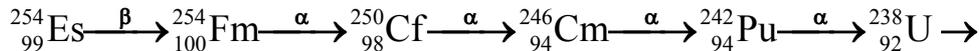


3. ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ

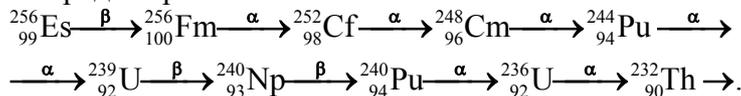
В настоящее время известно большое количество искусственно полученных радиоактивных изотопов. При этом около 2000 радионуклидов объединены более чем в 250 цепочек. Искусственное получение радиоактивных изотопов привело к открытию новых элементов и изотопов и позволило реконструировать вымерших предшественников существующих в природе семейств (см. **Рис.4**).

Найдено, что эйнштейний-254 испытывает β -распад и четыре последующих α -распада, превращаясь в ^{238}U :



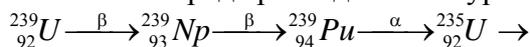
Периоды полураспада "предков" меньше 10^5 лет, поэтому в природе они не сохранились.

Интересно, что в природе обнаружены следы ^{244}Pu ($T=7.6 \times 10^7$ лет). Считают, что ^{244}Pu - остаток начального вымершего звена ряда тория:



Все члены этого участка ряда имеют периоды полураспада меньше 10^8 лет.

Искусственно полученные изотопы ^{239}U , ^{239}Np и ^{239}Pu являются предшественниками ^{235}U . Сравнительно быстрый их распад привел к тому, что в природе были обнаружены лишь ничтожные следы этих изотопов. Схема начального звена ряда распада актиноурана имеет следующий вид:



В результате искусственных ядерных реакций было получено несколько побочных рядов распада, сливающихся с главными семействами. Главное и побочное семейства имеют разных родоначальников, но совпадают, начиная с некоторого общего члена. Примеры таких побочных рядов приведены ниже.

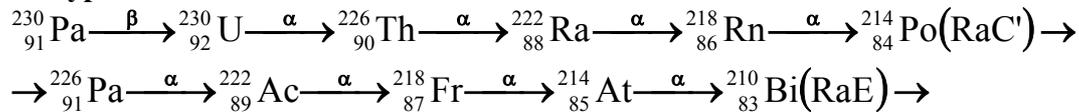
№ эле- мента	Эле- мент	И з о т о п ы					
98	Cf			^{250}Cf 13,8 лет		^{246}Cf 1,49 сут	
97	Bk			^{250}Bk 3,22 час	^{246}Bk 1,08 сут	^{246}Bk $5 \cdot 10^{-4}\%$	
96	Cm	^{250}Cm 6900 лет		^{246}Cm 4730 лет		^{242}Cm 16,8 сут	
95	Am		^{246}Am 39 мин		^{242}Am 141 г 16,01 ч		
94	Pu	^{246}Pu 10,84 дня		^{242}Pu $3,76 \cdot 10^5$ лет		^{236}Pu 87,74 лет	
93	Np				^{238}Np 2,117 сут		
92	U			^{238}U $4,49 \cdot 10^9$ лет		^{234}U $2,45 \cdot 10^5$ лет	
91	Pa				^{234}Pa 6,7 часа		Ряд U
90	Th			^{234}Th 24,1 сут		^{230}Th $7,7 \cdot 10^4$ лет	
89	Ac						

Рис.4. Предшественники природных семейств. Б) Предшественники уранового семейства

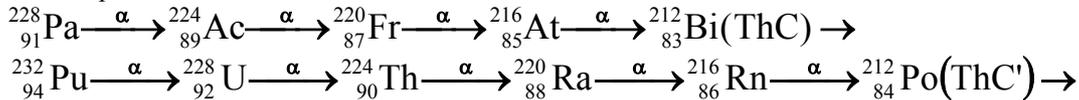
№ эле-мента	Эле-мент	Изо-то-пы					
98	Cf	^{252}Cf 2,64 года		^{248}Cf 333 сут			
97	Bk	α ↓	^{248}Bk 9 лет 23,5 час	β ↗	α ↓		
96	Cm	^{248}Cm $3,39 \cdot 10^5$ Sf лет	ϵ ↓ 70%	^{244}Cm 18,11 лет			
95	Am	↓	^{244}Am 10,1 час 26 мин	↓			
94	Pu	^{244}Pu $8,26 \cdot 10^7$ Sf лет	0,04 ↗	^{240}Pu Sf 6570 лет		^{236}Pu 2,87 лет	
93	Np	99,88% ↓	^{240}Np 1,08 час	↓	^{236}Np $1,15 \cdot 10^5$ лет 22,4 часа	↓	
92	U	^{240}U 14,1 час	↗	^{236}U $2,34 \cdot 10^7$ лет	↓	^{232}U 59,9 лет Sf	
91	Pa	↓	^{236}Pa 9,1 мин	↓	^{232}Pa 1,31 сут	↓	
90	Th	^{236}Th 37,5 мин		^{232}Th $1,39 \cdot 10^{10}$ лет	0,2% ↓	^{228}Th 1,9 года	↓ Ряд Th
89	Ac			↓	^{228}Ac 6,13 час	↓	

Рис.4. Предшественники природных семейств. Б) Предшественники ториевого семейства

Ряд урана:



2.Ряд тория:



№ эле- мента	Эле- мент	И з о т о п ы					
		98	Cf		^{249}Cf β 351 год		^{245}Cf
97	Bk		^{249}Bk β 320 сут	^{245}Bk α	^{245}Bk ϵ 4,95 сут	^{241}Bk α 30%	
96	Cm	^{249}Cm 1,096 час	^{245}Cm 0,0014%	^{245}Cm 8500 лет	^{241}Cm β 0,12%	^{241}Cm 32,8 сут	
95	Am		^{245}Am 2,05 час	^{241}Am 432,1 года	^{237}Am 15%	^{233}Am 1,22 час	
94	Pu		^{241}Pu 14,4 лет	^{237}Pu 45,3 сут	^{233}Pu 0,02%		
93	Np		^{237}Np $2,25 \cdot 10^6$ лет	^{233}Np 0,004%	^{229}Np 36,2 мин		
92	U		^{237}U 6,8 сут	^{233}U $1,63 \cdot 10^6$ лет	^{229}U 0,01%		
91	Pa		^{233}Pa 27,4 сут	^{229}Pa 1,5 сут			
90	Th			^{229}Th $7 \cdot 10^3$ лет			
89	Ac				^{225}Ac 10,0 сут		

Рис.4. Предшественники природных семейств. Б) Предшественники нептуниевого семейства

Аналогичные побочные ряды существуют для семейства актиноурана и нептуния. Эти техногенные изотопы являются "предками" существующих в природе семейств.

Актиниды, нарабатываемые в ядерных установках за счет ядерных реакций, представляют экологическую опасность в основном как долголетние радиоизотопы. Динамика активности некоторых изотопов искусственных рядов представлена на **Рис.3**. Как уже упоминалось, вновь открытые искусственные актиниды являются предшественниками определенных радиоактивных

№ эле- мента	Эле- мент	И з о т о п ы				
98	Cf		^{251}Cf 898 лет		^{247}Cf 3,15 час	
97	Bk	^{251}Bk 55,6 мин	α ↓	^{247}Bk 1380 лет	β ↙	
96	Cm		^{247}Cm $1,56 \cdot 10^7$ лет	α ↓	^{243}Cm 28,5 лет	
95	Am		↓	^{243}Am 7380 лет	β ↘ 0,24%	
94	Pu		^{243}Pu 4,95 час	↓	^{239}Pu $2,4 \cdot 10^4$ лет	^{235}Pu 25,6 мин
93	Np		^{239}Np 2,35 сут	↓	^{235}Np 196 сут	↓ 0,003%
92	U		^{239}U 23,5 мин	↓	^{235}U $7,13 \cdot 10^8$ л	↓ 0,0014% ^{231}U 1,2 дня
91	Pa			↓	^{231}Pa $3,4 \cdot 10^4$ лет	↓ 0,006%
90	Th			^{231}Th 24,6 час	↓	^{227}Th 19,6 дня
89	Ac				^{227}Ac 21,77 года	

Рис.4. Предшественники природных семейств. Г) Предшественники семейства актиноурана

семейств. Например, ^{248}Cm ($T=3.39 \cdot 10^5$ лет) относится к предшественникам ториевого семейства. ^{245}Cm ($T=8.5 \cdot 10^3$ лет) - предшественник нептуниевого семейства. ^{246}Cm ($T=4.73 \cdot 10^3$ лет) и ^{250}Cf ($T=6.9 \cdot 10^3$ лет) - предшественники уранового семейства и ^{247}Cm ($T=1.56 \cdot 10^7$ лет) - предшественник уран-актиниевого ряда.

Семейства искусственных трансплутониевых радионуклидов, в отличие от природных, имеют главные и побочные ветви, с разными родоначальниками, но, начиная с некоторого общего члена, сливаются и повторяют природные ряды.