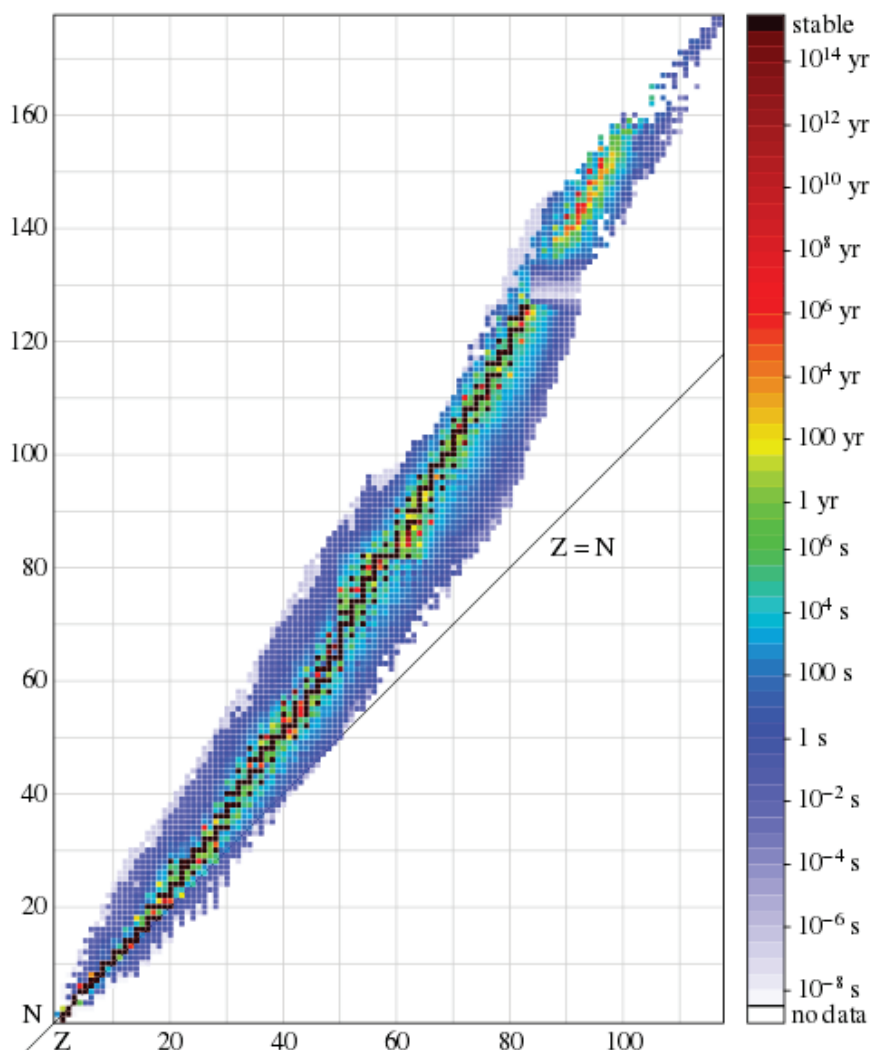


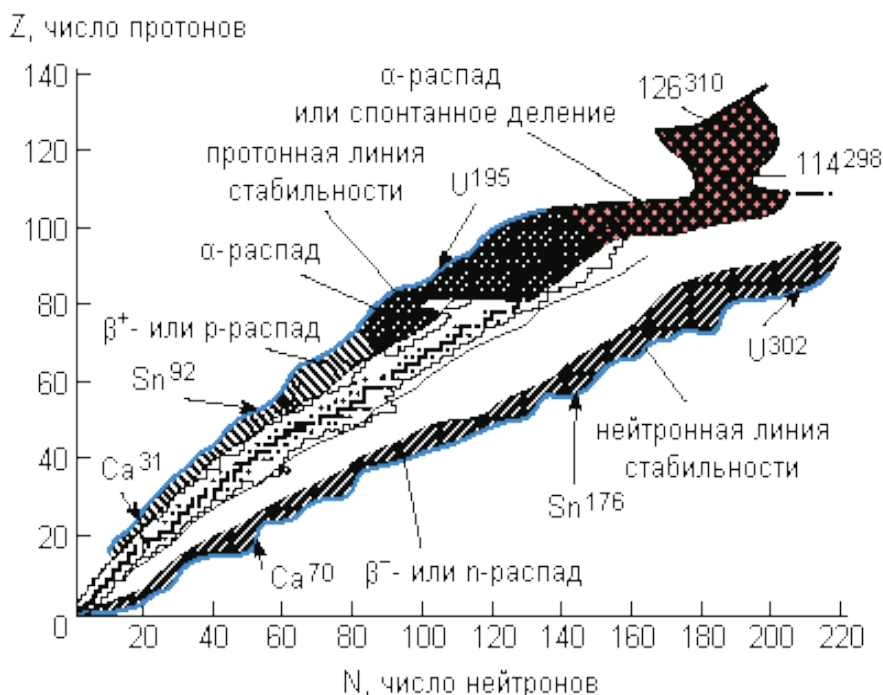
Радиоактивные семейства

И. А. Кочергин

В 1895 году Антуан Беккерель случайно обнаружил на фотопластинке след излучения урановой соли. Так была открыта радиоактивность. После Кюри обнаружили радий, и в дальнейшем было обнаружено ещё множество других радиоактивных элементов. В 1903 г. Эрнест Резерфорд и Фредерик Содди выдвинули теорию, согласно которой радиоактивные излучения возникают при распаде атомных ядер. В ходе исследований было выяснено, что ядра могут испускать частицы трёх видов (α , β , γ). Резерфорд изящным опытом доказал, что α -излучение – поток ядер гелия, Беккерель доказал, что β -лучи – поток электронов. Позже были изучены γ -распад, открыт β^+ -распад и другие. Так человечество приблизилось к пониманию, какие элементы в природе могут существовать, какие мы можем найти (в космосе и на Земле) и почему.



На сегодняшний день известно 273 стабильных ядра, существующих в природе. Обнаружено около 3000 различных ядер. Существует предположительно 6000-7000 различных атомных ядер. И большинство из них радиоактивны – с течением времени превращаются в другие элементы путём α , β -распада или спонтанным делением.



Для долины стабильности характерно:

$$N/Z = 0.98 + 0.015 * A^{2/3}$$

где N – число нейтронов,
 Z – число протонов (зарядовое число),
 A – массовое число.

Наиболее тяжёлые стабильные ядра – свинец (Z=82) и висмут (Z=83). Теоретические расчёты показывают, что, предположительно, существует остров стабильности около Z=114-126 и N=180-190. Ядра на острове стабильности должны иметь повышенную устойчивость по отношению к α и β -распаду и спонтанному делению. Теоретические оценки показывают, что времена жизни ядер, расположенных в центре острова стабильности могут составлять $\sim 10^5$ лет. В последнее время экспериментальные наблюдения косвенно подтверждают теорию. Полученные сверхтяжёлые элементы имеют нетипично большое время жизни при приближении к острову. Однако синтез сверхтяжёлых ядер представляет собой нетривиальную и сложную задачу.

В природе же известно 3 изотопа тяжёлых радиоактивных элементов, продолжительность жизни которых исчисляется миллиардами

лет: Th^{232} , U^{235} , U^{238} . Остальные элементы к настоящему времени уже распались, или были получены относительно недавно в ядерных реакциях.

Радиоактивность

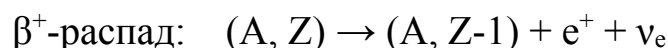
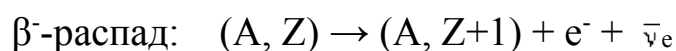
Спонтанное изменение состава (заряда Z , массового числа A) или внутреннего строения нестабильных атомных ядер (нуклидов) путём испускания элементарных частиц, γ -квантов и/или ядерных фрагментов.

α -распад

Испускание ядер гелия ${}^4_2\text{He}$, что доказано Резерфордом в 1905 году: Резерфорд заказал стеклодуву трубку с очень тонкими стенками. Он откачал трубку и заполнил ее газом радоном - интенсивным источником альфа-частиц. Трубка была герметична, но ее тонкие стенки пропускали альфа-частицы. Резерфорд заключил трубку с радоном в другую трубку, откачал из большей трубки воздух и загерметизировал систему. «Через несколько дней, — триумфально сообщил он аудитории в Стокгольме, — во внешнем объеме появился яркий спектр гелия». Спектр дискретный. Проникающая способность очень маленькая – всего несколько сантиметров в воздухе. Энергия, освобождающаяся при распаде около 2-9 МэВ. Периоды полураспада α -излучателей от $5 \cdot 10^{-8}$ сек до $8 \cdot 10^{18}$ лет.

β -распад

Ядро (A, Z) самопроизвольно испускает лептоны 1-го поколения – электрон (позитрон) и электронное нейтрино (электронное антинейтрино), переходя в ядро $(A, Z \pm 1)$.



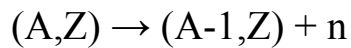
Спектр дискретный.

γ -распад

Ядро (A, Z) испускает γ квант без изменения массового числа A и заряда ядра Z . Обычно происходит после α - или β -распадов атомных ядер, если образовавшееся ядро образуется в возбужденном состоянии. Времена жизни γ -радиоактивных ядер обычно изменяются от 10^{-8} с до 10^{-17} с.

Нейтронная радиоактивность

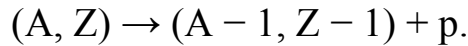
Испускание нейтронов



Число обнаруженных нейтронорадиоактивных ядер ~ 20 .

Протонная радиоактивность

Испускание протонов.



Известно свыше 30 изотопов, испускающих протоны из основного состояния ядер с $Z > 50$ от ^{105}Sb до ^{177}Tl .

Кластерная радиоактивность

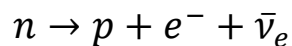
Самопроизвольное испускание ядер, тяжелее α -частицы. Зафиксировано впервые в 1984 году: испускание ядра углерода ^{14}C ядром радия ^{223}Ra .

Стоит отметить, что в природе наблюдают фактически лишь α и β -распады, что и будем учитывать в дальнейшем.

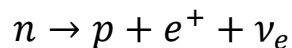
Радиоактивные семейства

При распаде естественно радиоактивных элементов продукты распада сами оказываются радиоактивными, так что атомные ядра, каждое из которых возникает из предыдущего в результате альфа - или бета-распада, вместе с исходным ядром образуют цепочки, называемые радиоактивными семействами. Цепочка распадов продолжается до тех пор, пока не образуется стабильное ядро.

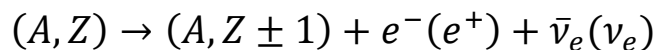
Как известно, при β -распаде массовое число A не меняется, зарядовое число Z изменяется на 1, то есть разница между протонами и нейтронами изменяется на 2:



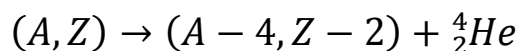
или



то есть распад ядра:



При α -распаде A уменьшается на 4, а Z уменьшается на 2:



а разность между числом протонов и нейтронов остаётся неизменной.

Таким образом при α и β -распадах тип массового числа сохраняется, то есть: либо $A = 4 * n + n_1$, где $n_1 = 0, 1, 2, 3$. Получаем 4 возможных радиоактивных ряда, или семейства.

Таким образом, радиоактивными семействами называют генетически связанные последовательным радиоактивным распадом цепочки (ряды) ядер естественного происхождения.

В природе, помимо долгоживущих (миллиарды лет) встречаются и короткоживущие изотопы (например – радий ^{226}Ra , период полураспада 1,6 тыс. лет). Они возникают в результате распада долгоживущих элементов. Так и образуются ряды.

Родоначальниками семейств являются:

для $A=4n$ – $^{232}_{90}\text{Th}$

для $A=4n+1$ – $^{237}_{93}\text{Np}$

для $A=4n+2$ – $^{238}_{92}\text{U}$

для $A=4n+3$ – $^{235}_{92}\text{U}$

Изотоп	Период полураспада, лет	Содержание (%) в естественной смеси	Какой радиоактивный ряд образует
^{232}Th	$1.41 \cdot 10^{10}$	100	$A = 4n$
^{234}U	$2.46 \cdot 10^5$	0.0054	$A = 4n + 2$
^{235}U	$7.04 \cdot 10^8$	0.7204	$A = 4n + 3$
^{236}U	$2.34 \cdot 10^7$	0	$A = 4n$
^{238}U	$4.47 \cdot 10^9$	99.2742	$A = 4n + 2$
^{237}Np	$2.14 \cdot 10^6$	0	$A = 4n + 1$

Как видим, Np долго не живёт, то есть этого радиоактивного семейства в природе не наблюдается и не существует. Однако, конечно, его можно получить искусственно. Для каждого семейства есть своё конечное стабильное ядро:

$A = 4n$: $^{236}\text{U} \rightarrow ^{232}\text{Th} \rightarrow \dots \rightarrow ^{208}\text{Pb}$,

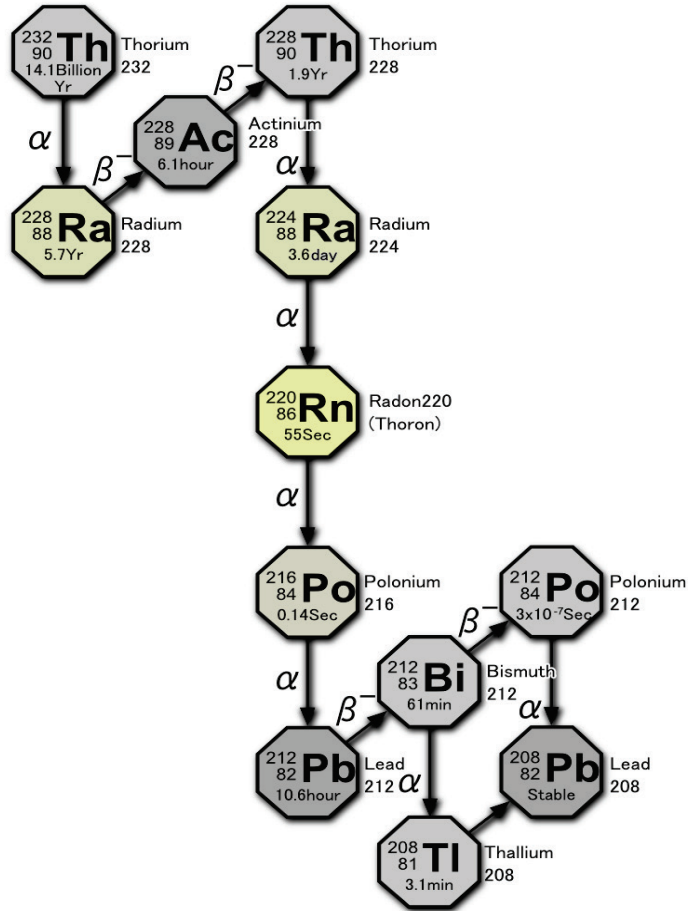
$A = 4n + 1$: $^{237}\text{Np} \rightarrow \dots \rightarrow ^{209}\text{Bi}$,

$A = 4n + 2$: $^{238}\text{U} \rightarrow \dots \rightarrow ^{206}\text{Pb}$,

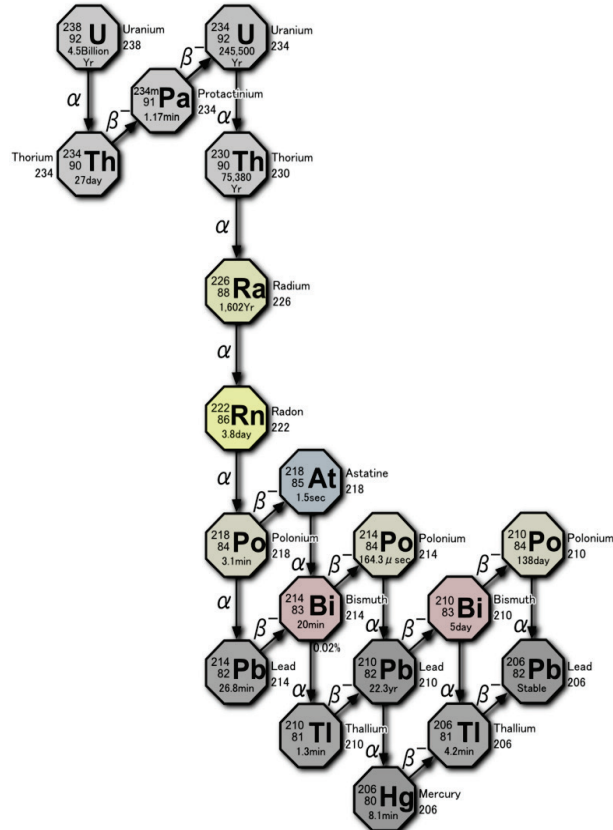
$A = 4n + 3$: $^{235}\text{U} \rightarrow \dots \rightarrow ^{207}\text{Pb}$.

Таким образом получаем 4 естественных радиоактивных семейства:

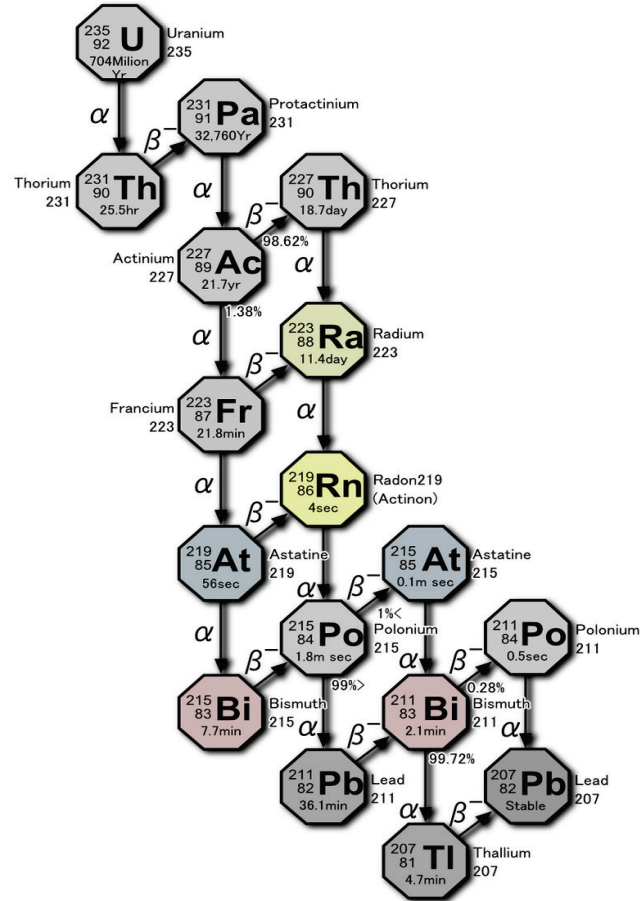
Семейство тория:



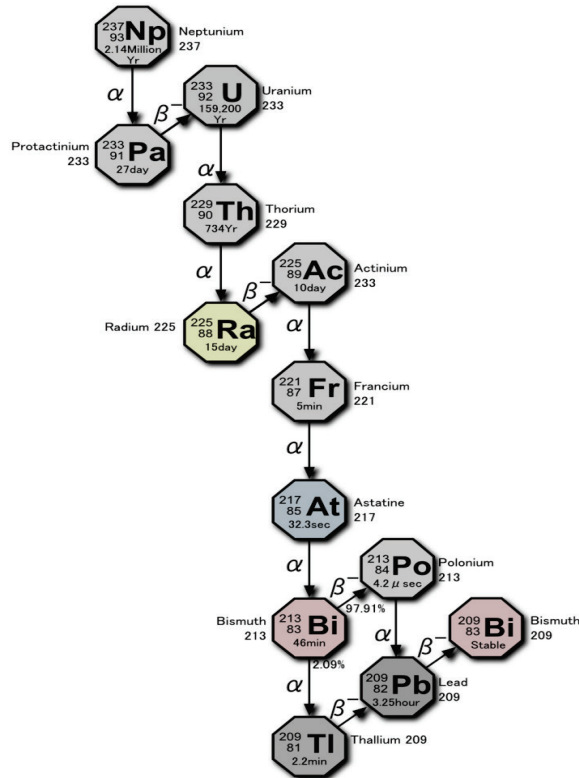
Семейство урана (называют ещё семейством радия):



Семейство актиния (урана-235):

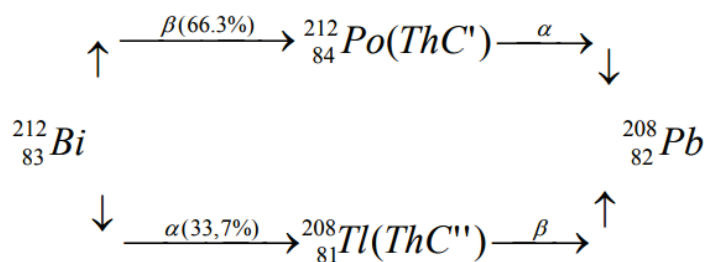


И семейство нептуния:

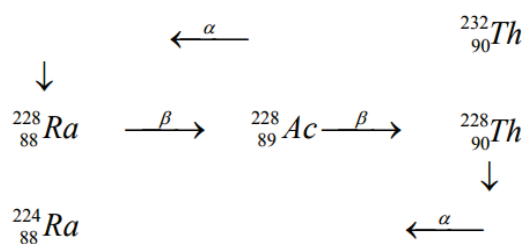


Следует обратить внимание на наличие разветвлений в радиоактивных рядах. В трёх радиоактивных семействах (кроме семейства нептуния) имеются изотопы элемента с атомным номером 86, называемым радоном (иногда эманацией). В рядах находятся три инертных радиоактивных газа - радон, торон и актинон. Вследствие 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, Pa, U). Конечные отрезки всех трех семейств сходны даже по внешней конфигурации. В них находятся наиболее короткоживущие продукты - изотопы свинца, висмута, полония, таллия и астата.

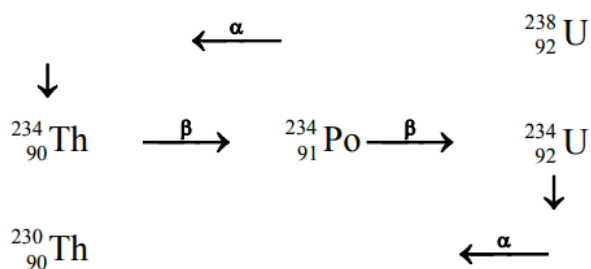
Многие изотопы второй части рядов способны распадаться двумя путями: определенная часть атомов изотопа распадается с испусканием α -частиц, другая часть - с испусканием β -частиц, образуя так называемую "вилку". Распад вновь образовавшихся изотопов имеет противоположный характер: если изотоп возник в 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



В отличие от рядов урана, актиноурана и тория, 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 $1.8 \times 10^{-10}\%$ от содержания в ней урана). Встречающийся сейчас в природе нептуний вовсе не является остатком древнего ряда. Ныне он непрерывно образуется по реакции ${}^{238}\text{U}(n,2n) \rightarrow {}^{237}\text{U} \rightarrow \beta \rightarrow {}^{237}\text{Np}$ при действии на уран нейтронов деления или нейтронов, испускаемых легкими ядрами урановых руд под действие альфа-частиц. (4n+1)- семейство обнаружено и исследовано при синтезе трансурановых элементов. В ряду нептуния все изотопы имеют периоды полураспада меньше 107 лет. Наиболее долгоживущим членом этого ряда является нептуний-237 ($T=2.2 \times 10^6$ лет), а конечным стабильным продуктом – ${}^{209}\text{Bi}$. Значительная часть природного висмута обязана своим происхождением исчезнувшему ряду нептуния. Радона в этом ряду нет.

Стоит заметить.

Вклады в радиационной гамма-фон с поверхности Земли рассматриваемых семейств и не входящего в радиоактивные семейства изотопа ${}^{40}\text{K}$ составляют: ряд тория – 40%, ряд урана - 25%, ${}^{40}\text{K}$ - 35% при среднем содержании элементов в почвах $8.5 \times 10^{-40}\%$, $1.5 \times 10^{-40}\%$ и 1.2% соответственно. Максимальную энергию α -излучения (10.5 МэВ) имеет природный радионуклид ториевого семейства (4n) ${}^{212}\text{Po}$.

Получаемые в результате распада ядра радиоактивных рядов могут находиться в возбуждённом состоянии и, следовательно, испытывают γ -распад. Максимальной энергией γ -излучения в ряду 4n+2 (${}^{238}\text{U}$) обладает

изотоп ^{214}Bi (1.76 МэВ), а в ряду $4n$ (^{232}Th) изотоп ^{206}Tl (2.62 МэВ), последний обладает самой высокой энергией γ -излучения из всех природных радионуклидов.

Как бы ни был мал период полураспада радионуклида естественного радиоактивного ряда, он обязательно присутствует в природе. Связано это с тем, что в каждом радиоактивном ряду с течением времени устанавливается так называемое вековое равновесие.

Вековое равновесие — состояние, при котором число ядер изотопов в цепочке распадов связано с постоянными распада (периодами полураспада) простым соотношением:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{T_{1/2}^{(1)}}{T_{1/2}^{(2)}}$$

где N — количество ядер изотопа,

$T_{1/2}$ — период полураспада,

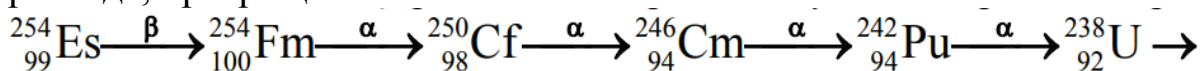
λ — постоянная распада.

Вековое равновесие заключается в том, что число распадов (активность) всех членов радиоактивного ряда равно друг другу, и если исходный изотоп имеет очень большое время жизни (постоянная активность), то никакого изменения активности и у дочерних радиоактивных элементов не наблюдается. С достаточной точностью можно считать, что вековое равновесие наступает за время, равное десятикратному периоду полураспада наиболее долгоживущего дочернего элемента:

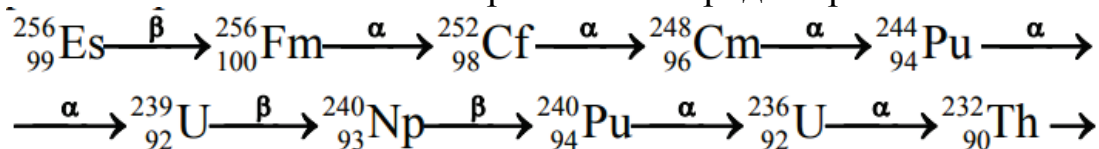
- в урановом ряду — через 830000 лет,
- ториевом — через 67 лет,
- актино-урановом — через 343000 лет.

Вымершие предшественники.

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

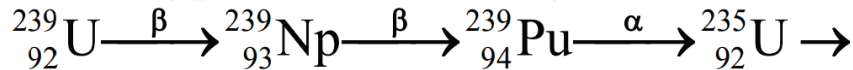


В природе обнаружены следы ^{244}Pu ($T=7.6 \times 10^7$ лет). Считают, что ^{244}Pu - остаток начального вымершего звена ряда тория:



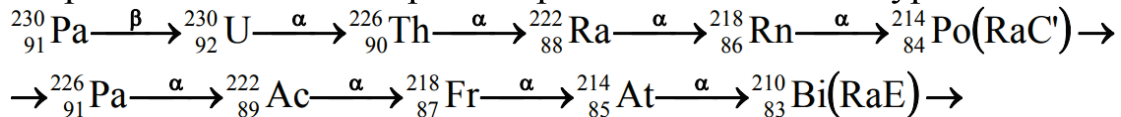
Все члены этого участка ряда имеют периоды полураспада меньше 108 лет.

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:

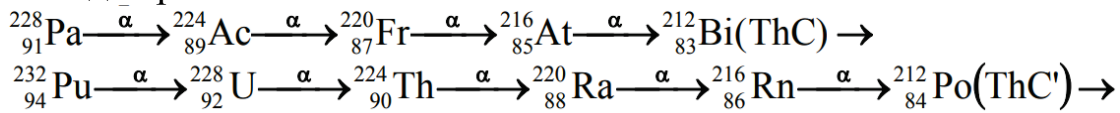


В результате искусственных ядерных реакций было получено несколько побочных рядов распада, сливающихся с главными семействами. Главное и побочное семейства имеют разных родоначальников, но совпадают, начиная с некоторого общего члена.

Примеры таких побочных рядов приведены ниже. Ряд урана:



Ряд тория:



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. Как уже упоминалось, вновь открытые искусственные актиниды являются предшественниками определенных радиоактивных семейств. Например, ^{248}Cm ($T=3.39 \times 10^5$ лет) относится к предшественникам ториевого семейства. ^{245}Cm ($T=8.5 \times 10^3$ лет) – предшественник нептуниевого семейства. ^{246}Cm ($T=4.73 \times 10^3$ лет) и ^{250}Cf ($T=6.9 \times 10^3$ лет) – предшественники уранового семейства и ^{247}Cm ($T=1.56 \times 10^7$ 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.

Ниже более подробно представлены 4 естественных радиоактивных семейства.

Семейство $A=4n - {}^{232}_{90}\text{Th}$ - ряд тория.

Нуклид	Историческое обозначение	Историческое название	Вид распада	Период полураспада	Выделяемая энергия, МэВ	Продукт распада
${}^{252}\text{Cf}$			α	2,645 года	6,1181	${}^{248}\text{Cm}$
${}^{248}\text{Cm}$			α	$3,4 \cdot 10^5$ лет	6,260	${}^{244}\text{Pu}$
${}^{244}\text{Pu}$			α	$8 \cdot 10^7$ лет	4,589	${}^{240}\text{U}$
${}^{240}\text{U}$			β^-	14,1 ч	0,39	${}^{240}\text{Np}$
${}^{240}\text{Np}$			β^-	1,032 ч	2,2	${}^{240}\text{Pu}$
${}^{240}\text{Pu}$			α	6561 год	5,1683	${}^{236}\text{U}$
${}^{236}\text{U}$			α	$2,3 \cdot 10^7$ лет	4,494	${}^{232}\text{Th}$
${}^{232}\text{Th}$	Th	Торий	α	$1,405 \cdot 10^{10}$ лет	4,081	${}^{228}\text{Ra}$
${}^{228}\text{Ra}$	MsTh ₁	Мезоторий 1	β^-	5,75 лет	0,046	${}^{228}\text{Ac}$
${}^{228}\text{Ac}$	MsTh ₂	Мезоторий 2	β^-	6,15 ч	2,124	${}^{228}\text{Th}$
${}^{228}\text{Th}$	RdTh	Радиоторий	α	1,9116 года	5,520	${}^{224}\text{Ra}$
${}^{224}\text{Ra}$	ThX	Торий X	α	3,66 дня	5,789	${}^{220}\text{Rn}$
${}^{220}\text{Rn}$	Tn (ThEm)	Торон (эманация тория)	α	55,6 с	6,404	${}^{216}\text{Po}$
${}^{216}\text{Po}$	ThA	Торий А	α	0,145 с	6,906	${}^{212}\text{Pb}$
${}^{212}\text{Pb}$	ThB	Торий В	β^-	10,64 ч	0,570	${}^{212}\text{Bi}$
${}^{212}\text{Bi}$	ThC	Торий С	β^- 64,06 % α 35,94 %	60,55 мин	2,252 6,208	${}^{212}\text{Po}$ ${}^{208}\text{Tl}$
${}^{212}\text{Po}$	ThC'	Торий С'	α	299 нс	8,955	${}^{208}\text{Pb}$
${}^{208}\text{Tl}$	ThC''	Торий С''	β^-	3,053 мин	4,999	${}^{208}\text{Pb}$
${}^{208}\text{Pb}$	ThD	Торий D, ториевый свинец	стабильный			

Семейство $A=4n+1$ – ${}^{237}_{93}\text{Np}$ - ряд нептуния.

Нуклид	Вид распада	Период полураспада	Выделяемая энергия, МэВ	Продукт распада
${}^{249}\text{Cf}$	α	351 год	5,813 + 0,388	${}^{245}\text{Cm}$
${}^{245}\text{Cm}$	α	8500 лет	5,362 + 0,175	${}^{241}\text{Pu}$
${}^{241}\text{Pu}$	β^-	14,4 года	0,021	${}^{241}\text{Am}$
${}^{241}\text{Am}$	α	432,7 года	5,638	${}^{237}\text{Np}$
${}^{237}\text{Np}$	α	$2,14 \cdot 10^6$ лет	4,959	${}^{233}\text{Pa}$
${}^{233}\text{Pa}$	β^-	27,0 д	0,571	${}^{233}\text{U}$
${}^{233}\text{U}$	α	$1,592 \cdot 10^5$ лет	4,909	${}^{229}\text{Th}$
${}^{229}\text{Th}$	α	7340 лет	5,168	${}^{225}\text{Ra}$
${}^{225}\text{Ra}$	β^-	14,9 д	0,36	${}^{225}\text{Ac}$
${}^{225}\text{Ac}$	α	10,0 д	5,935	${}^{221}\text{Fr}$
${}^{221}\text{Fr}$	α	4,8 мин	6,3	${}^{217}\text{At}$
${}^{217}\text{At}$	α	32 мс	7,0	${}^{213}\text{Bi}$
${}^{213}\text{Bi}$	β^- 97,80 % α 2,20 %	46,5 мин	1,423 5,87	${}^{213}\text{Po}$ ${}^{209}\text{Tl}$
${}^{213}\text{Po}$	α	3,72 мкс	8,536	${}^{209}\text{Pb}$
${}^{209}\text{Tl}$	β^-	2,2 мин	3,99	${}^{209}\text{Pb}$
${}^{209}\text{Pb}$	β^-	3,25 ч	0,644	${}^{209}\text{Bi}$
${}^{209}\text{Bi}$	α	$1,9 \cdot 10^{19}$ лет	3,14	${}^{205}\text{Tl}$
${}^{205}\text{Tl}$		стабильный		

Семейство $A=4n+2 - {}^{238}_{92}\text{U}$ - ряд урана (радия).

Нуклид	Историческое обозначение	Историческое название	Вид распада	Период полураспада	Выделяемая энергия, МэВ	Продукт распада
${}^{238}\text{U}$	UI	Уран I	α	$4,468 \cdot 10^9$ лет	4,270	${}^{234}\text{Th}$
${}^{234}\text{Th}$	UX ₁	Уран X1	β^-	24,10 сут	0,273	${}^{234}\text{Pa}^m$
${}^{234}\text{Pa}^m$	UX ₂	Уран X2, бревий	β^- 99,84 % изомерный переход 0,16 %	1,16 мин	2,271 0,074	${}^{234}\text{U}$ ${}^{234}\text{Pa}$
${}^{234}\text{Pa}$	UZ	Уран Z	β^-	6,70 ч	2,197	${}^{234}\text{U}$
${}^{234}\text{U}$	U _{II}	Уран II	α	245500 лет	4,859	${}^{230}\text{Th}$
${}^{230}\text{Th}$	Io	Ионий	α	75380 лет	4,770	${}^{226}\text{Ra}$
${}^{226}\text{Ra}$	Ra	Радий	α	1602 года	4,871	${}^{222}\text{Rn}$
${}^{222}\text{Rn}$	Rn (RaEm)	Радон (эманация радия)	α	3,8235 д	5,590	${}^{218}\text{Po}$
${}^{218}\text{Po}$	RaA	Радий А	α 99,98 % β^- 0,02 %	3,10 мин	6,115 0,265	${}^{214}\text{Pb}$ ${}^{218}\text{At}$
${}^{218}\text{At}$	RaAt	Астат	α 99,90 % β^- 0,10 %	1,5 с	6,874 2,883	${}^{214}\text{Bi}$ ${}^{218}\text{Rn}$
${}^{218}\text{Rn}$	AtEm	эманация астата	α	35 мс	7,263	${}^{214}\text{Po}$
${}^{214}\text{Pb}$	RaB	Радий В	β^-	26,8 мин	1,024	${}^{214}\text{Bi}$
${}^{214}\text{Bi}$	RaC	Радий С	β^- 99,98 % α 0,02 %	19,9 мин	3,272 5,617	${}^{214}\text{Po}$ ${}^{210}\text{Tl}$
${}^{214}\text{Po}$	RaC'	Радий С'	α	0,1643 мс	7,883	${}^{210}\text{Pb}$
${}^{210}\text{Tl}$	RaC''	Радий С''	β^-	1,30 мин	5,484	${}^{210}\text{Pb}$
${}^{210}\text{Pb}$	RaD	Радий D	β^-	22,3 года	0,064	${}^{210}\text{Bi}$
${}^{210}\text{Bi}$	RaE	Радий E	β^- 99,99987 % α 0,00013 %	5,013 сут	1,426 5,982	${}^{210}\text{Po}$ ${}^{206}\text{Tl}$
${}^{210}\text{Po}$	RaF	Радий F, полоний	α	138,376 сут	5,407	${}^{206}\text{Pb}$
${}^{206}\text{Tl}$	RaE''	Радий E''	β^-	4,199 мин	1,533	${}^{206}\text{Pb}$
${}^{206}\text{Pb}$	RaG	Радий G, урановый свинец	-	стабильный		

Семейство $A=4n+3 - {}^{235}_{92}\text{U}$ – ряд актиния.

Нуклид	Историческое обозначение	Историческое название	Вид распада	Период полураспада	Выделяемая энергия, МэВ	Продукт распада
${}^{239}\text{Pu}$			α	$2,41 \cdot 10^4$ лет	5,244	${}^{235}\text{U}$
${}^{235}\text{U}$	AcU	Актиноуран	α	$7,04 \cdot 10^8$ лет	4,678	${}^{231}\text{Th}$
${}^{231}\text{Th}$	UY	Уран Y	β^-	25,52 ч	0,391	${}^{231}\text{Pa}$
${}^{231}\text{Pa}$	Pa	Протактиний	α	32760 лет	5,150	${}^{227}\text{Ac}$
${}^{227}\text{Ac}$	Ac	Актиний	β^- 98,62 % α 1,38 %	21,772 года	0,045 5,042	${}^{227}\text{Th}$ ${}^{223}\text{Fr}$
${}^{227}\text{Th}$	RdAc	Радиоактиний	α	18,68 сут	6,147	${}^{223}\text{Ra}$
${}^{223}\text{Fr}$	AcK	Актиний К	β^- 99,994 % α 0,006 %	22,00 мин	1,149 5,340	${}^{223}\text{Ra}$ ${}^{219}\text{At}$
${}^{223}\text{Ra}$	AcX	Актиний X	α	11,43 сут	5,979	${}^{219}\text{Rn}$
${}^{219}\text{At}$	AcAtI	Актиноастант I	α 97,00 % β^- 3,00 %	56 с	6,275 1,700	${}^{215}\text{Bi}$ ${}^{219}\text{Rn}$
${}^{219}\text{Rn}$	An (AcEm)	Актинон (эманация актиния)	α	3,96 с	6,946	${}^{215}\text{Po}$
${}^{215}\text{Bi}$			β^-	7,6 мин	2,250	${}^{215}\text{Po}$
${}^{215}\text{Po}$	AcA	Актиний А	α 99,99977 % β^- 0,00023 %	1,781 мс	7,527 0,715	${}^{211}\text{Pb}$ ${}^{215}\text{At}$
${}^{215}\text{At}$	AcAtII	Актиноастант II	α	0,1 мс	8,178	${}^{211}\text{Bi}$
${}^{211}\text{Pb}$	AcB	Актиний В	β^-	36,1 мин	1,367	${}^{211}\text{Bi}$
${}^{211}\text{Bi}$	AcC	Актиний С	α 99,724 % β^- 0,276 %	2,14 мин	6,751 0,575	${}^{207}\text{Tl}$ ${}^{211}\text{Po}$
${}^{211}\text{Po}$	AcC'	Актиний С'	α	516 мс	7,595	${}^{207}\text{Pb}$
${}^{207}\text{Tl}$	AcC''	Актиний С''	β^-	4,77 мин	1,418	${}^{207}\text{Pb}$
${}^{207}\text{Pb}$	AcD	Актиний D, актиниевый свинец		стабильный		

1. <http://nuclphys.sinp.msu.ru>
2. Ю. Э. Пенионжкевич «Физика экзотических ядер»
3. Richard Rhodes “The making of the atomic bomb”
4. Соколов, Лоскутов, Тернов «Квантовая механика», изд.
5. Профессор И. Н. Бекман «ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА»