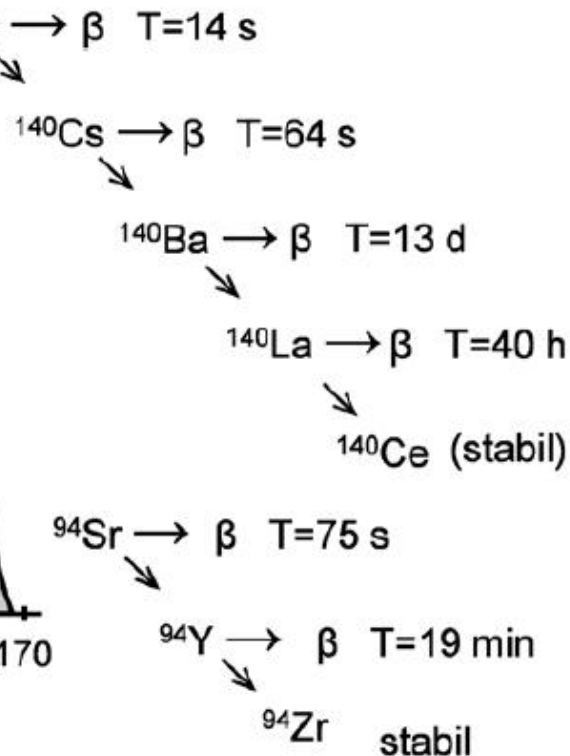
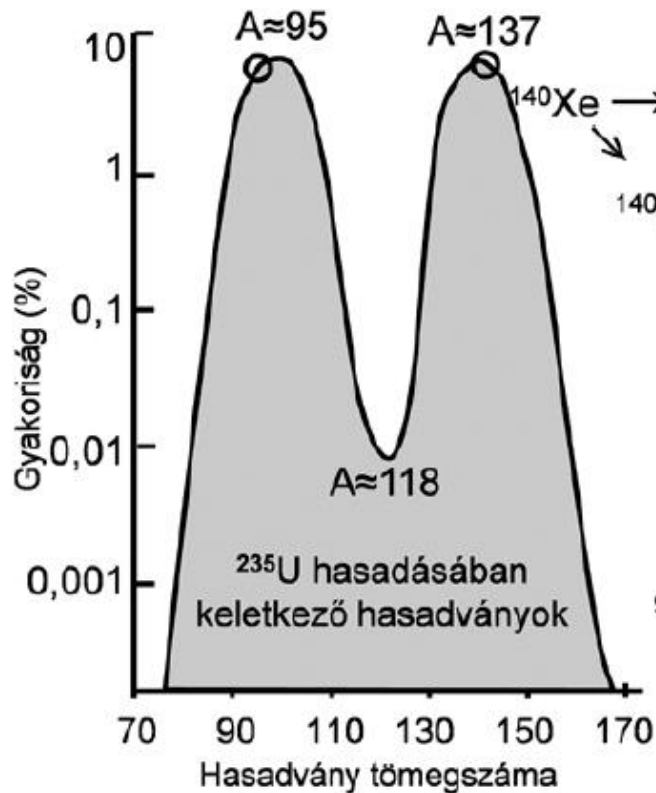
Természetes háttérsugárzásból adódó éves átlag sugárterhelés:
2,4 mSv/év személy



A MAGHASADÁS



HASADVÁNYOK, REAKTORMÉRGEK



Reaktormérgek:

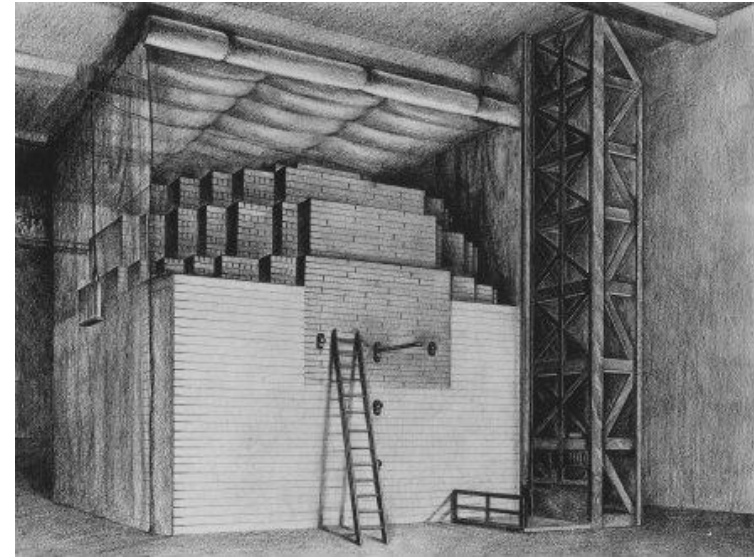
- Xenon
- Szamárium

Neutron elnyelők!!!

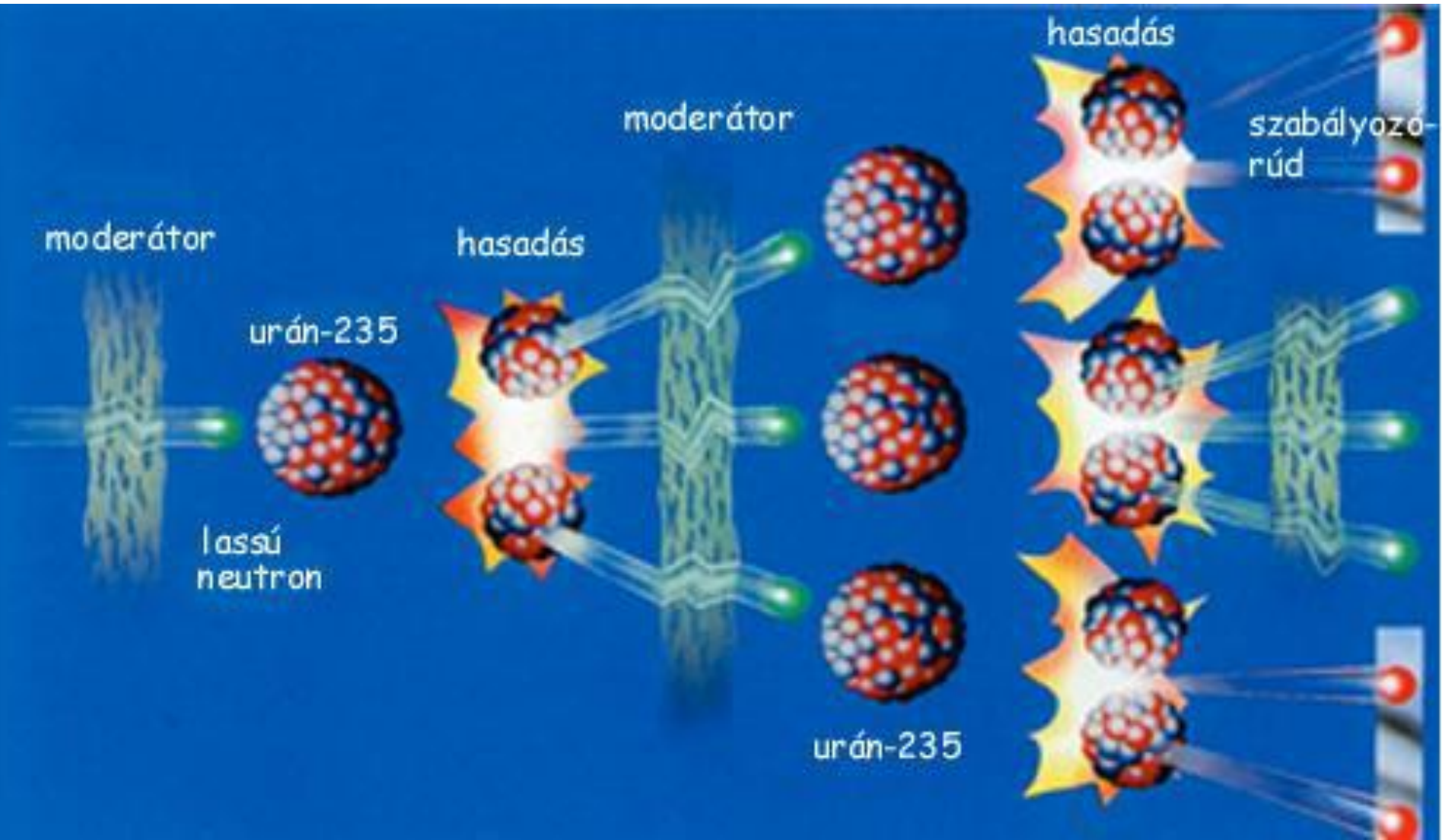
LÁNCREAKCIÓ

1942. december 2-án az olasz Enrico Fermi vezetésével (Szilárd Leó támogatásával) a chicagói egyetem stadionjának lelátója alatt a világon elsőként sikerült szabályozott láncreakciót elindítani (ez volt az atommáglya), egyelőre fegyvergyártás céljából.

Manhattan terv!



LÁNCREAKCIÓ



LÁNCREAKCIÓ FENNTARTÁSA

Az ^{235}U alapú reaktorokban létrejövő maghasadáshoz lassú (termikus) neutronokra van szükség. A hasadás során gyors neutronok keletkeznek!

A **moderátor** segít abban, hogy a neutronokat lassítani lehessen. Moderátorként alacsony tömegszámú magok jöhetnek számításba, hiszen ekkor jó hatásfokú az energia átadás a neutrontól és lassul kellő mértékben. A túl nagy tömegszámú magokkal való ütközés során olyan nagy energiát veszítene a neutron, hogy akár meg is állhatna vagy el is nyelődhetne. Létezik alul és felülmoderált zóna. (többségében H_2O , D_2O , grafit moderátorokat alkalmaznak)

A neutronhozam folyamatosan növekedne (exponenciálisan), ezért azt **szabályozni** kell. Erre alkalmas anyagok a jó neutron elnyelők. (B, Cd, Dy)

LÁNCREAKCIÓ FENNTARTÁSA

A hasadó anyagból kifelé törekvő neutronok minden irányba szétrepülnek. Nem biztos, hogy útjuk során találkoznak moderátorral, vagy elnyelőanyaggal. Ekkor fennáll a lehetősége annak, hogy kiszökik abból a térből, ahol hasznosítani szeretnénk. Ezekre az esetekre **reflektort** alkalmazunk, melynek célja visszaverni a neutronokat. (többnyire grafit)

Abban az esetben, ha mégis kiszökne a neutron, akkor **árnyékolni** kell olyan anyagokkal, melyek lelassítják a neutront. (magas H tartalmú anyagok, pl.: beton)

Egy hasadóanyag **kritikus tömege** az a legkisebb mennyiség, amely nukleáris láncreakciót képes fenntartani.

Léteznek Urán , Plutónium és Thórium alapú reaktorok. Többségében ^{235}U (termikusreaktor) üzemanyagú reaktorokat használunk.

KRITIKUSSÁG, KÉTSZEREZÉSI IDŐ

Kritikus állapotban van az a reaktor, amelyben az önfenntartó láncreakció külső neutronforrás nélkül éppen megvalósul. Neutronhozama állandó.

Sokszorozási tényező: $k_{eff} = \epsilon \cdot p \cdot f \cdot \eta \cdot P$

ϵ	- a gyorshasítási tényező
p	- a rezonancia tényező
f	- a termikus hasznosítási tényező
η	- a termikus neutronhozam
P	- a kilépési tényező

$K_{eff} < 1$ a reaktor szubkritikus, áll vagy csökken a teljesítménye

$K_{eff} = 1$ a reaktor kritikus, teljesítménye állandó

$K_{eff} > 1$ a reaktor superkritikus, a teljesítménye exponenciálisan nő

Kétszerezési idő: T_{2x} megadja, hogy mennyi idő alatt nő a neutronhozam kétszeresére.

REAKTIVITÁS

Reaktivitás alatt az effektív sokszorozási tényező 1-től való relatív eltérését értjük:

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

Minthogy $k_{eff} = 1$ jelenti a kritikusságot,

$\rho = 0$ esetében a reaktor kritikus

$\rho < 0$ -nál szubkritikus

$\rho > 0$ -nál szuperkritikus

Ha $\rho > 0$, akkor a neutronfluxus – illetve az azzal arányos reaktorteljesítmény – nő az időfüggvényében. A változás sebessége annál nagyobb, minél nagyobb a reaktivitás.

A reaktivításra bevezették a $\$$ mértékegységet.

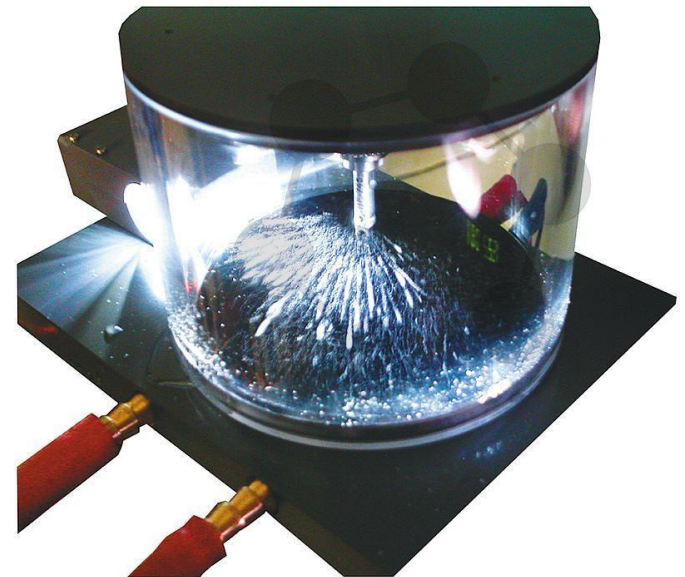
(Doppler-együttható, inherens biztonság!)

SUGÁRZÁSMÉRŐ ESZKÖZÖK

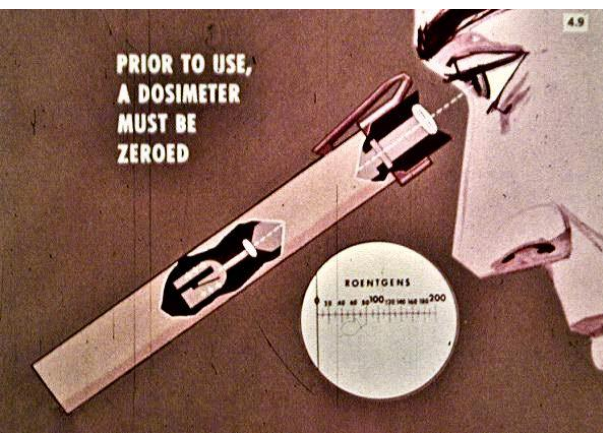
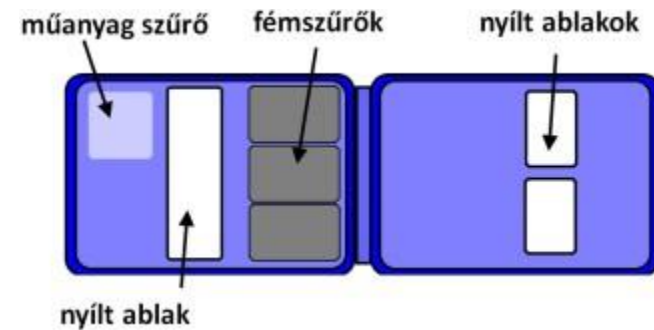
C. T. R. Wilson (1869-1959) skót fizikus 1912-ben szerkesztette meg az első — róla elnevezett — Wilson féle ködkamrát.

Ezért 1927-ben Comptonnal együtt megosztott Nobel-díjat kapott.

A ködkamrában gőzöket túltelített állapotba hoznak. A kamrán áthaladó részecskék pályája mentén keletkező ionok kondenzációs magként szolgálnak, így azokon a gőzök lecsapódnak. A kialakuló apró folyadékcseppek ködfonalakat alkotnak, így a részecskék pályája láthatóvá, fényképezhetővé válik.



SUGÁRZÁSMÉRŐ ESZKÖZÖK (DOZIMÉTEREK)



SUGÁRZÁSMÉRŐ ESZKÖZÖK

Az aktivitás mérésére Geiger—Müller-számlálót (röviden G—M-csőket) használnak. Az egyedi részecskék detektálására alkalmas berendezést Hans Geiger (1882—1945) és tanítványa, Walter Müller (1905—1977) német fizikusok fejlesztették ki 1928-ban. A mérőeszköz (145.1. ábra) egy fémből vagy üvegből készült, gázzal töltött cső.



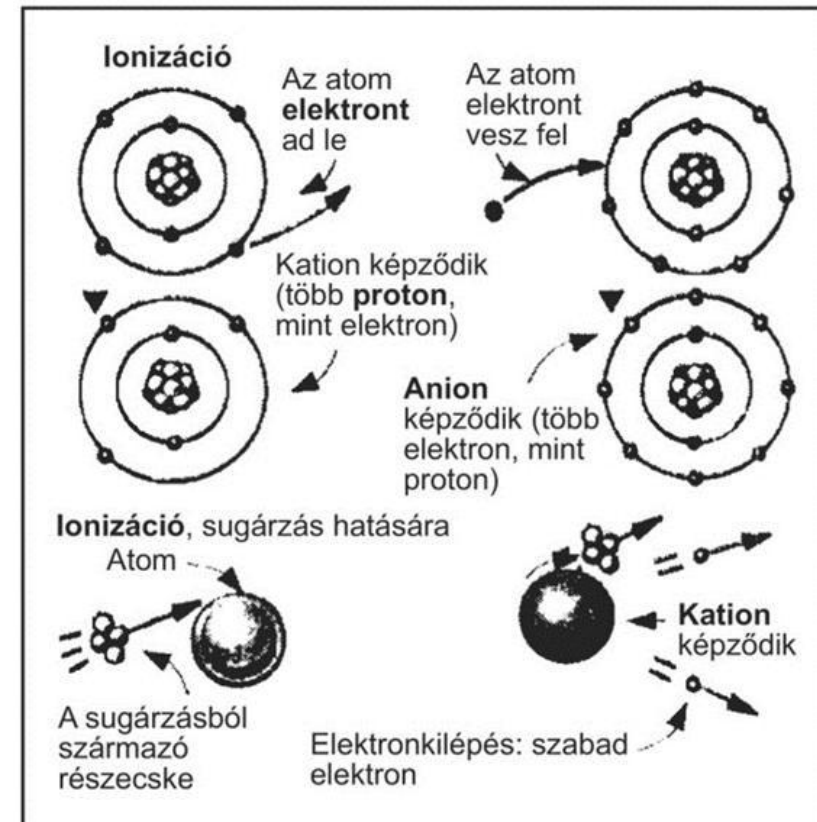
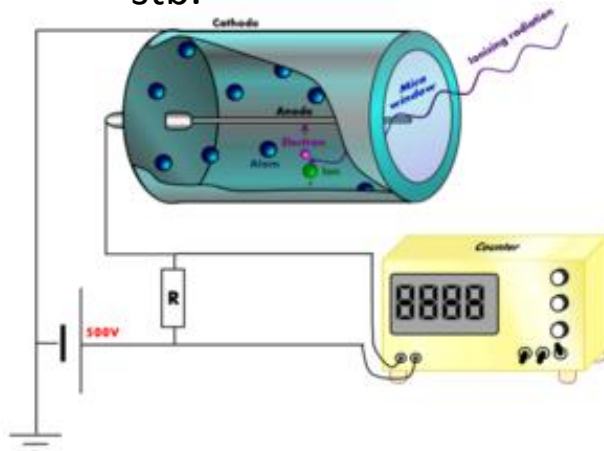
GÁZTÖLTÉSŰ DETEKTOROK

Első elektromos detektorok (1920-as évek)

töltött részecske $\rightarrow$ gázatom $\rightarrow$ e^- és pozitív ion

Típusai:

- Ionizációs kamrák
- Kompenzált ionizációs kamrák
- Hasadási kamrák
- Geiger-Müller számlálósövek
- Proporcionális számlálók
- stb.



A GÁZTÖLTÉSŰ DETEKTOROK ÁLTALÁNOS KARAKTERISZTIKÁJA

Az I. tartományban az e^- sebessége kicsi, ezért az e^- -ok és a $+$ ionok egy része rekombinálódhat, mielőtt elérné az elektródot. U_0 növelésével, a mozgás egyre gyorsabb, így egyre kevesebb a rekombináció és egyre több töltéshordozó éri el az elektródot, az impulzusszám növekszik.

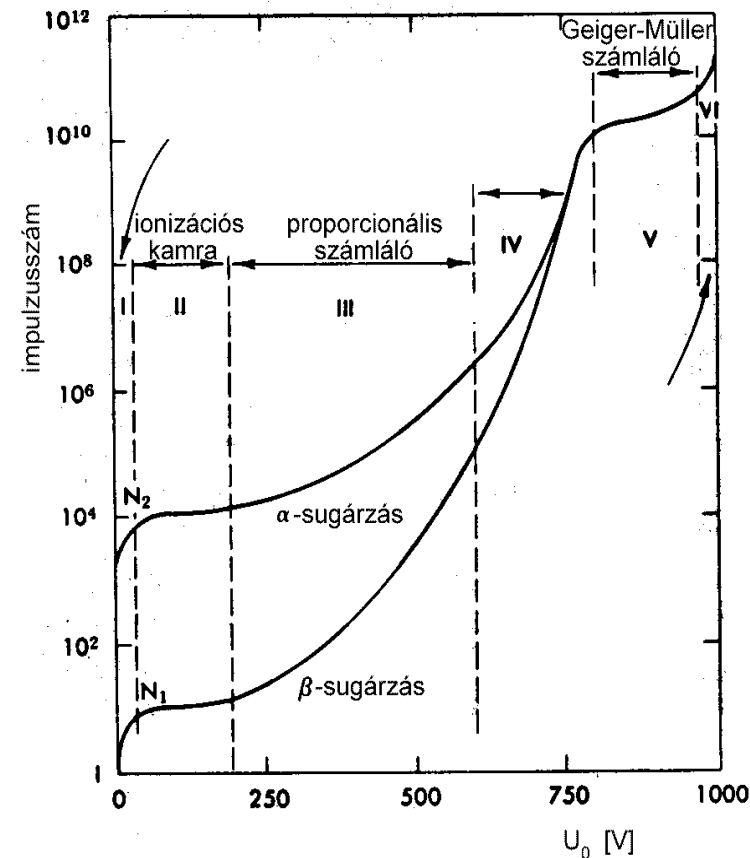
A II. tartományban az eredetileg létrejött összes töltéshordozó eljut az elektródákra és U_0 növelésével az impulzusszám már nem nő (csak a részecskék sebessége).

A III. tartományban az e^- -ok és a $+$ ionok sebessége már olyan nagy, hogy útjuk során képesek újabb ionpárokat létrehozni (másodlagos ionizáció, gázerősítés) és az áram növekszik. (A másodlagos ionizációban keltett ionpárok száma arányos – proporcionális – az elsődleges ionpárok számával!)

A IV. tartományban az előbb még fennálló arányosság elromlik, itt nem működnek megfelelően a detektorok.

Az V. tartományban – a nagy U_0 hatására – a töltéshordozók már olyan gyorsan mozognak, hogy többszörös ionizáció következik be. A keletkezett összes ionpár szám már nem arányos az eredetileg létrejött ionpárok számával.

A VI. tartományban állandó gázkisülés indul be a csőben. Ez elkerülendő, mert a detektor tönkremegy.



GEIGER-MÜLLER SZÁMLÁLÓCSÖVEK

A GM csövek alkalmazása

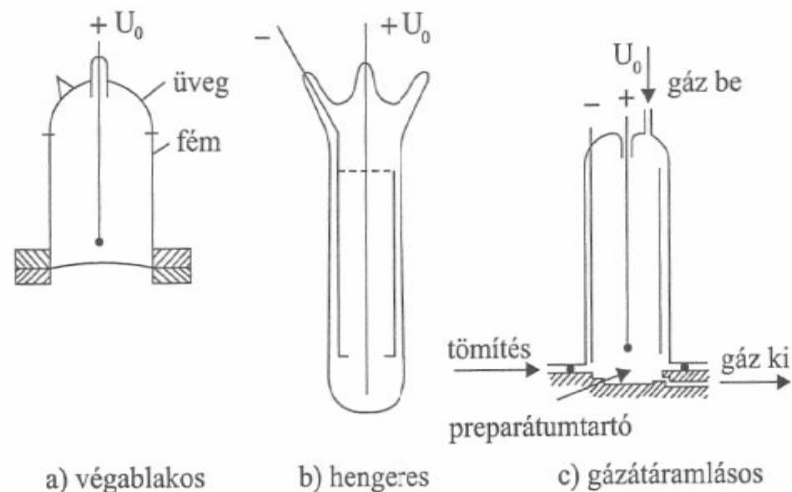
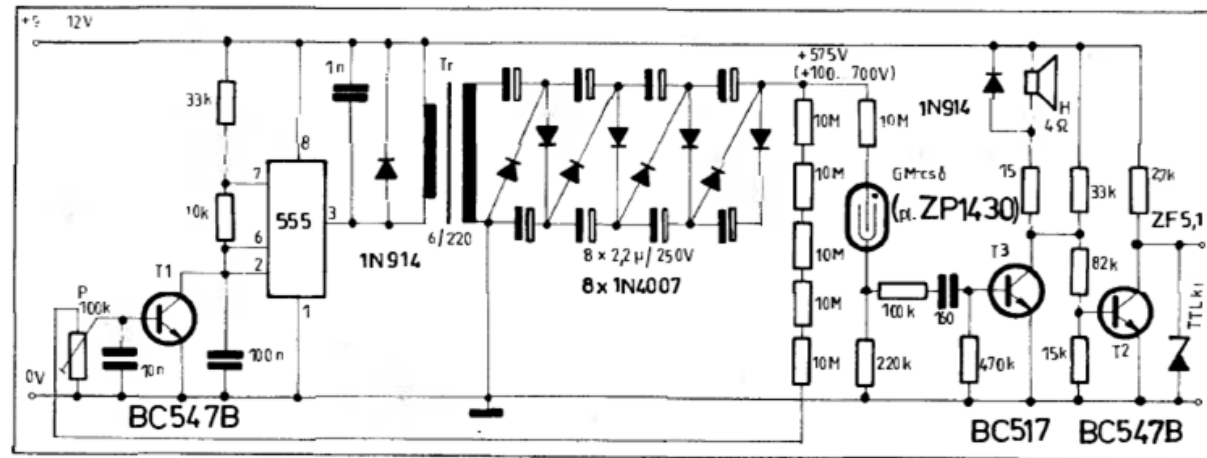
- sugárvédelem
- dozimetria
- felületi szennyezettség mérés
- ipari berendezések

Változatos formájú csövek

- végablakos
- merülő
- gázátáramlásos

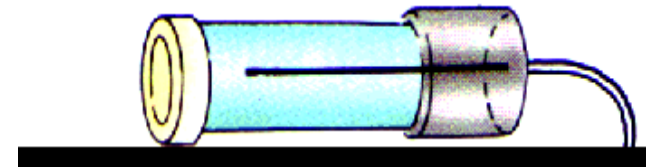
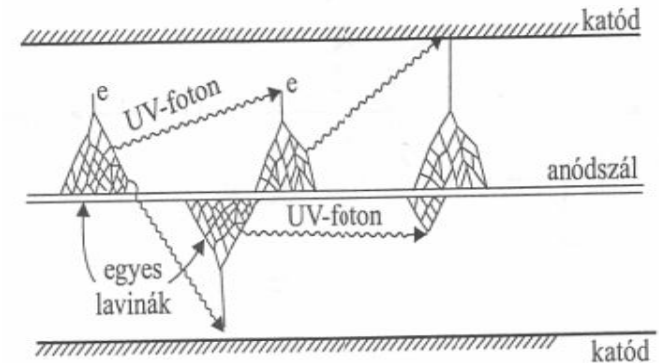
Tulajdonságok

- energiafüggetlen detektálás (nem spektrométer)
- nagy kimenő jel → egyszerű kivitel



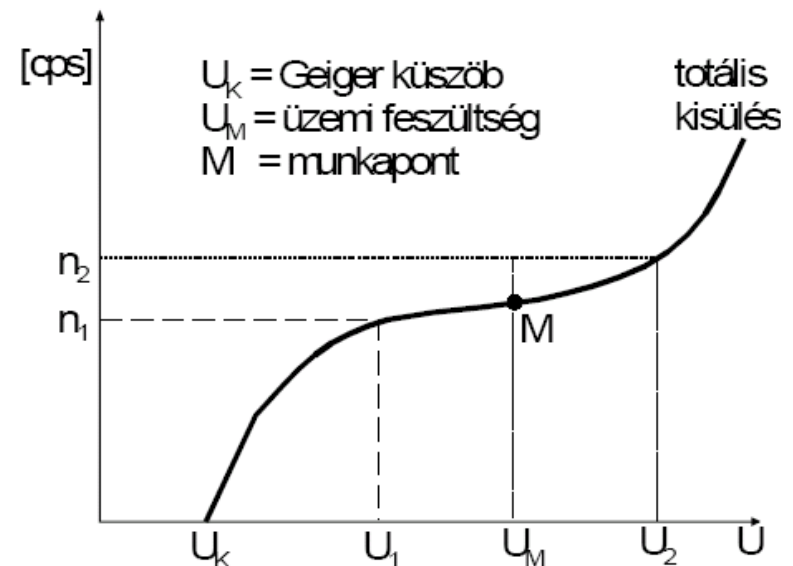
GM CSÖVEKBEN LEJÁTSZÓDÓ FOLYAMATOK

- Egy ionizáló részecske bejut a GM cső gázterébe
- Elsődleges ionizáció → ionpárok
- Az ionpárok gyorsulva haladnak (feszültség hatására) az elektródák felé → újabb ionpárok és gerjesztett atomok keletkeznek
- A gerjesztett állapot instabil (az atomból foton távozik)
- A foton a fém katódhenger falából elektronokat vált ki → az elektronok gyorsulva mennek az anód felé → újabb ionpárok és gerjesztett atomok
- A folyamat ismétlődik → ion lavina (önfenntartó folyamat) → kisülés kioltás, elektromos úton, vagy a töltőgázába halogén gázokat kevernek
- Csak a sugárzás intenzitását lehet vizsgálni, de az egyes részecskék energiáját nem
- Töltőgáz általában nagyon tiszta argon+kb.10% bróm (kioltás!)
- Gáz nyomás általában 0,6 – 2 bar



A GM CSŐ MŰKÖDÉSI JELLEGGÖRBEJE

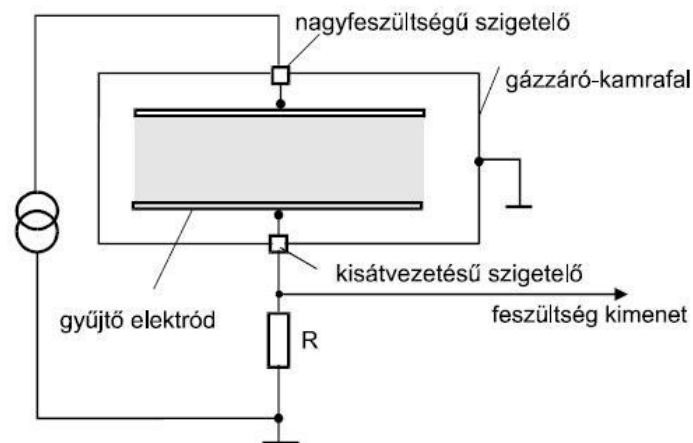
- A cső platója az U_1 - U_2 közötti szakasz.
- A cső annál jobb, minél hosszabb és kevésbé emelkedő ez a szakasz.
- A cső jellemzésére használatos a plató m meredeksége.
- Egy „jó” GM cső m értéke néhány %.
- A GM cső „lassú” (nagy holtidő) → magas számlálási sebességekre (>1 kcps) nem alkalmas.
- GM csővel neutronok nem detektálhatók.



IONIZÁCIÓS KAMRÁK

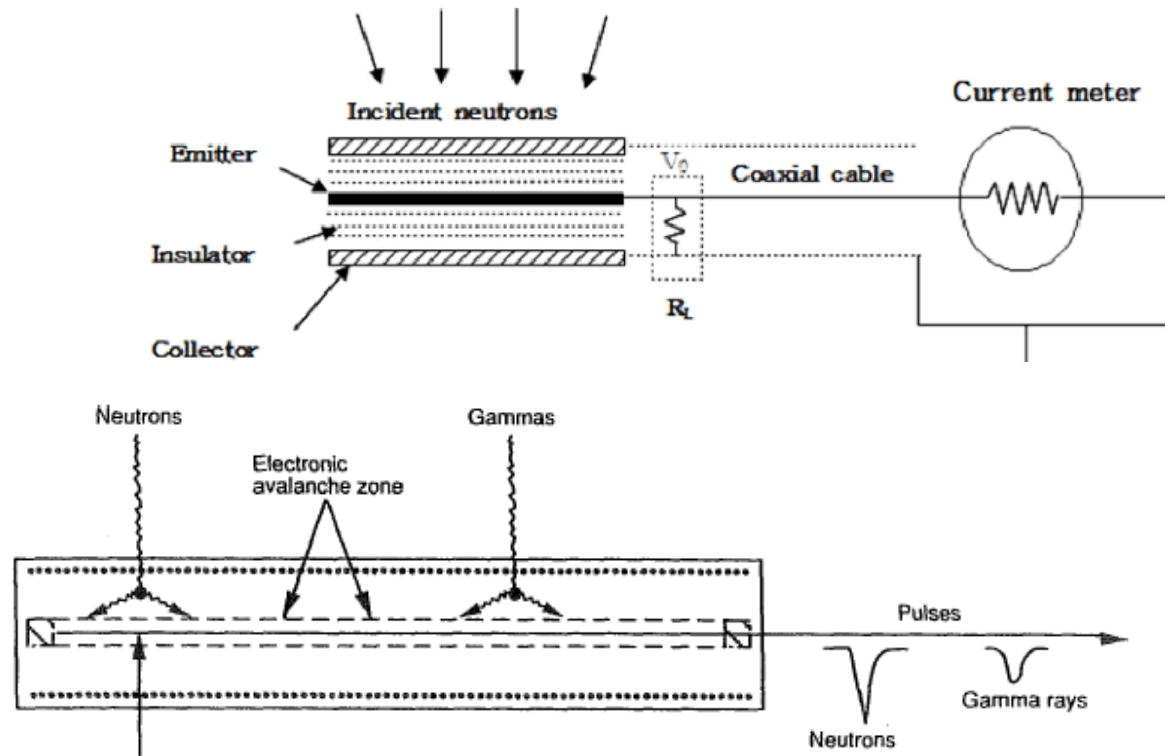
Gázzal, vagy gázkeverékkel töltött zárt edény, melyben két elektróda található.

- Detektorfeszültség: több 100V-tól több 1000V-ig.
- A detektor lehet:
 - impulzusionizációs kamra
 - áramionizációs kamra
- Neutron detektálás esetén biztosítani kell, hogy a kamra gázterébe jutó ionizáló részecskék valamilyen neutron-detektoranyag kölcsönhatásból származzanak.
- A szilárd detektoranyagokat a kamra falára visszük fel, míg a gáznemű anyagok a kamrák töltőgázát képezik.
- Fajtái
 - Áramüzemű ionizációs kamra
 - Kompenzált áramionizációs kamra
 - Hasadási kamrák



NEUTRON DETEKTOROK

- Áramüzemű ionizációs kamrák (DC $\pm 500\text{V}$, 10 pA- 1 mA)
- Hasadási kamrák (DC 500V, 1-50 μA pulzusok)
- Proporcionális számlálók ^3He , BF_3 (DC 1000-2000V, néhány 100 mV-os pulzusok)



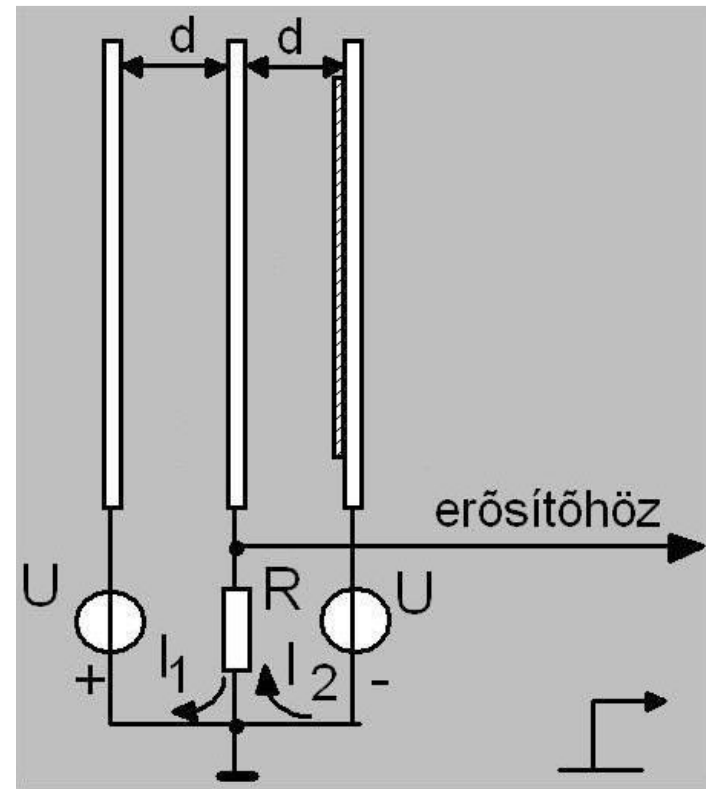
KOMPENZÁLT ÁRAMIONIZÁCIÓS KAMRA

Kettős (szimmetrikus) kamra közös gyűjtőelektróddal.

Intenzív γ -sugárzás jelenlétében kell neutronokat detektálni (pl. reaktoroknál).

BF_3 gázzal töltik meg az egyik kamrarészt, vagy szilárd bórréteget (bórradiátort) helyeznek el benne (ez a kamrarész elnyeli a neutronsugárzást).

A neutron- és γ -sugárzás egyidejű megjelenésekor kapott eredő áram arányos lesz a besugárzó neutronfluxussal.



HASADÁSI KAMRÁK

- Az ionizáló részecskék a hasadásnál keletkezett hasadási termékek (kb. 40-110 MeV)
- Nagy feszültségimpulzusok (nagyobb energia, mint a szokásos reakcióknál)
- Egyéb impulzusoktól elektromos diszkriminációval elkülöníthetők (gyakorlatilag háttérmentessé tehető)
- Lassú és gyorsneutronok detektálására egyaránt alkalmas
- Hasadóanyagot azonban a detektálandó neutronok energiájának megfelelően kell kiválasztani (pl. ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu)
- Hasadóanyagok γ -sugarak hatására gyakorlatilag nem hasad $\rightarrow$ nagy γ -háttér mellett neutronok regisztrálása (pl. reaktor indításánál)

SZCINTILLÁCIÓS DETEKTOROK

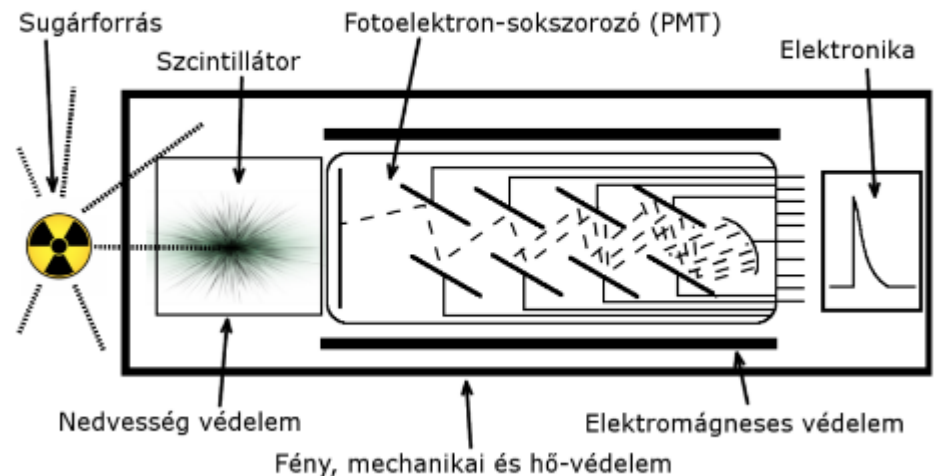
A szcintilláló anyagok töltött részecskék mozgási energiáját fényfelvillanássá alakítják át.

Az ionizáló részecskék energiájával arányos a felvillanás intenzitása, tehát spektroszkópai célra is használhatók.

A sugárzásnak fényenergiává való átalakítása közvetlenül valósul meg gyors töltött részecskék esetében. Az elektromosan semleges gamma-fotonokból álló gamma-sugárzás hatására azonban közvetlenül nem keletkeznek detektálható fényjelek. Ezért a gamma-sugárzás detektálása a különböző folyamatok során (fotoeffektus, Compton-szórás, párkeltés) az általa keltett elektronok révén lehetséges.

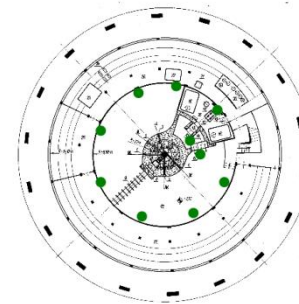
Szcintillátor: az ionizáló sugárzás hatására fényvillanásokat produkál. Lehet szilárd, folyadék vagy gáz.

Fotoelektromos sokszorozó (photomultiplier): a szcintillátorhoz optikailag csatolt fotoelektromos eszköz, amely a fényjelet elektromos jellé alakítja és felerősíti. A katódjára jutott fényimpulzus intenzitásával arányos nagyságú elektromos impulzust szolgáltat.

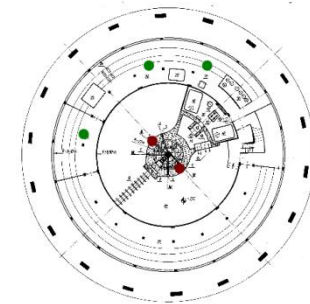


AZ OKTATÓREAKTORBAN HASZNÁLT DETEKTOROK

- Geiger-Müller számlálócső
- Kompenzált ionizációs kamra
- Hasadási kamra
- Szcintillációs detektor



1. vcs: 215 nSv/h
2. vcs: 223 nSv/h
3. vcs: 243 nSv/h
4. vcs: 223 nSv/h
5. vcs: 251 nSv/h
Technológia: 255 nSv/h
MK kinn: 1.5 μ Sv/h



105 labor: 215 nSv/h
108 labor: 223 nSv/h
Fedél bal: 2.1 mSv/h
Fedél jobb: 2.3 mSv/h

GEIGER-MÜLLER SZÁMLÁLÓCSŐ

- SVER (Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer) részeként
- Az épületben több helyen, pl. technológiában, csőpostánál, reaktor fedélen stb.



Hévízadatok		
11.0	11.06	21.09
1.40E+108	1E+108	Besug. A
0.16	0.32	< 0.11
1.00E+116	Besug. B (kV)	Besug. G
0.13	0.22	< 0.11
1.00E+106	Besug. J (kV)	Torsió
0.18	1.19	n.a.
1.00E+106	Besug. K (kV)	Torsiók
0.11	0.38	0.3
0.05	0.1	0.0
Besug. alagút	Vízszint mérés *	Torsiók
0.5	< 2.56	n.a.
Besug. alagút	Vízszint mérés *	Torsiók
0.58	< 2.27	0.11
Besug. alagút	Vízszint mérés *	Torsiók
0.19	0.26	0.1
100.00	1.00E+108	1.00E+108
0.23	0.63	
100.00	1.00E+108	1.00E+108
0.21	0.95	

A mérés időpontja: 2013. március 21. 11:56			Mértékegység: µgVh		
R. fedél jobb		R. fedél bal		Besug. alagút	
0.19		0.17		0.5	
Kimenő levegő *		Segédüz. helyiség		Besug. alagút n	
< 2.55		0.1		< 0.11	

* Munkahang külső ** Munkahang külső

Használat

KOMPENZÁLT IONIZÁCIÓS KAMRA

- **KNK-53M (KHK53M)**
 - Neutron érzékenység: $4 \cdot 10^{-14} \text{ [A/(n/cm}^2 \cdot \text{s)]}$
 - Üzemi feszültség: $\pm 500 \text{ V}$, állítható
 - Mechanikai jellemzők:
 $D_{\text{védőcső}} = 60 \text{ mm}$, $l = 130 \text{ cm}$



HASADÁSI KAMRA

- KNT-31 (**KHT31**)
 - Termikus neutron érzékenység: 0.25 neutron/cm²
 - Detektor feszültség: +500 V
 - Mechanikai jellemzők:
 $D_{\text{védőcső}}=60 \text{ mm}$, $l=130 \text{ cm}$



BÉKÉS CÉLÚ FELHASZNÁLÁS

A békés célú atomenergia hasznosítását a legtöbben csupán 1953. december 8-tól eredeztetik.

Ekkor hangzott ugyanis el Eisenhower amerikai elnök „Atomok a békéért” című beszéde.

Javaslat a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) megalapítását, melynek fő feladata megadni a nukleáris energia békés célú felhasználásának lehetőségét az emberiség számára (villamosenergia-termelés, orvostudomány, mezőgazdaság).



ATOMREAKTOROK HAZÁNKBAN

Paksi atomerőmű (2000 MW)

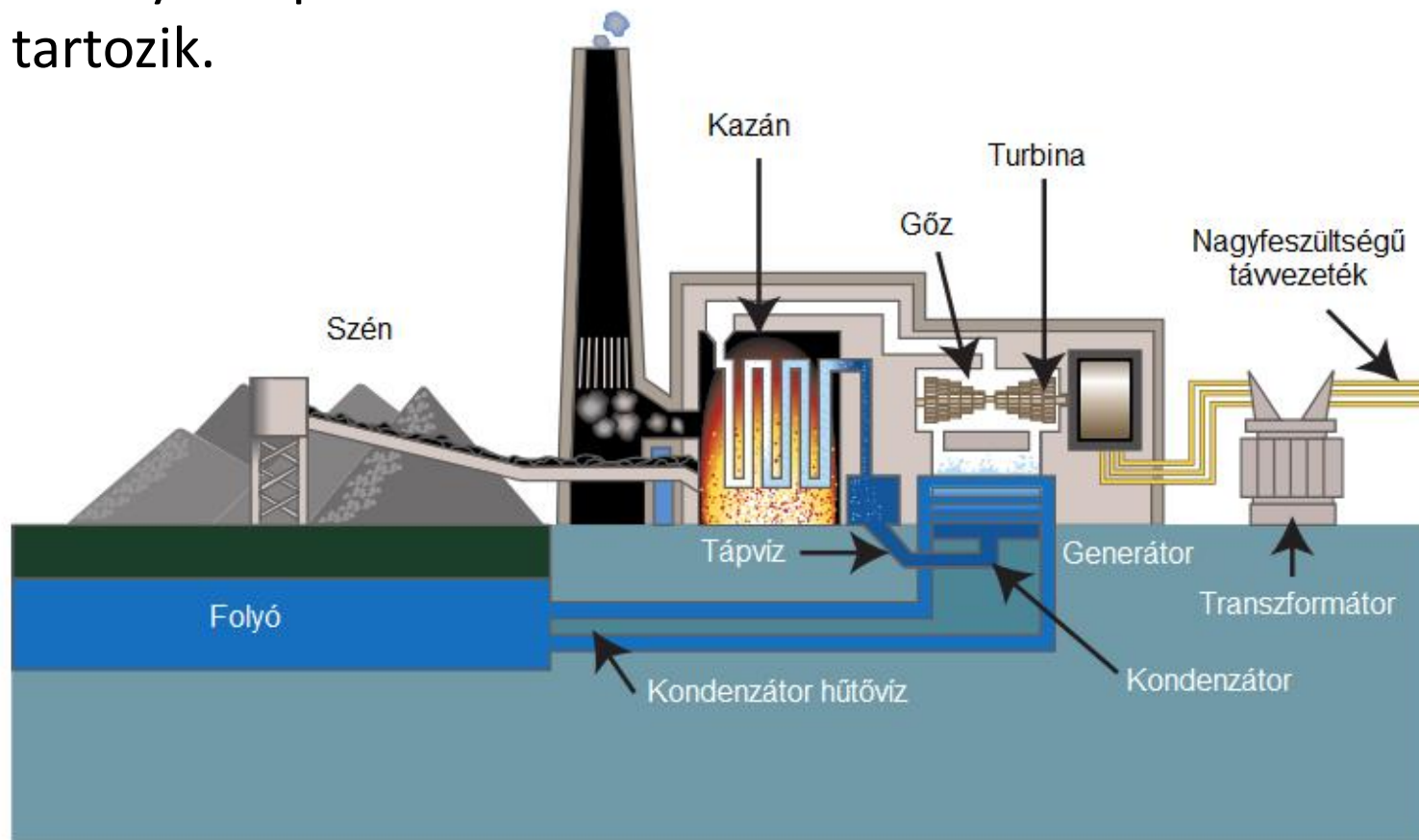
KFKI kutatóreaktor (10 MW)

BME oktatóreaktor (100 kW)

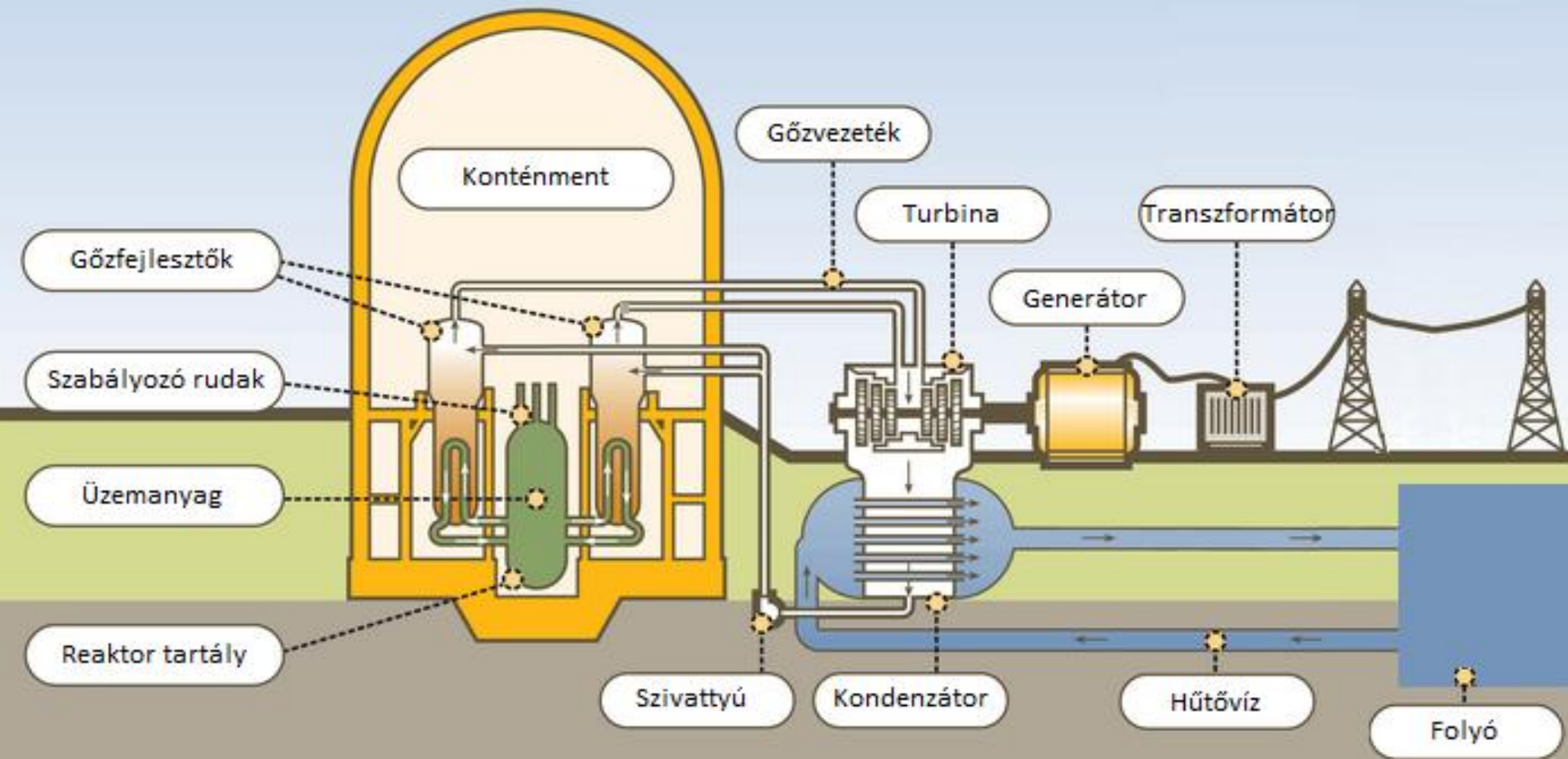


AZ ATOMENERGIA HASZNOSÍTÁSÁNAK MŰKÖDÉSI ELVE

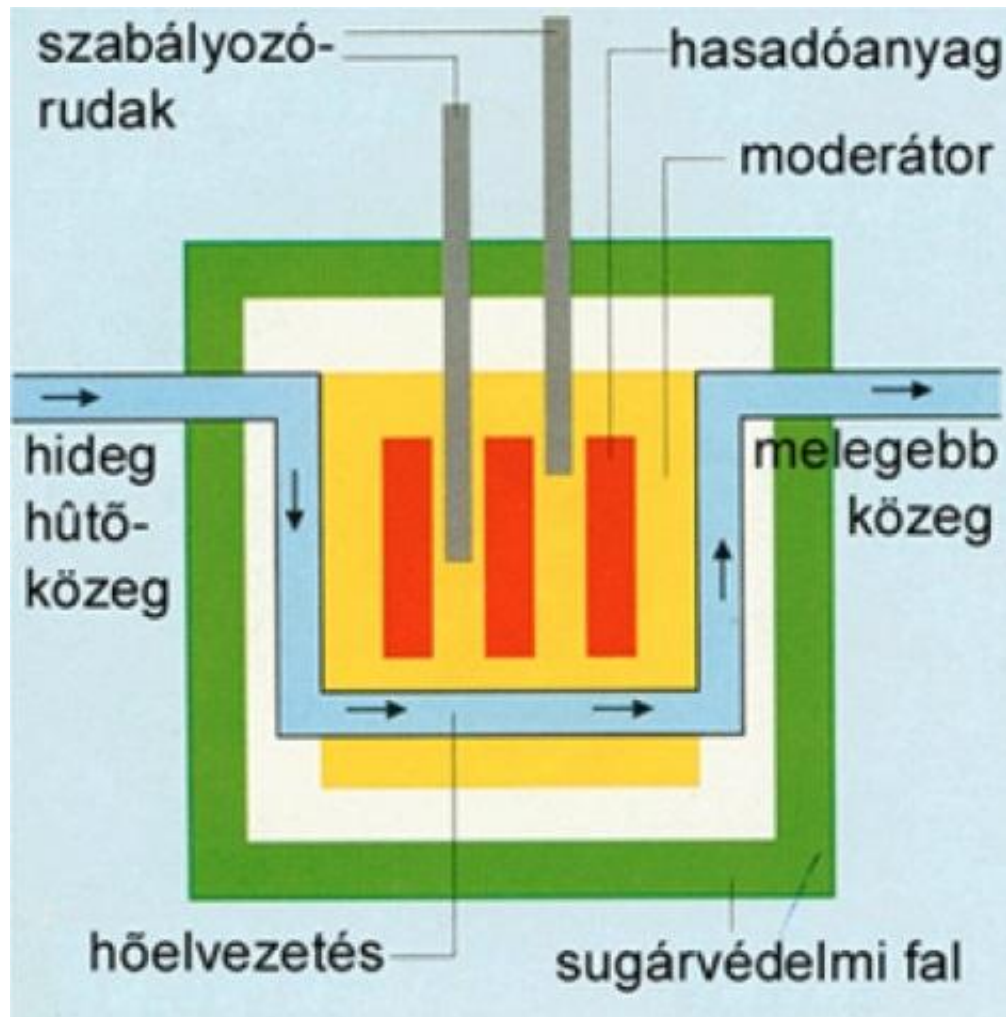
A hőerőművekben hőt termelnek, amelyet mozgási energiává alakítanak, amelyből pedig villamos energiát állítanak elő. A hagyományos típusok mellett az atomerőmű is a hőerőművek közé tartozik.



ATOMERŐMŰ



ATOMERŐMŰ MŰKÖDÉSE



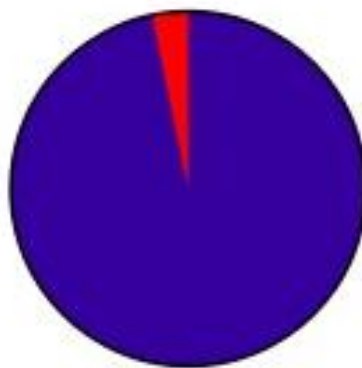
ATOMREAKTOROK ÜZEMANYAGA

A reaktorok legelterjedtebb hasadóanyaga az urán. A természetben előforduló urán gyakorlatilag két izotópból áll: ezek az U^{235} és az U^{238} .

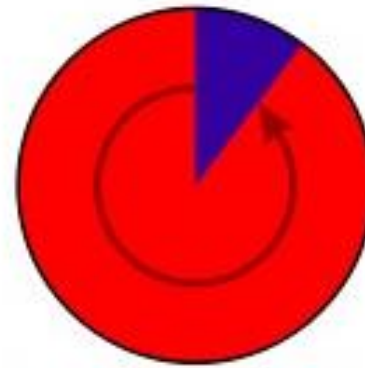
- 92 db protonból 143 vagy 146 db neutronból áll.
- A jelenleg villamos energiatermelés céljából alkalmazott termikus atomreaktorokban a hasadásra az U^{235} hasznosítható.
- Természetes uránnak kevesebb, mint 1%-át teszi ki, a maradék 99% U^{238}
- Dúsítani kell. Költséges folyamat!



Természetes urán
> 99.2% U-238
0.72% U-235

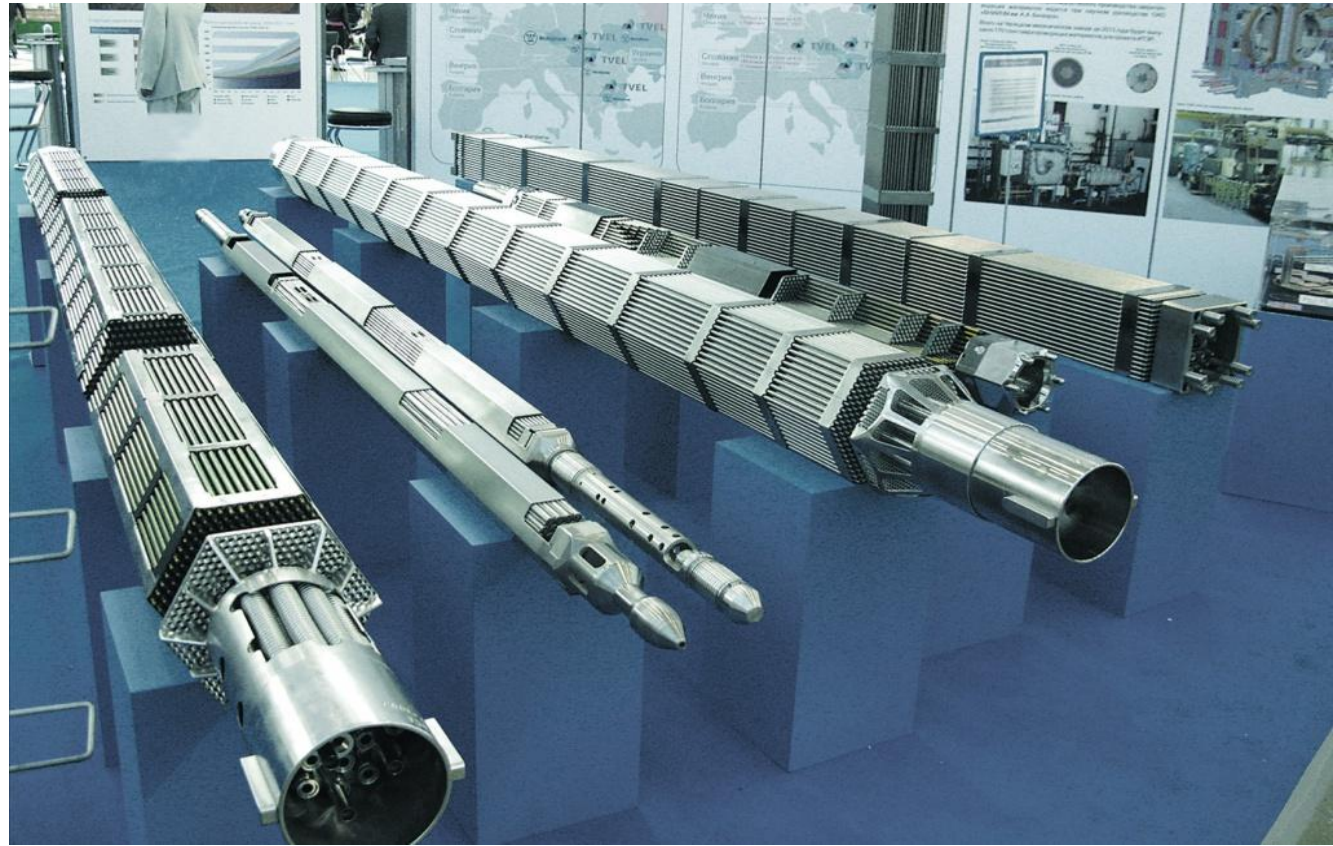


Alacsony dúsítású urán
(reaktor tisztaságú)
3-4% U-235



Magas dúsítású urán
(fegyvertisztaságú)
90% U-235

ÜZEMANYAG KAZETTÁK



ATOMREAKTOROK TÍPUSAI

Hőerőmű, mely a hőenergiát nem energiahordozó elégetésével nyeri.

Reaktorban történő nukleáris láncreakcióval, atomok hasításával vagy egyesítésével.

Az atommagok egyesítését szaknyelven fúziónak nevezik, ennek az ipari hasznosítása azonban jelenleg még nem megoldott.

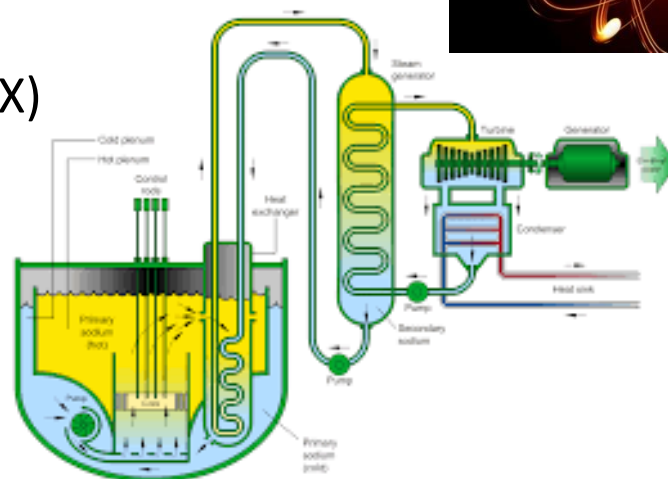
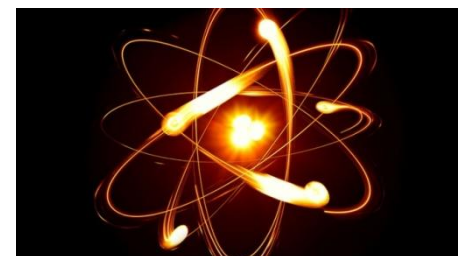
Fissziós, azaz nagy tömegszámú atommagok hasításának elvén működő reaktorok azonban már több mint fél évszázada állnak az emberiség szolgálatában.

ATOMREAKTOROK TÍPUSAI

Természetes reaktorok

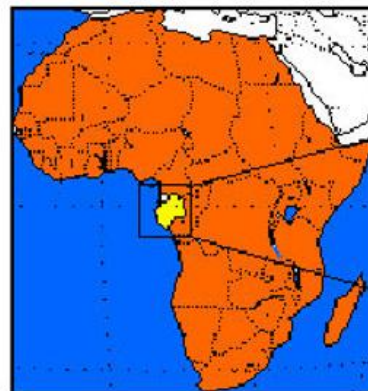
Fissziós reaktorok

- Termikus reaktor
 - Könnyűvízes
 - Forralóvízes reaktor
 - Nyomottvízes reaktor (VVER)
 - Nehésvízes
 - CANDU reaktor
 - Grafit moderálású
 - Gázhűtésű reaktor (MAGNOX)
 - RBMK
- Gyors tenyésztőreaktor



TERMÉSZETES REAKTOROK

Nyugat-Afrikában, a mai Gabon területén. Közel 2 milliárd évvel ezelőtt az U^{235} -ös tömegszámú izotópja nagy aránnyal volt jelen (3,7%, a mai 0,7%-al szemben, amely megegyezik a mai atomerőművekben használt üzemanyagok dúsításával)



Oklo Site (Franceville)

Megfelelő körülmények - víz jelenléte az uránércet tartalmazó kőzetben - között létrejöhetett a láncreakció.

Ezek a reaktorok akár 20 kW-os hőteljesítményt is elérhették

Kőzetben található víz (moderátor).

A láncreakció beindulásával a víz felmelegedett, majd felforrt.

Mivel gőz fázisban a neutronlassítási feladatát a víz már nem tudta ellátni, így moderáció hiányában a láncreakció leállt.

A láncreakció leállításával a hőmérséklet is csökkenni kezdett, majd a gőz lekondenzálódott, a képződő víz ismét moderátorként funkcionált, a láncreakció ismét megindult.



FISSZIÓS REAKTOROK

Termikus reaktor - a maghasadás nagy energiaszintről termikus sebességre lelassított neutron segítségével történik, ezért neutronlassító moderátort használ a láncreakció fenntartásához.

Gyors reaktor - a láncreakció nem a termikus neutronokon alapul, nincs moderátor - a hasítást gyors neutronok végzik.

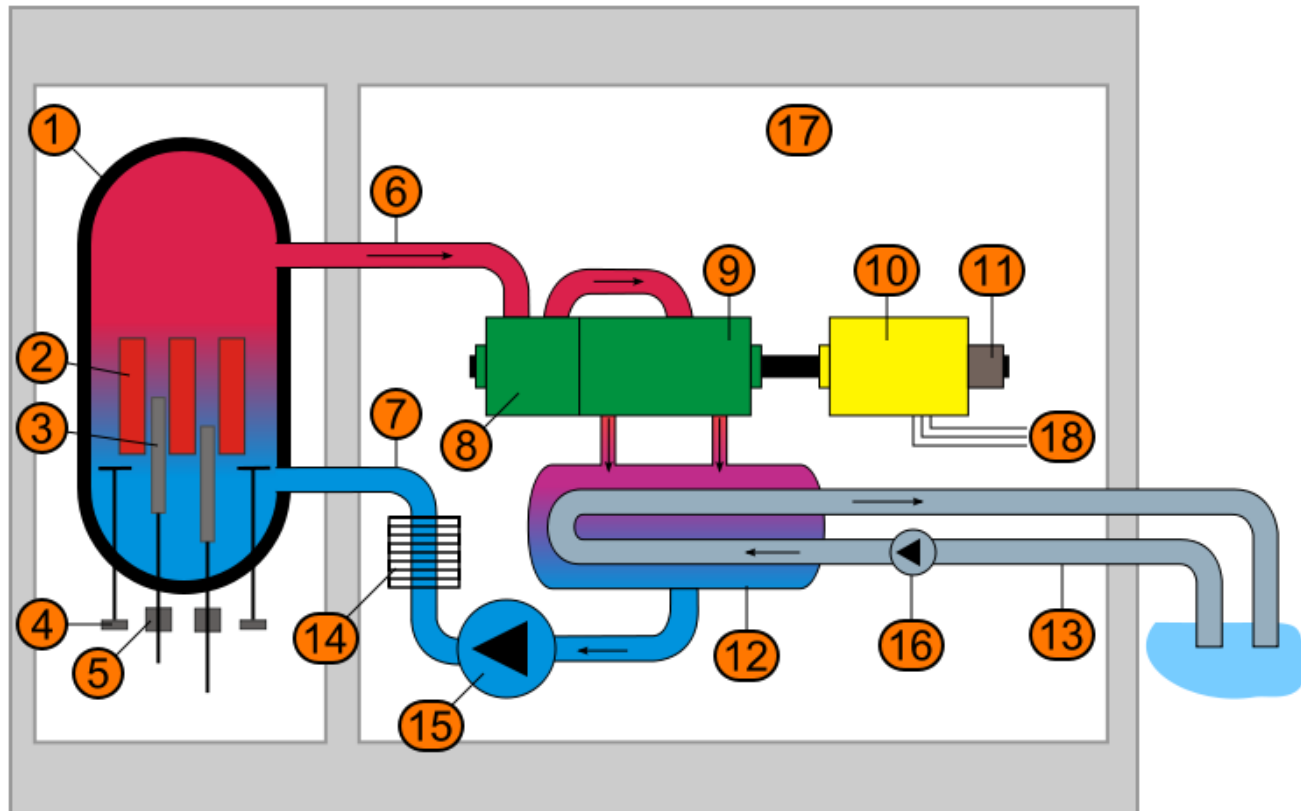
KÖNNYŰVIZES REAKTOROK

A könnyűvizes reaktorok működési elve szerint a moderátor és a hőszállítás feladatát egyaránt a hűtővíz látja el. A hűtővíz bór tartalmú, tisztított természetes víz. A bór jó neutron elnyelő, ezért ezzel szabályozási funkciókat is el lehet látni!

- Forralóvizes reaktor (BWR)
- Nyomottvizes reaktor (PWR)

FORRALÓVIZES REAKTOR (BOILING WATER REACTOR)

Az egyik legrégebbi és legegyszerűbb elven működő típus. A reaktorban a nukleáris láncreakció során felszabaduló hőenergia felforralja a tápvizet, az így keletkező gőz pedig a turbinába jut. Kondenzációt követően a víz a tápszivattyú segítségével előmelegítés után jut vissza a reaktorba.



FORRALÓVIZES REAKTOR (BOILING WATER REACTOR)

Containment Structure

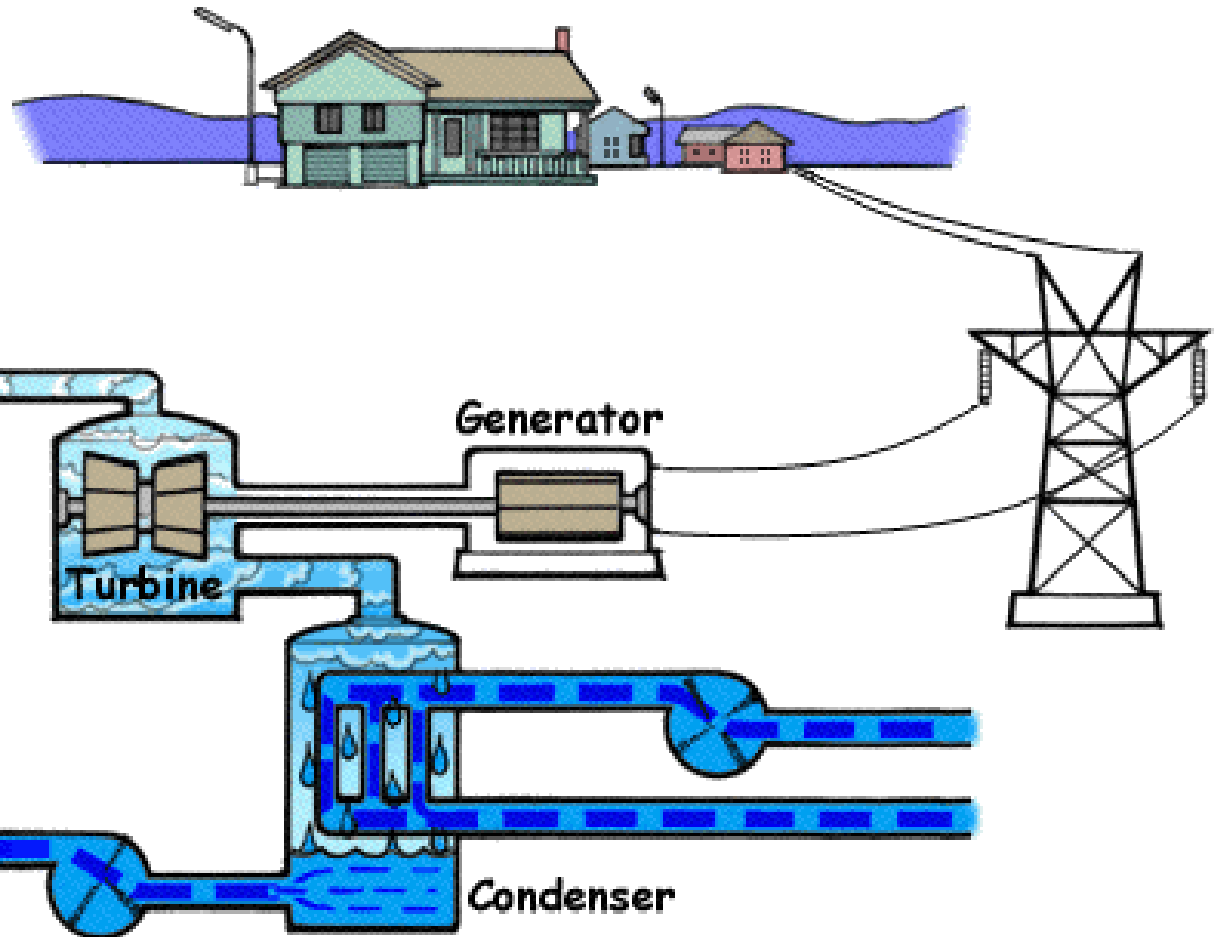
Reactor Vessel

Control Rods

Turbine

Generator

Condenser

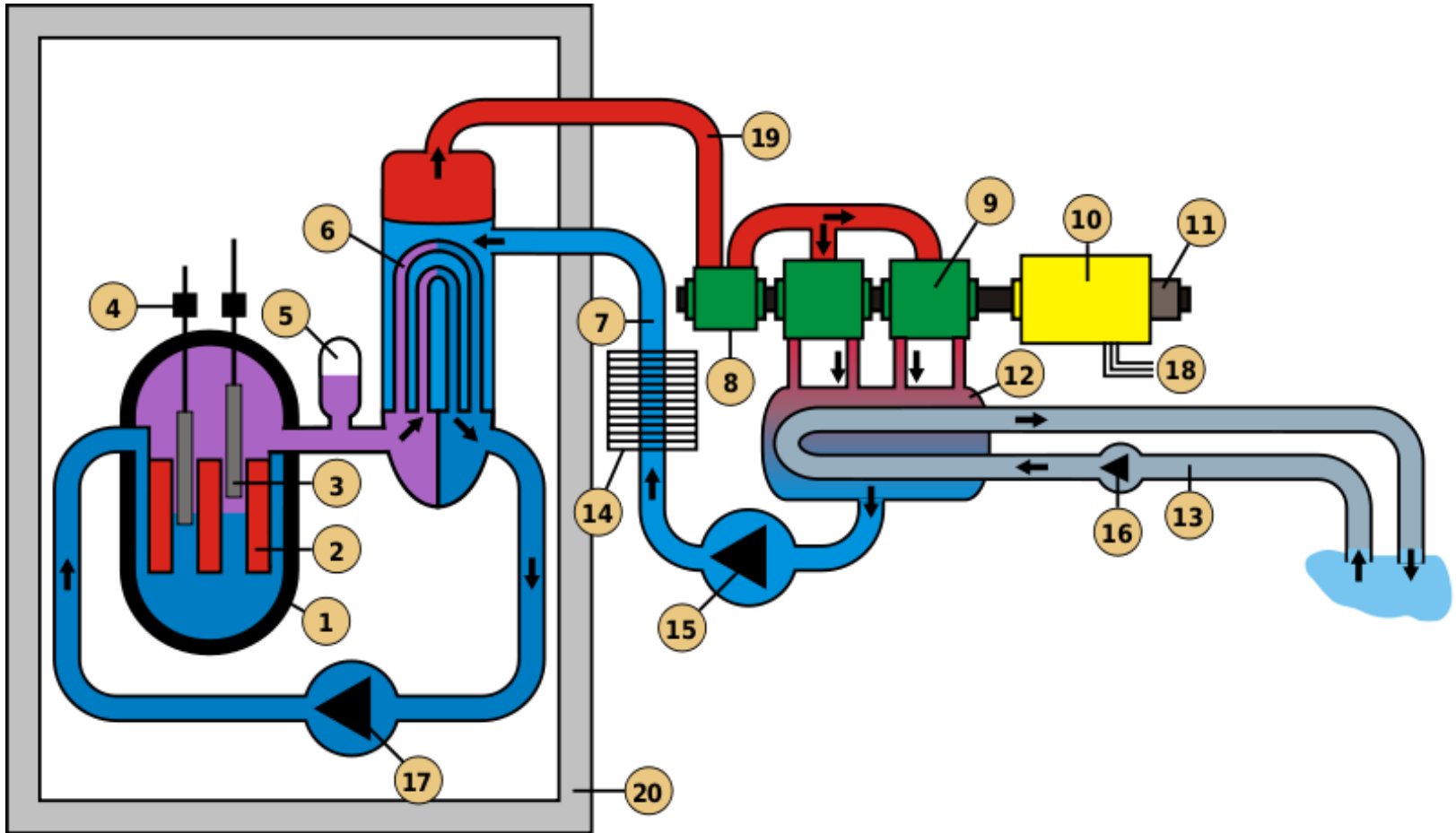


NYOMOTTVIZES REAKTOR (PRESSURIZED WATER REACTOR)

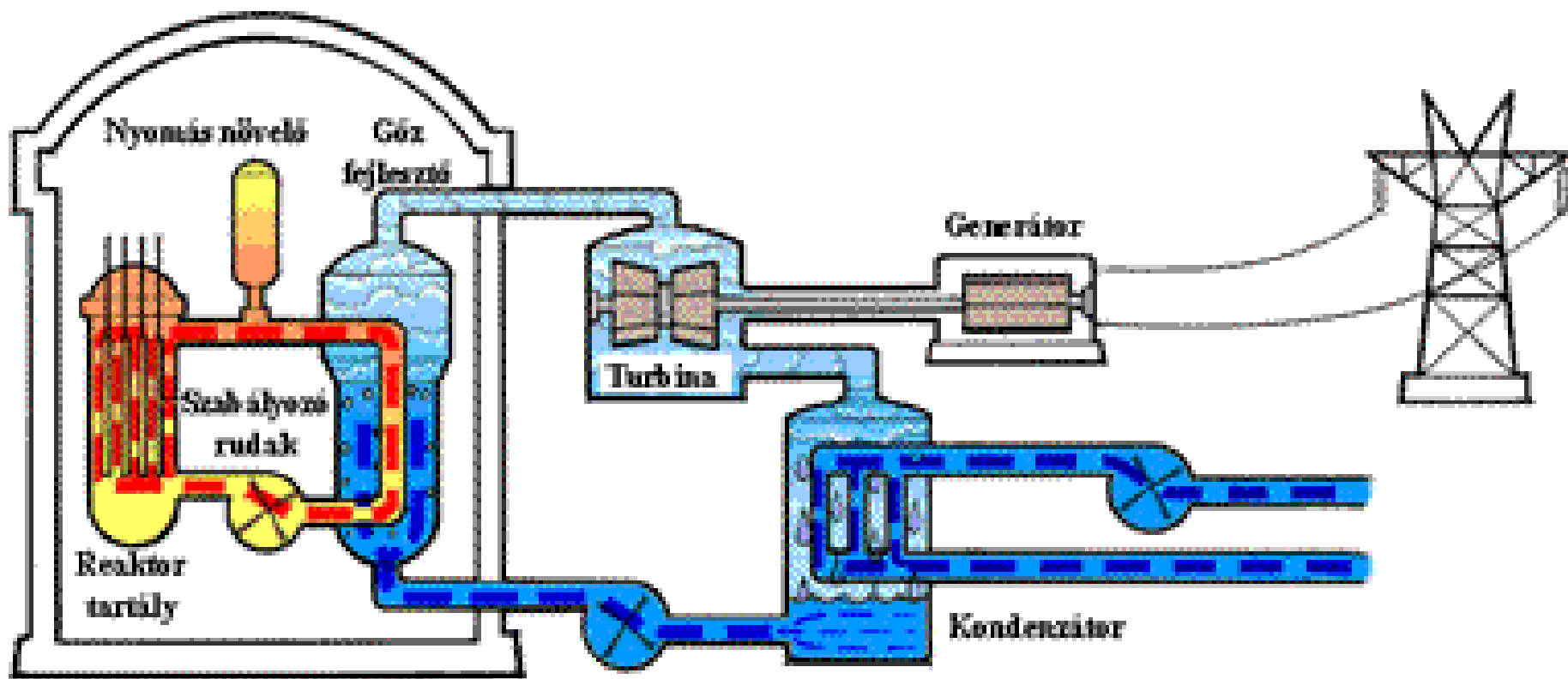
Jól elválasztott két hűtőkörös rendszer, ahol. az ún. primer köri víz a reaktorban felmelegszik, majd a gőzfejlesztőbe jutva átadja hőenergiáját a szekunder kör vizének, ezt követően lehűlve visszatér a reaktorba. A primer köri vizet nagy nyomáson tartják, így az még 300°C körüli hőmérsékleten sem forr el. A szekunder köri víz már alacsonyabb nyomású, így a hőenergia átadásakor nem csak felmelegszik, hanem fel is forr, a gőz pedig a turbinába jutva meghajtja a turbinalapátokat. A kondenzátorban a gőz lecsapódik, és előmelegítést követően visszatér a gőzfejlesztőbe.

Ennek a megoldásnak az előnye a forralóvizes, egy hűtőkörös típussal szemben, hogy a reaktorba belépő primer köri víz és a kondenzációhoz használt külső vízforrás között még van egy zárt vízkör, így még esetleges tömörtelenség, szivárgás esetén sem keveredhet a két közeg egymással. Ez a technológiai megoldás tovább csökkenti a radioaktívan szennyezett közeg környezetbe való kijutásának esélyét.

NYOMOTTVIZES REAKTOR (PRESSURIZED WATER REACTOR)



NYOMOTTVIZES REAKTOR (PRESSURIZED WATER REACTOR)



NEHÉZVIZES REAKTOR (PRESSURIZED HEAVY WATER REACTOR)

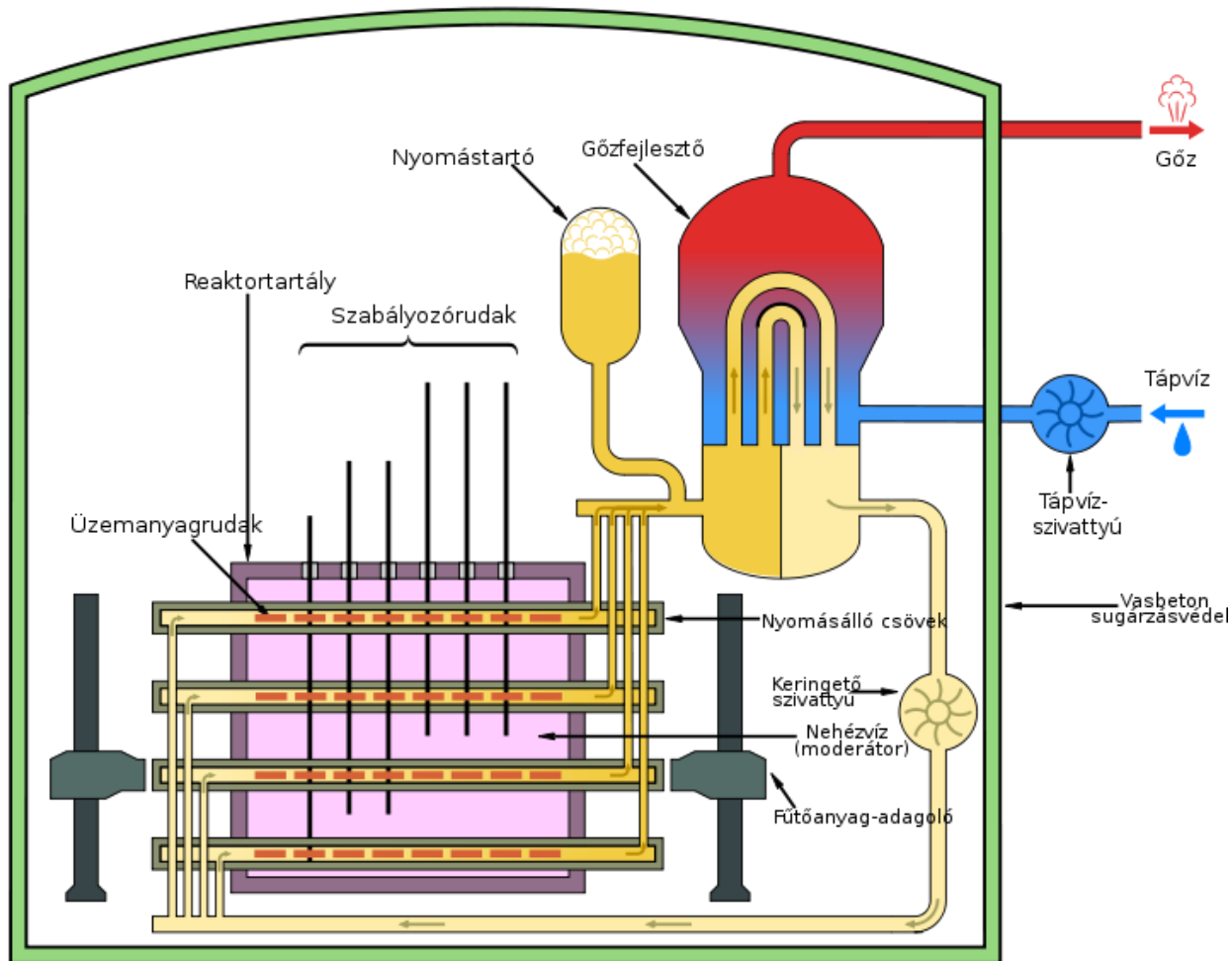
Ezt a típust Kanadában fejlesztették ki, CANDU (CANada Deuterium Uranium) névvel az 50-es években. Két hűtőkörös.

A primer körű nehézvíz azonban csak a hőszállítást végzi. A moderáláshoz szintén nehézvizet (a nehézvízben található hidrogén atommagok egy neutronnal is rendelkeznek a proton mellett.

Ezt a hidrogén izotópot deutériumnak nevezik) használnak, ami lehetővé teszi, hogy dúsítás nélküli, természetes uránt is lehessen használni üzemanyagként.

Üzem közben is lehetséges a kiegészítő üzemanyag cseréje.

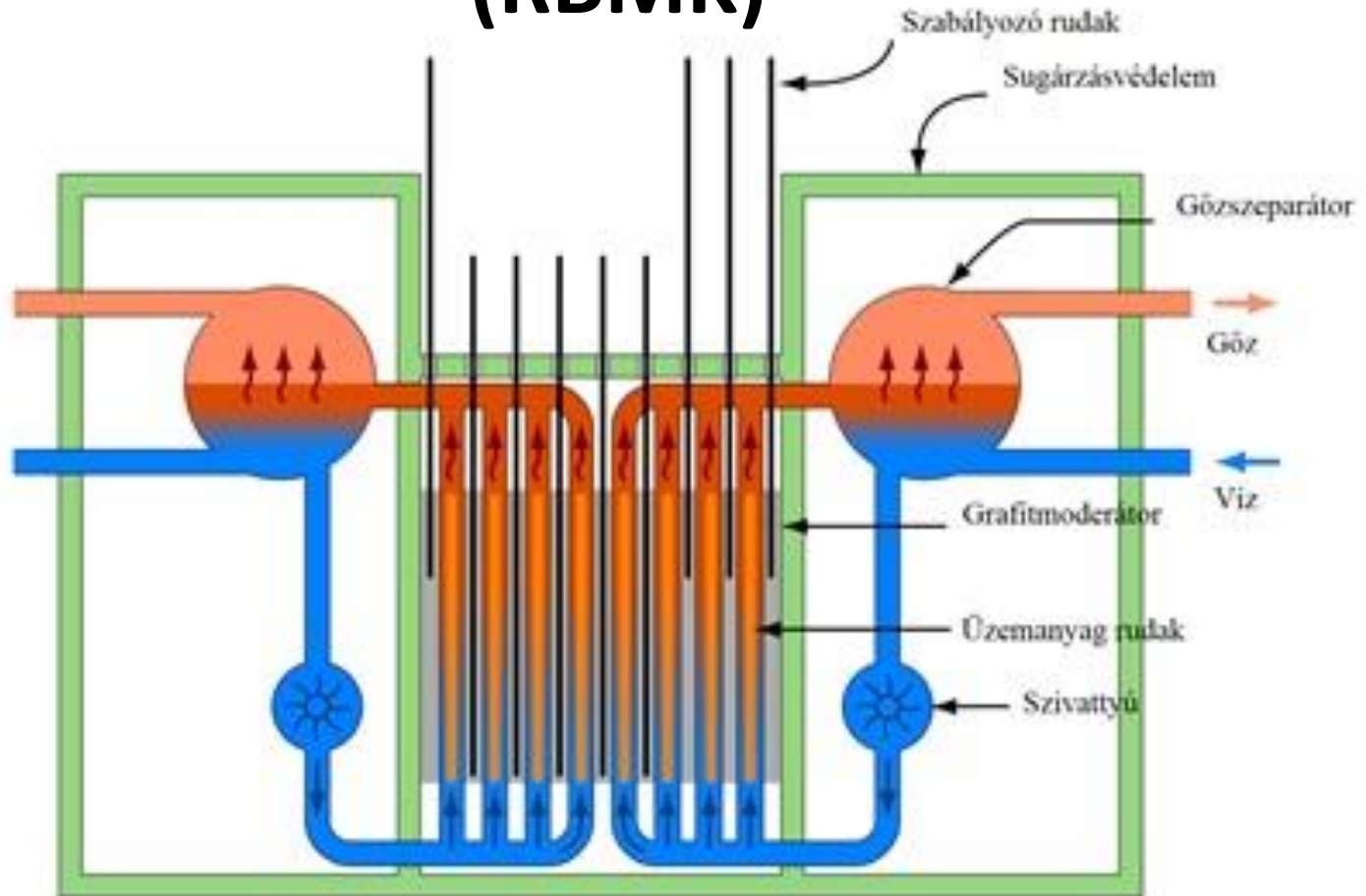
NEHÉZVIZES REAKTOR (PRESSURIZED HEAVY WATER REACTOR)



CSATORNA-TÍPUSÚ, NAGY ENERGIAKIMENETŰ REAKTOR (REAKTOR BOLSOJ MOSNOSZTYI KANALNIJ) (RBMK)

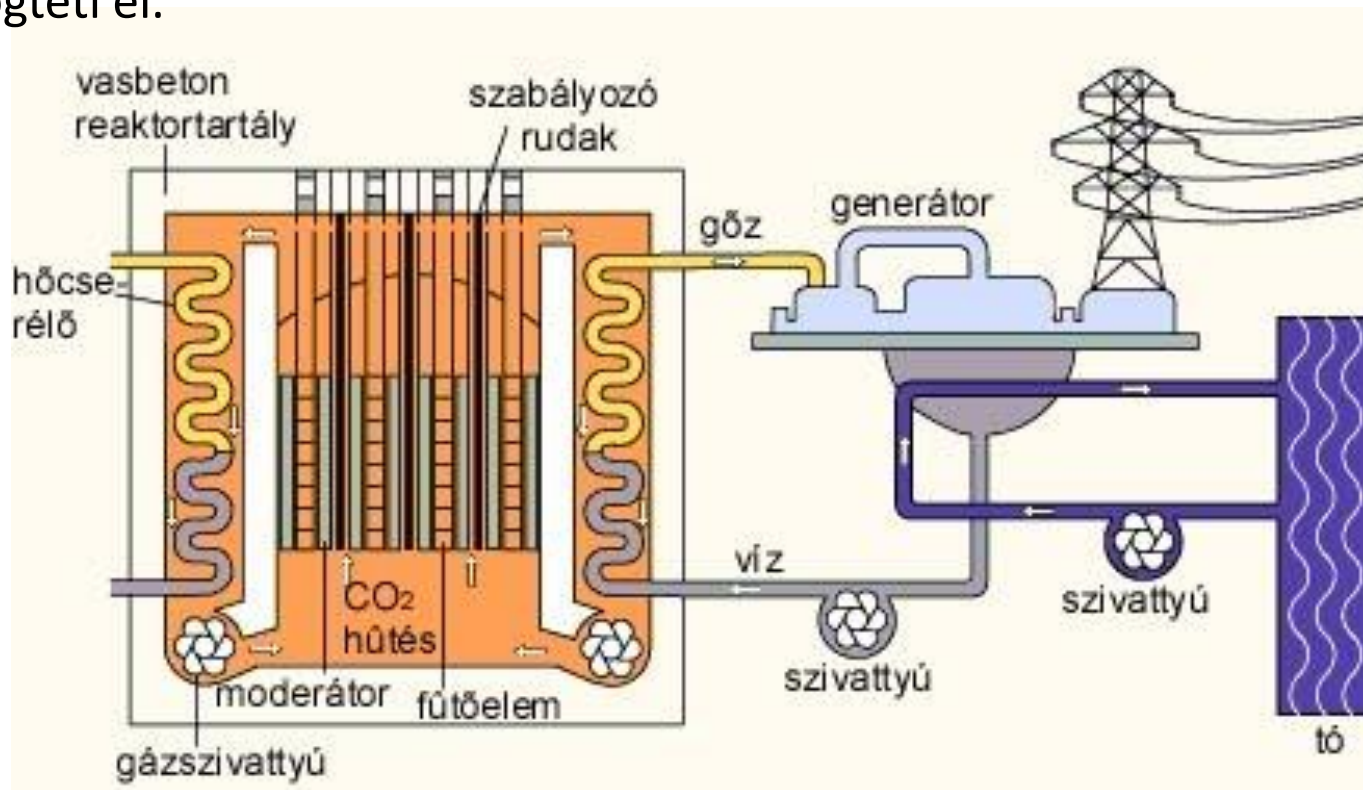
Szovjet fejlesztésű reaktor, az energiatermelés mellett plutónium előállításra is alkalmas. Üzemanyagként enyhén dúsított vagy természetes uránt használnak. A neutron lassítást a grafit végzi, a forralóvizes reaktorhoz hasonlóan a víz a reaktorban felforr, és a turbinába jut. Ennek a típusnak nagy hátránya, hogy a hűtőközeg elvesztése esetén sem szűnik meg a moderáció, így a láncreakció sem áll le, ellentétben a víz moderálású megoldásoknál.

CSATORNA-TÍPUSÚ, NAGY ENERGIAKIMENETŰ REAKTOR (REAKTOR BOLSOJ MOSNOSZTYI KANALNIJ) (RBMK)



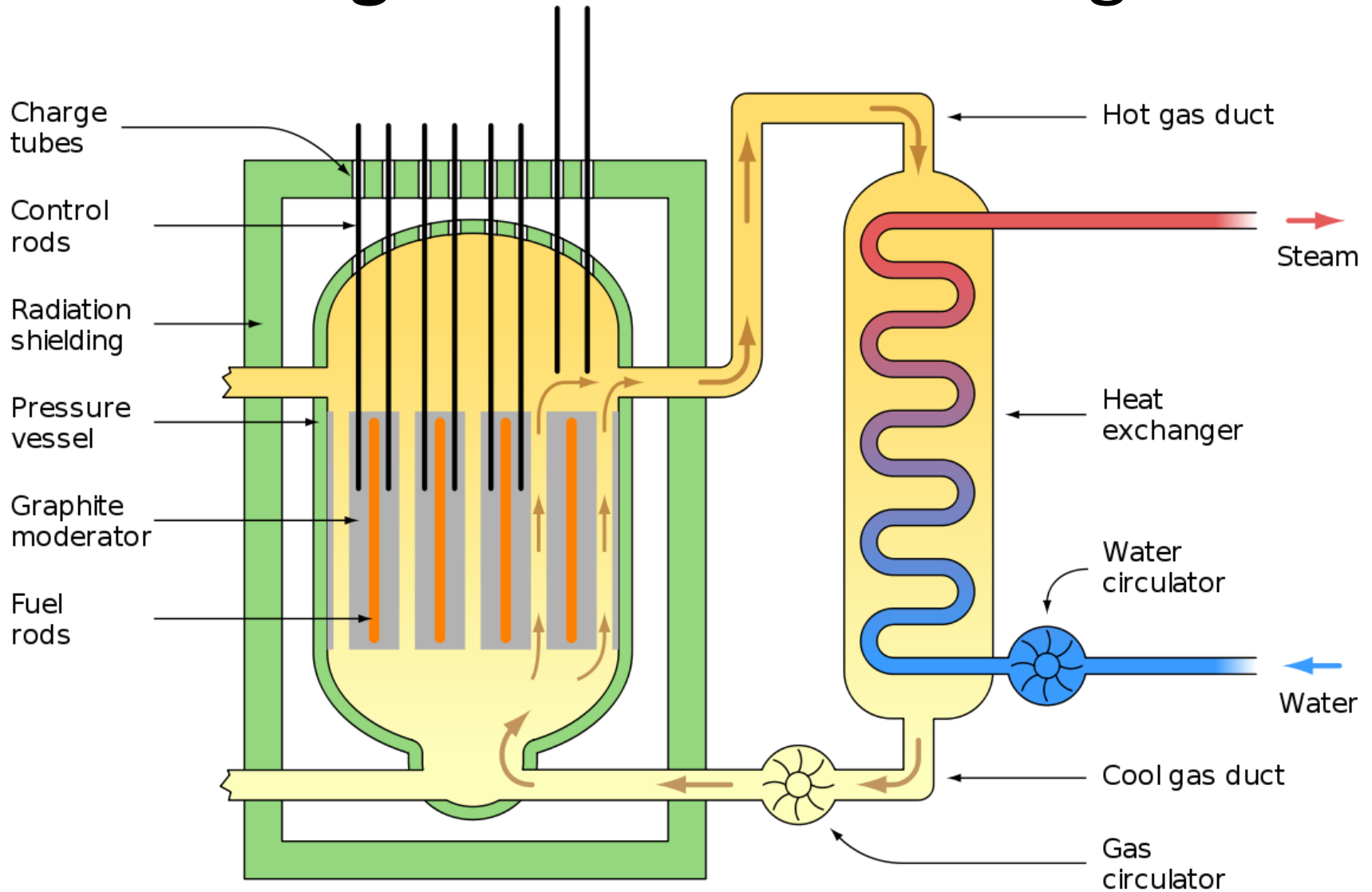
GRAFIT MODERÁLTÁSÚ GÁZHŰTÉSŰ REAKTOROK

Az angol fejlesztésű – ugyancsak két hűtőkört magában foglaló – reaktortípus moderátorként grafitot, hűtőközegnek szén-dioxidot használ. Így jóval magasabb primer kör hőmérsékletet lehet elérni, mint víz hűtőközeggel. A nagy hőmérsékletű szén-dioxid a szekunder kör vizét egy hőcserélőn keresztül gőzölteti el.



MAGNOX

Magnesium non-oxidising



GYORS TENYÉSZTŐREAKTOR

A reaktorban nem található moderátor, így a neutronok nem lassulnak le!

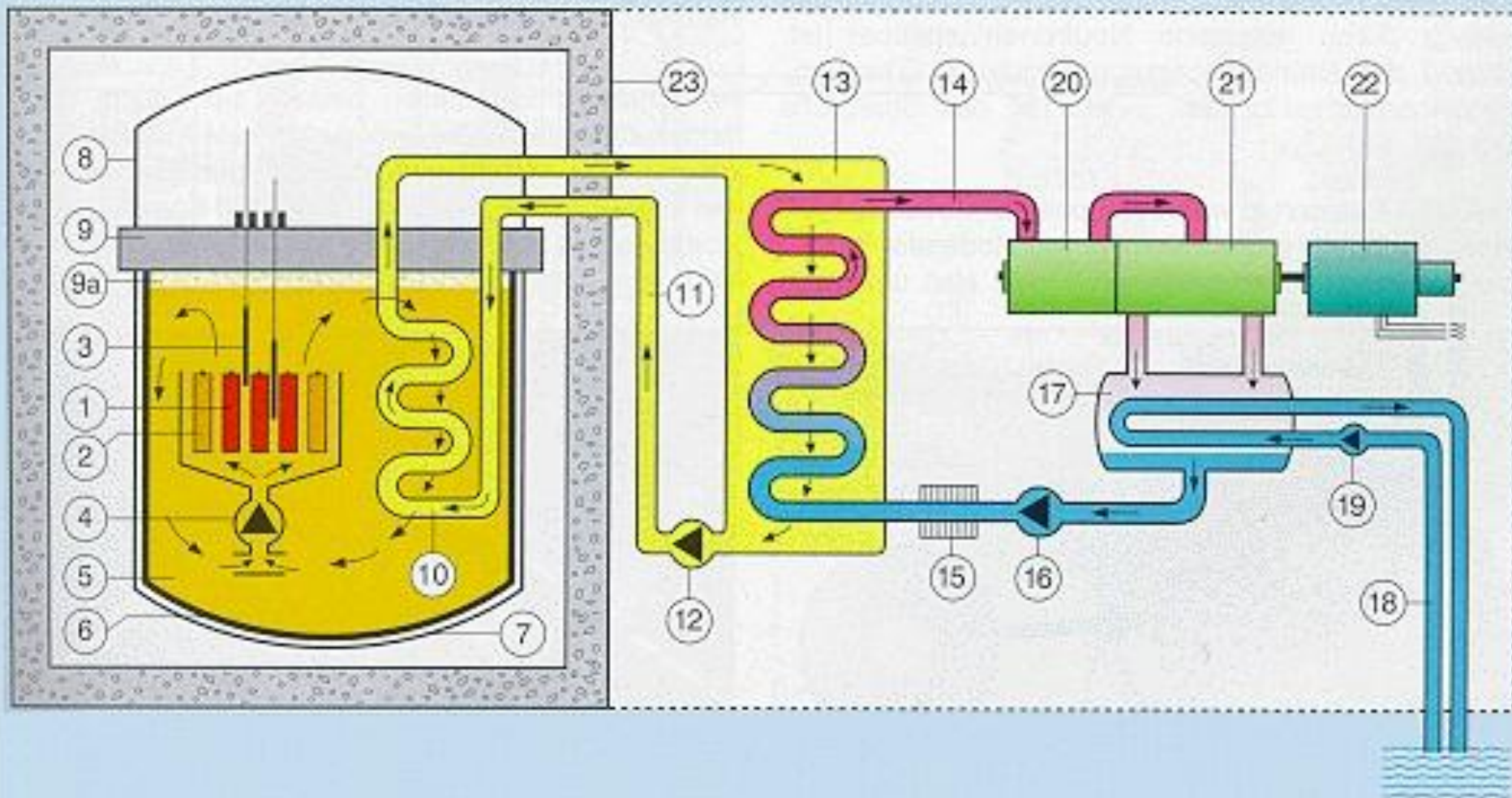
Jóval nagyobb átlagenergiával rendelkeznek, mint a termikus reaktorokban. Ezen a neutron energián másként hatnak kölcsön a neutronok a különböző izotópokkal. A lassú neutronok által nem hasítható izotópok hasadási hajlama is megnő kissé, de még fontosabb, hogy emelkedik a hasadásonként keletkező neutronok száma. A többletneutronok pedig a nem hasadóképes nehéz atommagokba befogódva képesek azokat hasadóképesé alakítani.

A gyorsreaktorok azon típusát, mely képes a kezdetben az aktív zónájában elhelyezett hasadóanyagnál a kampány végére több hasadóanyagot megtermelni, tenyésztőreaktornak (breeder) hívjuk. Ezekben a reaktorokban az urán nagy részét kitevő 238-as izotópja alakul át a plutónium 239-es hasadóizotópjává.

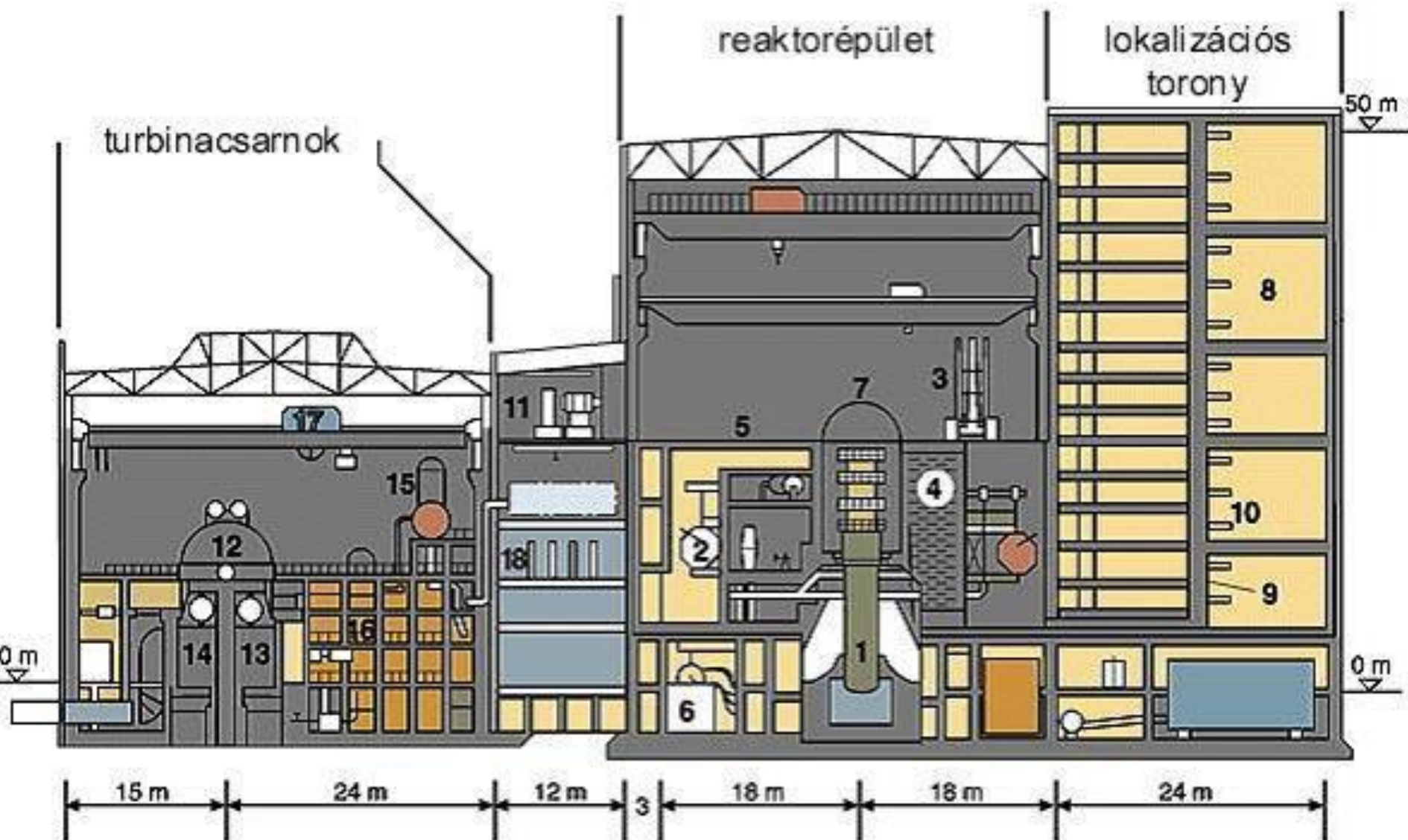
Tóriumot is fel lehet használni, mely neutronbefogás után a hasadóképes urán-233 izotóppá alakul át. A tóriumos üzemanyagciklus jelenleg technológiailag nem tart ott, mint az urán-plutóniumos.

A gyorsreaktorok hűtőközege csak olyan anyag lehet, mely nem moderálja a neutronokat, így a vízhűtés ebben az esetben kizárt. A legelterjedtebb a folyékonyfém hűtés, azaz a nátriumhűtés. Oroszországban jelenleg is működik, valamint épül kereskedelmi céllal villamos energiát termelő nátriumhűtésű gyorsreaktor. Ebben az esetben a keringtető-szivattyúk a víz helyett a folyékony nátriumot keringtetik át a zónán. A másik két elterjedt gyorsreaktor hűtőközeg a folyékony nehézfém: folyékony ólom vagy az ólom-bizmut keverék, valamint a gázhűtés: leginkább a hélium és a szén-dioxid.

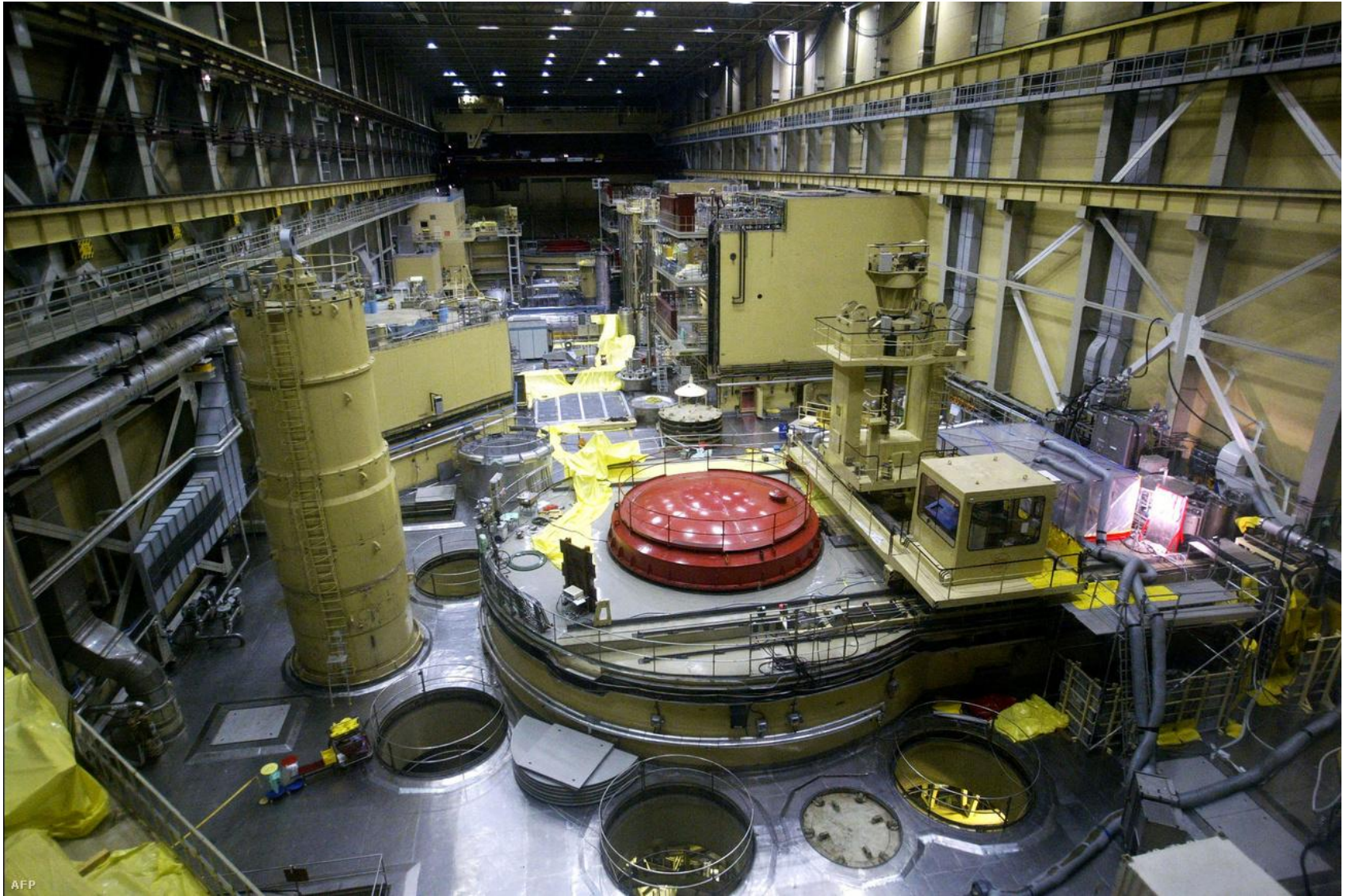
GYORS TENYÉSZTŐREAKTOR



PAKSI ATOMERŐMŰ



PAKSI ATOMERŐMŰ REAKTORCSARNOK



PAKSI ATOMERŐMŰ TURBINACSARNOK



TÉVHITEK A RADIOAKTIVITÁSSAL KAPCSOLATBAN

SUGÁRFERTŐZÉS NINCS!!!

Sugárfertőzés: A média által kitalált, teljesen értelmetlen kifejezés. A sugárzás hatásainál a fertőzés semmiféle szerepet nem játszik. Ehelyett – a tényhelyzetnek megfelelően – írhatjuk: „sugárszennyeződés vagy (radioaktív) sugárzás érte”, vagy „nagy sugárdózist kapott”, vagy „radioaktív anyaggal szennyeződött”.

Sugárbetegség: Az egész testet vagy annak nagyobb részét érő túlzott (meghatározott küszöbnél magasabb) besugárzás miatti, jól körülírható tüneteket okozó megbetegedés.

Elképzelhető, hogy egy akut sugárbeteg vére, vizelete vagy izzadsága okozhat némi többlet dózist (nem fertőzést), de nincs tudományos bizonyíték arra, hogy ilyen történt volna a Csernobil áldozatainak kezelése során.

TÉVHITEK A RADIOAKTIVITÁSSAL KAPCSOLATBAN

Akkor miért különítik el a kórházban a sugárbetegeket nejlon függönyökkel? Mert az immunrendszerük legyengült és ki vannak téve a veszélynek, hogy elkapnak valamit, amivel nem tudnak megbirkózni. Más szóval, a veszély iránya épp az ellenkezője!

A magzat elnyeli a sugárzást. Nincs igazi bizonyíték arra, hogy radioaktív sugárzás megölt volna egy csecsemőt vagy bármennyire is növelte volna a születési rendellenességek arányát.

„Lehetőségünk van most arra, hogy megfigyeljük az összes gyermeket, aki Csernobil közelében született,” – írta a Kaliforniai Egyetem fizikusa, Robert Gale 1987-ben „és egyikük sem rendelkezett, legalábbis születéskor, semmilyen észlelhető rendellenességgel.”

TÉVHITEK A RADIOAKTIVITÁSSAL KAPCSOLATBAN

- Nem okoz testfelületi vérzéseket! Még nagy dózis sem!
- Nem válik élénkvörössé a bőrfelület, ha megérintünk egy sugárbetegségtől szenvedőt, akkor sem, ha a szennyezett ruhájához nyúlunk!
- A sugárzás nem az a szupererős toxin!
- Gyermeüket váró nők, akik csak alacsony sugárterhelést kaptak 100.000 – 200.0000 terhességet szakítottak meg félelmükben, és azok körében, akiket sugárzás elérhetett, négyszer nagyobb eséllyel számoltak be szorongásról, depresszióról és poszttraumás stressz szindrómáról.

Köszönöm a figyelmet!

