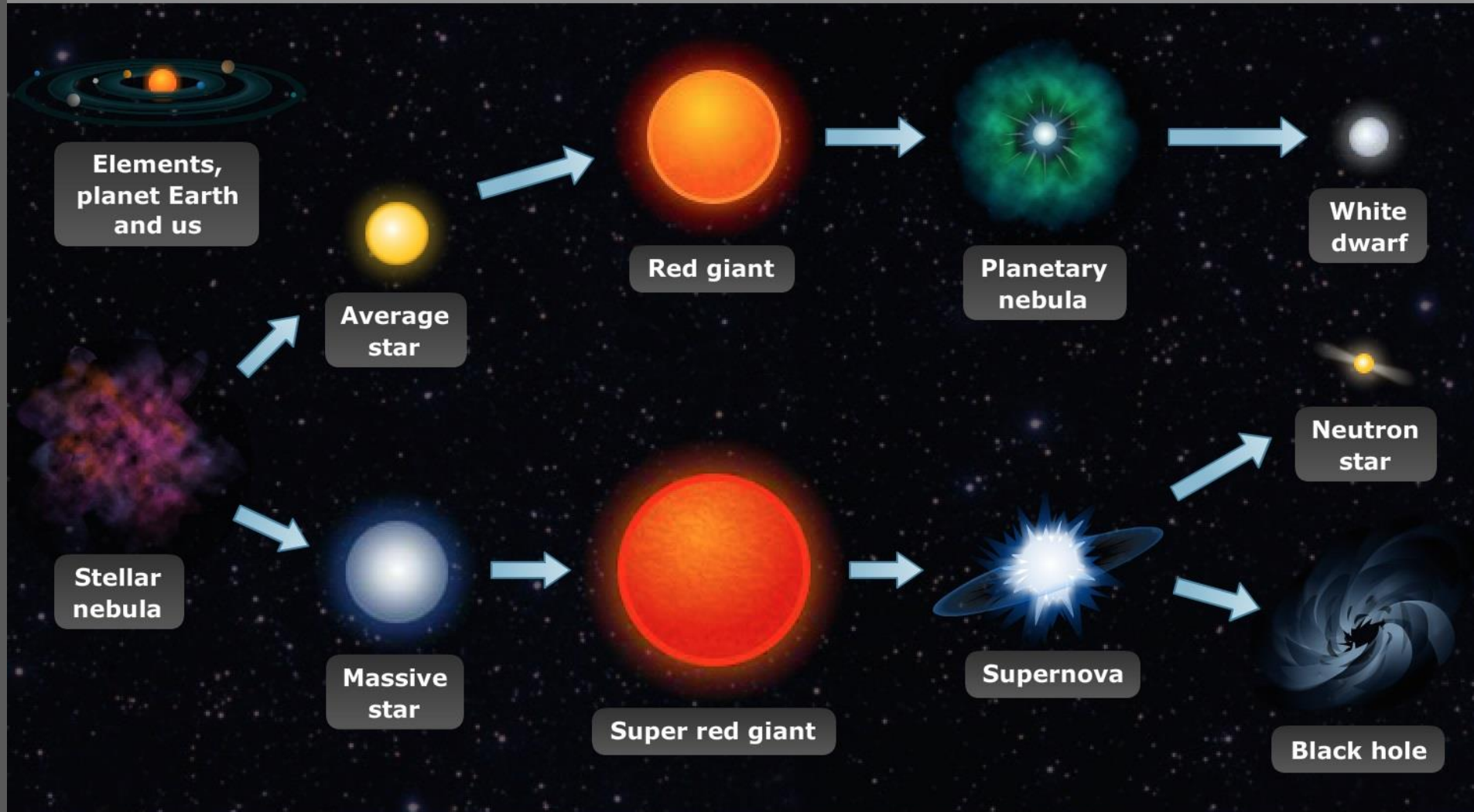


Originea elementelor chimice și a radioactivității

- Toate elementele și izotopii acestora găsiți pe Pământ, au fost generate în stele (*nove, supernove și hipernove*), cu excepția hidrogenului, deuteriului, heliului, heliului-3 și probabil și a unor cantități de izotopi stabili de litiu și beriliu care au fost creați în Big Bang (elemente primordiale).
 - *Aproximativ 73% din masa universului vizibil este sub formă de hidrogen*
 - *Heliul reprezintă aproximativ 25% din masă*
 - *2% dintre nucleele mai grele decât heliul prezente în univers au fost create ulterior în stele.*
- *Elementele până în zona Fe s-au format prin reacții de fuziune succesive în stele*
- *Există trei tipuri de procese în urma cărora se formează nucleele grele decât Fe:*
 - ✓ *Procese s (lente): - fluxul de neutroni prezent în plasma stelară este slab;*
 - ✓ *Procese r (rapide): - fluxul de neutroni prezent în plasma stelară este puternic;*
 - ✓ *Procese p: - procese în urma cărora se produc nuclee bogate în protoni și care, pe lângă absorbția neutronilor, mai necesită și alte tipuri de reacții nucleare*
- *Nuclizii primordiali reprezintă radioizotopii a 28 de elemente chimice distincte (cadmiu, neodim, samariu, telur, uraniu și xenon au fiecare câte doi radioizotopi primordiali)*
- *Se estimează că aproximativ 34 de nuclizi primordiali sunt radioactivi și care sunt aproape stabili, întrucât concurează ca abundență, cu izotopii stabili ai elementelor respective*
- *Trei elemente chimice (indiu, telur și reniu) au câte un nuclid radioactiv primordial cu durată de viață lungă și care se găsește într-o abundență superioară nuclidului stabil.*

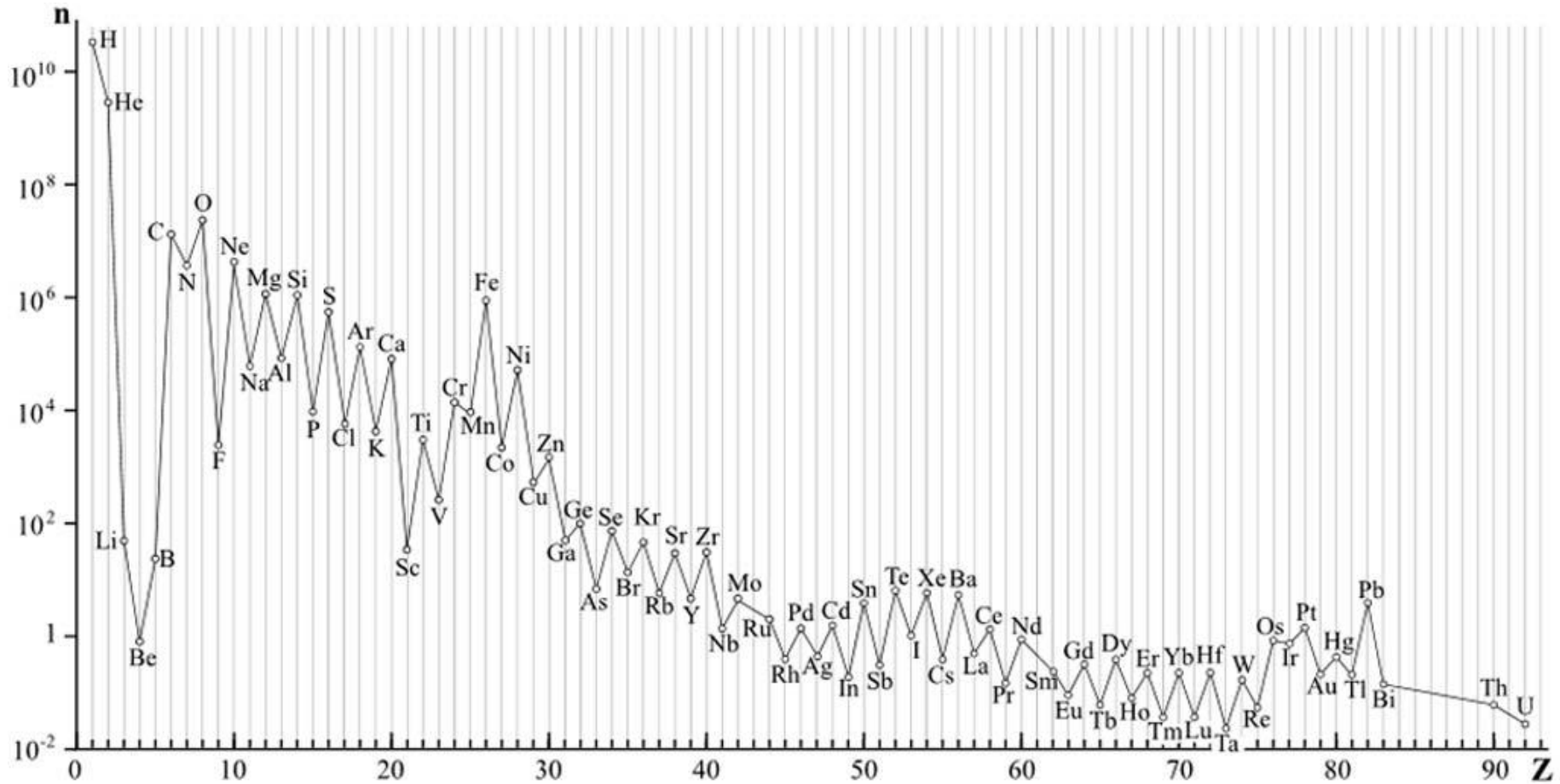
UNIVERSAL ELEMENT FORMATION



H 1	Big Bang										Cosmic Ray Spallation					He 2		
Li 3	Be 4	Low Mass Stars										Exploding Massive Stars						
Na 11		Mg 12		Exploding White Dwarfs										Exploding Neutron Stars?				
K 19		Ca 20		Nuclear Decay										Not Naturally Occuring				
B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10	Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36	
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54	
Cs 55	Ba 56	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86		
Fr 87	Ra 88	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	Nh 113	Fl 114	Mc 115	Lv 116	Ts 117	Og 118		
La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71				
Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103				

- Elementele cu mai mult de 83 de protoni au toți izotopii radioactivi
- Elementele cu mai mult de 92 de protoni au nuclee foarte instabile și au fost create prin reacții nucleare

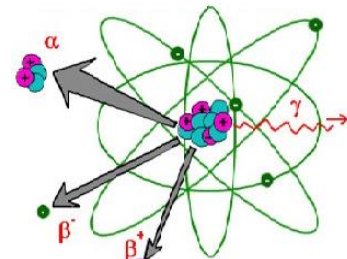
Abundența elementelor în Univers



Abundența elementelor scade exponențial cu numărul atomic (Z).

(Litiu, Beriliu și Bor sunt excepții)

Elementele radioactive



➤ *Radioactivitatea naturală provine din radioelementele produse în stele miliarde de ani în urmă*

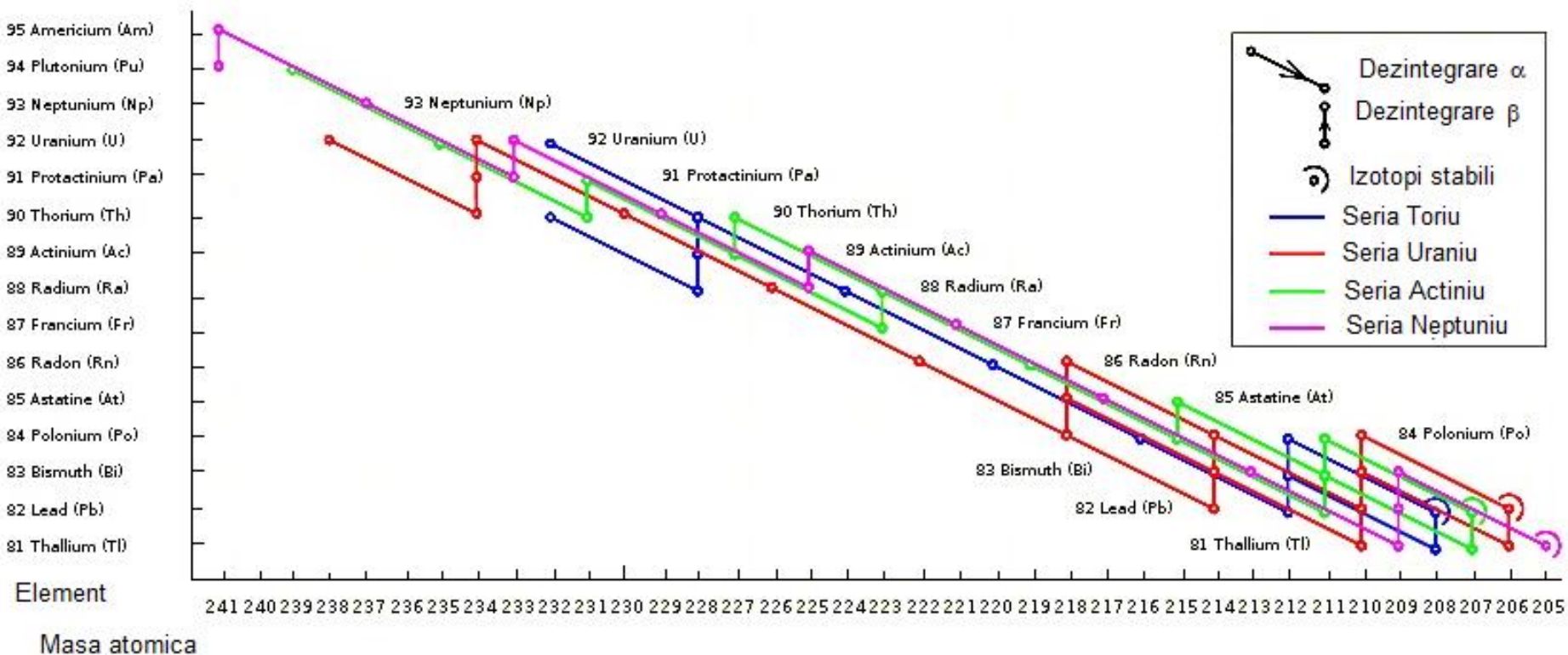
- Când s-a format Pământul, aproximativ în urmă cu 5 miliarde de ani, materia era formată din atomi **stabili** și **instabili**.
- În acest interval de timp majoritatea atomilor instabili s-au dezintegrat prin emisii radioactive și au sfârșit prin atingerea stabilității.
- Există totuși în mod natural atomi radioactivi:
 - radioizotopii caracterizați printr-un timp de înjumătățire foarte lung precum **uraniu-238** (4,5 miliarde de ani), **thoriu-232**, (14 miliarde ani) și **potasiu-40** (1,3 miliarde de ani) care nu au avut suficient timp pentru a se dezintegra complet de când au fost creați.
 - Descendenții radioactivi ai acestora, cum ar fi **radu-226**, care este în mod constant regenerat după dezintegrarea uraniului-238. **Radu-226** se transformă lent într-un gaz, **radon-222**, care este el însuși radioactiv;
 - radioizotopii creați prin acțiunea radiațiilor cosmice pe anumite nuclee atomice, de exemplu **carbon -14**, care se formează constant în atmosferă

❖ *Radiațiile și materialele radioactive constituie o parte naturală a vieții noastre!!!*

- Radioizotopii naturali sunt prezenți pe întreaga planetă:
 - ✓ atmosferă (Carbon-14, Radon-222)
 - ✓ scoarța terestră (uraniu-238 și uraniu-235, radu-226, etc.)
 - ✓ alimentație (potasiu-40)

Seriile radioactive

- **Serie radioactivă** - ansamblu de elemente radioactive care derivă unele din altele prin dezintegrări α și β ca rezultat al legii transmutației radioactive
 - ✓ prin dezintegrare α , numărul de masă A scade cu 4 unități și numărul atomic Z scade cu 2 unități, iar prin dezintegrarea β se obțin elemente izobar analoge
- **4 serii radioactive** - 3 serii naturale și 1 artificială;
 - Cap de serie: *toriul, neptuniu, uraniu și actiniu*.
 - Final de serie: izotopi stabili ai plumbului și bismutului



Seria Toriului

- Serie *naturală*
- Conține elemente cu numerele de masă divizibile prin 4 (*seria 4n*)

- Cap de serie:

Th-232, $T_{1/2} = 1.41 \times 10^{10}$ ani
 $\Lambda_s = 4.06$ MBq/Kg

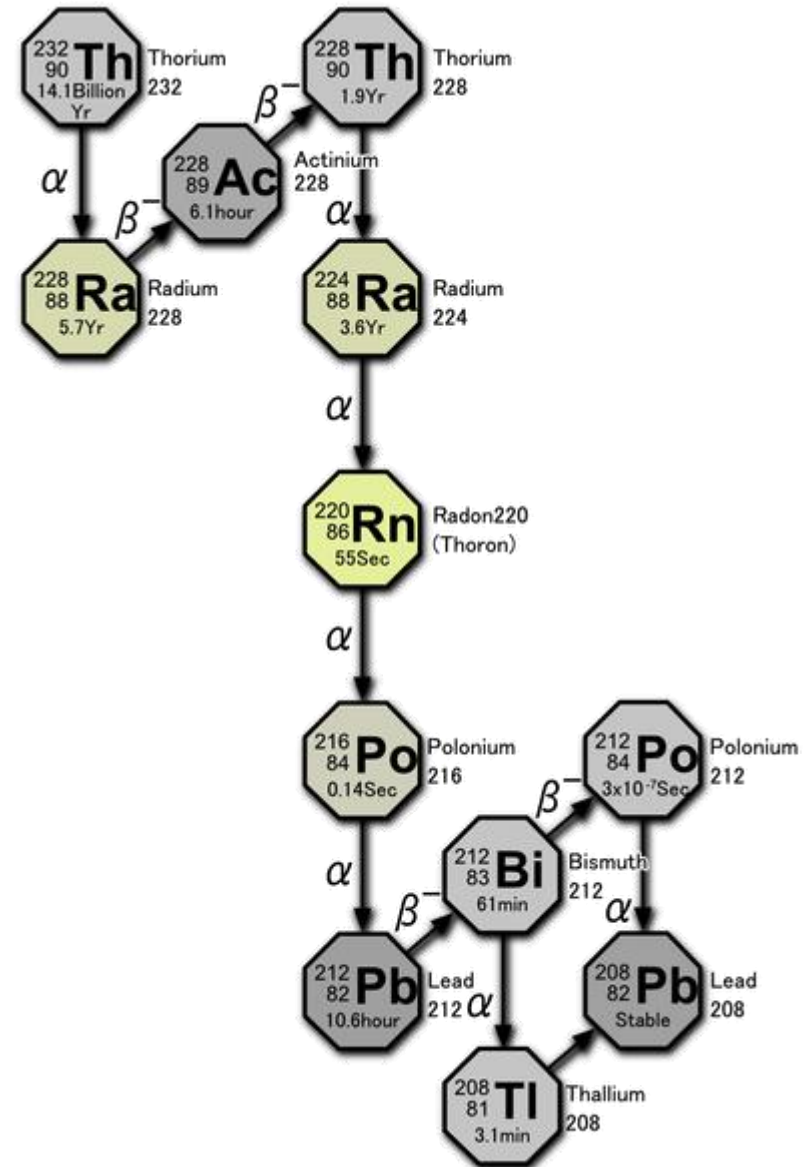
- Final de serie:

Pb-208 (stabil numit și *ThD*)

Emanația radioactivă:

Ra-228 (Toron), $T_{1/2} = 5.76$ ani

7 dezintegrări α și 5 dezintegrări β



Caracteristicile radioizotopilor din seria Toriului

Radioizotop (număr atomic)	Timpul de înjumătățire	Energia (MeV) intensitatea tranziției		
		α	β	γ
Th-232 (90)	1.405 x 10 ¹⁰ ani	3.95 (24%)		
		4.20 (75%)		
Ra-228 (88)	5.75 ani		0.046 (100%)	
Ac-228 (89)	6.15 ore		2.14(100%)	0.34c (15%)
				0.908 (25%)
				0.96c (20%)
Th-228 (90)	1.910 ani	5.34 (28%)		0.084 (1.6%)
		5.43 (71%)		0.214 (0.3%)
Ra-224 (88)	3.64 zile	5.45 (6%)		0.241 (3.7%)
		5.68 (94%)		
Fr-224 (87)	3.33 ani		2.83(100%)	
Rn-220 (86)	55 s	6.29 (100%)		0.55 (0.07%)
Po-216 (84)	0.15 s	6.78 (100%)		
At-216 (85)	0.3 ms	7.95 (100%)		
Pb-212 (82)	10.64 ore		0.346 (81%)	0.239 (47%)
			0.586 (14%)	0.300 (3.2%)
Bi-212 (83)	60.6 m	6.05 (25%)	1.55 (5%)	0.040 (2%)
		6.09 (10%)	2.26 (55%)	0.727 (7%)
			0.98 (6%)	1.620 (1.8%)
Po-212 (84)	304 ns	8.78 (100%)		
Tl-208 (81)	3.01 m		1.28 (25%)	0.511 (23%)
			1.52 (21%)	0.583 (86%)
			1.80 (50%)	0.860 (12%)
				2.614 (100%)
Pb-208 (82)	Stabil			

Seria Neptuniului.

- Serie *artificială*
- Conține nuclide cu numerele de masă împărțite la 4 cu rest 1 (*seria 4n+1*).

- Cap de serie:

Np-237 $T_{1/2} = 2.14 \times 10^6$ ani

- Final de serie:

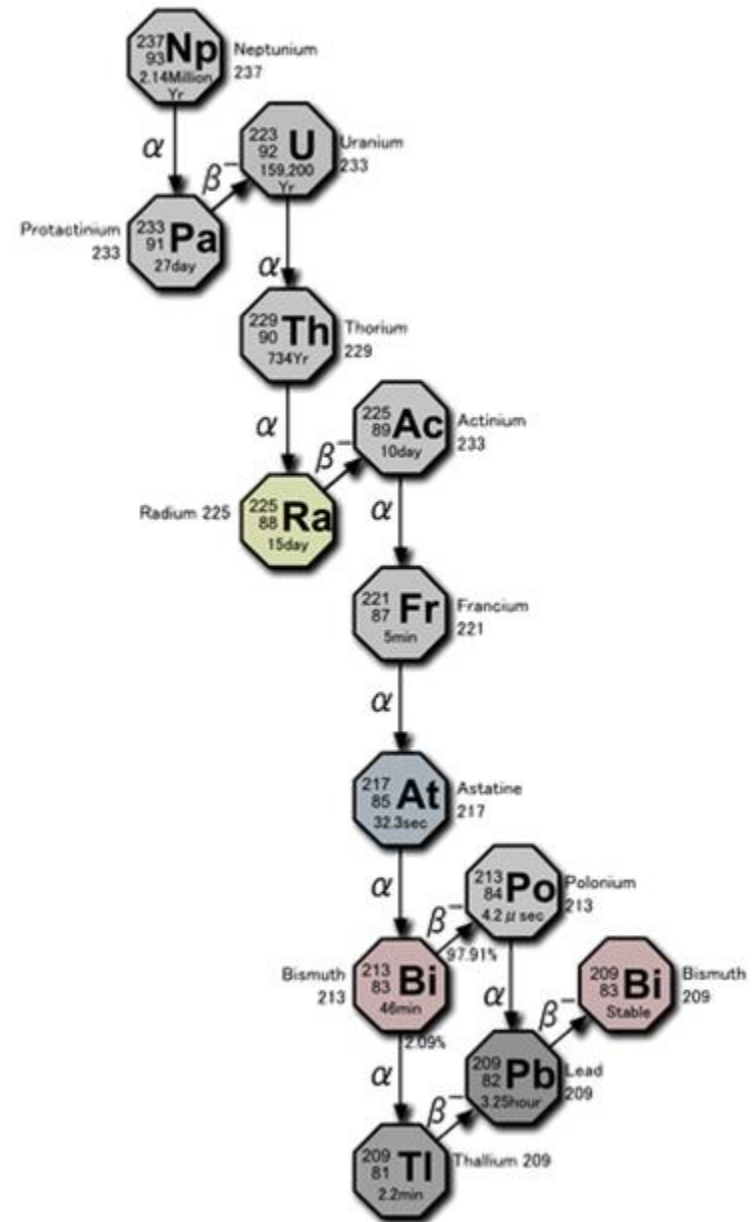
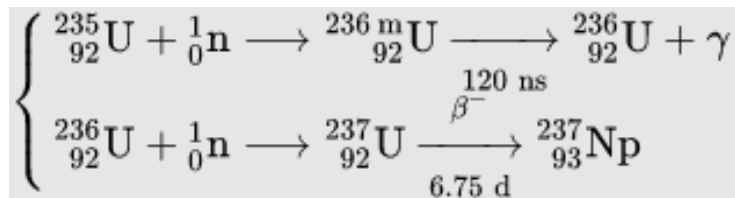
Bi -209

Emanăția radioactivă:

Actiniu-225 (action)

8 dezintegrări α și 5 dezintegrări β

- ✓ Elementul ${}_{93}\text{Np}^{237}$ a fost sintetizat pentru prima dată de **Edwin McMillan** și **Philip H. Abelson** "Radiation Laboratory" Berkeley în 1940. De atunci, majoritatea neptuniului a fost și încă este produs prin iradierea cu neutroni a uraniului în reactoare nucleare.



Caracteristicile radioizotopilor din seria Neptuniului

Radioizotop (număr atomic)	Timpul de înjumătățire	Energia (MeV) intensitatea tranziției		
		α	β	γ
Np-237 (93)	2.144 x 10⁶ ani	4.8 (49%) 4.7 (45%)		
Pa-233 (91)	26.97 zile		0.57 (100%)	
U-233 (92)	1.59x10⁵ ani	4.91 (100%)		
Th-229 (90)	7340 ani	5.167(100%)		
Ra-225 (88)	14.9 zile		0.36(100%)	0.04(30%)
Ac-225 (89)	10 zile	5.93 (100%)		
Fr-221 (87)	4.9 m	6.46 (100%)		
At-217 (85)	32.3 ms	7.2 (99.9%)	0.74(0.012%)	
Bi-213 (83)	45.6 m	5.98 (2.1%)	1.43 (97.9%)	
Po-213 (84)	4.2 us	8.54 (100%)		
Tl-209 (81)	2.2 m		3.98 (100%)	
Pb-209 (82)	3.25 ore		0.64 (100%)	
Bi-209 (83)	stabil			

Seria Uraniului.

- Serie *naturală*
- Conține elemente cu numerele de masă divizibile prin 4 cu rest 2 (*seria 4n+2*)

- Cap de serie:

U-238 $T_{1/2} = 4.46 \times 10^9$ ani
 $\Lambda_s = 25.4$ MBq/Kg (uraniu natural)

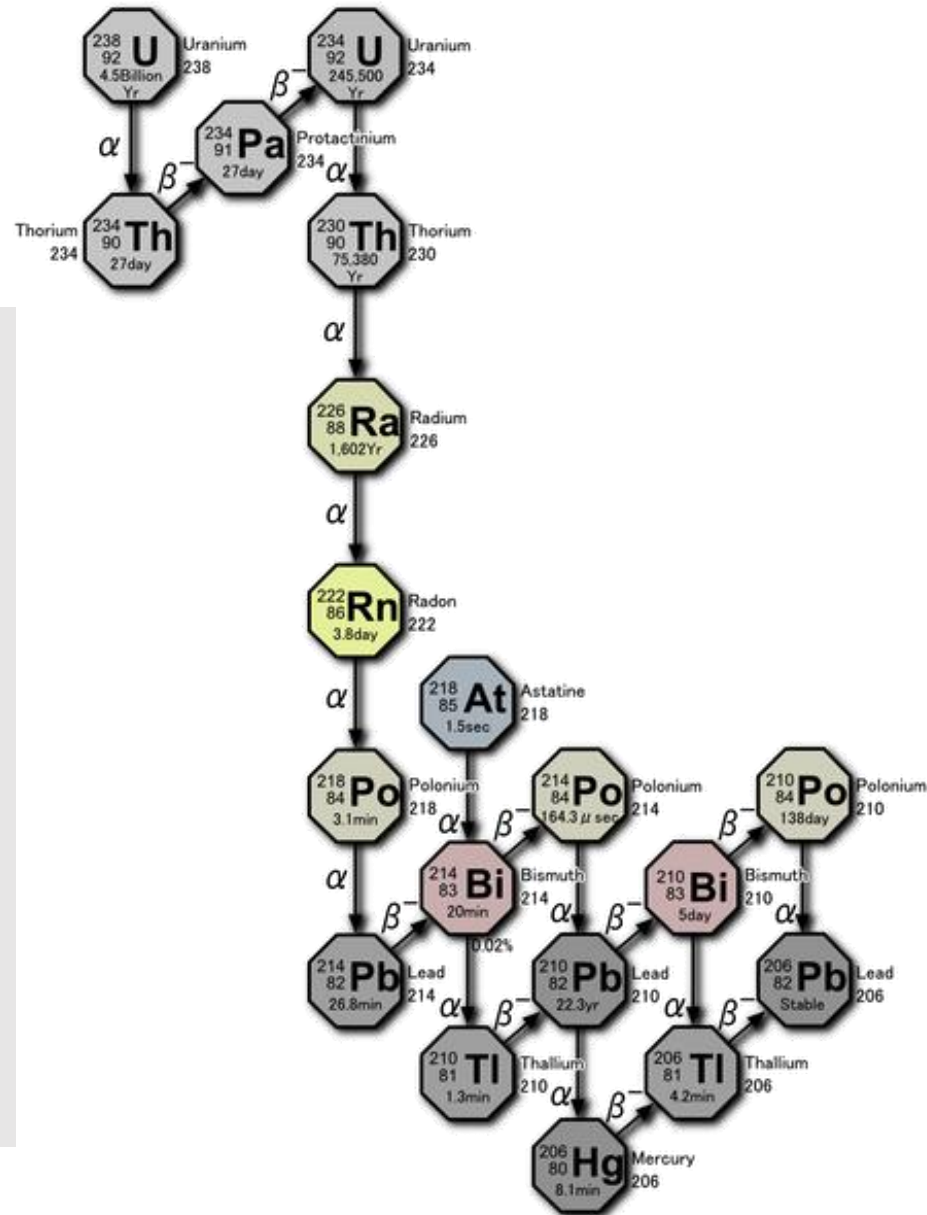
- Final de serie:

Pb -206

Emanația radioactivă:

Rn-222 (radon)

8 dezintegrări α și 6 dezintegrări β



Caracteristicile radioizotopilor din seria Uraniului

Radioizotop (număr atomic)	Timpul de înjumătățire	Energia (MeV) intensitatea tranziției		
		α	β	γ
U-238 (92)	4.51 x 10 ⁹ ani	4.15 (25%)		
		4.20 (75%)		
Th-234 (90)	24.1 zile		0.103 (21%)	0.063c (4%)
			0.193 (79%)	0.093c (4%)
Pa-234m (91)	1.17 m		2.29 (98%)	0.765 (0.3%)
				1.001 (0.6%)
U-234 (92)	2.47 x 10 ⁵ ani	4.72 (28%)		0.53 (0.2%)
		4.77 (72%)		
Th-230 (90)	8.0 x 10 ⁴ ani	4.62 (24%)		0.068 (0.6%)
		4.68 (76%)		0.142 (0.07%)
Ra-226 (88)	1602 ani	4.60 (6%)		0.186 (4%)
		4.78 (95%)		
Rn-222 (86)	3.82 zile	5.49 (100%)		0.510 (0.07%)
Po-218 (84)	3.05 m	6.00 (~100%)	0.33 (~0.02%)	
Pb-214 (82)	26.8 m		0.65 (50%)	0.295 (19%)
			0.71 (40%)	0.352 (36%)
			0.98 (6%)	
Bi-214 (83)	19.7 m	5.45 (0.012%)	1.0 (23%)	0.609 (47%)
		5.51 (0.008%)	1.51 (40%)	1.120 (17%)
			3.26 (19%)	1.764 (17%)
Po-214 (84)	164 :s	7.69 (100%)		0.799 (0.014%)
Pb-210 (82)	21 zile		0.016 (85%)	0.047 (4%)
			0.061 (15%)	
Bi-210 (83)	5.01 zile	4.65 (0.00007%)	1.161 (~100%)	
		4.69 (0.00005%)		
Po-210 (84)	138.4 zile	5.305 (100%)		0.803 (0.0011%)
Pb-206 (82)	Stabil			

Seria Actiniului

- Serie *naturală*
- Conține elemente cu numerele de masă divizibile prin 4 cu rest 2 (*seria $4n+3$*)

- Cap de serie:

U-235 $T_{1/2} = 7.04 \times 10^8$ ani

$\Lambda_s = 8 \cdot 10^4$ MBq/Kg

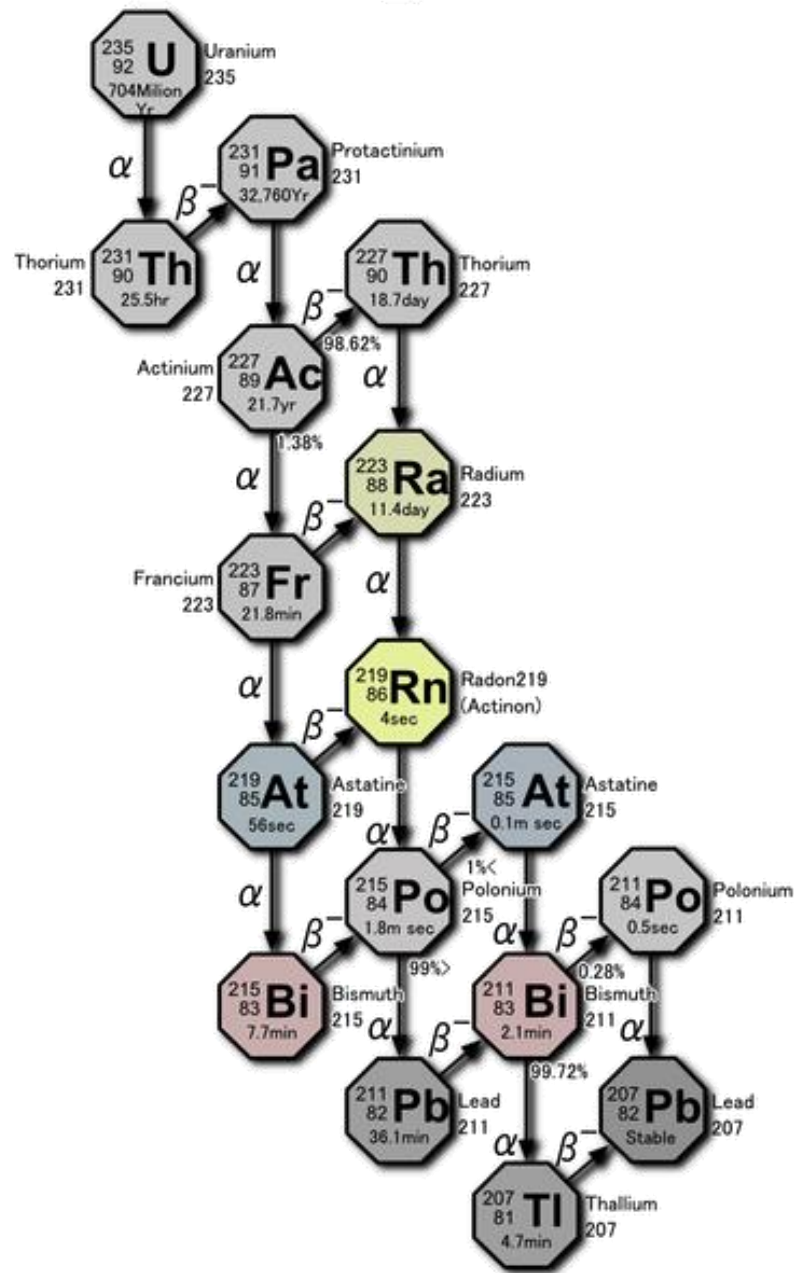
- Final de serie:

Pb -207

Emanația radioactivă:

Rn-223 (radon)

7 dezintegrări α și 4 dezintegrări β

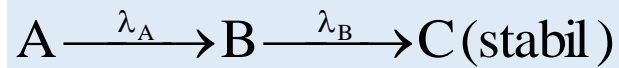


Caracteristicile radioizotopilor din seria Actiniului

Radioizotop (număr atomic)	Timpul de înjumătățire	Energia (MeV) intensitatea tranziției		
		α	β	γ
U-235 (92)	7.1 x 10 ⁸ ani	4.37 (18%)		0.143 (11%)
		4.40 (57%)		0.185 (54%)
		4.58c (8%)		0.204 (5%)
Th-231 (90)	25.5 ore		0.140 (45%)	0.026 (2%)
			0.220 (15%)	0.084c (10%)
			0.305 (40%)	
Pa-231 (91)	3.25 x 10 ⁴ ani	4.95 (22%)		0.027 (6%)
		5.01 (24%)		0.29c (6%)
		5.02 (23%)		
Ac-227 [†] (89)	21.6 ani	4.86c (0.18%)	0.043 (~99%)	0.70 (0.08%)
		4.95 (1.2%)		
Th-227 (90)	18.2 zile	5.76 (21%)		0.050 (8%)
		5.98 (24%)		0.237c (15%)
		6.04 (23%)		0.31c (8%)
Ra-223 (88)	11.43 zile	5.61 (26%)		0.149c (10%)
		5.71 (54%)		0.270 (13%)
		5.75 (9%)		0.33c (6%)
Rn-219 (86)	4.0 s	6.42 (8%)		0.272 (9%)
		6.55 (11%)		0.401 (5%)
		6.82 (81%)		
Po-214 (84)	1.78 ms	7.38 (~100%)	0.74 (~0.0002%)	
Pb-211 (82)	36.1 m		0.29 (1.4%)	0.405 (3.4%)
			0.56 (9.4%)	0.427 (1.8%)
			1.39 (87.5%)	0.832 (3.4%)
Bi-211 [†] (83)	2.15 m	6.28 (16%)	0.60 (0.28%)	0.351 (14%)
		6.62 (84%)		
Tl-207 (81)	4.79 m		1.44 (99.8%)	0.897 (0.16%)
Pb-207 (82)	Stabil			

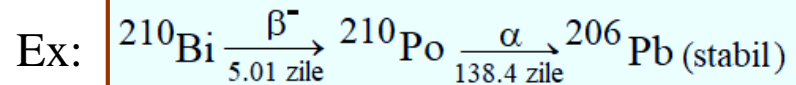
Cinetica dezintegrărilor succesive

➤ Considerăm o succesiune de doi radioizotopi



λ_A și λ_B sunt constantele de dezintegrare

$$N_A(t) = N_A^0 e^{-\lambda_A t}$$



N_A^0 - numărul inițial de izotopi de tip A (izotopi generatori)

➤ Prin dezintegrarea nucleelor A, se formează nuclee de tip B (izotopi derivați) a căror număr este dat de soluția ecuației de bilanț:

$$\frac{dN_B}{dt} = \lambda_A N_A - \lambda_B N_B \quad \text{unde} \quad N_B(t) = N_B^0 e^{-\lambda_B t}$$

așadar
$$\frac{dN_B}{dt} = \lambda_A N_A^0 e^{-\lambda_A t} - \lambda_B N_B$$

Înmulțind cu $e^{\lambda_B t}$ ambii termeni și rearanjând relația, se obține:

$$e^{\lambda_B t} \frac{dN_B}{dt} + e^{\lambda_B t} \lambda_B N_B = \lambda_A N_A^0 e^{(\lambda_B - \lambda_A)t} \quad \text{sau} \quad \frac{d}{dt} (N_B e^{\lambda_B t}) = \lambda_A N_A^0 e^{(\lambda_B - \lambda_A)t}$$

prin integrare
$$N_B e^{\lambda_B t} = \frac{\lambda_A N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A} e^{(\lambda_B - \lambda_A)t} + C$$

Constanta de integrare C se poate determina din condițiile inițiale:

$$t = 0 \Rightarrow N_B = N_B^0 = 0 \Rightarrow C = -\frac{\lambda_A N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A}$$

așadar
$$N_B = \frac{\lambda_A N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t})$$
 și
$$\Lambda_B = \lambda_B N_B = \frac{\lambda_A \lambda_B N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t})$$

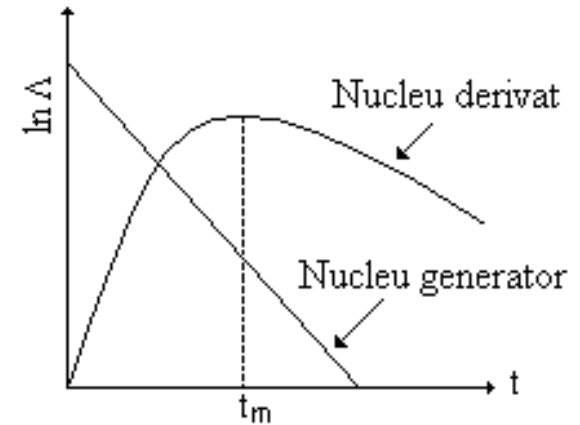
- Activitatea maximă a izotopilor derivați

$$\frac{d\Lambda_B}{dt} = 0 \Rightarrow t_m = \frac{1}{\lambda_A - \lambda_B} \ln \frac{\lambda_A}{\lambda_B}$$

- Activitatea totală

$$\Lambda = \Lambda_A + \Lambda_B = \lambda_A N_A^0 e^{-\lambda_A t} + \frac{\lambda_A \lambda_B N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t})$$

(ecuația Bateman)



- Între activitatea nucleelor derivate și activitatea nucleelor generatoare se poate stabili raportul:

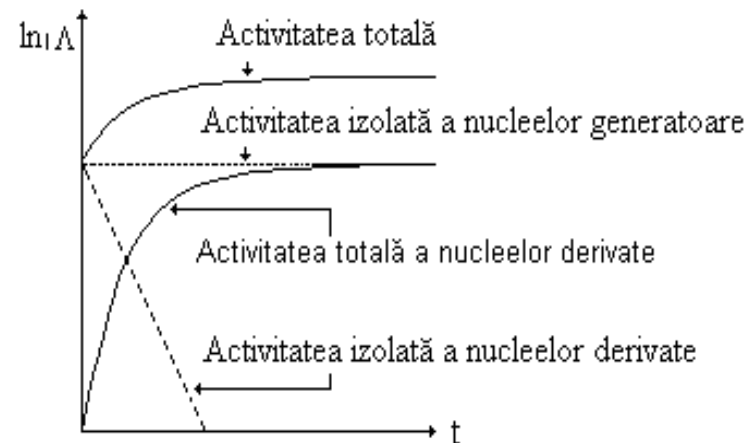
$$\frac{\Lambda_B}{\Lambda_A} = \frac{\lambda_B}{\lambda_B - \lambda_A} \left[1 - e^{-(\lambda_B - \lambda_A)t} \right]$$

Obs

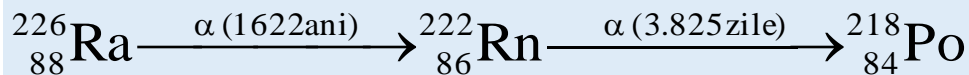
- variația în timp a raportului dintre activitatea nucleelor generatoare și activitatea nucleelor derivate, este o funcție dependentă de constantele de dezintegrare
- în funcție de raportul valorilor constantelor de dezintegrare, se stabilesc diferite **stări de echilibru radioactiv**

a) Echilibrul secular: $\lambda_A \ll \lambda_B$ ($T_{\frac{1}{2}}^A \gg T_{\frac{1}{2}}^B$) $\Rightarrow e^{-\lambda_B t} \rightarrow 0, \frac{\lambda_A}{\lambda_B} \rightarrow 0$

$$\frac{\Lambda_B}{\Lambda_A} = \frac{1}{1 - \frac{\lambda_A}{\lambda_B}} \left[1 - e^{-\lambda_B \left(1 - \frac{\lambda_A}{\lambda_B}\right) t} \right] \cong 1 \Rightarrow \Lambda_A \cong \Lambda_B$$



➤ Exemplu: echilibrul secular *radu-radon*



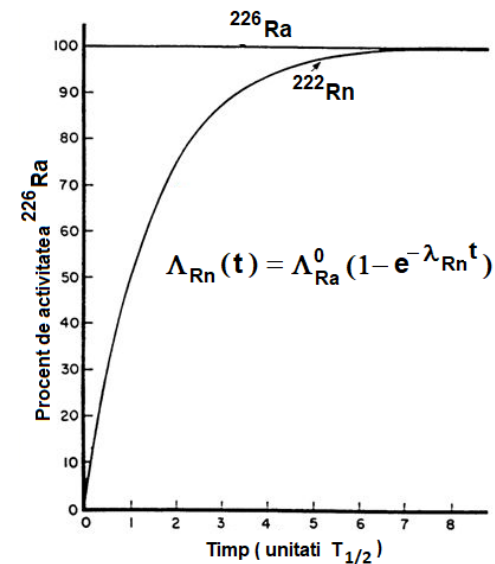
✓ Activitatea *1 g de radu pur* în echilibru secular cu *radonul* ($T = 0^\circ\text{C}$ și $P = 760 \text{ mm col.Hg}$):

✓ Știind că $\lambda_{\text{Ra}} N_{\text{Ra}} = \lambda_{\text{Rn}} N_{\text{Rn}}$

✓ Nr. atomi de radon generați: $N_{\text{Rn}} = 1.76 \times 10^{16}$ atomi

$$N_{\text{Ra}} = \frac{N_A}{A} = \frac{6.023 \times 10^{23}}{226}; \lambda_{\text{Ra}} = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}^{\text{Ra}}}; \lambda_{\text{Rn}} = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}^{\text{Rn}}}$$

Activitatea va fi: $\Lambda_{\text{Rn}} = \lambda_{\text{Rn}} N_{\text{Rn}} = 3.7 \times 10^{10} \frac{\text{dez.}}{\text{sec.}} = 1\text{Ci}$



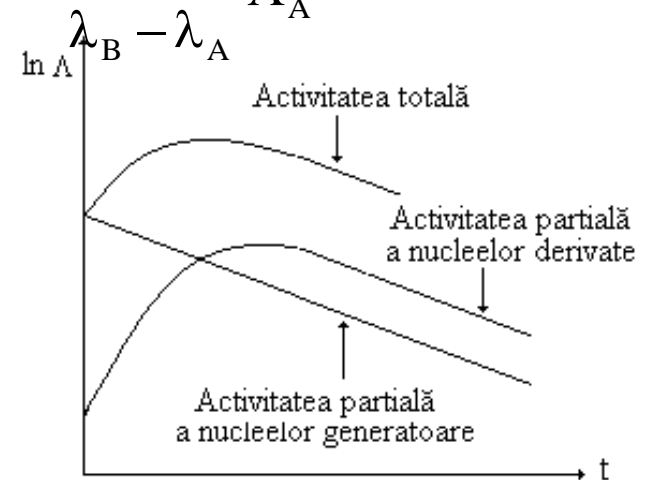
➤ Această valoare a activității unui gram de radu pur aflat la echilibru secular cu radonul, s-a luat ca unitate de măsură a activității și poartă numele de *Curie (Ci)*:

b) Echilibrul tranzient $\lambda_A < \lambda_B$ ($T_{\frac{1}{2}}^A > T_{\frac{1}{2}}^B$)

$\lambda_A < \lambda_B$, pe intervalul temporal $t < t_{max}$, $\Rightarrow e^{-\lambda_B t} \ll e^{-\lambda_A t}$ și ca urmare

$$\Lambda_B = \frac{\lambda_A \lambda_B N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}) \approx \frac{\lambda_A \lambda_B N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A} e^{-\lambda_A t} = \frac{\lambda_B}{\lambda_B - \lambda_A} \Lambda_A$$

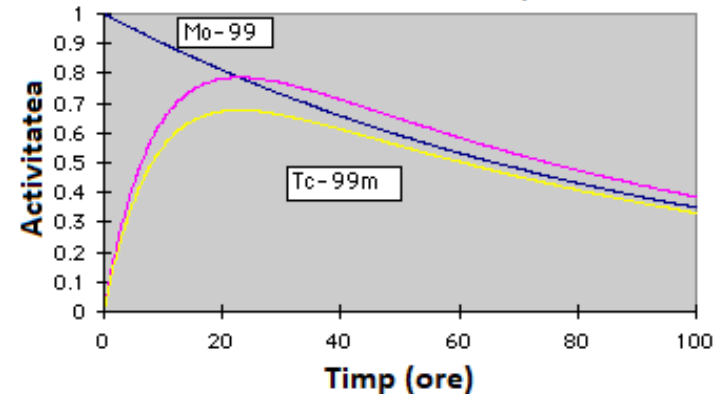
➤ După atingerea unei valori maxime, activitatea nucleelor derivate scade în același raport cu activitatea nucleelor generatoare; *se stabilește un echilibru tranzient între activitățile celor două specii radioactive*



➤ Activitatea totală

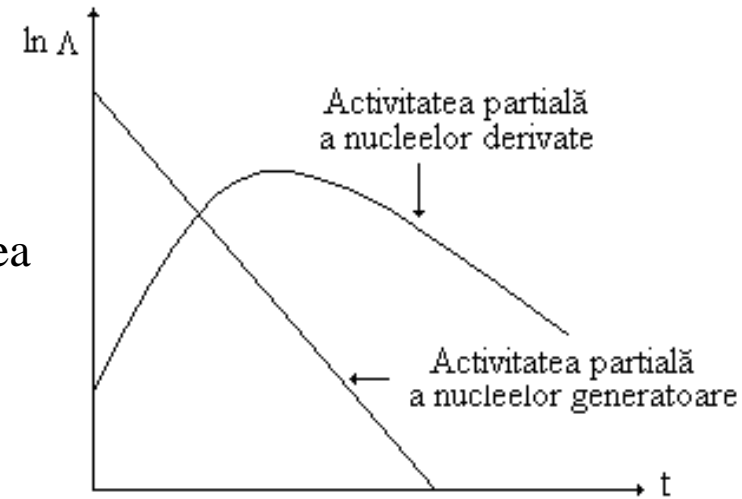
$$\Lambda = \Lambda_A + \Lambda_B = \Lambda_A \left(1 + \frac{\lambda_B}{\lambda_B - \lambda_A} \right)$$

Echilibru tranzient Mo-99, Tc-99m



c) Dacă $\lambda_A \approx \lambda_B$; Între nucleele generatoare și nucleele derivate nu se stabilește nici un fel de echilibru.

- După atingerea unei valori maxime a activității nucleelor derivate, activitatea acestora scade după legea proprie de dezintegrare, determinată de constanta de dezintegrare λ_B , fără nici o corelare cu activitatea nucleelor generatoare.



- Dacă între timpii de înjumătățire există o diferență mică ($\delta \ll 1$)

$$T_{\frac{1}{2}}^A = T_{\frac{1}{2}}^B (1 + \delta) \Rightarrow \lambda_A - \lambda_B = \lambda_B \frac{\delta}{1 + \delta} \Rightarrow \frac{\Lambda_B}{\Lambda_A} = \frac{\delta + 1}{\delta} \left(1 - e^{-\lambda_B \left(\frac{\delta}{\delta + 1} \right) t} \right)$$

- Prin dezvoltarea exponențialei în serii Taylor în jurul $\delta=0$ și neglijând termenii de ordin superior, rezultă

$$\frac{\Lambda_B}{\Lambda_A} = \lambda_B t \left(1 - \frac{\delta}{\delta + 1} \frac{\lambda_B t}{2} + \dots \right) \cong \lambda_B t \Rightarrow \Lambda_B = \Lambda_A \lambda_B t$$

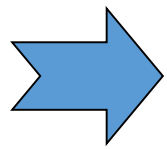
- Activitatea totală a unei astfel de surse va fi dată de relația:

$$\Lambda = \Lambda_A + \Lambda_B = \Lambda_A (1 + \lambda_B t)$$

d) Dacă $\lambda_A > \lambda_B$; izotopii elementului generator se dezintegrează mai repede decât ai elementului derivat.

➤ O astfel de situație este întâlnită în procesele de obținere a surselor izotopice prin separare izotopică din materiale radioactive naturale.

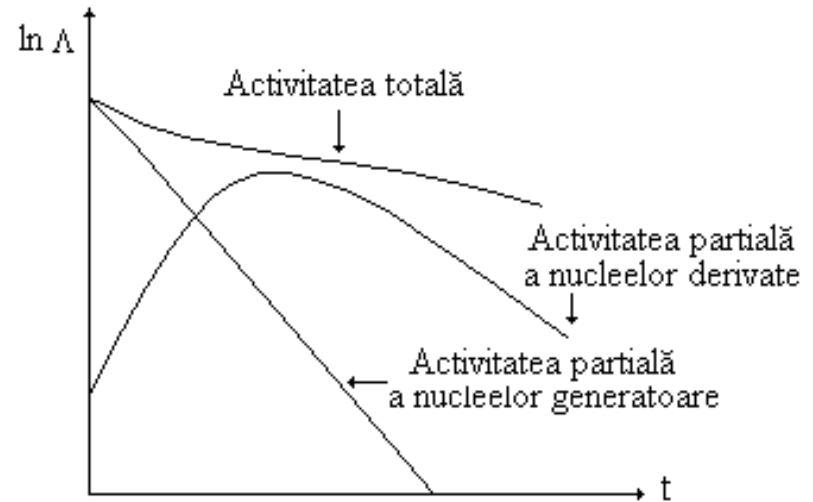
$\lambda_A > \lambda_B$, pentru un timp suficient de mare ($t \rightarrow \infty$) $e^{-\lambda_A t} \ll e^{-\lambda_B t}$



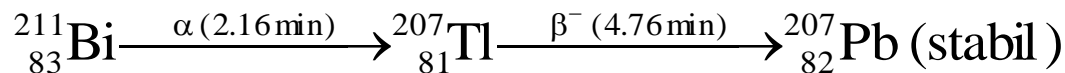
$$\Lambda_B = \frac{\lambda_A \lambda_B N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A} \left(e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t} \right) \cong \frac{\lambda_B \Lambda_0^A}{\lambda_A - \lambda_B} e^{-\lambda_B t}$$

$$\frac{\Lambda_B}{\Lambda_A} = \frac{\lambda_B}{\lambda_A - \lambda_B} \frac{e^{-\lambda_B t}}{e^{-\lambda_A t}} \xrightarrow{t \rightarrow \infty} \infty$$

➤ activitatea sursei după un interval destul de lung se datorește preponderent radioizotopilor derivați



➤ Un exemplu este cazul obținerii surselor de Taliu (Tl) emițătoare de radiații β^- din lanțul de dezintegrări:



➤ Pentru un șir de dezintegrări succesive, adică pentru descrierea unor serii radioactive, relațiile pot fi generalizate

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_i}{dt} = \lambda_{i-1} N_{i-1} - \lambda_i N_i$$

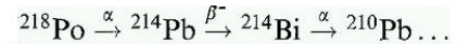
$$\frac{dN_n}{dt} = -\lambda_{n-1} N_{n-1}$$

$$N_1 = N_0 e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_0 [e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}]$$

$$N_i = N_0 \left[\frac{\lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_i}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_i - \lambda_1)} e^{-\lambda_1 t} - \frac{\lambda_1 \lambda_3 \dots \lambda_i}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_2 - \lambda_3) \dots (\lambda_2 - \lambda_i)} e^{-\lambda_2 t} - \dots - \frac{\lambda_1 \lambda_3 \dots \lambda_i}{(\lambda_i - \lambda_1)(\lambda_2 - \lambda_i) \dots (\lambda_{i-1} - \lambda_i)} e^{-\lambda_i t} \right]$$

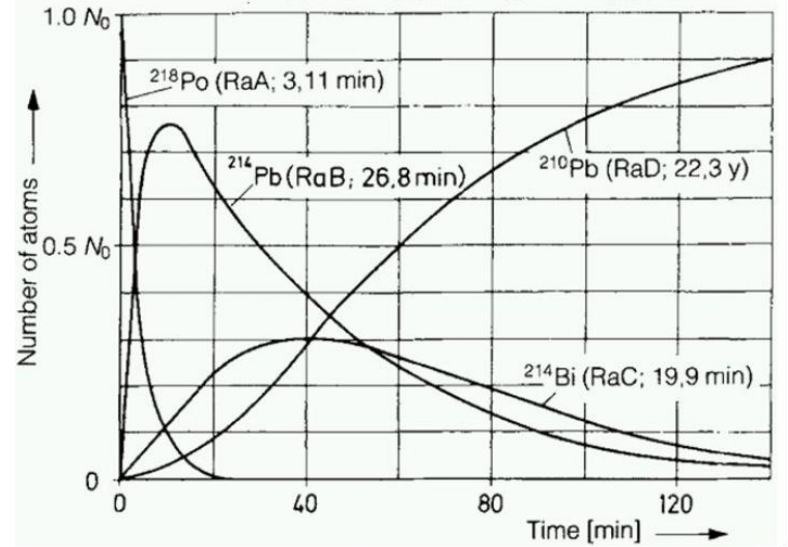
$$N_n = N_0 - (N_1 + N_2 + \dots + N_i)$$



➤ Soluțiile sistemului de ecuații cu condițiile inițiale: $t=0, N_1=N_0$ și $N_2=N_3=\dots=N_I=\dots=N_n=0$, dau variația numărului de nuclee în timp a fiecărei specii

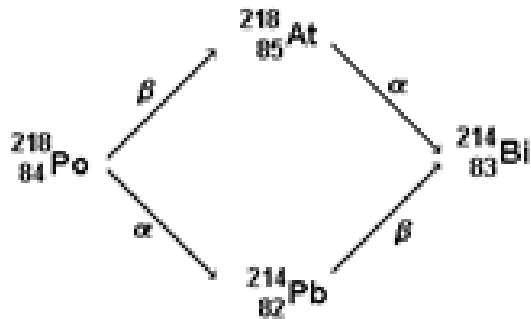
➤ Activitățile vor fi:

$$\Lambda_i = \lambda_i N_i \quad (i = 1 \dots n)$$

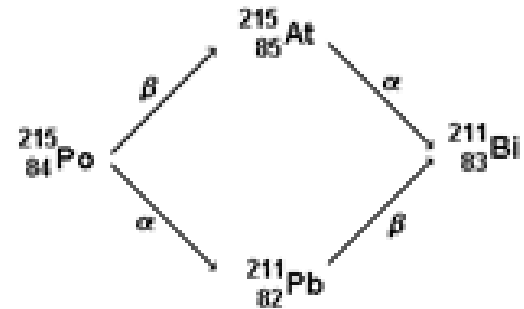


Cinetica dezintegrărilor cu formare simultană a doi descendenți

- Există o serie de radioizotopi care se pot dezintegra simultan prin emisie atât de radiație α cât și de radiație β .

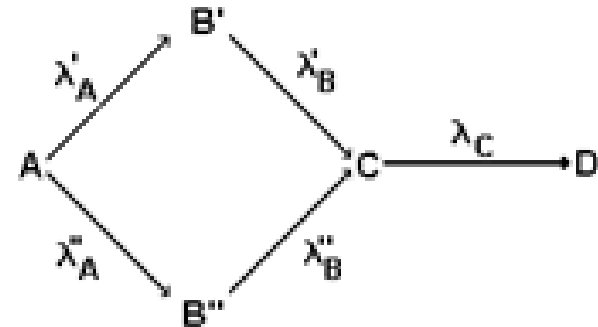


Seria Uraniului



Seria Actiniului

- Pentru deducerea cineticii de dezintegrare, să considerăm cazul general al unui proces de dezintegrare cu formare a doi descendenți:



- Izotopul A se poate dezintegra în două moduri, fiecare fiind caracterizat de constante de dezintegrare parțiale; constanta de dezintegrare totală este suma constantelor de dezintegrare parțiale:

$$\lambda_A = \lambda'_A + \lambda''_A$$

- Variația numărului de nuclee de tip A nu este influențată de constantele de dezintegrare parțiale ci doar de constanta de dezintegrare totală
- Ecuațiile de bilanț ale proceselor de dezintegrare:

$$\frac{dN_A}{dt} = -\lambda'_A N_A - \lambda''_A N_A = -(\lambda'_A + \lambda''_A) N_A = -\lambda_A N_A$$

$$\frac{dN'_B}{dt} = \lambda'_A N_A(t) - \lambda'_B N'_B(t)$$

$$\frac{dN''_B}{dt} = \lambda''_A N_A(t) - \lambda''_B N''_B(t)$$

$$\frac{dN_C}{dt} = \lambda'_B N'_B(t) + \lambda''_B N''_B(t) - \lambda_C N_C$$



$$\frac{dN_C}{dt} + \lambda_C N_C = \frac{\lambda'_A \lambda'_B N_A^0}{\lambda'_B - \lambda'_A - \lambda''_A} \left[e^{-(\lambda'_A + \lambda''_A)t} - e^{-\lambda'_B t} \right] + \frac{\lambda''_A \lambda''_B N_A^0}{\lambda''_B - \lambda'_A - \lambda''_A} \left[e^{-(\lambda'_A + \lambda''_A)t} - e^{-\lambda''_B t} \right]$$

$$\frac{dN_D}{dt} = \lambda_C N_C$$

- Condițiile inițiale (t=0)

$$N_A(0) = N_A^0$$

$$N_i(0) = 0 \quad (i = (B, C, D))$$

➤ Soluțiile ecuațiilor

$$N_A(t) = N_A^0 e^{-\lambda_A t}$$

$$N'_B(t) = \frac{\lambda'_A N_A^0}{\lambda'_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda'_B t})$$

$$N''_B(t) = \frac{\lambda''_A N_A^0}{\lambda''_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda''_B t})$$

$$N_C(t) = K_A e^{-\lambda_A t} + K'_B e^{-\lambda'_B t} + K''_B e^{-\lambda''_B t} + K_C e^{-\lambda_C t}$$

$$K_A = \frac{N_A^0}{\lambda_C - \lambda_A} \left(\frac{\lambda'_A \lambda'_B}{\lambda'_B - \lambda_A} + \frac{\lambda''_A \lambda''_B}{\lambda''_B - \lambda_A} \right)$$

$$K'_B = -\frac{N_A^0}{\lambda_C - \lambda'_B} \frac{\lambda'_A \lambda'_B}{\lambda'_B - \lambda_A}$$

$$K''_B = -\frac{N_A^0}{\lambda_C - \lambda''_B} \frac{\lambda''_A \lambda''_B}{\lambda''_B - \lambda_A}$$

$$K_C = -(K_A + K'_B + K''_B)$$

$$N_D(t) = -\frac{\lambda_C}{\lambda_A} K_A e^{-\lambda_A t} - \frac{\lambda_C}{\lambda'_B} K'_B e^{-\lambda'_B t} - \frac{\lambda_C}{\lambda''_B} K''_B e^{-\lambda''_B t} - K_C e^{-\lambda_C t} + K$$

$$K = \lambda_C \left(\frac{K_A}{\lambda_A} + \frac{K'_B}{\lambda'_B} + \frac{K''_B}{\lambda''_B} + K_C \right)$$

➤ Activitățile parțiale ale fiecărui descendent

$$\Lambda_A(t) = \lambda'_A N_A(t) + \lambda''_A N_A(t) = \lambda_A N_A(t)$$

$$\Lambda'_B(t) = \lambda'_B N'_B(t)$$

$$\Lambda''_B(t) = \lambda''_B N''_B(t)$$

$$\Lambda_C(t) = \lambda_C N_C(t)$$