

Лекція 5

Тема. Хімія радіоактивних елементів.

Мета. Ознайомити студентів з будовою та властивостями основних радіоактивних елементів.

Вступ.

Наша планета, інші небесні тіла та космічний простір – це «специфічна» лабораторія, в якій здійснюються природні ядерні процеси та розпад родопочатківців трьох радіоактивних сімейств, що призводить до утворення різних радіоактивних ізотопів.

План.

1. Радіоактивні елементи і радіоактивні ізотопи в природі.
2. Хімія урану.
3. Радій. Ядерно-фізичні властивості радію.
4. Радон, торій, полоній, астат.

Зміст лекції

1. Радіоактивні елементи і радіоактивні ізотопи в природі.

У навколишньому середовищі випромінювання характеризується значними варіаціями. Як правило, рівень випромінювань більш високий в густонаселених районах, ніж в сільській місцевості. У дозі, що поглинається людським тілом, частка природного опромінення від матеріалів будівель та землі може коливатись у межах від 0,15 до 2,15 мГр/рік. З точки зору шкідливості, критичним радіонуклідом у ланцюгу розпаду урану є ^{222}Rn . Дочірні радіонукліди, що утворюються у результаті розпаді радону в будівлях, побудованих з будівельних матеріалів з високим рівнем природної радіації, можуть створювати значні дози опромінення, наприклад, неприйнятно високі дози для легень.

З космосу Земля безперервно опромінюється високоенергетичними протонами, α -частинками і більш важкими атомними ядрами. Так опромінення від Сонця та інших більш віддалених джерел у космосі дає нам щорічну дозу опромінення, яка дорівнює приблизно 0,3 мГр. Ця доза зростає з висотою над рівнем моря у відповідності з тим, що поглинання випромінювання повітрям стає менш ефективним.

Радіоактивні ізотопи, що знаходяться в ґрунті – ^{40}K та радіоізотопи з ланцюгів розпаду актиноурану, торію та урану – дають нам щорічну дозу γ -опромінення, близько 0,5 мГр. Наше власне тіло також є радіоактивним і містить радіонукліди, в тому числі ^{14}C , ^{40}K , ^{226}Ra . За рахунок власної радіоактивності кожна людина щорічно отримує дозу опромінення 0,2 мГр.

Іонізуюче сонячне випромінювання складається, в основному, з протонів з енергією в діапазоні 400-800 МеВ. Біля поверхні Землі воно має не таке велике значення, оскільки протони ефективно поглинаються атмосферою. Однак цей тип випромінювання і те нейтронне випромінювання, яке воно

створює вторинно у результаті гальмування, також необхідно врахувати. У найближчому до Землі космічному просторі є зони, радіоактивні пояси, де в магнітному полі Землі акумулюється випромінювання повільних часток, яке складається з сонячних електронів та протонів (т.зв. «сонячний вітер»). Вони називаються алленовими (за іменем їх відкривача Джеймса Альфреда ван Аллена (англ. James Alfred Van Allen) – американського астрофізика). Ці радіоактивні пояси вчені намагаються обійти під час розрахунку траєкторій космічних кораблів з екіпажем на борту.

Дози природного випромінювання є значно вищими, ніж ті, що генеруються технікою, створеною людиною. Виключення складають медико-радіологічні обстеження (рис. 5.1).

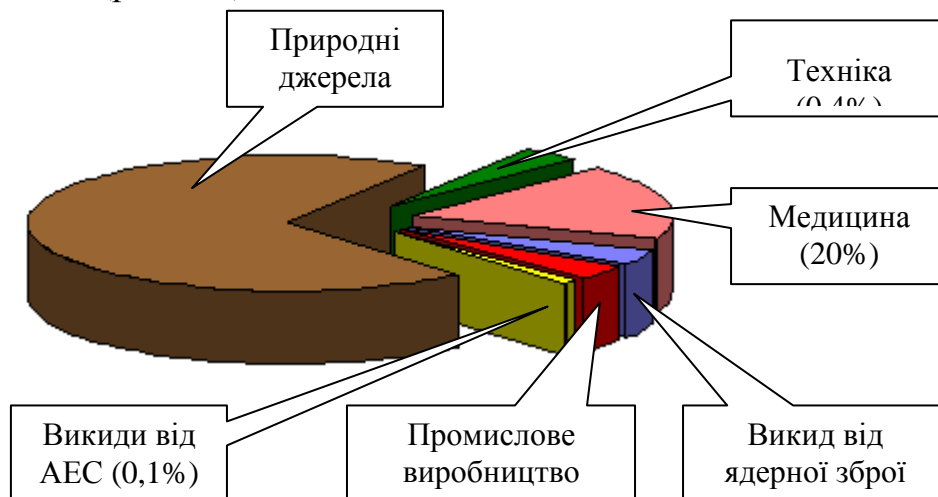


Рис. 5.1. Співвідношення річних доз опромінення

Таким чином, основними джерелами радіації є не потенційно-небезпечні, у випадку надзвичайних ситуацій, ядерні об'єкти, а природні джерела. Основну дозу опромінення кожна людина отримує саме від природних джерел радіації, наприклад, з космосу (рис. 5.1).

2. Хімія урану.

Загальна характеристика. Уран (U) – радіоактивний хімічний елемент III групи періодичної системи хімічних елементів, належить до сімейства актиноїдів. Деякі характеристики урану наведено в табл. 5.1.

В атомі урану валентні електрони розподілені між 5f- і 6d-підрівнями, крім того, два електрони розміщені на 7s-підрівні: $5f^3 6d^1 7s^2$. Уран є одночасно і f-, і d-елементом, тому виявляє подібність не лише до інших f-елементів, а й до d-елементів III групи.

Розміщення урану у періодичній системі тривалий час було предметом дискусій. Уран, який за властивостями подібний до d-елементів, спочатку був розміщений в побічній підгрупі VI групи (в клітинці, де нині розміщений 106-й елемент). Він довго був останнім елементом періодичної системи, але після відкриття перших трансуранових елементів нептунію, плутонію та наступних після них, а також вивчення їхніх властивостей стало зрозумілим, що всі ці елементи подібні за хімічними властивостями до лантаноїдів. У атомах цих елементів заповнюється 5f-підрівень, тому за пропозицією американського

вченого Г.Т. Сиборга вони були об'єднані в сімейство актиноїдів і за аналогією з лантаноїдами виокремлені з періодичної системи.

Таблиця 5.1

Характеристика урану

Символ	U
Порядковий номер	92
Відносна атомна маса, г/моль	238,0289
Радіус атома, нм	138
Радіус йона Me^{3+} , нм	103
Ступінь оксидації	+3, +4, +5, +6

Уран в космічному просторі. Численні аналізи показали, що вміст урану в метеоритах набагато менший, ніж в земних породах (не більше $10^{-6}\%$). Наявність урану в Сонці чи інших зірках точно встановити поки не вдалося. Ядро Землі також, очевидно, не містить урану.

Уран в живій матерії. В організмах тварин і рослинах міститься деяка кількість урану. Так, вміст урану в протоплазмі становить від 10^{-4} до $10^{-9}\%$. Слід зазначити, що в живих організмах уран не накопичується, а лише затримується. Винятками є абрикоси і деякі водорості, в золі яких виявлені порівняно великі кількості урану.

У даний час відомо більше 150 мінералів, що включають уран як важливий компонент (понад 1%), і ще 50, що містять незначні кількості урану.

Уранові мінерали можна розділити на дві основні групи: первинні та вторинні. Первинні мінерали знаходяться в магматичних гідротермальних жилах і пегматитах, тобто в породах з більш низькою температурою плавлення. До первинних уранових мінералів відносяться також ураніт (UO_2) і уранова смолка (U_3O_8) (аморфний або дрібнокристалічний різновид уранітиту з пониженим вмістом торію і лантаноїдів) – найбільш економічно рентабельні мінерали, в яких міститься велика частина світових запасів цього елемента. Деякі поклади уранітиту жильного типу є найбільш високосортною урановою рудою. Як правило, у первинних мінералах уран має ступінь оксидації нижче +4; ці мінерали забарвлені в чорний або темні кольори. Вторинні ж мінерали зазвичай містять уран (VI) і забарвлені в яскраві кольори від жовтого і зеленого до червоного. У табл. 5.2. представлені деякі найбільш відомі мінерали урану.

Таблиця 5.2

Мінерали урану

Мінерали	Основний склад мінералу
Ураніт	$UO_2 - UO_{2,67}$
Уранова смолка	U_3O_8
Евксеніт-полікраз	$(Y, U, Ca, Th, Ce)(Nb, Ta, Ti)_2O_6$
Фергусоніт	$(Y, Er, Ce, U, Fe)(Nb, Ta, Ti)O_4$
Самарскіт	$(Y, U, Ca, Th, Fe, Ce, Pb)(Nb, Ta, Ti, Sn)_2O_6$
Пірохлор-мікроліт	$(Na, Ca, U)_2(Ta, Nb, Ti)_2O_6(O, OH, Fe)$
Давідіт	$(Fe, Ce, U, Y, Ca)_6(Ti, Fe, V, Cr)_{15}(O, OH)_{36}$
Браннеріт	$(U, Ca, Fe, Th, Y)(Ti, Fe)_2O_6$
Карнотит	$K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$

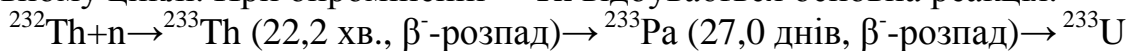
Отеніт	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 (\text{PO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}, n=8-12$
Тюямуніт	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 (\text{VO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}, n=4-10$
Уранофан	$\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 \text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Торберніт	$\text{Cu}(\text{UO}_2)_2 (\text{PO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}, n=8-12$
Кофініт	$\text{U}(\text{SiO}_4)_{1-x} (\text{OH})_{4x}$
Тухоліт	Оксид урану і вуглеводні

Природні ізотопи урану. Природний уран уявляє собою суміш трьох ізотопів: ^{238}U , ^{235}U і ^{234}U з їхнім вмістом 99,28; 0,714% і 0,006% (мас.) відповідно.

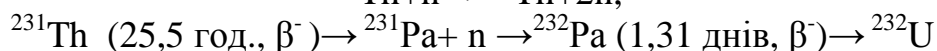
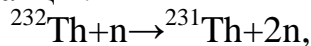
Ізотоп ^{238}U є родоначальником природного радіоактивного сімейства ($4n+2$), а ^{235}U – родоначальником сімейства актиноурану ($4n+3$). Ізотоп ^{234}U генетично пов'язаний з ^{238}U (є дочірнім).

Характеристика деяких ізотопів урану.

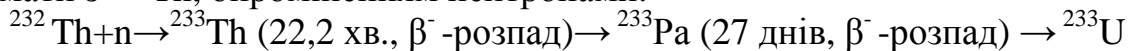
^{232}U – техногенний нуклід, в природі не зустрічається, α -випромінювач, $T = 68,9$ років, материнські ізотопи: ^{236}Pu (α), ^{232}Np (β^+) і ^{232}Pa (β^-), дочірній нуклід ^{233}Th . Здатний до спонтанного поділу. ^{232}U має інтенсивність спонтанного поділу 0,47 поділів/с-кг. У ядерній індустрії ^{232}U напрацьовується як побічний продукт при синтезі нукліду ^{233}U , що ділиться в торієвому паливному циклі. При опроміненні ^{232}Th відбувається основна реакція:



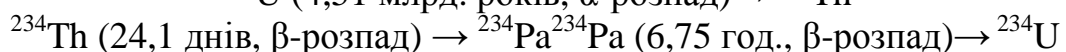
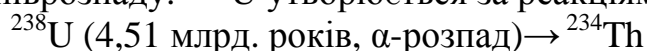
і побічна двостадійна реакція:



^{233}U – α -випромінювач, $T = 1,585 \cdot 10^5$ років, материнські нукліди ^{237}Pu (α), ^{233}Np (β^+), ^{233}Pa (β^-), дочірній нуклід ^{229}Th . Уран-233 утворюється в атомних реакторах з торію: ^{232}Th захоплює нейтрон і перетворюється на ^{233}Th , який розпадається на ^{233}Pa , а потім у ^{233}U . Ядра ^{233}U (непарний ізоотоп) здатні як до спонтанного поділу, так і до поділу під дією нейтронів будь-яких енергій, що робить його придатним до виробництва як атомної зброї, так і реакторного палива (можливо розширене відтворення ядерного пального). Уран-233 також є найбільш перспективним паливом для газофазних ядерних ракетних двигунів. Критична маса ^{233}U в три рази менша від критичної маси ^{235}U (близько 16 кг). ^{233}U має інтенсивність спонтанного поділу рівну 720 поділів/с-кг. ^{233}U можна отримати з ^{232}Th , опроміненням нейтронами:



^{234}U входить до складу природного урану (0,0055%), $T = 2,445 \cdot 10^5$ років, α -випромінювач, материнські радіонукліди: ^{238}Pu (α), ^{234}Np (β^+), ^{234}Pa (β^-), дочірній ізоотоп в ^{230}Th . Вміст ^{234}U в руді дуже незначний через його порівняно короткий період напіврозпаду. ^{234}U утворюється за реакціями:



^{235}U – ізоотоп, здатний давати ланцюгову реакцію поділу, що швидко розвивається. Це перший ізоотоп, на якому була відкрита реакція вимушеного поділу ядер під дією нейтронів. Поглинаючи нейтрон, ^{235}U переходить у ^{236}U , який ділиться на дві частини (уламки), виділяючи енергію і випускаючи кілька

нейтронів. Подільний нейтронами будь-яких енергій, здатний до самовільного поділу, ізопоп ^{235}U входить до складу природного урану (0,72%), α -випромінювач (енергія 4,679 MeV), $T=7,038\cdot 10^8$ років, материнські нукліди: ^{235}Pa , ^{235}Np і ^{239}Pu , дочірній – ^{231}Th .

^{236}U – зустрічається в природі в домішкових кількостях, α -випромінювач, $T=2,3415\cdot 10^7$ років, розпадається на ^{232}Th . Утворюється при бомбардуванні нейтронами ^{235}U , потім ділиться на ізопоп барію і ізопоп криптону з виділенням двох нейтронів, гамма-променів і вивільненням енергії.

У незначних кількостях входить до складу свіжого палива; накопичується при опроміненні урану нейтронами в реакторі, і тому використовується як «сигналізатор» відпрацьованого уранового ядерного палива. ^{236}U утворюється як побічний продукт при сепарації ізопопів методом газової дифузії у випадку регенерації використаного ядерного пального.

^{237}U – бета-випромінювач, часто застосовується в методі радіоактивних індикаторів в хімічних і фізичних дослідженнях.

^{238}U – ділиться нейтронами високих енергій (більше 1 MeV), здатний до самовільного поділу, складає основу природного урану (99,27%), α -випромінювач, $T = 4,468\cdot 10^9$ років, безпосередньо розпадається на ^{234}Th , утворює ряд генетично зв'язаних радіонуклідів, і через 18 продуктів перетворюється в ^{206}Pb . Постійна швидкість розпаду ряду дає можливість використання відношення концентрацій материнського нукліда до дочірнього в радіометричному датуванні. Період піврозпаду ^{238}U за спонтанним поділом точно не встановлений, але він дуже великий – близько 10^{16} років, так що ймовірність поділу по відношенню до основного процесу – випускання альфа-частинки - складає всього 10^{-7} . Один кілограм урану дає всього 10 спонтанних поділів за секунду, а за цей же час α -частинки випромінюють 20 мільйонів ядер. Материнські нукліди: $^{238}\text{Pa}(\beta^-)$, $^{242}\text{Pu}(\alpha)$, ^{234}Th , дочірній – ^{234}Th .

Важлива сфера застосування цього ізопопу урану – виробництво ^{239}Pu . Плутоній утворюється в ході декількох реакцій, що починаються після захоплення атомом ^{238}U нейтрона. Будь-яке реакторне паливо, що містить природний або частково збагачений 235-им ізопопом уран, після закінчення паливного циклу містить в собі певну частку плутонію.

Збіднений уран. Після вилучення ^{235}U з природного урану матеріал, що залишився, носить назву «збіднений уран», оскільки він збіднений ізопопами ^{235}U і ^{234}U . Зменшений вміст ^{234}U (~ 0,001%) знижує радіоактивність майже вдвічі порівняно з природним ураном, при цьому зменшення вмісту ^{235}U практично не позначається на радіоактивності збідненого урану. Знаходження шляхів використання збідненого урану уявляє собою велику проблему для підприємств. В основному його використання пов'язане з великою густиною урану і відносно низькою його вартістю. Дві найважливіші сфери використання збідненого урану: в якості радіаційного захисту і як баластної маси в аерокосмічних приладах, таких як рульові поверхні літальних апаратів.

3. Радій. Ядерно-фізичні властивості радію.

Радій – радіоактивний хімічний елемент. Символ Ra, порядковий номер 88. Відкритий у 1898 році П'єром Кюрі і Марією Склодовською-Кюрі.

Французькі вчені виявили (рис. 5.2), що відходи, які залишаються після виділення урану з уранової руди (уранова смола, що видобувається в місті Яхимів, Чехія) радіоактивніші за чистий уран. З цих відходів подружжя Кюрі після кількох років інтенсивної роботи виділили два сильно радіоактивних елементи: полоній і радій. Перше повідомлення про відкриття радію (у вигляді суміші з барієм) Кюрі зробили 26 грудня 1898 у Французькій академії наук (рис. 5.3).

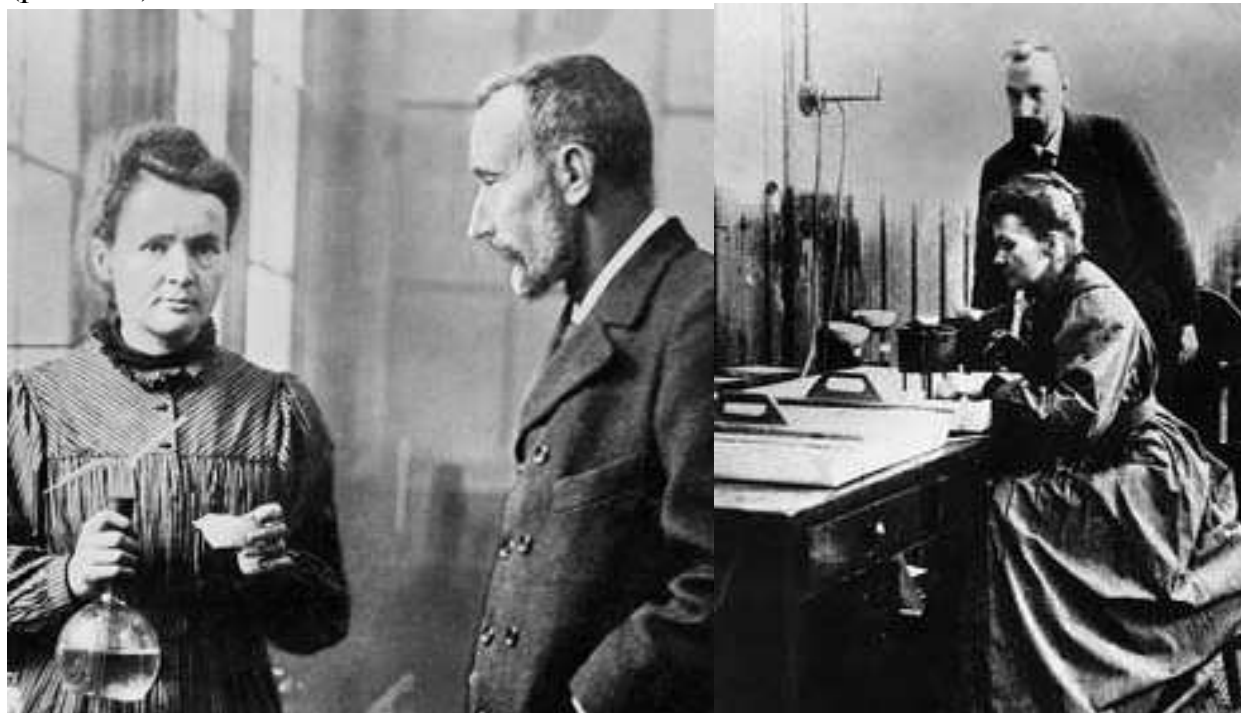


Рис. 5.2. Подружжя П'єр Кюрі і Марія Склодовська-Кюрі.



Рис. 5.3. Повідомлення про виділення та властивості радію.

У 1900 р. Кюрі і Деб'єрн виділили чистий радій шляхом електролізу радій хлориду на ртутному катоді і подальшої дистиляції у водні. Виділений елемент був, як зараз відомо, ізотопом радію-226, продуктом розпаду урану-238. Назва

«радій» пов'язана з випромінюванням атомів радію (лат. *Radiusis* – промінь). За відкриття радію та полонію подружжя Кюрі отримали Нобелівську премію.

Радій утворюється через багато проміжних стадій у результаті радіоактивного розпаду ізотопу урану-238 і тому знаходиться в невеликих кількостях в урановій руді. Багато радіонуклідів, що виникають при радіоактивному розпаді радію, до того, як була виконана їх хімічна ідентифікація, отримали найменування типу радій А, радій В, радій С і т. д. Хоча зараз відомо, що вони є ізотопами інших хімічних елементів, їх історично сформовані назви за традицією іноді використовуються.

Фізичні та хімічні властивості ізотопів радію. Атомна маса для найстійкішого ізотопу ^{226}Ra (період напіврозпаду 1620 років) – 226,0254. Сріблясто-білий метал, на повітрі набуває чорного кольору через утворення нітриду Ra_3N_2 . При спалюванні надає червоного відтінку полум'ю. Густина 5500 кг/м³; $t_{\text{плав}}=969^\circ\text{C}$; $t_{\text{кип}}$ бл. 1500°C .

Реагує з водою з утворенням сильного лугу $\text{Ra}(\text{OH})_2$. На повітрі легко окиснюється з утворенням RaO , сполучаючись з N, дає нітрид Ra_3N_2 .

Всі ізотопи радію радіоактивні. Радій випромінює α , β та γ промені, в залежності від ізотопу. Всі його ізотопи легші за ^{227}Ra альфа-активні. ^{225}Ra , ^{227}Ra та всі більш важкі ядра зазнають тільки β^- -розпад. Крім того, для 5 ізотопів радію (з масовими числами 221–224 та 226) був відкритий кластерний розпад. Альфа-частинки, що випромінюються α -активними ізотопами радію (і будь-яких інших елементів), при змішуванні з легкими елементами (берилієм та ін.) викликають (α , n)-реакції на ядрах цих елементів, що призводить до емісії нейтронів; це використовується для створення нейтронних джерел.

Середній вміст у земній корі $10^{-10}\%$ маси. Як член родини ^{238}U , ^{220}Ra є в усіх рудах урану (бл. 0,3 г/т). Внаслідок вимивання з уранових руд радій знаходиться в розчиненому стані у воді і входить до складу вторинних мінералів. У геології ізотопи радію ^{228}Ra та ін. застосовують для визначення віку океанічних осадових порід і мінералів.

Радій-226 приблизно у мільйон разів радіоактивніший за природній уран з тією ж масою.

Ізотопи. Відомо 25 ізотопів радію. Ізотопи ^{223}Ra , ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra зустрічаються в природі і входять до складу радіоактивних рядів. Решта ізотопів були отримані штучно. Нижче наведені властивості деяких ізотопів радію:

Таблиця 5.3

Властивості ізотопів радію

Масове число	Період напіврозпаду	Тип розпаду
213	2,74(6) хв.	α
219	10(3) мс	α
220	17,9(14) мс	α (99%)
221	28(2) с	α
222	38,0(5) с	α
223 (AcX)	11,43(5) дні	α
224 (ThX)	3,6319(23) дні	α
225	14,9(2) дні	β

226	1602(7) років	α
227	42,2(5) хв.	β
228 (MsTh ₁)	5,75(3) роки	β
230	93(2) хв.	β

Отримання та поширення радію в природі. Радій виділяють з уранових руд хімічним методом. Металічний радій отримують електролізом розчину RaCl_2 на ртутному катоді.

Радій досить рідкісний. За час з моменту його відкриття – понад століття – у всьому світі вдалося добути всього лише 1,5 кг чистого радію. Одна тонна уранової смолки, з якої подружжя Кюрі отримали радій, містить лише близько 0,0001 г радію-226. Весь природний радій є радіогенним – виникає при розпаді урану-238, урану-235 або торію-232; з чотирьох знайдених в природі найпоширенішим і найтривалішим ізотопом (період напіврозпаду – 1602 роки) є радій-226, що входить до радіоактивного ряду урану-238. У рівновазі, відношення вмісту урану-238 і радію-226 в руді дорівнює відношенню їх періодів напіврозпаду:

$$(4,468 \times 10^9 \text{ років}) / (1602 \text{ роки}) = 2,789 \times 10^6.$$

Таким чином, на кожні три мільйони атомів урану в природі можна знайти лише один атом радію або 1,02 мкг/т (кларк у земній корі).

Геохімія радію багато в чому визначається особливостями міграції та концентрації урану, а також хімічними властивостями самого радію – активного лужноземельного металу. Серед процесів, що сприяють концентруванню радію, слід вказати насамперед на формування на невеликих глибинах геохімічних бар'єрів, в яких концентрується радій. Такими бар'єрами можуть бути, наприклад, сульфатні бар'єри в зоні окиснення. Хлоридні сірководневі радієвмісні води в зоні окиснення стають сульфатними, радій осаджується з BaSO_4 та CaSO_4 , де він стає практично нерозчинним постійним джерелом радону. При спалюванні вугілля попіл і шлаки збагачуються ^{226}Ra . Також вміст радію підвищений в фосфатних породах.

У результаті розпаду урану і торію, та вилуговування із порід нафти, що містять нафту, постійно утворюються радіонукліди радію. У статичному стані нафта знаходиться в природних пастках. Обміну радієм між нафтою і водами, що її підпирають, немає (окрім зони контакту вода-нафта) і внаслідок цього в нафті є надлишок радію. При розробці родовища пластові та закачані води інтенсивно надходять у нафтові пласти, поверхня поділу вода-нафта різко збільшується і в результаті радій йде у потік вод, що фільтруються. За підвищеного вмісту сульфат-йонів розчинені у воді радій і барій осідають у вигляді радіобариту $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$, який випадає на поверхні труб, арматури, резервуарів. Типова об'ємна активність викачуваної водонафтової суміші за ^{226}Ra і ^{228}Ra сягає 10 Бк/л, що відповідає рідким радіоактивним відходам.

Основна маса радію знаходиться в розсіяному стані в гірських породах. Радій – хімічний аналог лужних і лужноземельних породоутворюючих елементів, що утворюють польові шпати, які складають половину маси земної кори. Калієві польові шпати – головні породоутворюючі мінерали кислих магматичних порід – гранітів, сієнітів, гранодіоритів та ін. Відомо, що граніти

мають природну радіоактивність, яка трохи вища за фонову через домішки урану. Хоча кларк урану не перевищує 3 г/т, але в гранітах його вміст становить вже 25 г/т. Проте якщо набагато поширеніший хімічний аналог радію – барій – входить до складу досить рідкісних калій-барієвих польових шпатів (гіалофанів), то накопичення радію з утворенням радієвих польових шпатів і мінералів взагалі не відбувається через короткий період напіврозпаду радію. Радій розпадається на інертний радон, що вивільняється порами і мікротріщинами і вимивається з ґрунтовими водами. У природі іноді зустрічаються молоді радієві мінерали, що не містять уран, наприклад радіобарит і радіокальцит, під час кристалізації яких зі збагачених радієм розчинів, разом з барієм і кальцієм, завдяки ізоморфізму, кристалізується радій.

4. Радон, торій, полоній, астат.

Rn (Radon). Радіоактивний хімічний елемент VIII групи Періодичної системи, що відноситься до інертних газів. У 1900 р. був відкритий Е.Резерфордом. Дослівно назва Радону перекладається як «такий, що походить від радію», тому що у всіх природних радіоактивних сімействах він є дочірнім продуктом розпаду Радію. Відомо 16 ізотопів Радону. Найважливіший з них ^{222}Rn з періодом напіврозпаду $T_{1/2} = 3,8$ доби. Радон робить основний внесок в радіоактивність повітря. Використовується в медицині (радонові ванни).

Th (Thorium). Радіоактивний хімічний елемент III групи Періодичної системи, що відноситься до сімейства актиноїдів. У 1828 р. був відкритий видатним шведським хіміком І. Берцеліусом з рідкісного мінералу, який тепер називають торитом (ThSiO_4). Свою назву цей елемент отримав від імені Тора – наймогутнішого бога скандинавської міфології. Торій – характерний елемент верхньої частини земної кори гранітного шару і осадової оболонки, де його кількість, у середньому, становить відповідно $1,8 \cdot 10^{-3}\%$ і $1,3 \cdot 10^{-3}\%$ (мас.). Торій порівняно слабомігруючий елемент; в основному, він бере участь у магматичних процесах, накопичуючись у гранітах, лужних породах і пегматитах. Здатність до концентрації слабка. Відомо 12 власних мінералів торію. Торій міститься в монациті, уранініті, цирконі, апатиті, ортиті та ін. Його основним промисловим джерелом є торій-монацитові розсипи (морські і континентальні). У природних водах міститься особливо мало торію: у прісній воді $2 \cdot 10^{-9}\%$, у морській воді $1 \cdot 10^{-9}\%$. Він дуже слабо мігрує в біосфері і гідротермальних розчинах.

Крім вже згаданого ториту (ThSiO_4) мінералом торію є також торіаніт $(\text{Th,U})\text{O}_2$, що містить від 45% до 93% ThO_2 . Але ці мінерали надзвичайно рідкісні і, хоча вони мають промислове значення, їх частка у виробництві торію незначна. Найвідоміше родовище ураноторіаніту розташоване на острові Мадагаскар.

Значна кількість торію міститься у монациті. Загалом його формулу пишуть як $(\text{Ce,Lu})\text{PO}_4$, але крім Церію та Лантану монацит містить багато рідкоземельних елементів, і, зокрема, - Торій. У деяких родовищах вміст його оксиду може сягати 25%. Поклади цього мінералу є у Південно-Східній Україні.

У природі Торій, в основному, складається з ізотопу ^{232}Th . Періоди напіврозпаду ряду природних ізотопів Торію настільки великі, що вони збереглися у земній корі з моменту її утворення.

Po (Polonium). Радіоактивний хімічний елемент VI групи Періодичної системи. Відкритий був у 1898 р. Марією та П'єром Кюрі в руді, що містила уран, і названий на честь батьківщини Марії – Польщі. Радіонукліди полонію входять до складу природних радіоактивних рядів: ^{210}Po ($T_{1/2} = 138,376$ діб), ^{218}Po ($T_{1/2} = 3,10$ хв.) і ^{214}Po ($T_{1/2} = 1,643 \cdot 10^{-4}$ с) – до урано-радієвого ряду; ^{216}Po ($T_{1/2} = 0,145$ с) і ^{212}Po ($T_{1/2} = 2,99 \cdot 10^{-7}$ с) – до торієвого ряду; ^{215}Po ($T_{1/2} = 1,781 \cdot 10^{-3}$ с) і ^{211}Po ($T_{1/2} = 0,516$ с) – до ряду актиноурану. Тому полоній завжди присутній в уранових і торієвих мінералах. Рівноважний вміст полонію в земній корі $2 \cdot 10^{-14}$ % (мас.).

Станом на початок 2006 року відомі 33 ізотопи полонію в діапазоні масових чисел від 188 до 220. Крім того, відомі 10 метастабільних збуджених станів ізотопів полонію. Стабільних ізотопів не виявлено. Найбільш довгоживучі ізотопи, ^{209}Po і ^{208}Po , мають періоди напіврозпаду 102 і 2,9 роки відповідно.

At (Astatium). Радіоактивний неметалічний хімічний елемент VII групи Періодичної системи. Відноситься до групи галогенів, у природі зустрічається дуже рідко. Астат дуже нестабільний, має багато ізотопів у діапазоні масових чисел від 202 до 219, з них найбільші періоди напіврозпаду мають ^{211}At ($T_{1/2} = 7,5$ год.) і ^{210}At ($T_{1/2} = 8,3$ год.). Вперше був отриманий Д. Корсоном, К. Мак-Кензі та Е. Сегре у 1940 р. Астат в перекладі з грецької означає «бути нестійким». Пізніше було отримано близько 20 ізотопів Астату, надзвичайно короткоживучих, через що він і отримав свою назву. Всі дослідження проводились з ізотопом ^{210}At , який має найбільшу тривалість життя $\tau = 8,3$ год.

Отримують опроміненням металевого бісмуту чи торію α -частинками високої енергії з наступним відокремленням Астату співосадженням, екстракцією, хроматографією або дистиляцією на платинову пластинку.

Висновки.

У навколишньому середовищі випромінювання характеризується значними варіаціями. Як правило, рівень випромінювань більш високий в густонаселених районах, ніж в сільській місцевості.

З точки зору шкідливості, критичним радіонуклідом у ланцюгу розпаду урану є ^{222}Rn .

Радіоактивні ізотопи, що знаходяться в ґрунті – ^{40}K та радіоізотопи з ланцюгів розпаду актиноурану, торію та урану – дають нам щорічну дозу γ -опромінення, близько 0,5 мГр. Наше власне тіло також є радіоактивним і містить радіонукліди, в тому числі ^{14}C , ^{40}K , ^{226}Ra . За рахунок власної радіоактивності кожна людина щорічно отримує дозу опромінення 0,2 мГр.

Таким чином, основними джерелами радіації є не потенційно-небезпечні, у випадку надзвичайних ситуацій, ядерні об'єкти, а природні джерела. Основну дозу опромінення кожна людина отримує саме від природних джерел радіації, наприклад, з космосу.

Література.

1. Мідак Л.Я., Кравець І.В. Основи радіохімії. – Івано-Франківськ: пп Голіней, 2013. – 160 с.
2. Краткий курс радиохимии/ Под. ред. А.В. Николаева. - М., 1969.
3. Несмеянов В.Н. Радиохимия. - 2изд. - М., 1978.
4. Нефедов В.Д., Текстер Е.Н., Торолова М.А. Радиохимия. - М., 1987.
5. Несмеянов А.Н. Прошлое и настоящее радиохимии - Л., «Химия». - 1985.
6. Громов В.В., Москвин А.Н., Сапожников Ю.А. Техногенная радиоактивность мирового океана. М., 1985.
7. Защита от ионизирующих излучений/ Под ред. Н.Г. Гусева в 2-х т. – Т1. – М., 1989. – Т.2. – М., 1990.

Запитання для самоперевірки.

1. Назвіть основні джерела радіації. Приведіть приклади.
2. Дайте коротку характеристику хімічного елемента Урану.
3. Які основні радіоактивні ізотопи урану Ви знаєте? Вкажіть їх використання.
4. Охарактеризуйте за типом випромінювання радіоактивні ізотопи радію.
5. Дайте характеристику хімічного елемента Полонію. Вкажіть його радіоактивні ізотопи.
6. Що таке еманация? Чи вірним є твердження «радон є еманациєю радію»?