

RADIOAKTIVITÁS A KÖRNYEZETBEN

A környezetben előforduló radioaktivitás felosztása:

1. Természetes eredetű radioaktivitás
2. Mesterséges, ember által generált radioaktivitás

TÉTEL: A TERMÉSZETES RADIOAKTIVITÁS A KÖRNYEZET RÉSZE

Radioaktivitás található a levegőben, a vizekben, a talajokban, az emberekben, a szikláknakban, az élelmiszerekben, a termékekben.

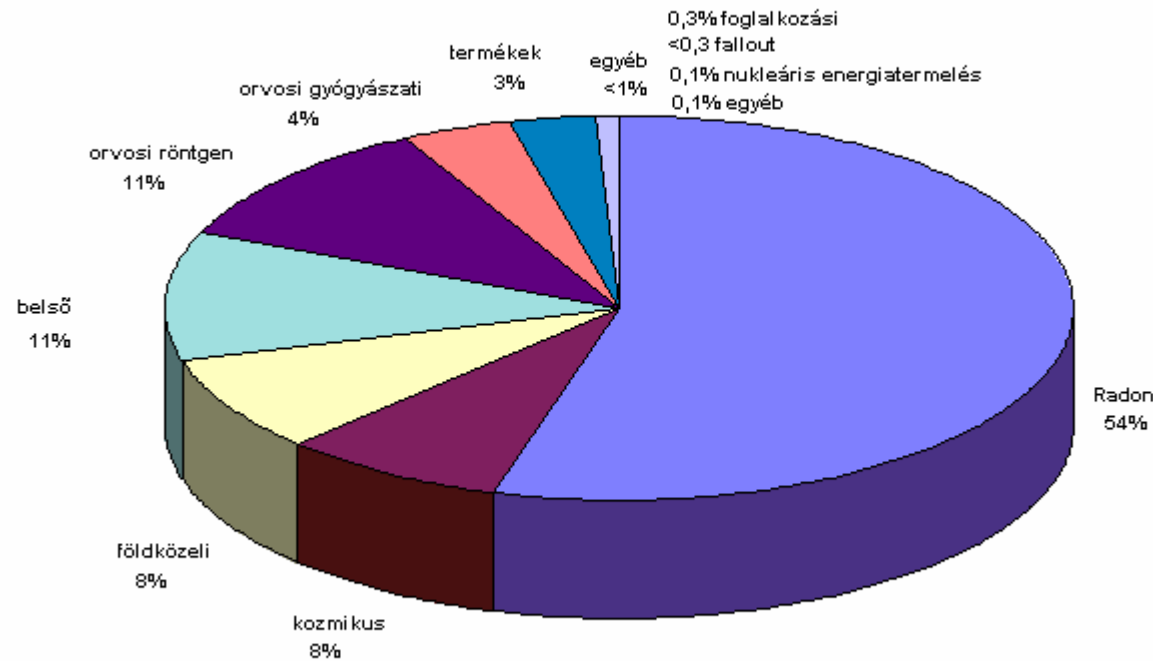
I. A természetes eredetű radioaktivitás a környezetben

- Kozmogén radionuklidok (fent a magas légkörben keletkezik folyamatosan)
- Primordiális radionuklidok (ősi, a föld keletkezésekor jöttek létre)

2002-ben az USA lakosságának átlagos effektív dózisa

Forrás	Átlagos éves effektív dózis	
	(μSv)	(mrem)
Belélegzett radon és bomlástermékei	2000	200
Más szervezetben előforduló radionuklid	390	39
Földközeli külső sugárzás	280	28
Kozmikus sugárzás	270	27
Kozmogén radionuklidok	10	1
Összes természetes eredetű sugárzás	3000	300
Összes mesterséges eredetű sugárzás	600	60
Összesen	3600	360

Az USA népességének éves sugárdózis megoszlása



Az évi teljes átlagos effektív dózis 82%-a természetes eredetű, melynek a zöme, 55 %-a a radontól származik. A maradék 18% zöme az orvosi röntgen vizsgálatokból és radioaktív gyógyászati készítmények alkalmazásából adódik. A teljes nukleáris energiatermelés részaránya kisebb mint 0,1%!

•Kozmogén radionuklidok

A világűrből kozmikus részecskezápör éri a földet (nagy sebességű nehéz részecskék, protonok, fotonok, müonok). A légkör felső része kölcsönhatásba lép a kozmikus sugárzással és radioaktív nuklidok jönnek létre. Ez a jelenség FOLYAMATOS!

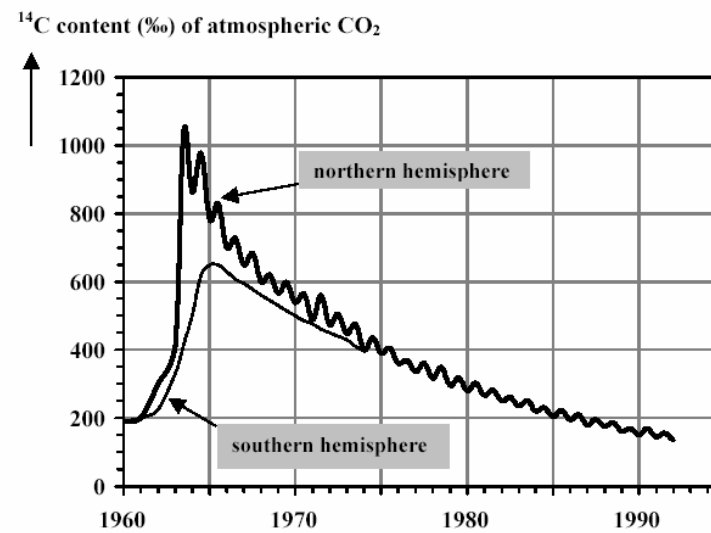
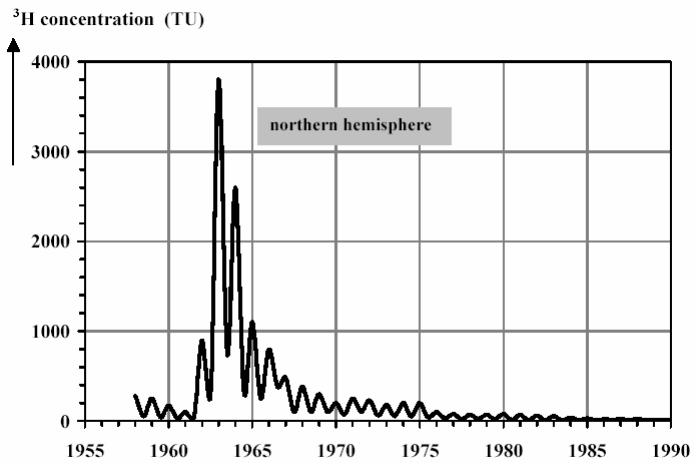
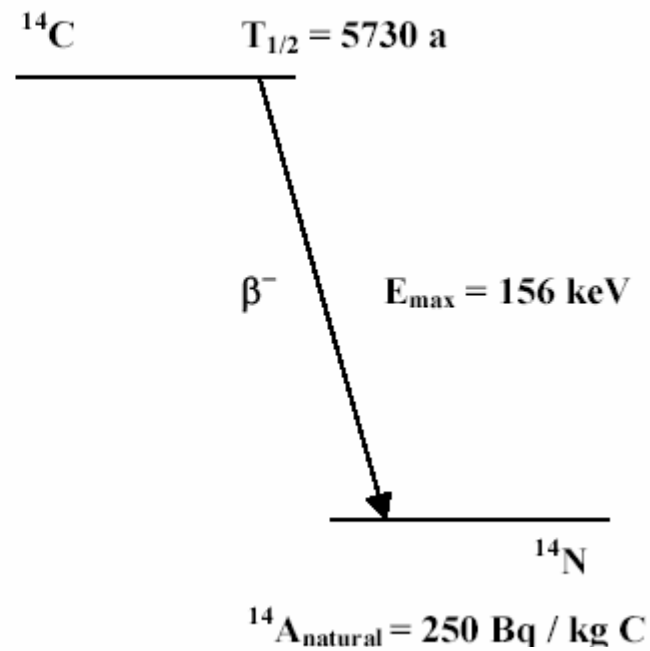
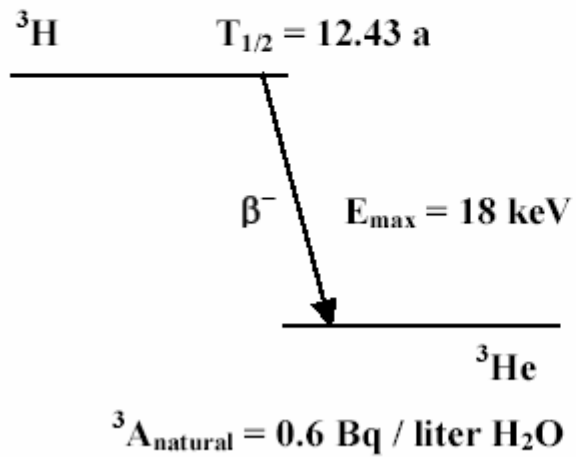
Mennyiségük a környezetben közel állandó (folytonosan keletkeznek és elbomlanak).

Kozmogén könnyű radionuklidok az esővízben

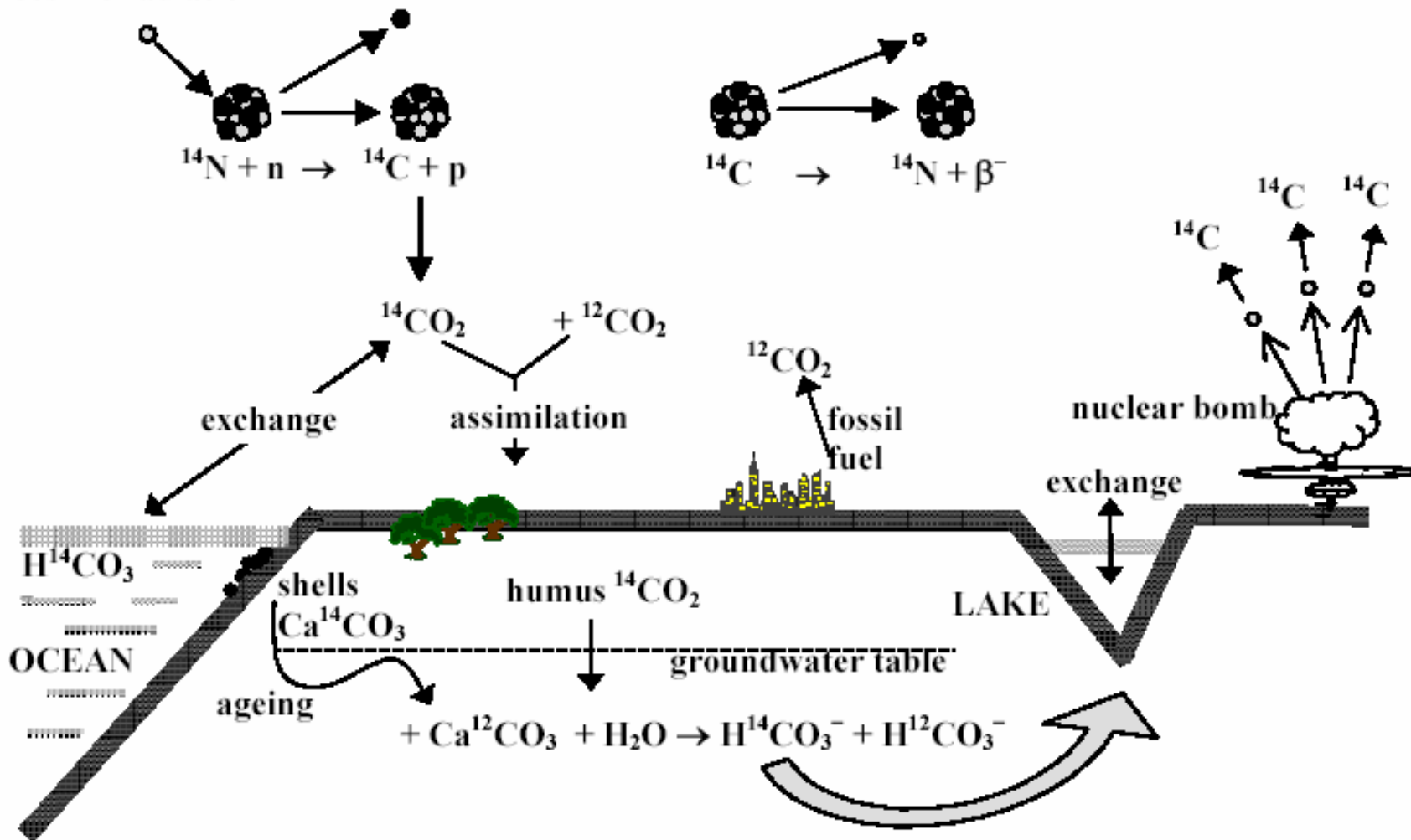
Nuklid	Bomlási mód	Keletkezési sebesség az atmoszférában Atom/(m ² .s)	Nuklid	Bomlási mód	Keletkezési sebesség az atmoszférában Atom/(m ² .s)
³ H	β, 12,35y	2500	³² P	β ⁻ , 13,3d	-
⁷ Be	EC, 53,4d	81	³³ P	β ⁻ , 25,3d	-
¹⁰ Be	β ⁻ , 1,6.10 ⁶ y	360	³⁵ S	β ⁻ , 87,5 d	14
¹⁴ C	β ⁻ , 5746y	22000	³⁸ S	β ⁻ , 2,82h	-
²² Na	β ⁺ , 2,6y	0,6	^{34m} Cl,	γ, β ⁺ , 32min	-
²⁴ Na	β ⁻ , 15h	-	³⁶ Cl	β ⁻ , 3.10 ⁵ y	11
²⁸ Mg	β ⁻ , 21,1	-	³⁸ Cl	β ⁻ , 37,2min	-
²⁶ Al	β ⁺ , 7,16.10 ⁶ y	1,7	³⁹ Cl	β ⁻ , 56min	16
³¹ Si	β ⁻ , 2,62h	-	³⁹ Ar	β ⁻ , 269y	-
³² Si	β ⁻ , 280y	-	-	-	-

Kozmikus sugárzás hatására keletkezett radionuklidok

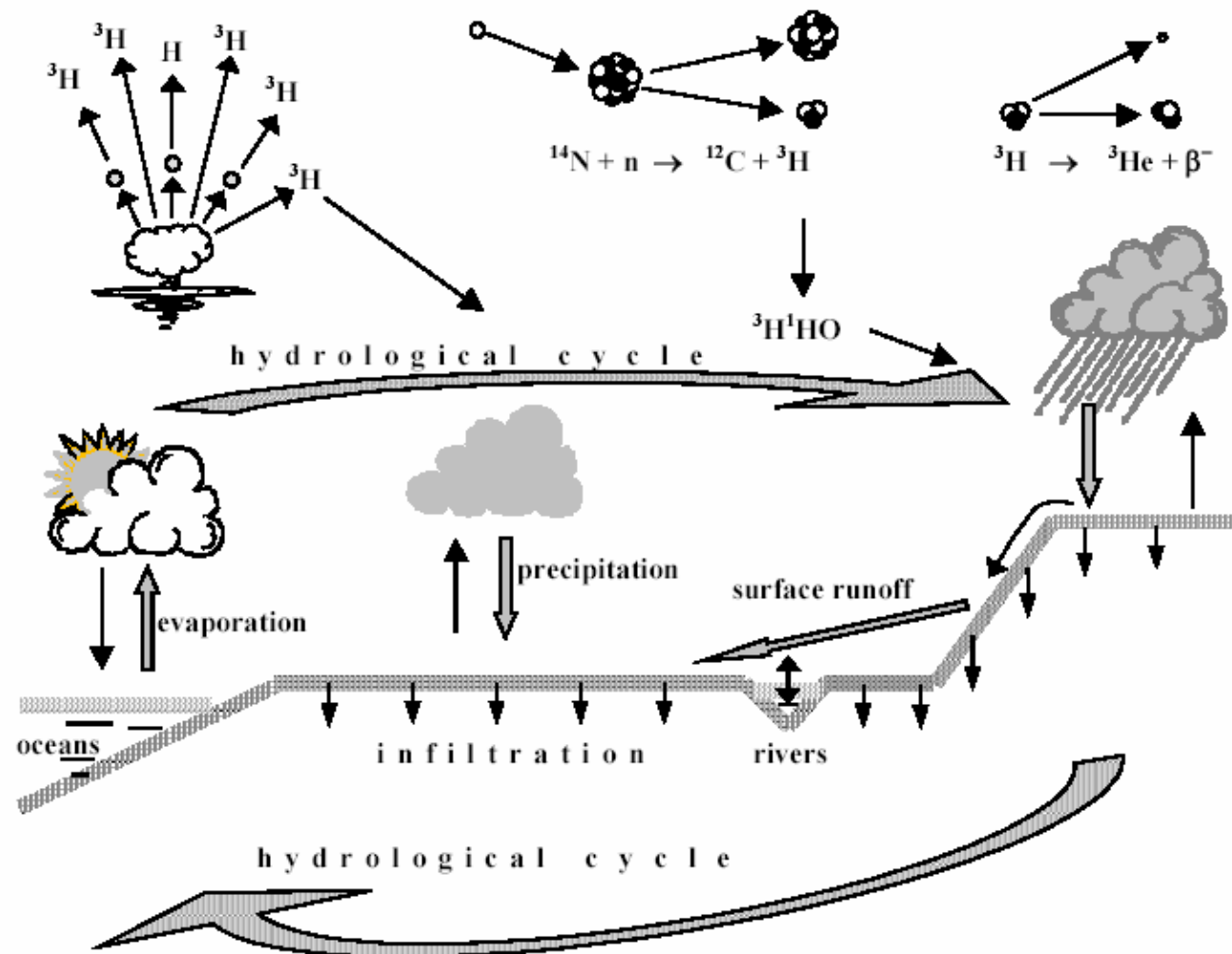
Radionuklid	Felezési idő	Elsődeleges keletkezés	Keletkezési sebesség (atom/(cm ² .s))	Előfordulása
¹⁰ Be	2,7.10 ⁶ y	Spalláció	4,5.10 ⁻²	Mélytengeri üledék
³⁶ Cl	3,1.10 ⁵ y	³⁵ Cl(n,γ) ³⁶ Cl	1,1.10 ⁻³	Szklák, eső
¹⁴ C	5568 y	¹⁴ N(n,p) ¹⁴ C	1,8	CO ₂ , szerves anyagok~(0,22 Bq/g)
³² Si	500 y	spalláció	1,5.10 ⁻⁴	Tengeri szivacsok,tengervíz
³ H	12,3 y	Spalláció ¹⁴ N(n, ³ H) ¹² C	0,25	Víz, levegő ~1,2 mBq/kg
²² Na	2,6 y	Spalláció	5,6.10 ⁻⁵	Eső, levegő, szerves anyagok
³⁵ S	88 d	Spalláció	1,4.10 ⁻³	Eső, levegő, szerves anyagok
⁷ Be	53 d	Spalláció	8,1.10 ⁻²	Eső, levegő
³³ P	25 d	Spalláció	6,8.10 ⁻⁴	Eső, levegő, szerves anyagok
³² P	14,3 d	Spalláció	8,1.10 ⁻⁴	Eső, levegő, szerves anyagok
²⁷ Na	15,1 h	Spalláció	-	Eső
³⁸ S	2,9 h	Spalláció	-	Eső
³⁹ Cl	55 min	⁴⁰ Au(μ ⁻ ,n) ³⁹ Cl	1,6.10 ⁻³	Eső
³⁸ Cl	37 min	spalláció	-	eső



cosmic radiation



A ^{14}C mozgása a környezetben



A ^3H mozgása a környezetben

•Primordiális (ősi) nuklidok

A föld keletkezésekor jöttek létre. Az eltelt néhány milliárd év miatt már csak a föld életkorával összevethető felezési idejű primordiális nuklidok vannak jelen. Ezért a környezeti radioaktivitásnak ezen része (ha igen lassan is) CSÖKKEN.

Fontosabb primordiális egyszerű bomlású radionuklidok

Nuklid	Előfordulás az izotópok között (%)	Bomlási mód	Felezési idő
⁴⁰ K	0,0119	β ⁻ , EC	1,3.10 ¹⁹ y
⁵⁰ V	0,24	EC	6.10 ¹⁵ y
⁸⁷ Rb	27,85	β ⁻	4,7.10 ¹⁰ y
¹¹³ Cd	12,3	β ⁻	9.10 ¹⁰ y
¹¹⁵ In	95,72	β ⁻	6.10 ¹⁴ y
¹²³ Te	0,87	EC	1,24.10 ¹³ y
¹³⁸ La	0,089	β ⁻ , EC	1,3.10 ¹¹ y
¹⁴⁴ Nd	23,85	α	2,1.10 ¹⁵ y
¹⁴⁷ Sm	15,0	α	1.1.10 ¹¹ y
¹⁴⁸ Sm	11,2	α	7.10 ¹⁵ y
¹⁵² Gd	0,20	α	1,1.10 ¹⁴ y
¹⁵⁶ Dy	0,06	α	2.10 ¹⁴ y
¹⁷⁶ Lu	2,6	β ⁻	3.10 ¹⁰ y
¹⁷⁴ Hf	0,18	α	2.10 ¹⁵ y
¹⁸⁷ Re	62,6	β ⁻	5.10 ¹⁰ y
¹⁸⁶ Os	1,6	α	2.10 ¹⁵ y
¹⁹⁰ Pt	0,0127	α	6.10 ¹¹ y

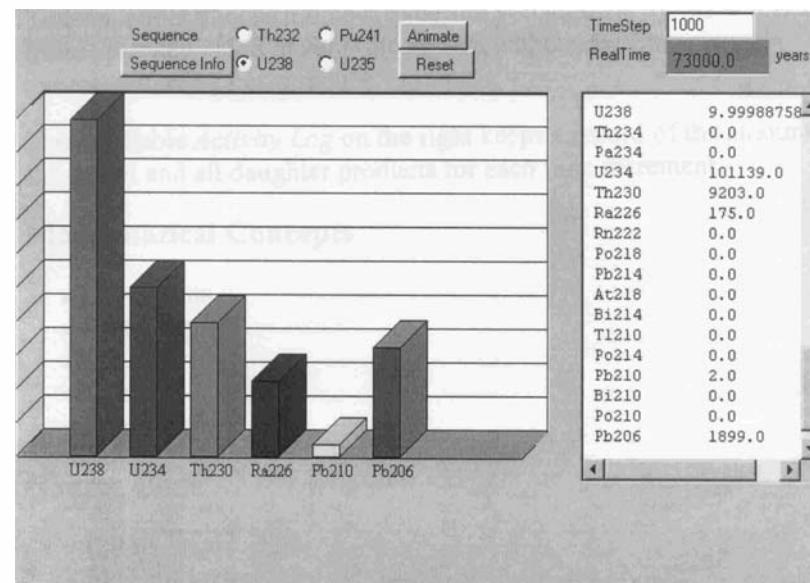
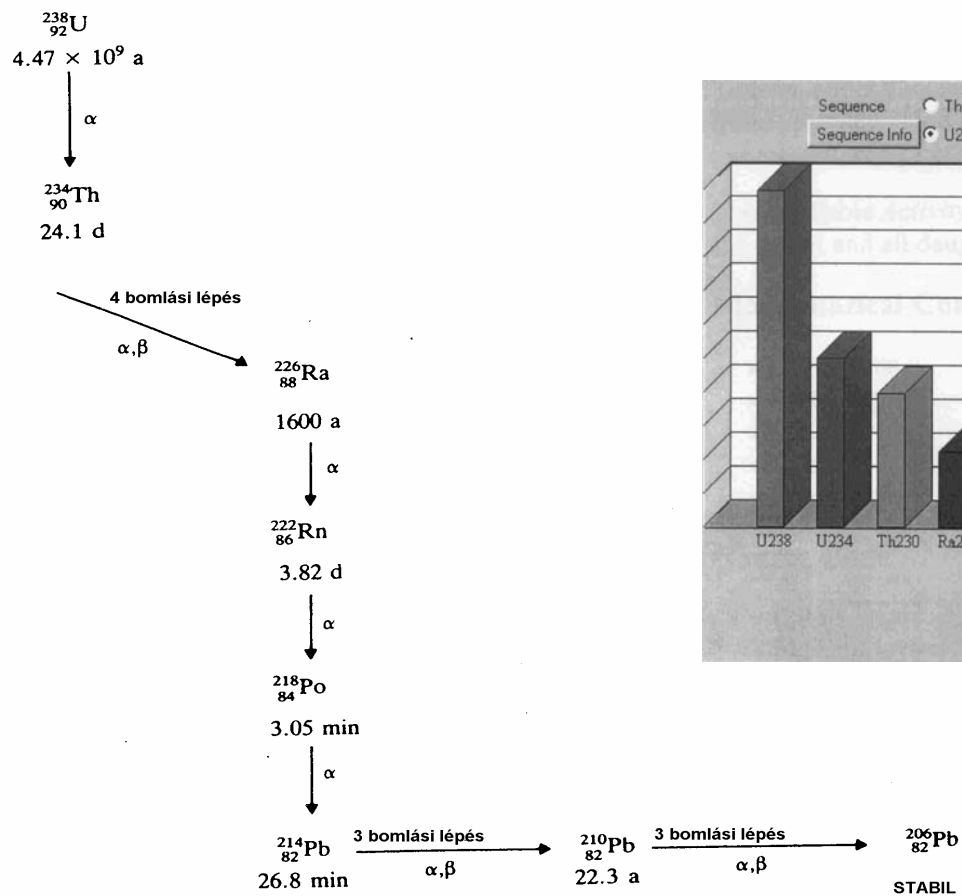
BOMLÁSI SOROK FONTOSABB PRIMORDIÁLIS TAGJAI

Nuklid	Jele	Felezési ideje	természetes aktivitás
Urán-235	²³⁵ U	7.04 × 10 ⁸ yr	0.72% az összes természetes uránon belül
Urán-238	²³⁸ U	4.47 × 10 ⁹ yr	99.2745% az összes természetes uránon belül; 0.5 - 4.7 ppm az összes urán tartalom a főbb szikla anyagokban
Tórium-232	²³² Th	1.41 × 10 ¹⁰ yr	1.6- 20 ppm a főbb szikla anyagokban (átlagosan 10.7 ppm)
Rádium-226	²²⁶ Ra	1.60 × 10 ³ yr	0.42 pCi/g (16 Bq/kg) mészkőben 1.3 pCi/g (48 Bq/kg) vulkáni kőzetben
Radon-222	²²² Rn	3.82 days	Nemesgáz,; éves átlagos levegő koncentráció az USA-ban 0.016 pCi/L (0.6 Bq/m ³) és 0.75 pCi/L (28 Bq/m ³) között
*Kálium-40	⁴⁰ K	1.28 × 10 ⁹ yr	talajban - 1-30 pCi/g (0.037-1.1 Bq/g)

* NEM BOMLÁSI SOR TAGJA

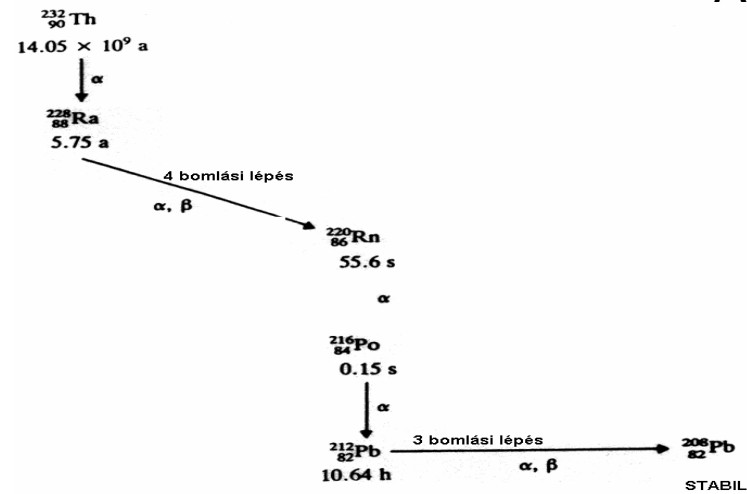
Az U-238 bomlási sora (4n+2)

(a) AZ U-238 BOMLÁSI SORA



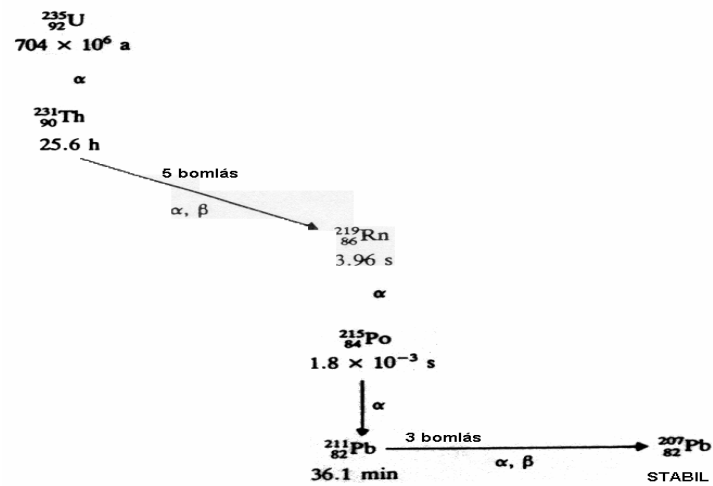
A Th-232 bomlási sora (4n)

(b) A TÓRIUM BOMLÁSI SOROZATA (4N SOROZAT)



Az U-235 bomlási sora (4n+3)

(c) AZ U-235 BOMLÁSI SOROZATA (4N+3 SOROZAT)



A TÓRIUM-232 ÉS AZ U-235 BOMLÁSI SORAI

Természetes radioaktivitás a környezeti elemekben:

•Talaj

Egy $7,9 \cdot 10^5 \text{ m}^3$ -es talajrétegben ($1609\text{m} \times 1609\text{m} \times 0,3\text{m}$) átlagosan az alábbi radioaktív izotóp mennyiségek fordulnak elő:

Radionuklid	Fajlagos aktivitás	A radionuklid mennyisége	Az adott talajréteg összaktivitása
Urán	0.7 pCi/g (25 Bq/kg)	2,200 kg	0.8 Ci (31 GBq)
Tórium	1.1 pCi/g (40 Bq/kg)	12,000 kg	1.4 Ci (52 GBq)
K-40	11 pCi/g (400 Bq/kg)	2000 kg	13 Ci (500 GBq)
Rádium	1.3 pCi/g (48 Bq/kg)	1.7 g	1.7 Ci (63 GBq)
Radon	0.17 pCi/g (10 kBq/m ³) talaj	11 μg	0.2 Ci (7.4 GBq)
		Összesen:	>17 Ci (>653 GBq)

•Óceánok

az óceánok becsült térfogata $1,3 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$. A vizükben lévő radioaktív izotópok becsült

Mennyisége:

Óceánok becsült természetes radioaktivitása

Radionuklid	Fajlagos aktivitás	Összaktivitás az óceánban		
		Csendes ó.	Atlanti ó.	Összes ó.
Urán	0.9 pCi/L (33 mBq/L)	6×10^8 Ci (22 EBq)	3×10^8 Ci (11 EBq)	1.1×10^9 Ci (41 EBq)
K-40	300 pCi/L (11 Bq/L)	2×10^{11} Ci (7400 EBq)	9×10^{10} Ci (3300 EBq)	3.8×10^{11} Ci (14000 EBq)
H-3	0.016 pCi/L (0.6 mBq/L)	1×10^7 Ci (370 PBq)	5×10^6 Ci (190 PBq)	2×10^7 Ci (740 PBq)
C-14	0.135 pCi/L (5 mBq/L)	8×10^7 Ci (3 EBq)	4×10^7 Ci (1.5 EBq)	1.8×10^8 Ci (6.7 EBq)
Rb-87	28 pCi/L (1.1 Bq/L)	1.9×10^{10} Ci (700 EBq)	9×10^9 Ci (330 EBq)	3.6×10^{10} Ci (1300 EBq)

•Élelmiszerek

Minden élelmiszerben van több kevesebb radioaktív izotóp, így ^{40}K , ^{226}Ra , ^{238}U és ezek bomlástermékei.

Élelmiszerek természetes radioaktivitása

Élelmiszer	⁴⁰ K pCi/kg	²²⁶ Ra pCi/kg
Banán	3,520	1
Paradió	5,600	1,000-7,000
Sárgarépa	3,400	0.6-2
Burgonya	3,400	1-2.5
Sör	390	---
Vörös húsok	3,000	0.5
Nagy hüvelyű zöldbab	4,640	2-5
Ivóvíz	---	0-0.17

•Emberi test

Belégzéssel, étkezéssel, ivással jutnak be a szervezetünkbe. Egy 70 kg-os átlagos emberi testben átlagosan az alábbi radionuklidok vannak jelen:

Egy átlagos (70 kg) emberi test radioaktivitása

Radionuklid	A testben található összes mennyiség	A testben található összes aktivitás	Napi nuklid felvétel
Urán	90 μg	30 pCi (1.1 Bq)	1.9 μg
Tórium	30 μg	3 pCi (0.11 Bq)	3 μg
K-40	17 mg	120 nCi (4.4 kBq)	0.39 mg
Rádium	31 pg	30 pCi (1.1 Bq)	2.3 pg
C-14	95 μg	0.4 μCi (15 kBq)	1.8 μg
H-3	0.06 pg	0.6 nCi (23 Bq)	0.003 pg
Polónium	0.2 pg	1 nCi (37 Bq)	~0.6 μg

•Építőanyagok

Építőanyagok becsült átlagos radioaktív anyag tartalmát az alábbi táblázatban mutatjuk be:

Építőanyagok radioaktivitása

Építőanyag	Urán		Tórium		K-40	
	ppm	mBq/g (pCi/g)	ppm	mBq/g (pCi/g)	ppm	mBq/g (pCi/g)
Gránit	4.7	63 (1.7)	2	8 (0.22)	4.0	1184 (32)
Homokkő	0.4 5	6 (0.2)	1.7	7 (0.19)	1.4	414 (11.2)
Cement	3.4	46 (1.2)	5.1	21 (0.57)	0.8	237 (6.4)
Mészkeő (tömörített)	2.3	31 (0.8)	2.1	8.5 (0.23)	0.3	89 (2.4)
Homokkő (tömörített)	0.8	11 (0.3)	2.1	8.5 (0.23)	1.3	385 (10.4)
Száraz farostlemez	1.0	14 (0.4)	3	12 (0.32)	0.3	89 (2.4)
Gipsz melléktermék	13.7	186 (5.0)	16.1	66 (1.78)	0.0 2	5.9 (0.2)
Természetes gipsz	1.1	15 (0.4)	1.8	7.4 (0.2)	0.5	148 (4)
Fa	-	-	-	-	11.3	3330 (90)
Vályogtégla	8.2	111 (3)	10. 8	44 (1.2)	2.3	666 (18)

II. Mesterséges, ember által generált radioaktivitás

Körülbelül 80 éve tud az ember mesterséges radioaktív izotópokat előállítani. A környezetbe kerülő mesterséges radioaktív izotópok zöme eleinte a katonai légköri, földközeli, földalatti és víz alatti atombomba és hidrogén-bomba robbantási kísérletek során került a levegőbe, talajba, vízbe, biológiai szervezetekbe. Később az 1970-es évektől kezdve kibocsátóként egyre inkább az energetikai céllal használt atomerőművek és radioaktív hulladék feldolgozó művek (reprocesszáló művek) jelentkeztek. A környezetbe jutott mesterséges radioaktív izotópok mennyisége kicsi a természetes radioizotópok mennyiségéhez képest és az élettartamuk is rövidebb, mert kisebbek a felezési ideik. Néhány fontosabb környezetbe jutott mesterséges radioaktív izotóp jellemzőit a következő táblázatban foglaltuk össze:

Fontosabb mesterséges radionuklidok a környezetben

Radionuklid	Jele	Felezési ideje	Forrása
Trícium	^3H	12.3 yr	Atomfegyver kísérletek, hasadási reaktorok, reprocesszáló üzemek, atomfegyver gyártás
Jód-131	^{131}I	8.04 days	Hasadási termék atomfegyver kísérletből, hasadási reaktorból, orvosi (pajzsmirigy) kezelésből
Jód-129	^{129}I	1.57×10^7 yr	Hasadási termék atomfegyver kísérletekből és hasadási reaktorokból
Cézium-137	^{137}Cs	30.17 yr	Hasadási termék atomfegyver kísérletekből és hasadási reaktorokból
Stroncium-90	^{90}Sr	28.78 yr	Hasadási termék atomfegyver kísérletekből és hasadási reaktorokból
Technécium-99	^{99}Tc	2.11×10^5 yr	Az orvosi kísérletekben használt ^{99}Mo , bomlásterméke
Plutónium-239	^{239}Pu	2.41×10^4 yr	Az ^{238}U neutronnal való besugárzásával keletkezik atomfegyver kísérletekben és hasadási reaktorokban ($^{238}\text{U} + n \rightarrow ^{239}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Np} + \beta \rightarrow ^{239}\text{Pu} + \beta$)

- Am-241 Füstdetektorokban, festett felületek ólomtartalmának meghatározásánál, papír és acélgyártásnál a hengerelt termék vastagságának szabályozásánál, olajkutak fúrási helyének kijelölésénél alkalmazzák.
- Cd-109 Hulladékvas szortírozásnál, alkatrészek ellenőrzésénél alkalmazzák.
- Ca-47 Emlősök sejtműködésének és csontképződésének kutatásánál alkalmazzák.
- Cf-252 Légi szállításnál csomagok ellenőrzésénél, útépítésnél és építkezéseknél a talajnedvesség meghatározásánál, silókban tárolt anyagok nedvességtartalmának meghatározásánál alkalmazzák.
- C-14 Új hatóanyagok metabolizmusánál alkalmazzák annak ellenőrzésére, hogy nem keletkeznek mérgező melléktermékek.
- Cs-137 Rákos daganatok kezelésénél, radioaktív gyógyszerkészítmények pontos dózisának meghatározásánál, olajvezetékekben a folyadék áramlásának mérésére és ellenőrzésére, olajkutak homokos eltömődésének kimutatására, élelmiszerek, hatóanyagok és egyéb termékek töltési szintjének mérésére alkalmazzák.
- Cr-51 A vörös vértestek károsodásainak vizsgálatánál alkalmazzák.
- Co-57 A nukleáris gyógyászatban a diagnózisban és a vészes vérszegénység diagnózisánál alkalmazzák.

- Co-60 Sebészeti műszerek sterilizálásánál, ipari olajégők biztonsági vizsgálatánál, tartósításnál alkalmazzák.
- Cu-67 Rákos betegekbe monoclonális antitestekkel együtt bejuttatva, elősegíti az antitestek tumoros sejtekhez való kötődését és a sejt roncsolását.
- Cm-244 A bányászatban a fúrási iszap elemzésénél alkalmazzák.
- I-123 Pajzsmirigy rendellenességek megállapításánál alkalmazzák.
- I-129 In vitro diagnosztikai laboratóriumok detektáló készülékeinek ellenőrzésénél alkalmazzák.
- I-131 Pajzsmirigy rendellenességek diagnózisánál és kezelésénél alkalmazzák (pl. idősebb George Bush-t és feleségét kezelték).
- Ir-192 Csővezetékek, kazánok és repülőgép alkatrészek hegesztési varratainak ellenőrzésénél alkalmazzák.
- Fe-55 Galvanizáló oldatok elemzésénél alkalmazzák.
- Kr-85 Mosógépek és szárítók, sztereo rádiók és kávéfőzők indikátor lámpáiban, vékony műanyag, fém, textil, gumi, papír lemezek vastagságának mérésénél, por és szennyezőanyagok mérésénél alkalmazzák.

- Ni-63 Robbanóanyagok kimutatásánál, feszültségszabályozóknál, áramingadozás elleni védelemben alkalmazzák.
- P-32 Molekuláris biológiában és genetikai kutatásoknál alkalmazzák.
- Pu-238 Legalább 20 NASA űreszköz (pl. holdjáró) tápegységében alkalmazták.
- Po-210 Sztatikus töltések csökkentésére alkalmazzák lemezjátsszók lemezeinek, fotofilmek gyártásánál.
- Pm-147 elektromos védőtermosztátoknál, vékony műanyag, fém, gumi, textil és papír lemezek vastagságának mérésénél alkalmazzák.
- Ra-226 Villámhárítók hatásosságának növelésére alkalmazzák.
- Se-75 Protein elemzésénél alkalmazzák.
- Na-24 Ipari csővezetékek szivárgásainak megállapításánál, olajkutak vizsgálatánál alkalmazzák.
- Sr-85 Csontképződés és metabolizmus vizsgálatánál alkalmazzák.
- Tc-99m A nukleáris orvosi diagnosztika leggyakrabban alkalmazott izotópja. Agy, csont, máj, lép, és vese vizsgálatánál és a véráram tanulmányozásánál alkalmazzák különböző kémiai formáit.

- TI-204 Szűrőpapíron por és szennyezőanyag mennyiségének meghatározásánál, műanyag, fém, gumi, textil és papírlamezek vastagságának mérésénél alkalmazzák.
- Th+W ívhegesztő pálcákban a repülőgép gyártásban, kőolajipari gépgyártásban, élelmiszeripari gépgyártásban alkalmazzák. Könnyebb a hegesztés megkezdése, stabilabb az ív és kisebb a fémszennyezés.
- Th-229 Fluoreszcens fények élettartamát növeli.
- Th-230 Színes üvegeknél színezék és a fluoreszcenciát biztosítja.
- H-3 Élettani folyamatok és metabolizmusok vizsgálatánál, önvilágító repülőgépekben, vékony műanyag, fém, gumi, textil és papírlamezek vastagságának mérésénél alkalmazzák