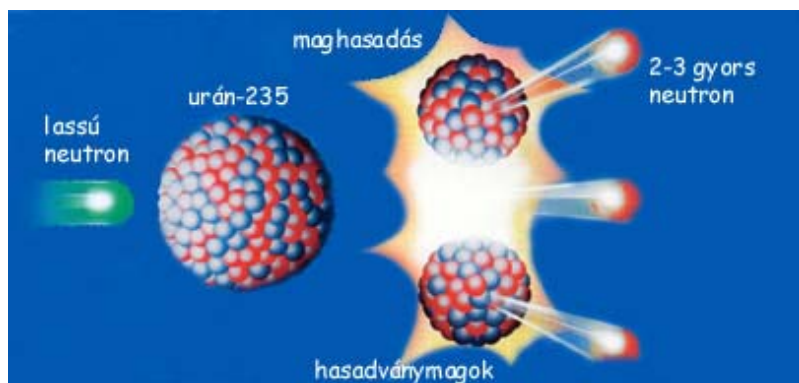
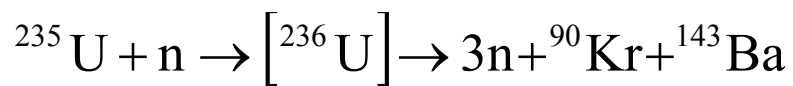
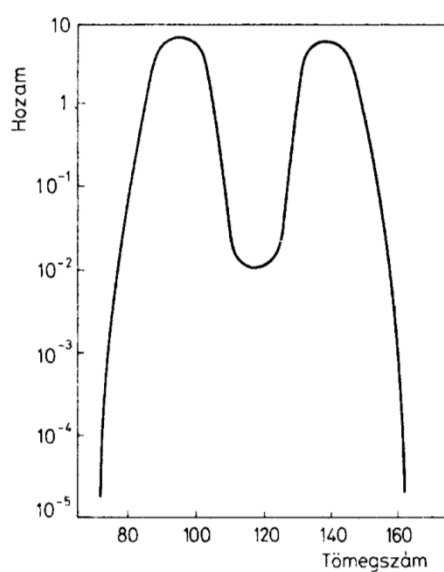


(n,f) reakciók, maghasadás (Otto Hahn):



A természetes uránnak csak 0.71%-a 235-ös izotóp, a többi 238-as, amely termikus neutronokkal nem hasítható

${}^{235}\text{U}$ hasadvány termékeinek eloszlása

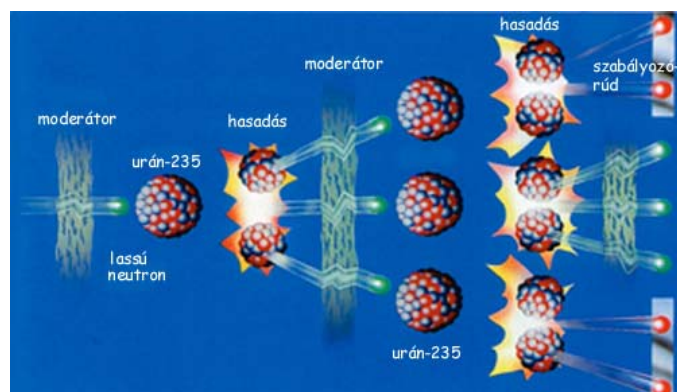


50 út, 35 elem 300 izotópjja

(n,f) reakcióra képes magok

Izotóp	Kiindulási anyag	Hatásos neutron
^{235}U	természetes urán	termikus
^{233}U	tórium, neutronbesugárzás	termikus
^{239}Pu	^{238}U , neutronbesugárzás	termikus
^{241}Pu	^{238}U , neutronbesugárzás	termikus
^{238}U	természetes urán	gyors
^{232}Th	természetes tórium	gyors

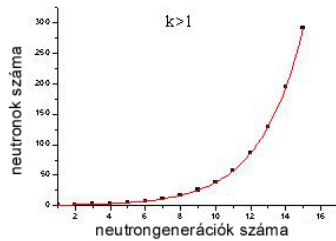
Láncreakció



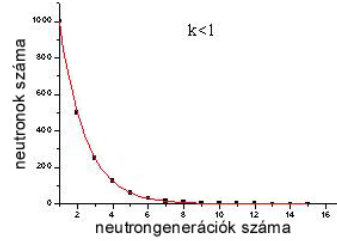
k - sokszorozási tényező: $k \equiv \frac{\text{szekunder neutronok száma}}{\text{primer neutronok száma}}$

A rendszer lehet:

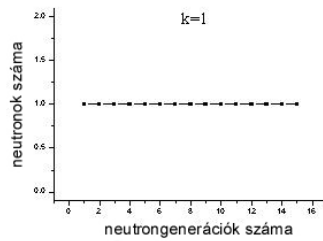
szuperkritikus - atombomba



szubkritikus



kritikus - atomreaktor



Véges méretű rendszer esetén un. effektív sokszorosítási tényezőről beszélünk:

$$k_{\text{eff}} \equiv k_{\infty} \cdot P$$

ahol

k_{∞} - végtelen kiterjedésű rendszer sokszorosítási tényezője

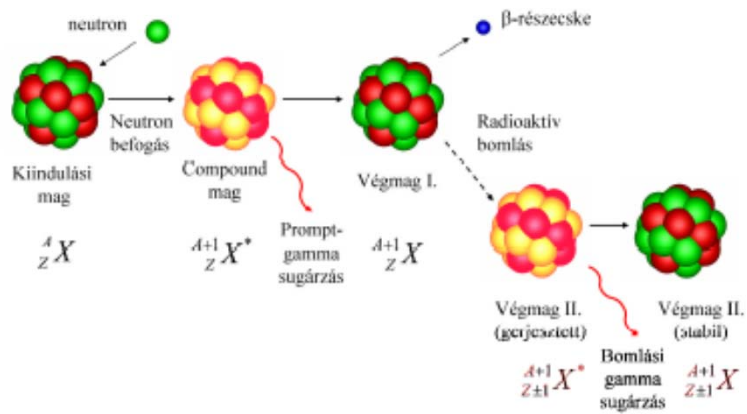
P - az adott méretektől függő paraméter

a méret növelésével P közelít az egyhez.

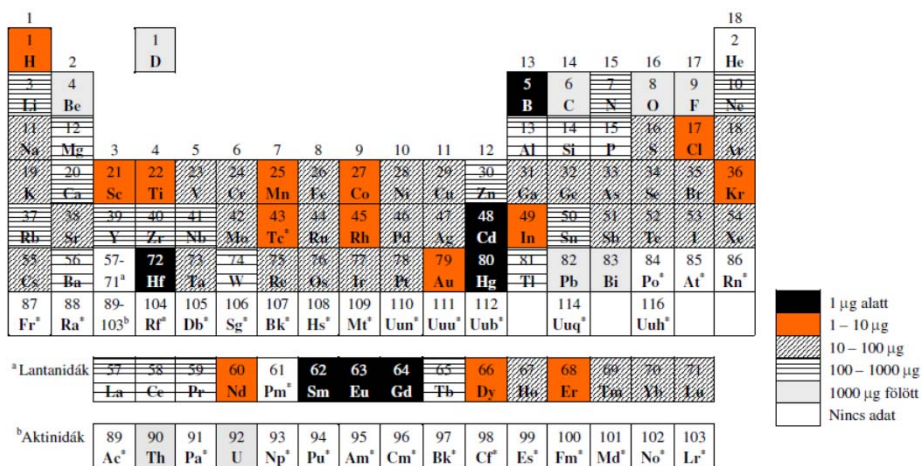
Kritikus térfogat (tömeg) esetén :

$k_{\text{eff}} = 1.0$ - a rendszer kritikussá válik.

Neutron aktivációs analízis (NAA) Prompt-gamma aktivációs analízis (PGAA)



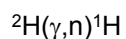
PGAA érzékenysége



9. ÁBRA. Az elemek legkisebb kimutatható mennyisége a budapesti PGAA mérőhelyen, a legkedvezőbb detektálási körülményeket feltételezve és 30 000 s mérési időre vonatkoztatva

Magreakciók fotonokkal

Neutronforrás:



a D kötési energiája 2,2MeV ezért pl. ${}^{24}\text{Na}$, $E_\gamma=2,76\text{MeV}$ -al szétlőhető!

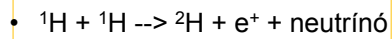
A neutrino

Neutrino kutatásokért díjazott fizikai Nobel-díjasok

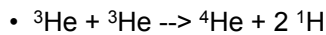
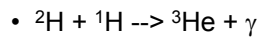
Frederick Reines (1956, Science) az első közvetlen detektálásért	1995
Leon M. Lederman, Melvin Schwartz and Jack Steinberger (1962) többfajta neutrino létezik	1988
Raymond Davis, Jr., Masatoshi Koshiba a kozmikus neutrino vizsgálataik eredményéért	2002
Takaaki Kajita, Arthur B. McDonald neutrino oszcilláció felfedezése: nyugalmi tömeggel bíró részecskék	2015

Termonukleáris reakciók

1. Proton-proton lánc - naptípusú csillagok alapvető energiaforrása

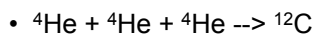


$T_{\min} = 1$ millió K

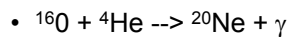
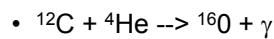


$T_{\min} = 10$ millió K

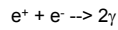
Nagy tömegű csillagokban beindul az ún. Triple-alfa folyamat:



$T_{\min} = 100$ millió K



Nagyobb tömegű csillagokban ahol a hőmérséklet nagyobb, mint 500 mK nagyobb magok égése is beindul:



a keletkező gamma sugarak elnyelődnek a csillagok belsejében és gerjesztés útján látható tartományú fotonokká transzformálódnak. 1 gamma fotonból kb. 200 000 látható foton keletkezik.

A neutrínó elhagyja a csillagot.

600 millió t H ég el másodpercenként és 596 millió t He keletkezik.

A Nap-neutrínó probléma

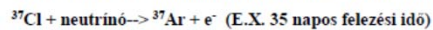
Neutrínó: W. Pauli jósolta meg elméletileg, kísérletileg Reines és Cowan mutatta ki 1956-ban.

A Napban lejátszódó folyamatokat csak közvetve tudjuk ellenőrizni.

Ez csak a Napot elhagyó egyetlen reakciótermék, a neutrínók vizsgálatával lehetséges.

Feladat: detektáljuk a Nap p-p láncából származó neutrínókat.

1970-ben 100,000 gallon perchloroethylene -- C_2Cl_4 tartalmazó tartályban a következő reakciót figyelték:



A tartályt 1.5 km mélyen helyezték el egy aranybányában (Homestake bánya, Lead, SD, USA).

A p-p lánc alapján 3 Argon atom keletkezését várták naponta, amit radioaktivitása útján könnyű detektálni.

Eredmény: csak 1/3 mennyiséget mértek. A kísérletet 20 éve folyik és

más obszervatóriumok is (Japán (Kamiokande), Oroszország (SAGE = Soviet(sic)-American Gallium Experiment) és Olaszország (GALLEX)) hasonló eredményt közöltek.

Probléma: hol a hiányzó neutrínó?

<http://www.sns.ias.edu/~jnb/Papers/Popular/snhistory.html>

Dozimetria

Az anyagban a sugárzás hatására bekövetkező változás az anyagnak átadott energia következménye

Az átadott energia mértéke a DÓZIS:

$$D = \frac{\Delta E}{m} \quad \frac{\text{J}}{\text{kg}}, \text{ Gray, Gy}$$

Pontszerű sugárforrás

$$D = k \frac{At}{R^2}$$

77

A biológiai változások mértéke azonos D esetén
függ a sugárzás fajtájától: egyenértékű dózis

$$H = w_R D \quad \frac{\text{J}}{\text{kg}}, \text{ Sievert, Sv}$$

w_R : a sugárzás fajtájára, minőségére jellemző súlyozó tényező
(a LET függvénye)

Sugárzás	w_R
Foton ($E > 200 \text{ keV}$)	1
Elektron	1
Neutron	
< 1 MeV	$2,5 + 18,2e^{-[\ln(E_n)]^2 / 6}$
1-50 MeV	$5,0 + 17,0e^{-[\ln(2E_n)]^2 / 6}$
> 50 MeV	$2,5 + 3,25e^{-[\ln(0,04E_n)]^2 / 6}$
Alfa, hasadvány, nehézion	20

78

Különböző szerveink sugárérzékenysége nem azonos:

$$H_E = \sum_T H_T w_T \quad [\text{Sv}] \quad \text{effektív dózisegyenérték}$$

$$\sum_T w_T = 1 \quad \text{súlyozó tényező}$$

Testszövet	wT
Csontvelő	0,12
Vastagbél	0,12
Tüdő	0,12
Gyomor	0,12
Emlő	0,12
Egyéb szövetek (a)	0,12
Ivarmirigyek	0,08
Hólyag	0,04
Nyelőcső	0,04
Máj	0,04
Pajzsmirigy	0,04
Csontfelszín	0,01
Agy	0,01
Nyálmirigyek	0,01
Bőr	0,01

(2015)

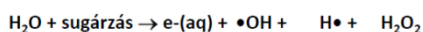
79

Faji érzékenységi sorrend

	LD _{50/30}
Emlősök	1,5 - 10 Sv
Szárnyasok	10 - 150 Sv
Gombák, baktériumok	50 - 300 Sv
Rovarok	600 - 800 Sv
Egysejtűek	1000 - 3000 Sv

A víz radiolízise

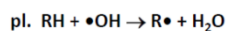
1. $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}^+ + \text{e}^-$
2. $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}\bullet + \text{OH}^+ + \text{e}^-$
3. $\text{H}_2\text{O}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \bullet\text{OH}$
4. $\text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \rightarrow \text{H}\bullet + \text{OH}^-$
5. $\text{H}\bullet + \text{H}\bullet \rightarrow \text{H}_2$
6. $\bullet\text{OH} + \bullet\text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$
7. $\text{H}\bullet + \bullet\text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$



G-érték: 2.63 2.72 0.55 0.68

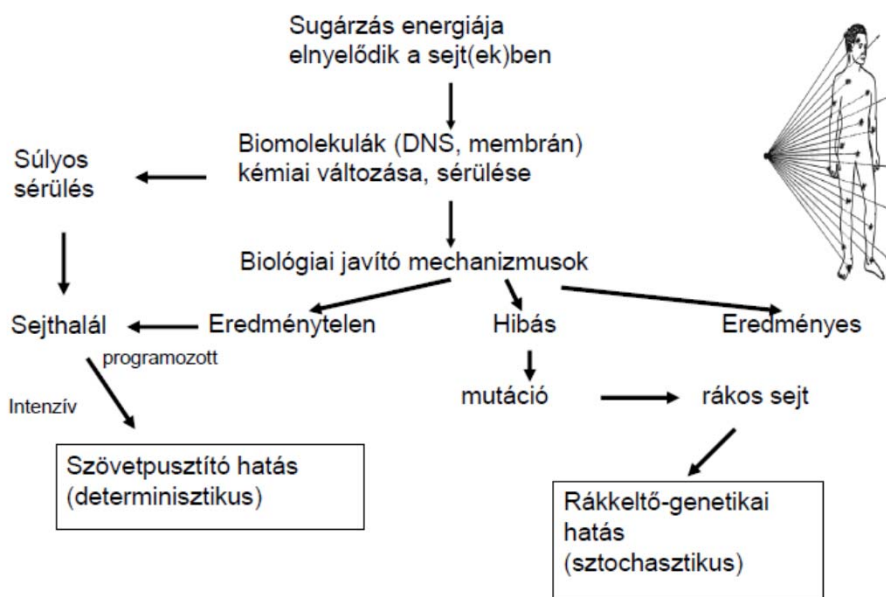
G-érték: 100 eV röntgen sugárzás elnyelése esetén keletkező radikálisok száma.

Indirekt hatás: a képződő radikálisok reakciókat váltanak ki:



81

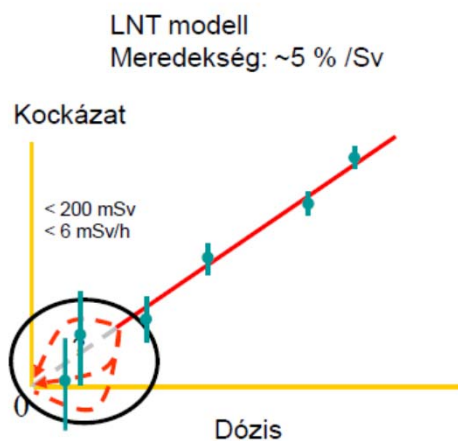
Ionizáló sugárzások egészségügyi hatásai



Rákkeltő - genetikai (sztochasztikus) hatás

Később jelentkezik (5-10 év)
Nincs küszöbdózis
A hatás nem sugárzás specifikus
Azonosítás statisztikai korlátai:
Nagy mintaszám kell
Nem állandó a háttér
Időeltolódás

Kis-dózis dilemma!



83

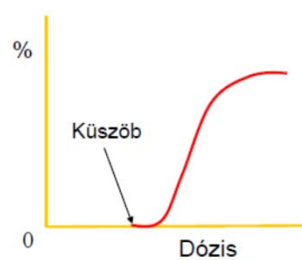
Szövetpusztító (determinisztikus) hatás

Korán jelentkezik (napok, hetek)

Csak egy bizonyos dózis fölött
(küszöb dózis $\sim 500 \text{ mSv}$)

Küszöb felett a súlyosság
dózis függő

A hatás jelleg sugárzás specifikus



84