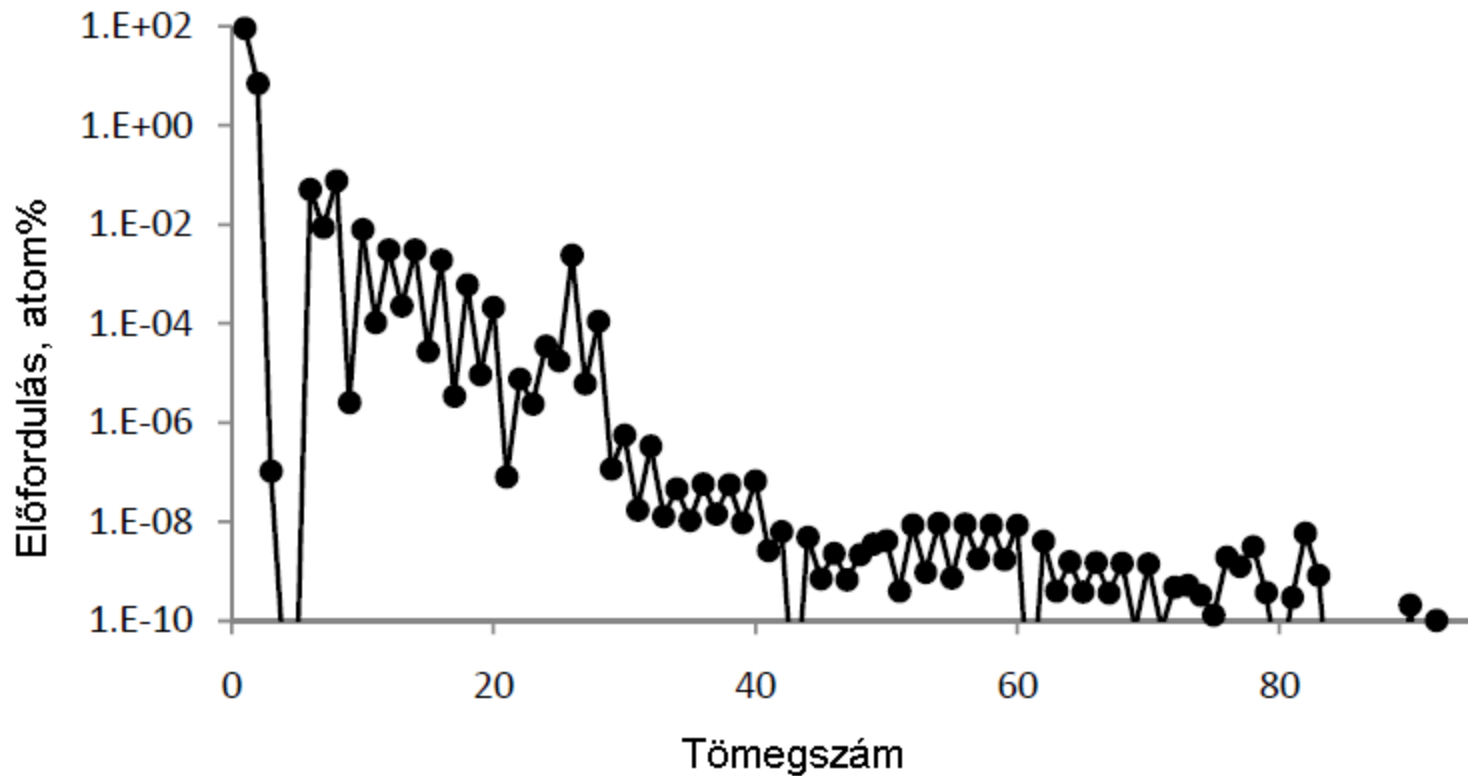


Radioaktív izotópok a környezetben

Eredet	Radioaktív izotópok
Természetes bomlási sorok	Anyaelemek: ^{235}U , ^{238}U , and ^{232}Th Hosszabb életű leányelemek és azok leányelemei: ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Bi és ^{210}Po , ^{222}Rn , ^{220}Rn
Természetes primordiális izotópok	^{40}K , ^{50}V , ^{87}Rb
A kozmikus sugárzás hatására folymatosan keletkező izotópok	^3H , $^{7,10}\text{Be}$, ^{14}C
Mesterséges: atomerőművek üzemszerű kibocsátásai	T , ^{14}C , ^{85}Kr , ^{133}Xe , ^{135}Xe , I -izotópok
Mesterséges: nukleáris robbantások és balesetek	^{14}C , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{95}Nb , ^{106}Ru , ^{106}Rh , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{144}Ce , ^{144}Pr és Pu-izotópok

Elemek keletkezése az Univerzumban: magreakciók

- Az elemek relatív mennyisége



Elemek keletkezése az Univerzumban: magreakciók

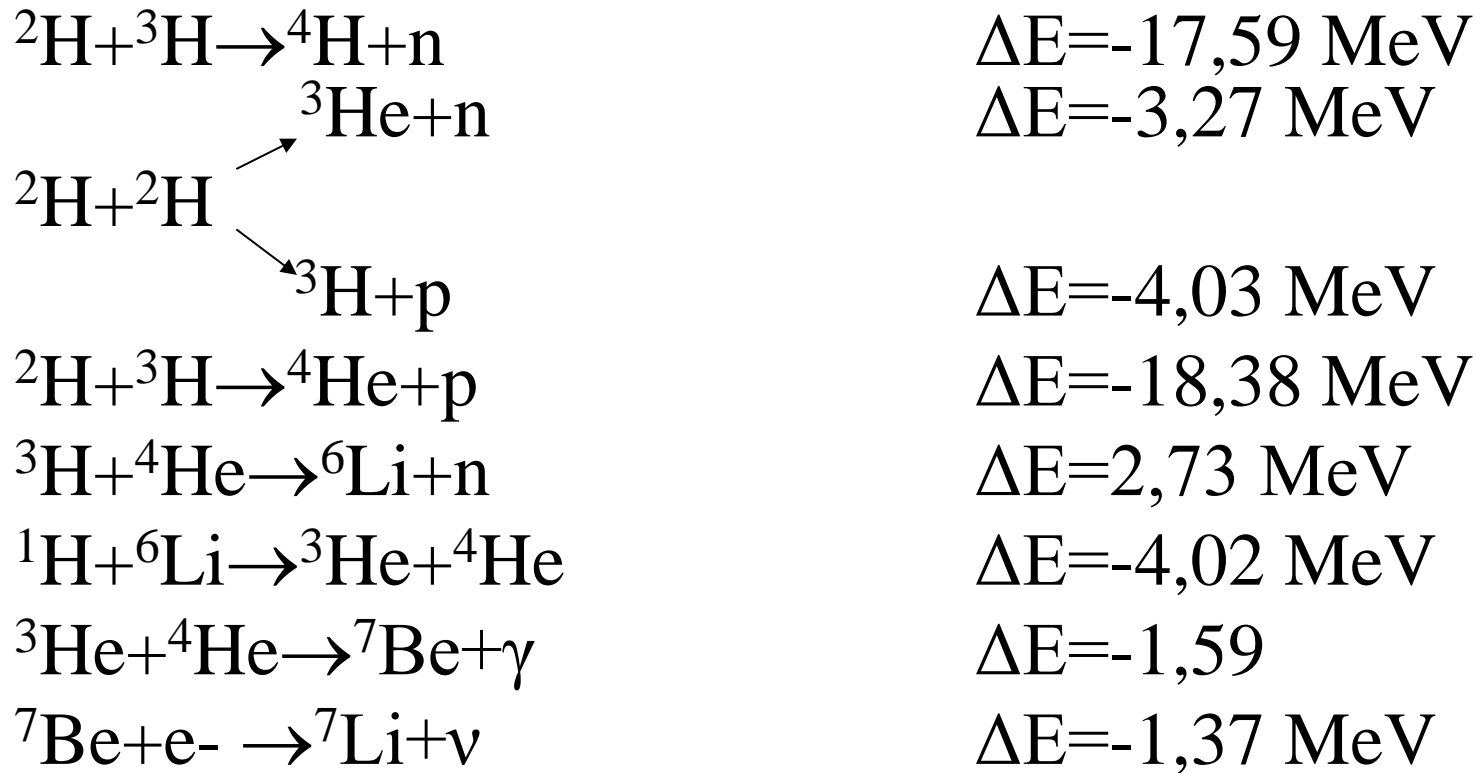
- Asztrofizikai megfigyelések: az égitestek különböző korúak, tehát folyamatosan keletkeznek. Ha az elemek ezekben képződnek, keletkezésük folyamatos.
 - Pl. Tejút 15 milliárd év (eon), legrégebb meteoritok, holdközetek kb. 4.65 eons, földkéreg 2.6 eons.
- Doppler-effektus: a világegyetem tágul.
- Big-bang: ősrobbanás-neutroncsillag robbanása kb. 15-20 eonnal ezelőtt.
$$n \rightarrow p^+ + e^- \cdot t_{1/2} = 11 \text{ min}$$
- Kezdeti hőmérséklet: $2-20 \cdot 10^9 \text{ K}$, a tágulás miatt mára $2,7 \text{ K}$, ez a feketetest sugárzás a világegyetem minden pontjáról észlelhető.

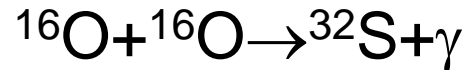
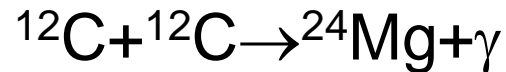
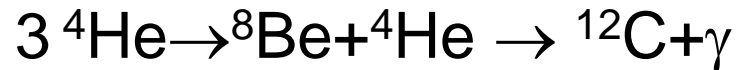
A ${}^4\text{He}$ képződésének részlépései

Reakciólépés	Reakcióhő (MeV)	Átlagos reakcióidő
${}^1\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^2\text{H} + \beta^+ + \nu$	-0,44	$1,4 \cdot 10^{10}$ év
${}^2\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$	-5,49	6 s
${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2 {}^1\text{H}$	-12,86	$9 \cdot 10^5$ év
Bruttó: $4 {}^1\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + 2\beta^+ + 2\nu$	-24,7*	$1,4 \cdot 10^{10}$ év

*Mivel a neutrínók 0,4 MeV energiával hagyják el a Napot, a tényleges energiatranszmisszió 24,3 MeV/He.

Mellékreakciók





„Leves”: nuklidokból, nukleonokból, alfa-részecskékből, fotonokból álló keverék, amelyben a hőmérséklet növekedésével a könnyebb részecskék és a nehezebb magok reakcióba lépnek, azaz magreakciók játszódnak el pl. protonokkal, gamma-fotonokkal, deutronokkal, a magok között, - vas-csoportig

- A nehezebb elemek keletkezése során a neutronok száma jelentősen megnő, ezért a fő elem kialakulási forma a neutronok befogása lesz. A Fe és a Bi közötti elemek így, az ún. lassú (s, slow) neutronbefogási (n,γ) reakciókkal képződnek, amelyeket béta-bomlások kísérnek.
- Bi után: rövid életű izotópok keletkeznek, amelyek megállítják a neutronbefogási reakciósort. További elemek: a vörös óriásokban a fotonok és neutrínók kibocsátása miatt az energiaveszteség igen nagy. A csillag magja lehűl, az óriás összehúzódik, ami újabb hőmérséklet- és a nyomás-növekedést okoz. Az erős foton tér a vashoz hasonló elemek fotodezintegrációját okozza, hélium és neutronok keletkeznek. A hélium fúziós reakcióba lép, ami további hőhatást okoz, amely kiterjed a hidrogénből és héliumból álló hidegebb köpenyre is. Ezért itt is termonukleáris reakciók kezdődnek, majd szupernova robbanás történik egy nagyon gyors (r – rapid) folyamatban: $p+e \rightarrow n+\nu$
- 10^{18} kg/m³ neutroncsillag, új ciklus!?

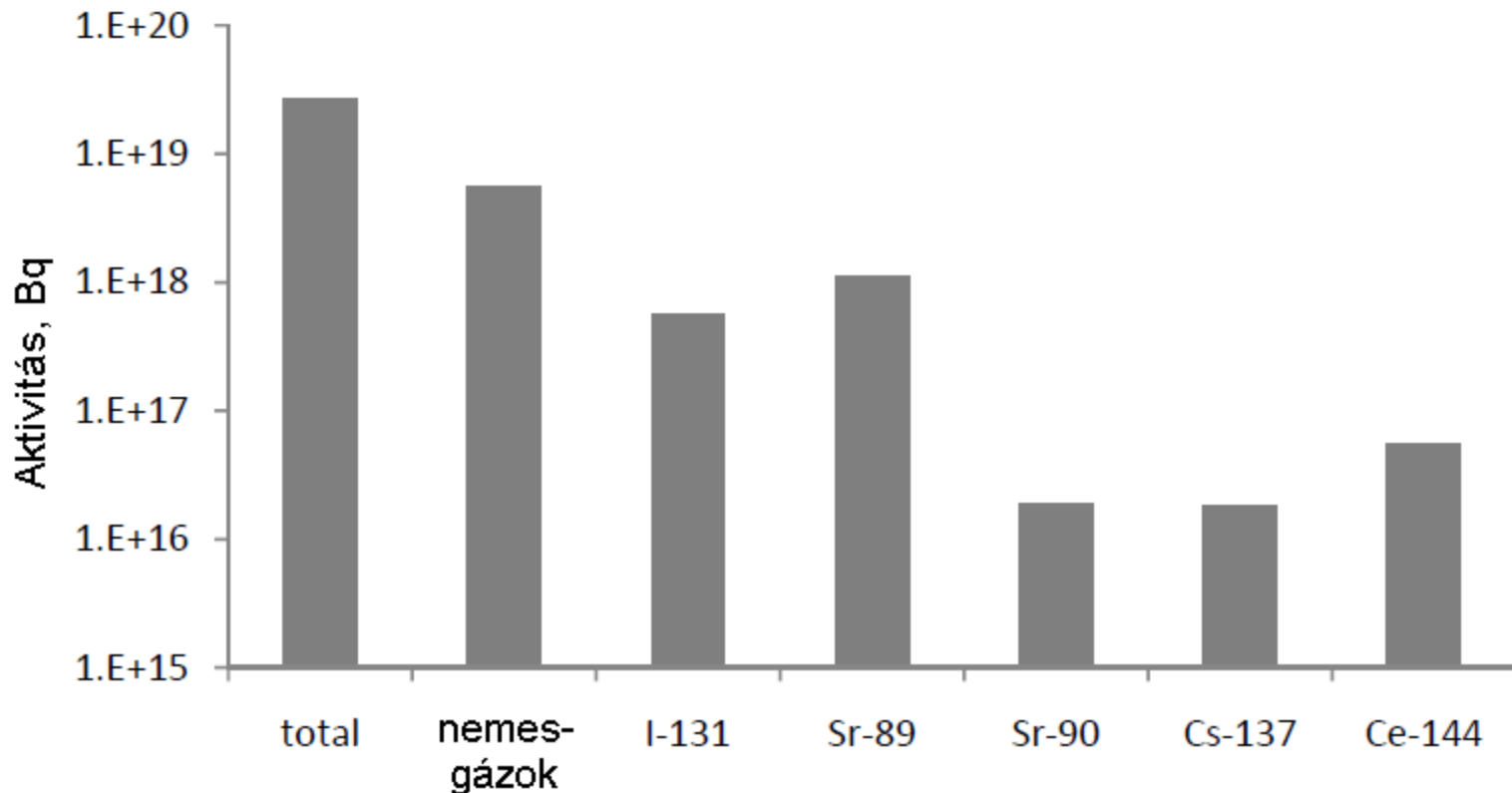
Radioaktív izotópok a környezetben

Természetes radioaktív izotópok

- Természetes radioaktív bomlási sor (^{238}U , ^{235}U és ^{232}Th bomlási sorai) hosszabb életű tagjai: a ^{226}Ra és leányeleme, a ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po , valamint a tórium bomlási sor rövid életű tagja, a ^{220}Rn ,
- A nukleogeneziskor keletkezett hosszú életű radioaktív magok, mint pl. ^{40}K , ^{50}V , ^{87}Rb , ^{113}Cd , ^{115}In , ^{123}Te , ^{138}La , ^{144}Nd , $^{147,148}\text{Sm}$, ^{152}Gd , ^{156}Dy , ^{174}Hf , ^{176}Lu , ^{186}Os , ^{187}Re , ^{190}Pt .
- A természetben található radioaktív magok, melyek a légkörben a kozmikus sugárzás nem radioaktív magokkal (főleg nitrogénnel, oxigénnel és argonnal) történő kölcsönhatásból keletkeznek. Ilyenek ^3H , $^{7,10}\text{Be}$, ^{14}C , ^{22}Na , ^{26}Al , $^{32,33}\text{P}$, ^{35}S , ^{36}Cl , ^{39}Ar .

Mesterséges eredetű radioaktív izotópok

- Izotóplaboratóriumok hulladékai
- Az atomerőművek és a reprocesszáló technológiák hulladékai: balesetek és üzemszerű kibocsátás, legfontosabb a gáz halmazállapotúak kibocsátása (T, ^{14}C , ^{85}Kr , ^{133}Xe , ^{135}Xe , I-izotópok).



Mesterséges eredetű radioaktív izotópok

Nukleáris robbantások: - amerikai 1945

- szovjet 1949

- angol 1952

- kínai 1964

1000 t TNT 48,5 g hasadvány, $3,7e21$ Bq

24 óra múlva $5,9e16$ Bq

Felezési idő: <1 nap: 131 izotóp

1-10 nap: 117

10-30 nap: 9

30 nap-1 év: 12

1-10 év: 7

10-100 év: 3

>100 év: 10

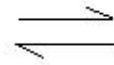
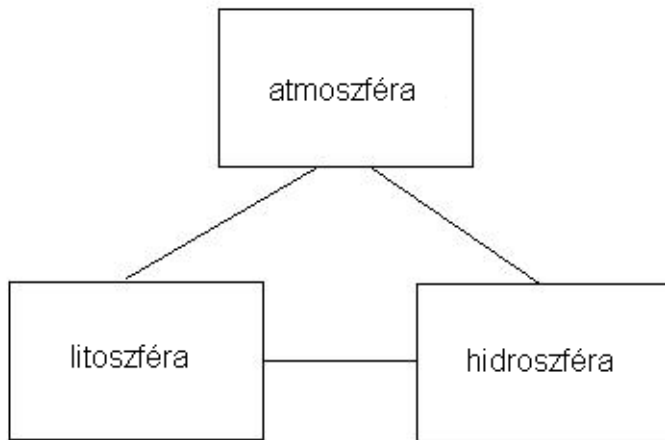
^{14}C , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{106}Ru , ^{106}Rh , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{144}Ce , ^{144}Pr

^{239}Pu : 1963-ig $1,2e16$ Bq= 400 kg

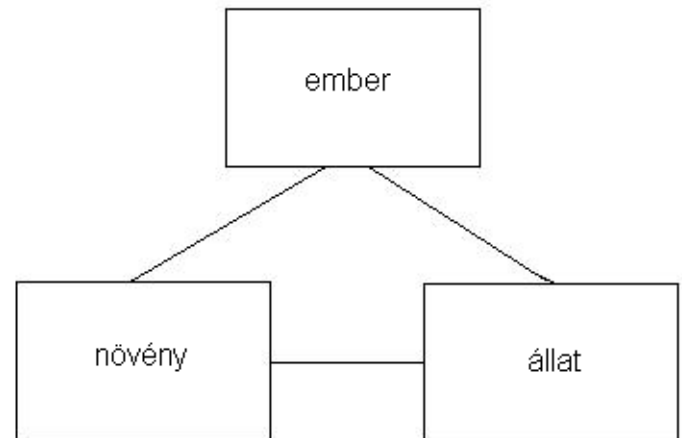
Csernobili és fukusimai balesetek

Radioaktív izotópok a környezetben

Geoszféra



Bioszféra



Atmoszféra radioaktivitása

- Gáz halmazállapotúak:
 - Természetes: ^3H , ^{14}C , ^{222}Rn
 - Mesterséges: ^3H , ^{14}C , hasadványok (jódom, nemesgázok)
- Aeroszolok
- Kihullás: dry out, rain out wash out
- Sztratoszférából: $t_{1/2}=7$ év
- Nukleáris kísérletekből: csök.
- Energiatermelés: nő
- Természetes: évszakos ingadozás
 - jan. 10 Bq/m^3 , jún. 2 Bq/m^3

Hidroszféra radioaktivitása

- Tavak > folyóvizek (sótartalommal összhangban)
- Források:
 - természetes eredetű: ^{40}K (Duna 70-90 mBq/l, tengervíz 10-15 Bq/l)
 - külső szennyezők: ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{129}I , ^{131}I
 - T: $^{14}\text{N}(n,3\ ^4\text{He})\text{T}$ and $^{14}\text{N}(n,\text{T})^{12}\text{C}$
 - reaktorok miatt nő, 1-2 nagyságrenddel nagyobb, mint a természetes szint
 - 1 TU=1 T-atom/ 10^{18}H =0,1184 Bq/l.
- Vízinövények felveszik, a víz összetételétől függően változó mértékben.

Talajok radioaktivitása

Természetes: ^{40}K , U és Th, valamint leányelemei

- kőzet - velencei gránit $> 4 \text{ Bq/g}$
- Th monacithomok
- Északi féltekén nagyobb a radioaktivitás, Amerikában nagyobb, mint Európában.

	Radionuklid	Activitás, mBq/g
	^{40}K	602 ± 146
^{238}U leányelemei	^{234}Th	85 ± 36
	^{226}Ra	111 ± 64
	^{214}Bi	45 ± 29
	^{214}Po	49 ± 32
^{232}Th leányelemei	^{228}Ac	40 ± 12
	^{212}Bi	39 ± 16
	^{212}Pb	39 ± 11
	^{208}Tl	40 ± 9

Talajok radioaktivitása

- Mesterséges:

kationok : (pl. $^{134,137}\text{Cs}^+$, $^{41}\text{Ca}^{2+}$, $^{90}\text{Sr}^{2+}$, $^{54}\text{Mn}^{2+}$, $^{55}\text{Fe}^{3+}$,
 $^{58,60}\text{Co}^{2+}$, $^{59,63}\text{Ni}^{2+}$,)

urán és transzuránok (U-, Np-, Pu-, Am-izotópok),
alapvetően szintén kationos jellegűek

anionos jellegűek : (pl. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -izotóp mint pertechnetát
 TcO_4^- , ^{14}C -izotóp mint karbonát $^{14}\text{CO}_3^{2-}$, $^{36}\text{Cl}^-$, $^{129}\text{I}^-$)

semlegesek (pl. ^3H -izotóp mint víz $^3\text{H}_2\text{O}$, fém $^{110\text{m}}\text{Ag}$).

Megoszlási hányadosok, dm³/g

Minta jellege	¹³⁷ Cs	⁴⁵ Ca	⁸⁵ Sr	²²⁶ Ra	⁶⁰ Co	¹⁴ C	^{99m} Tc	¹³¹ I
montmorillonit	18							
montmorillonit	18							
montmorillonit	17							
montmorillonit+ krisztobalit	7,3							
montmorillonit+ krisztobalit	6							
montmorillonit+kvarc	9,6							
montmorillonit+ krisztobalit	2							
montmorillonit	5,9							
dolomitos			0,015	0,754		0,003	<e-5	0,0007
vermikulitos	3,9							
gránit	6,92							
karbonátos	0,59	0,05	0,044		3,72			0,0006
vörösgyag			0,096	4,555		0,001	<e-5	0,0006
resztit, üde	3,93							
kalcitos	6,16							
klorit+karbonát	2,66							
agyagos	2,43	0,04	0,103		7,1			0,0008
ankerites kvarcos	5,71							
kloritos	1,99	0,05	0,042		5,22			0,0004
gránit	0,18	0,02	0,021		2,09			0,0006
karbonátos breccsa	1,14							
szmektités	5,77							
vetőbreccsia			0,053	1,174		0,001	<e-5	0,0003
dolomitos	3,23							
paligorszkit	5,56							
bontott resztit	4,32							

Beépülés az élő szervezetekbe

Transzferfaktorok:

$$TF = \frac{\left(\frac{N_{Sr-90}}{N_{Ca}} \right)_{plant}}{\left(\frac{N_{Sr-90}}{N_{Ca}} \right)_{soil}}$$

$$TF = \frac{\left(\frac{N_{Sr-90}}{N_{Ca}} \right)_{animal}}{\left(\frac{N_{Sr-90}}{N_{Ca}} \right)_{plant}}$$

Hasonlóan felírhatók a Cs-137 és K arányára.

$$\frac{1}{t_{1/2eff}} = \frac{1}{t_{1/2fiz}} + \frac{1}{t_{1/2biol}}$$

$$\frac{1}{t_{1/2eff}} = \frac{1}{t_{1/2fiz}} + \frac{1}{t_{1/2biol}}$$

	$t_{1/2fiz}$	$t_{1/2biol}$	$t_{1/2eff}$
H-3	12.3 év	19 nap	19 nap
C-14	5730 év	35 nap	35 nap
Sr-90	28.6 év	10 év	7.4 év
Cs-137	30 év	17 nap	17 nap
I-131	8 nap	120 nap	7.5 nap