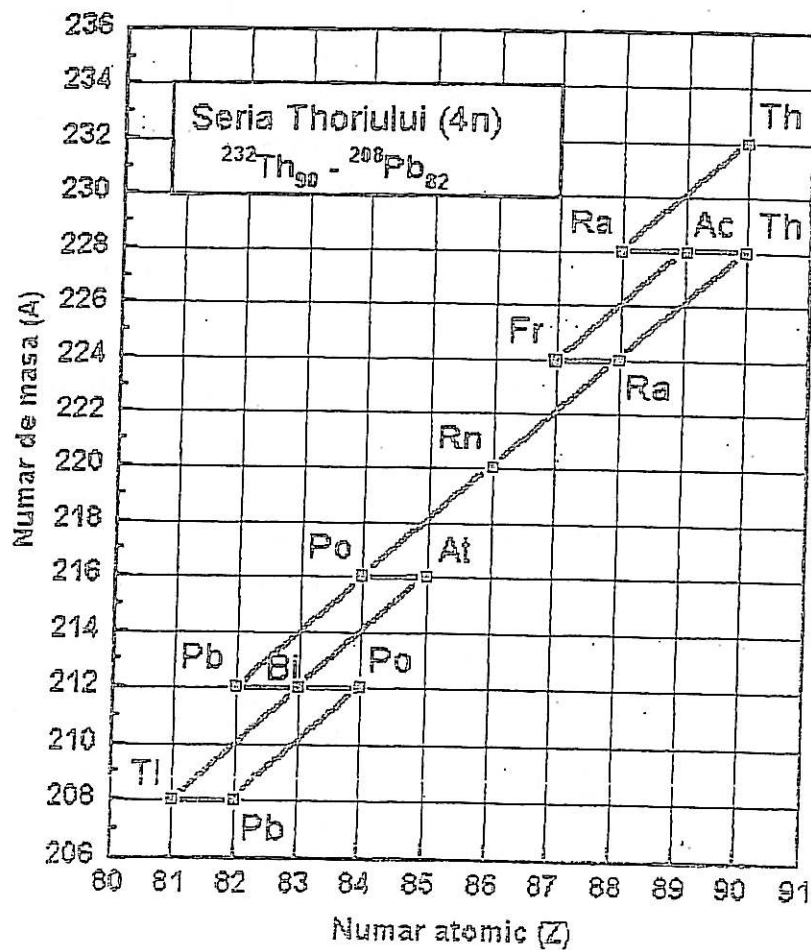


Aceste patru serii radioactive încep cu izotopi ai toriului, uraniului și neptuniului și se termină cu izotopi stabili ai plumbului și bismutului.

Seria Toriului. Prima serie este cunoscută ca seria radioactivă a toriului și constă dintr-un grup de radionuclizi înrudiți prin dezintegrări în care toate numerele de masă sunt divizibile prin patru (*seria 4n*). În mod natural izotopul ^{232}Th are o abundență izotopică de 100% și o activitate specifică de 4.06 MBq/Kg. Deci această serie este, evident o serie naturală.



Timpul de înjumătățire prin dezintegrare α este de 1.41×10^{10} ani. Nuclidul corespunzător sfârșitului de serie este izotopul stabil ^{208}Pb (cunoscut ca și *ThD*).

Transformarea de la nuclidul cap de serie la izotopul final stabil necesită 6 dezintegrări α și 4 dezintegrări β . Nuclidul intermediar al acestei serii cu cel mai mare timp de viață de 5.76 ani este ^{228}Ra .

Tabelul 3.1. Caracteristicile radioizotopilor din seria Toriului

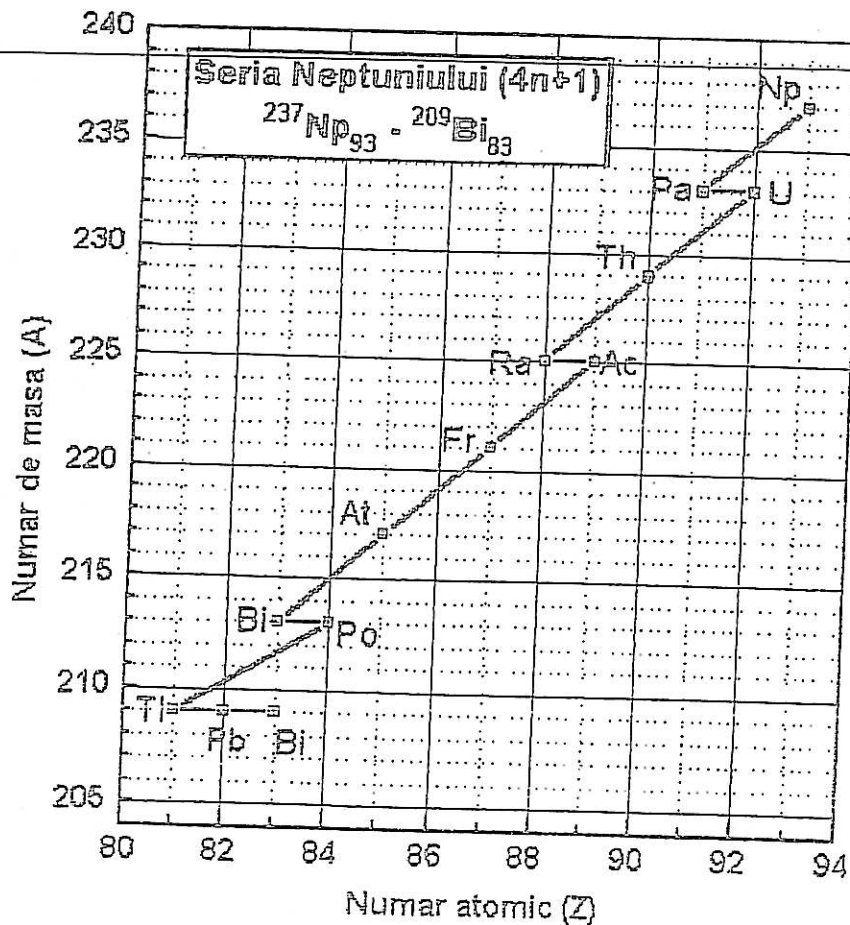
Radioizotop (număr atomic)	Timpul de înjumătățire	Energia (MeV) intensitatea tranziției		
		α	β	γ
Th-232 (90)	1.405×10^{10} ani	3.95 (24%) 4.20 (75%)		
Ra-228 (88)	5.75 ani		0.046 (100%)	
Ac-228 (89)	6.15 ore		2.14 (100%)	0.34c (15%) 0.908 (25%) 0.96c (20%)
Th-228 (90)	1.910 ani	5.34 (28%) 5.43 (71%)		0.084 (1.6%) 0.214 (0.3%)
Ra-224 (88)	3.64 zile	5.45 (6%) 5.68 (94%)		0.241 (3.7%)
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. Seria neptuniului obținută artificial, este compusă din nuclide având numerele de masă împărțite la 4 cu rest 1 (*seria $4n+1$*).

Cap de serie este izotopul ^{237}Np cu timpul de înjumătățire de 2.14×10^6 ani. Elementul final al seriei neptuniului este ^{209}Bi care este un izotop stabil al bismutului. În procesul de dezintegrare succesivă din aceasta serie radioactivă sunt implicate 6 procese de dezintegrare α și 4 procese de dezintegrare β . Cel mai important radioizotop din seria neptuniului, este ^{233}U cu timp de înjumătățire de 1.59×10^5 ani și care este, alături de izotopul ^{235}U , un element fisibil.

Întrucât timpul său de înjumătățire este mai mic decât vârsta Pământului, izotopul ^{237}Np primordial nu există pe Pământ și ca urmare seria neptuniului nu este găsită în mod natural, însă se obține artificial în urma unor reacții nucleare. Cantități de ^{237}Np au fost puse în evidență în unele stele. Totuși, mici cantități de ^{237}Np cât și de ^{239}Pu (din seria $4n+3$ cu timpul de înjumătățire de 2.411×10^4 ani) au fost descoperite pe Pământ. Ambii radioizotopi au timpi de viață mai mici decât vârsta sistemului Solar (considerat ca fiind de circa 4×10^9 ani) și ca urmare nu sunt de origine primordială cum ar fi toriul.



Existența unor astfel de izotopi în unele minerale conținând uraniu sau toriu se datorează unor reacții de captură a neutronilor sau a particulelor β rezultați în urma unor procese nucleare de tip (α, n) , (γ, n) sau a fisiunii spontane a ^{238}U . De exemplu, rata de producere a neutronilor în minereul natural de peblendă (care conține aproximativ 50% uraniu) este în jur de 50 n/Kg. s.

Tabelul 3.2. Caracteristicile radioizotopilor din seria Neptuniului

Radioizotop (număr atomic)	Timpul de înjumătățire	Energia (MeV) intensitatea tranziției		
		α	β	γ
Np-237 (93)	2.144×10^6 ani	4.8 (49%) 4.7 (45%)		
Pa-233 (91)	26.97 zile		0.57 (100%)	
U-233 (92)	1.59×10^5 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%)		

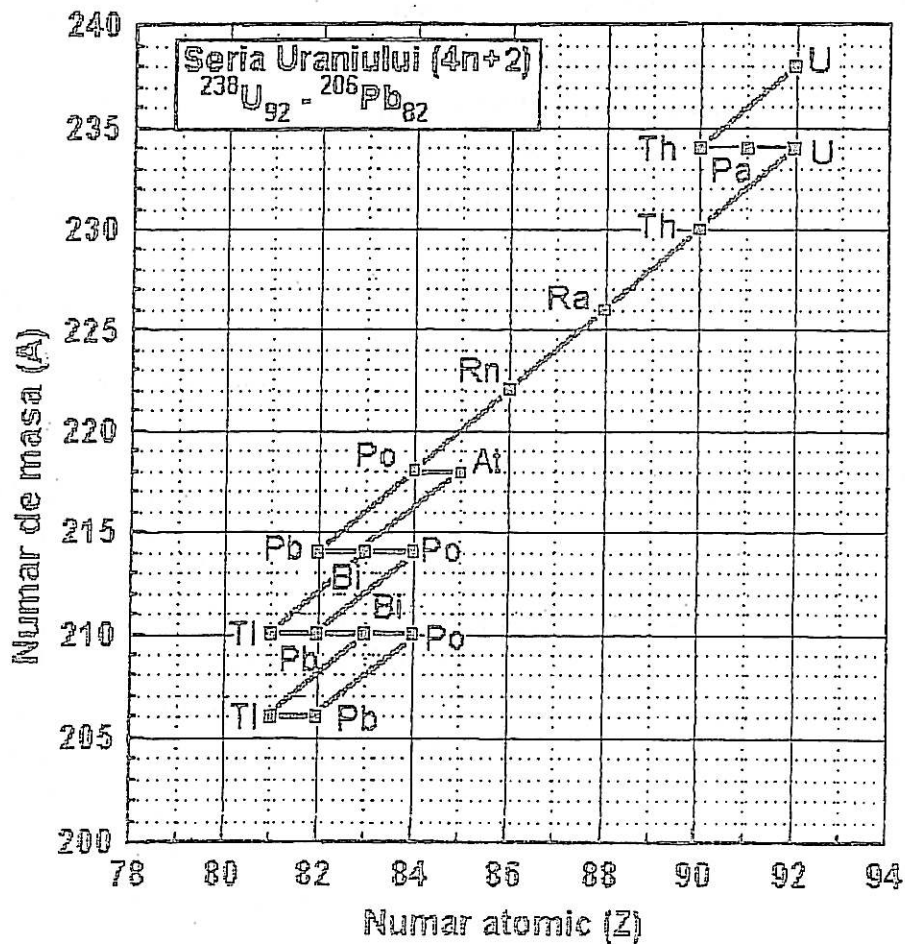
Tl-209 (81)	2.2 m	3.98 (100%)
Pb-209 (82)	3.25 ore	0.64 (100%)
Bi-209 (83)	stabil	

Seria Uraniului. Seria radioactivă a uraniului constă dintr-un grup de radionuclizi, a căror număr de masă împărțit cu 4 conduc la un rest de 2 (*seria $4n+2$*).

Această serie este o serie naturală și are drept cap de serie izotopul este ^{238}U care are o abundență naturală de aproximativ 99.3%. Acest izotop se dezintegrează prin emisie de particule α un timp de înjumătățire de 4.46×10^9 ani.

Elementul stabil sfârșit de serie este izotopul ^{206}Pb , care ia naștere în urma unui șir de dezintegrări care implică 8 procese de emisie α și 6 procese de emisie β . Activitatea specifică a ^{238}U este de 12.44 MBq/Kg. Totuși, din cauză că uraniul natural constă din trei radioizotopi, respectiv ^{238}U , ^{235}U și ^{235}U cu abundențele 99.2745%, 0.7200% și 0.0055%, activitatea specifică a uraniului natural este de 25.4 MBq/Kg.

Cei mai importanți radioizotopi din această serie sunt cei ai radiului, radonului și poloniului, care pot fi izolați prin procesarea minereului de uraniu. Fiecare tonă de uraniu conține 0.340 g de ^{226}Ra . ^{226}Ra izolat conduce la echilibru radioactiv cu produșii săi de dezintegrare la ^{210}Pb după aproximativ două săptămâni. Mulți dintre acești produși emit radiații γ și ca urmare pot fi folosiți în aplicații medicale (terapie radioactivă).



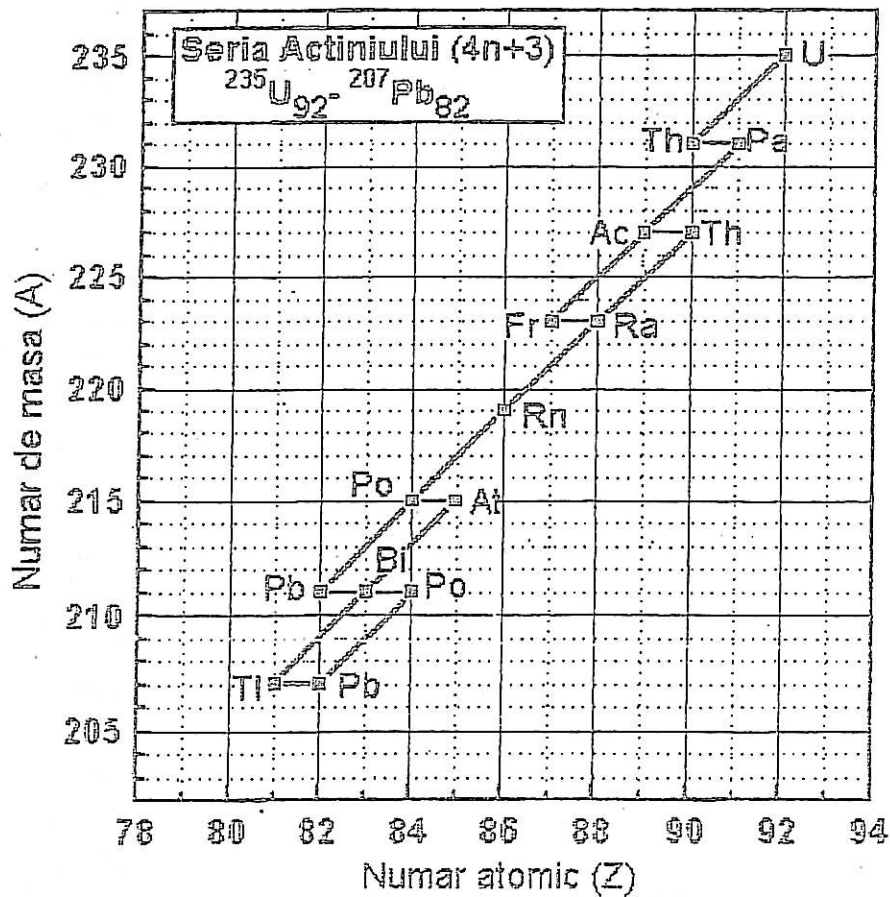
Tabelul 3.3. Caracteristicile radioizotopilor din seria Uraniului

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%) 0.193 (79%)	0.063 _c (4%) 0.093 _c (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%) 4.77 (72%)		0.53 (0.2%)
Th-230 (90)	8.0 x 10 ⁴ ani	4.62 (24%) 4.68 (76%)		0.068 (0.6%) 0.142 (0.07%)
Ra-226 (88)	1602 ani	4.60 (6%) 4.78 (95%)		0.186 (4%)
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%) 0.71 (40%) 0.98 (6%)	0.295 (19%) 0.352 (36%)
Bi-214 (83)	19.7 m	5.45 (0.012%) 5.51 (0.008%)	1.0 (23%) 1.51 (40%) 3.26 (19%)	0.609 (47%) 1.120 (17%) 1.764 (17%)
Po-214 (84)	164 :s	7.69 (100%)		0.799 (0.014%)
Pb-210 (82)	21 zile		0.016 (85%) 0.061 (15%)	0.047 (4%)
Bi-210 (83)	5.01 zile	4.65 (0.00007%) 4.69 (0.00005%)	1.161 (~100%)	

Po-210 (84)	138.4 zile	5.305 (100%)	0.803 (0.0011%)
Pb-206 (82)	Stabil		

Seria Actiniului. Numerele de masă a grupului de elemente din seria actiniului împărțite la 4 duc la un rest de 3 (seria $4n+3$). Această serie naturală, începe cu izotopul uraniului ^{235}U care are un timp de înjumătățire de 7.04×10^8 ani și o activitate specifică de 8×10^4 MBq/Kg.

Izotopul stabil sfârșit de serie este ^{207}Pb și ia naștere în urma



unor procese de dezintegrare în care sunt implicate emisia a 7 particule α și 4 particule β . Seria actiniului include izotopi radioactivi ai protactiniului, actiniului, franciului și astatiniului. Întrucât ^{235}U este un component al uraniului natural, aceste elemente pot fi izolate în procesul de procesare a mineralelor de uraniu. Radioizotopul cu viața medie cea mai mare este ^{231}Pa ($T_{1/2}=3.28 \times 10^4$ ani) are un conținut de 100g per tonă.

Tabelul 3.4. Caracteristicile radioizotopilor din seria Actiniului

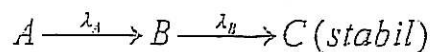
Radioizotop (număr atomic)	Timpul de înjumătățire	Energia (MeV)		
		intensitatea tranziției		
		α	β	γ
U-235 (92)	7.1×10^8 ani	4.37 (18%)		0.143 (11%)
		4.40 (57%)		0.185 (54%)
		4.58c (8%)		0.204 (5%)
Th-231 (90)	25.5 ore		0.140 (45%)	0.026 (2%)
			0.220 (15%)	0.084c (10%)
			0.305 (40%)	
Pa-231 (91)	3.25×10^4 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%) 0.56 (9.4%) 1.39 (87.5%)	0.405 (3.4%) 0.427 (1.8%) 0.832 (3.4%)
Bi-211 [†] (83)	2.15 m	6.28 (16%) 6.62 (84%)	0.60 (0.28%)	0.351 (14%)
Tl-207 (81)	4.79 m		1.44 (99.8%)	0.897 (0.16%)
Pb-207 (82)	Stabil			

3.1 Cinetica dezintegrărilor succesive

O parte importantă a radioizotopilor constituenți ai surselor radioactive, se obțin din seriile radioactive prin separare. De aceea este importantă evaluarea activității acestora la un moment dat. Faptul că acești radioizotopi provin din dezintegrarea altora, iar la rândul lor se dezintegrează formând alți radioizotopi sau nuclee stabile, legea dezintegrării radioactive trebuie generalizată și aplicată unor astfel de procese.

Să considerăm pentru început, o sursă radioactivă în care există o succesiune de doi radioizotopi care se dezintegrează după o secvență de tipul:



4. SURSE RADIOACTIVE IZOTOPICE

- A) Tipuri de surse izotopice. Cea mai răspândită modalitate de producere a radiațiilor nucleare o constituie sursele izotopice. Acestea sunt cantități de substanțe formate din una sau mai multe specii de izotopi radioactivi cu grad înalt de puritate, aflate în stare solidă, lichidă sau gazoasă.

În funcție de modul de utilizare a surselor izotopice, acestea pot fi împărțite în două categorii:

i) *Surse izotopice interne.* Sursele izotopice interne sunt centri de iradiere care se găsesc nemijlocit în interiorul sistemelor de studiat. Acești centri radioactivi pot fi distribuiți uniform sau preferențial, în funcție de natura sistemului de studiu și de scopul urmărit (trasori radioactivi). Cei mai utilizați izotopi radioactivi ca surse interne sunt cei emițători de radiații β și γ și sunt în general izotopi de viață medie sau scurtă.

ii) *Surse izotopice externe.* Sursele izotopice externe sunt, în general, izotopi de viață lungă utilizați pentru iradierea diferitelor sisteme.

Denumirea surselor izotopice este dată de natura radiație emise; prin urmare există surse de radiații α , surse de radiații β , surse de radiații γ , surse de radiație X și surse izotopice de neutroni.