

1. ПРИМЕРЫ РАДИОАКТИВНЫХ СЕМЕЙСТВ

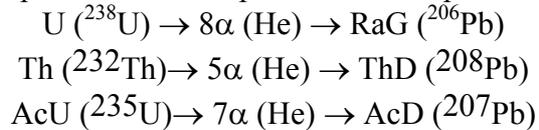
1.1 Семейства урана, тория и актиния.

Все еще встречающиеся в природе элементы с атомными номерами, превышающими 83 (висмут), радиоактивны. Они представляют собой звенья цепей последовательных радиоактивных превращений. Элементы, входящие в одну цепь, образуют радиоактивное семейство, или радиоактивный ряд. Известны три радиоактивных семейства. В одном из семейств первичным элементом является U (массовое число 238); в результате 14 радиоактивных превращений (8 из которых связаны с испусканием α -частиц и 6 с эмиссией β -частиц) получается стабильный конечный продукт - радий G (свинец с массовым числом 206). Этот ряд радиоактивных элементов называется семейством урана.

В природных рядах наблюдается только α - и β -распад. Так как при α -распаде масса атома изменяется на четыре единицы, а при β -распаде изменение массы пренебрежимо мало, то массовые числа элементов, образующих радиоактивный ряд, различаются на величины, кратные четырем. Поэтому возможно существование радиоактивных рядов четырех типов. Атомные веса членов этих рядов выражаются числами: $4n$, $4n+1$, $4n+2$, $4n+3$.

Массовые числа элементов, входящих в семейство урана, определяются общей формулой $4n+2$, где n -целое число. Действительно: атомный вес $^{238}\text{U}=4*59+2$, атомный вес $^{226}\text{Ra}: 226=4*56+2$. Семейство урана и превращения, имеющие место в этом ряду, представлены на **Рис.1А**. Торий (массовое число 232) является родоначальником $(4n)$ -семейства, или семейства тория, конечным стабильным продуктом которого является свинец с массовым числом 208. Атомный вес $^{232}\text{Th}: =4*58$, атомный вес находящегося в ториевом ряду $^{228}\text{Ra}: 226=4*56+2$. Радиоактивное семейство тория представлено на **Рис.1Б**. Семейство актиния (актино-урана), или $(4n+3)$ -семейство (**Рис.1В**), имеет родоначальником актино-уран, AcU (уран с массовым числом 235) и конечным стабильным продуктом свинец с массовым числом 207. Атомный вес $^{235}\text{U}: 235=4*58+3$. Весьма интересным является близкое сходство трех радиоактивных семейств по характеру цепей и по положению в периодической системе; оно может быть полезным для запоминания схем распада.

Схематически распад трех радиоактивных рядов можно представить в виде:



№ эле- мента	Эле- мент	Изо то пы						
		^{238}U 4.47*10 ⁹ лет		^{234}U 2.45*10 ⁵ лет				
92	U							
91	Pa	α ↓	^{234}Pa 1.17 мин И.П.(0,3%) ^{234}Pa 6.75 часа	β ↗	α ↓			
90	Th		β ↗	^{234}Th 24.1 дня		^{230}Th 7.7*10 ⁴ лет		
89	Ac							
88	Ra					^{226}Ra 1600 лет		
87	Fr							
86	Rn					^{222}Rn 3.825 дня	^{218}Rn 0.02 сек	
85	At					^{218}At		
84	Po					^{218}Po 3.05 мин	^{214}Po 1.6*10 ⁻⁴ сек	^{210}Po 138.38 дня
83	Bi					^{214}Bi 19,8 мин	^{210}Bi 5,01 дня 3,0*10 ⁶ лет	
82	Pb					^{214}Pb 26,8 мин	^{210}Pb 22,3 года	^{206}Pb <u><u> </u></u>
81	Tl					^{210}Tl 1.32 мин	^{206}Tl 4.19 мин	

Рис.1. Ряды природных радионуклидов, А) Семейство урана-238, 4n+2

№ эле- мента	Эле- мент	И з о т о п ы				
90	Th	^{232}Th 1,41·10 ¹⁰ лет		^{228}Th 1,91 года		
89	Ac	α	^{228}Ac 6,13 часа	α		
88	Ra	^{228}Ra 5,75 года		^{224}Ra 3,66 дня		
87	Fr		^{224}Fr 2,7 мин			
86	Rn			^{220}Rn 55,6 сек		
85	At				^{216}At 3·10 ⁻⁴ сек	
84	Po			^{216}Po 0,145 сек		^{216}Po 3·10 ⁻⁷ сек 45,1 сек
83	Bi				^{216}Bi 60,5 мин 25 мин	
82	Pb			^{212}Pb 10,64 часа		<u>^{208}Pb</u>
81	Tl				^{208}Tl 3,05 мин	

Рис.1. Ряды природных радионуклидов
Б) Семейство тория-232, 4n

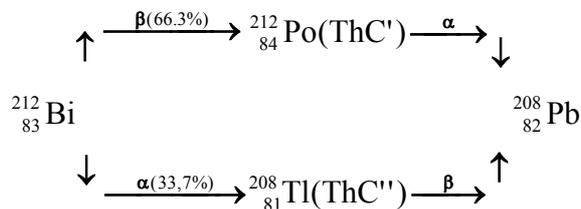
№ эле-мента	Эле-мент	И з о т о п ы			
92	U	^{238}U $7,04 \cdot 10^8$ лет			
91	Pa		^{231}Pa $3,28 \cdot 10^4$ лет		
90	Th	^{231}Th 1,068 дня		^{227}Th 72 дня	
89	Ac		^{227}Ac 22 года		
88	Ra			^{226}Ra 11,2 дня	
87	Fr		^{223}Fr 21 мин		
86	Rn			^{219}Rn 3,92 сек	
85	At		^{219}At 0,9 мин		^{215}At 10^{-4} сек
84	Po			^{215}Po $1,83 \cdot 10^{-3}$ сек	^{211}Po $5 \cdot 10^{-3}$ сек
83	Bi		^{215}Bi 7,4 мин		^{211}Bi 2,14 мин
82	Pb			^{211}Pb 36,1 мин	^{207}Pb
81	Tl				^{207}Tl 4,77 мин

Рис.1. Ряды природных радионуклидов. В) Семейство уран-актиния, $4n+3$

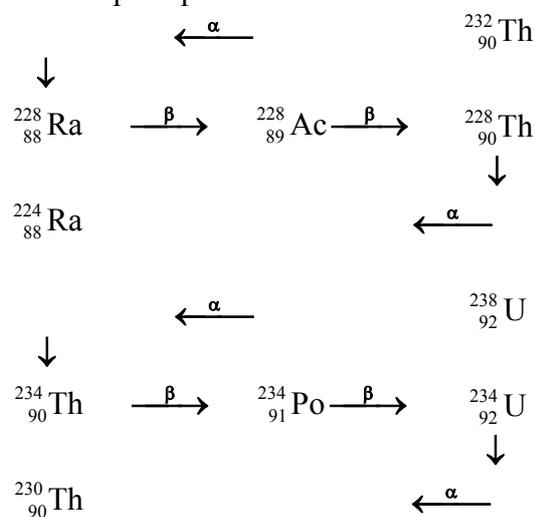
Следует обратить внимание на наличие разветвлений в радиоактивных рядах. Во всех трех радиоактивных семействах имеются изотопы элемента с атомным номером 86, называемым радоном (иногда эманацией). В рядах находятся три инертных радиоактивных газа - радон, торон и актинон. Вследствие газообразного и инертного характера эманаций их радиоактивные потомки - продукты А, В, С во всех трех рядах - могут быть легко отделены от долгоживущих предшественников. Радиоактивные потомки эманаций именуется активным налетом. Активный налет может собираться на любой поверхности; особенно эффективно они оседают на отрицательно заряженных электродах. Изотопы радона делят ряды на специфические части. Начальные отрезки содержат наиболее долгоживущие члены рядов - изотопы элементов, расположенных в периодической системе после радона (Fr, Rn, Ac,

Th, Ra, U). Конечные отрезки всех трех семейств сходны даже по внешней конфигурации. В них находятся наиболее короткоживущие продукты - изотопы свинца, висмута, полония, таллия и астата.

Многие изотопы второй части рядов способны распадаться двумя путями: определенная часть атомов изотопа распадается с испусканием α -частиц, другая часть - с испусканием β -частиц, образуя так называемую "вилку". Распад вновь образовавшихся изотопов имеет противоположный характер: если изотоп возник в результате α -распада, то он оказывается β -активным; изотоп, образовавшийся в результате β -распада, α -активен. Благодаря такой закономерности эти продукты превращаются в один и тот же изотоп одного и того же элемента. Примером может служить распад $^{212}_{83}\text{Bi}$ (ThC) семейства тория:



Во всех природных семействах встречается такая последовательность типов распада, при которой за одним α -распадом следуют два β -распада или наоборот. Альфа-распад уменьшает заряд ядра на две единицы, два последующих β -распада увеличивают заряд на две единицы. Появляется новый изотоп первоначального элемента. Например:



а также

№ элемента	Элемент	Изоотопы			
96	Cm			^{24}Cm 32,8 дня	
95	Am		^{24}Am 432,1 года		
94	Pu	^{24}Pu 14,4 года		^{237}Pu 45,3 дня	
93	Np		^{237}Np $2,14 \cdot 10^6$ лет		
92	U	^{237}U 6,75 дня		^{233}U $1,59 \cdot 10^5$ лет	
91	Ra		^{233}Ra 27,0 дня		^{229}Ra 1,4 дня
90	Th	^{233}Th 22,3 мин		^{229}Th 7340 лет	
89	Ac				^{225}Ac 10,0 дней
88	Ra			^{225}Ra 14,8 дня	
87	Fr				^{221}Fr 4,9 мин
86	Rn				
85	At				^{217}At 0,032 сек
84	Po				^{213}Po $4,2 \cdot 10^{-6}$ сек
83	Bi			^{213}Bi 45,59 мин	^{203}Bi
82	Pb				^{209}Pb 3,25 часа
81	Tl			^{209}Tl 2,2 мин	

Рис.1 Ряды природных радионуклидов. Г) Семейство нептуния, $4n+1$

1.2 Семейство нептуния

Ряды урана, актиноурана и тория до сих пор существуют в природе (их периоды полураспада близки к возрасту Земли). Ряд нептуния практически полностью распался и синтезируется в ядерных реакторах. (Радиоактивные элементы нептуниевого семейства в природе встречаются в очень малых количествах: содержание нептуния в урановой смоляной руде составляет максимум $1,8 \cdot 10^{-10}\%$ от содержания в ней урана). Встречающийся сейчас в природе нептуний вовсе не является остатком древнего ряда. Ныне он непрерывно образуется по реакции $^{238}\text{U}(n,2n)^{237}\text{U} \rightarrow \beta \rightarrow ^{237}\text{Np}$ при действии на уран нейтронов деления или нейтронов, испускаемых легкими ядрами урановых руд под действие альфа-частиц. $(4n+1)$ - семейство (Рис.1Г) обнаружено и исследовано при синтезе трансураниевых элементов. В ряду нептуния все изотопы имеют периоды полураспада меньше 10^7 лет. Наиболее долгоживущим членом этого ряда является нептуний-237 ($T=2,2 \cdot 10^6$ лет), а конечным стабильным

продуктом - ^{209}Bi . Значительная часть природного висмута обязана своим происхождением исчезнувшему ряду нептуния. Радона в этом ряду нет.

Замечание. На самом деле нептуниевый ряд начинается вовсе не с нептуния, а с кюрия. Ряд назван нептуниевым из-за того, что нептуний $^{237}_{93}\text{Np}$ в нем - наиболее долгоживущий элемент, а предшествующие ему материнские нуклиды сравнительно быстро распадаются (Период полураспада истинного родоначальника ряда – кюрия, ^{241}Cm , - всего 32.8 дня). В состав семейства нептуния входят изотопы урана, тория, протактиния, таллия, свинца, полония, а также изотопы почти не известных в природе элементов - нептуния, плутония, америция, франция и астата.