

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”

Методичні вказівки
до самостійної роботи по курсу

“Радіоекологія”

Частина 1

Радіоактивність зовнішнього середовища
та елементи ядерної хімії в радіоекології.

Рекомендовано Методичною радою НТУУ “КПІ”

Київ
НТУУ “КПІ”
2010

Вступ

Дія іонізуючого випромінювання на живі організми цікавила світову науку з моменту відкриття радіоактивності, з перших же кроків її практичного використання. І це не випадково, бо з самого початку вчені зіткнулись з негативною дією радіації на матеріальний світ взагалі і на живу матерію зокрема. Виникненню радіологічних наук зобов'язані три великі наукові відкриття, що увінчали закінчення 19-го сторіччя нашої ери:

1895 – відкриття Вільгельмом Конрадом Рентгеном “Х–променів”, які в подальшому були названі його іменем – “рентгенівські промені”;

1896 – відкриття природної радіоактивності Анрі Беккерелем;

1898 – відкриття радіоактивних елементів полонія і радія Марією Склодовською-Кюрі та її чоловіком П'єром Кюрі.

Однак, треба зазначити, що історія відкриття Х-променів безпосередньо пов'язана з ім'ям видатного українського вченого Івана Павловича Пулюя, який ще задовго до Рентгена у 1881р. винайшов та виготовив прилад, який генерував “Х-промені”. Це була спеціальна трубка названа “лампю Пулюя”. Одну з таких трубок Іван Пулюй особисто подарував Рентгену. Саме Іван Пулюй, а не Рентген вперше продемонстрував відповідні фотознімки. Остаточні результати дослідження Івана Пулюя були опубліковані у “Записках Імператорської Академії наук” 1880-83рр. і згодом вийшли окремою книжкою. Лондонське Королівське товариство визнало роботи Івана Пулюя одними з найвидатніших досягнень світової науки того часу. І все це за кілька років до заявленого в 1895р. відкриття Рентгена.

В 1901 році Рентгену була присуджена перша Нобелівська премія з фізики, а двома роками пізніше у 1903 році відкриття, пов'язані з природною радіоактивністю, відзначили присудження Нобелівської премії Марії і П'єру Кюрі та французькому фізику Анрі Беккерелю. Треба додати і ще те, що у 1911 році Марія Кюри була нагороджена другою Нобелівською премією за роботи в галузі радіаційної хімії. 32 роки потому, у 1935, після батьків

Нобелівську премію отримали їхня дочка Ірен Кюрі разом із своїм чоловіком Фредеріком Жоліо Кюрі за дослідження в тій же галузі, проте тепер за відкриття штучної радіоактивності.

Дорогою ціною заплатило людство відкриттю природної таємниці. Загинули майже усі перші дослідники, в тому числі багато медиків, які не знали підступності так званого рентгенівського випромінювання, працюючи з ним без будь-яких застережень.

А в середині двадцятого сторіччя людство стало свідком масової одномоментної загибелі сотен тисяч людей в японських містах Херосима та Нагасакі.

Як не парадоксально, але бурхливому розвитку радіології в значній мірі сприяла загроза ядерної катастрофи, яка в 40-х роках минулого сторіччя нависла над світом.

Страшний досвід використання атомної бомби у Японії, збільшення радіоактивного фону в атмосфері, аварії на атомних виробництвах, останньою із яких була чорнобильська трагедія, всі ці радіаційні техногенні проблеми висунули глобальне невідкладне завдання – розробку проблеми протиопроменевого захисту, яке, в свою чергу, вимагало глибоких досліджень механізму біологічної дії іонізуючого випромінювання.

Важливе місце серед наук радіаційного спрямування займає і радіоекологія.

В даних методичних вказівках розміщені деякі питання, пов'язані з елементами ядерної хімії в радіології, інформація про радіоактивні джерела навколишнього природного середовища, вплив випромінювання на речовину та біоту, деякі нормативні матеріали.

Розглянуті учбові матеріали полегшать роботу студентів в розумінні та подальшому вивченні проблем радіоекології.

Предмет курсу “Радіоекологія”. Зв’язок курсу з іншими суміжними науками

В сучасному розумінні *Екологія* – наука про ставлення живих організмів, або групи організмів до навколишнього природного середовища, так чи інакше, це наука про взаємозв’язок між живими організмами і середовищем їх перебування. *Радіоекологія*, або радіаційна біогеоценологія (з термінології М.В. Тимофєєва-Ресовського) – це розділ загальної екології, який вивчає процеси попадання і накопичення радіоактивних речовин живими організмами, їх міграцію у біосфері, вплив іонізуючого випромінювання на екосистеми. Вона пов’язана з такими науками як: радіобіологія, радіологія, радіохімія, рентгенологія, ядерна хімія, ядерна медицина, радіаційна генетика, ядерна фізика, дозиметрія іонізуючого випромінювання.

Як галузь знань радіоекологія належить до *радіобіології*. Однак, якщо класична радіобіологія – наука, головним чином, експериментальна, предметом її вивчення є одноразова дія однорідного зовнішнього опромінення на однорідні популяції живих організмів (одно- і багатоклітинні гриби, рослини, тварини), радіоекологія, навпаки, вивчає переважно закономірності хронічної дії суміші радіонуклідів (ізоотопів різних елементів, що є α, β, γ - випромінювачами) на природні угруповання різних організмів аж до біогеоценозів.

У радіоекології виділяють дві основні тісно взаємопов’язані проблеми:

1. Міграція радіонуклідів у екосистемі.

Фундаментальними характеристиками міграції радіонуклідів є :

- коефіцієнт накопичення;
- коефіцієнт переходу радіонуклідів з певного оточення в певні організми;
- розподіл за глибиною ґрунтів, на поверхню яких нанесені радіонукліди;
- коефіцієнти сорбції нуклідів детритом (перегноєм, гумусом).

2. Вплив на організми радіонуклідів, що накопичено в них.

На відміну від радіобіології, радіоекологія вивчає вплив іонізуючого випромінювання не стільки на сам організм, скільки на його репродуктивні функції, тобто на здатність підтримувати чисельність популяції.

Радіоекологія займається також методами розрахунку індивідуальних і колективних доз випромінювання для великих популяцій населення. Вивчає проблеми проживання людей на великих територіях, забруднених радіонуклідами.

Природні джерела радіації

Основну частину опромінення населення земного шару отримує від природних джерел. На поверхню Землі випромінювання надходить із різних джерел:

- а) із космосу;
- б) джерел, які знаходяться в земній корі.

Космічне випромінювання приходить з глибин всесвіту, частину цього випромінювання складає сонячна радіація. Космічна і сонячна радіація частково пробивається крізь атмосферу і сягає поверхні землі. Крім того, космічне випромінювання у високих атмосферних шарах ініціює проходження ядерних реакцій, утворюючи такі радіонукліди як H^3 , C^{14} , Be^{10} та інші.

Земна радіація присутня безпосередньо на Землі. В природі існують три родини радіоактивних ізотопів (т.з. радіоактивні ряди). Це родина торію (родоначальник Th^{232}), родина актінію (родоначальник U^{235}), родина урану (родоначальник U^{238}). В доповненні до радіоактивних родин, які включають важкі елементи, існують декілька природних радіоізотопів, що не входять в названі родини (K^{40} , Rb^{37} , In^{115} , Re^{137} та інші). Ізотопи H^3 , C^{14} , Be^{10} , як вже зазначалось, є продуктами ядерних реакцій атмосферних газів з космічними променями. Окремим представником земної радіації є радіоактивний газ родон Rn^{222} . Родон утворюється в результаті ядерних перетворень в ряду

трансуранових елементів у земній корі, або у природних матеріалах, які використовуються у будівництві. Радіонуклід Rn^{222} вивчається окремим розділом радіологічних проблем.

Штучні джерела радіації

Радіаційні джерела, створені людиною, або так звані техногенні джерела є наслідком діяльності різних галузей науки і техніки, це:

1. джерела радіації медичного призначення (рентгенівський апарат, променева терапія, ізотопна діагностика);
2. ядерні вибухи;
3. атомна енергетика: можливі опромінення, пов'язані з медициною та атомною енергетикою, отримуються у професійних умовах (особливо це стосується атомної енергетики);
4. інші джерела: це можуть бути предмети загального використання в повсякденному побуті і житті (годинники з висвіченим циферблатом, телевізійні екрани, флуоресцентні світильники, монітори комп'ютерів, мобільні телефони).

Вплив радіоактивності на біологічні об'єкти

Радіація по своїй природі шкідлива для живого організму. Опромінення можуть спричиняти генетичні ушкодження або навіть ініціювати онкологічні хвороби. Радіаційні фактори давно і постійно існують в природі, а ефект дії може виникати навіть при дуже малих дозах.

Результат радіаційного враження на клітинному рівні призводить до:

- латентного стану людини (нестабільного, не визначеного);
- пошкодження клітини;

- розриву ланцюгів ДНК;
- можливості психічного збудження і, як результат, радіаційного пошкодження клітини організму.

Ці пошкодження можуть зберігатись дуже довго. ДНК може зберігати ці пошкодження і у подальших поколіннях людей (передаючи по спадкоємству). Так звані генні мутації породжують точкові мутації. Адаптація на радіоактивний вплив малоймовірна. Вона людині практично не показана. Похидкова репарація (оновлення) не дає певної адаптації, хоча і покращує стан.

Основну частину опромінення загальна частина населення земної кулі отримує від природних джерел радіації.

Людина зазнає опромінення двома способами:

1) Зовнішнє опромінення. Радіоактивні речовини (або іонізуюче випромінювання), які перебувають поза організмом, можуть опромінювати його зовні. В цьому разі мова іде про зовнішнє опромінення.

2) Внутрішнє опромінення. Радіоактивні речовини (або іонізуюче випромінювання) можуть бути у повітрі, яким дихає людина, в продуктах харчування чи у воді, і таким шляхом потрапляють в організм. Такий спосіб опромінення називають внутрішнім.

Стратегія захисту від опромінення базується на двох принципах:

1) зменшення проявів уже отриманого опромінення – підвищення культури харчування;

2) зменшення можливостей нового опромінення.

Відповідно зазначеним принципам людині потрібно вживати якісні продукти харчування, більше споживати овочів, антиканцерогенів (капусти, рослинного масла та ін.). Крім того, треба, щоб у харчах було багато мікроелементів, вести здоровий спосіб життя (не палити, максимально обмежити вживання алкогольних напоїв, дихати свіжим повітрям, займатись спортом).

Елементи ядерної хімії в радіоекології

Розглянемо такі поняття як нуклони, нукліди, стабільність нуклідів, поширеність радіоактивних ізотопів в природі.

Нуклони. Атомні ядра складаються з нуклонів – ядерних протонів (Z – число протонів) і ядерних нейтронів (N – число нейтронів). Сума $Z+N$ називається *числом нуклонів* і позначається літерою A : $A = Z + N$. В літературі число нуклонів A називають масовим числом. Воно являє собою ціле число і, як правило, відрізняється від точної величини атомної маси M_a . Якщо m_p – маса протона, а m_n – маса нейтрона, тоді сума мас нуклонів (Z протонів і N нейтронів) буде відповідати масовому числу A :

$$Zm_p + Nm_n = A,$$

де Δm – дефект маси ядра;

${}^A_z m_{\text{я}}$ – визначена експериментально маса ядра M_a .

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - {}^A_z m_{\text{я}}$$

Різниця $A - M_a$, яку називають дефектом маси, обумовлює зв'язок нуклонів в атомному ядрі. Її приймають як міру стійкості атомного ядра. Надлишку нейтронів по відношенню до кількості протонів відповідає ізотонічне число I :

$$I = N - Z.$$

Назва “ядерні протони” та “ядерні нейтрони” вказують на різницю поміж частками, які перебувають у ядрі і які перебувають поза ядром (у вільному стані). На відміну від зв'язаних у атомному ядрі нейтронів, вільні нейтрони нестабільні і перетворюються з періодом напіврозпаду у 12,5 хв. в протон та електрон (β -розпад або електронний розпад).

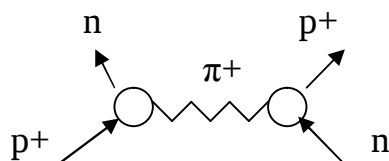
$$n \rightarrow p^+ + e^- + \nu + \Delta E,$$

де n – нейтрон; e^- – електрон; ΔE – енергія; p^+ – протон; ν – нейтрино.

Природа ядерних сил, які зв'язують окремі нуклони між собою, поки що точно не з'ясована. Але вже відомо, що ці сили скоріше за все обумовлені

обміном π -мезонів поміж нуклонами. В результаті такого обміну нейтрон перетворюється в протон, а протон – в нейтрон:

$$p = n + \pi^+ \quad n = p + \pi^- \quad p(n) = p(n) + \pi^0$$



Нукліди. Нуклідами називають атоми або ядра атомів з даним числом нуклонів і даним зарядом ядра. Термін “нукліди” використовують, коли треба вказати конкретно якесь ядро з визначеним числом протонів і нейтронів. Нукліди можуть бути стабільними і нестабільними (радіоактивними). При позначенні нукліда, біля символу відповідного елемента записують порядковий номер Z (число протонів) і число нуклонів A , наприклад: $^{16}_8\text{O}$.

З метою систематизації нукліди можуть бути об’єднані в різні групи:

1. Ізобарні нукліди (ізобари) мають однакове число нуклонів ($A = \text{const}$).

Приклад: $^{96}_{38}\text{Sr}$ — $^{96}_{39}\text{Y}$ — $^{96}_{40}\text{Zr}$. Це ряд ізобарів з числом нуклонів коли $A = 96$.

2. Ізотопні нукліди (ізотопи) мають однакове число протонів ($Z = \text{const}$) і різняться лише числом нейтронів. Тому всі ізотопи належать одному й тому ж хімічному елементу.

Приклад: $^{234}_{92}\text{U}$ — $^{235}_{92}\text{U}$ — $^{236}_{92}\text{U}$ — $^{238}_{92}\text{U}$. Це ізотопи елемента урану ($Z = 92$). Із усіх відомих ізотопів лише для ізотопів водню використовують свої індивідуальні символи та назви:

$^1_1\text{H} = \text{H}$ протій (легкий водень);

$^2_1\text{H} = \text{D}$ дейтерій (важкий водень);

$^3_1\text{H} = \text{T}$ трітій (радіоактивний водень).

3. Ізотонними нуклідами (ізотонами) називають нукліди з однаковим числом нейтронів ($N = \text{const}$).

Приклад: ${}^{36}_{16}\text{S}$ — ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ — ${}^{38}_{18}\text{Ar}$ — ${}^{39}_{19}\text{K}$ — ${}^{40}_{20}\text{Ca}$. Це ряд ізотонів з 20 нейтронами.

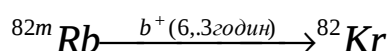
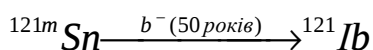
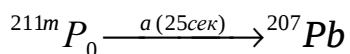
4. Ізомерні нукліди (ізомери) різняться не числом протонів або числом нейтронів, а енергією зв'язку ядра. В даному випадку мова йде про різний енергетичний стан цих нуклідів, причому кожний стан ядра має певний термін життя. У хімічній символіці інколи додають до числа нуклідів літеру g (для основного стану) або літеру m (для збудженого, метастабільного стану).

Наприклад: ${}^{46g}\text{Sc}$ на відміну від ${}^{46m}\text{Sc}$.

Ізомерний нуклід, перебуваючи в стані з великим значенням енергії порівняно з основним станом того ж нукліда, намагається віддати цей надлишок енергії. Останнє відбувається в більшості випадків шляхом випромінювання (емісії електромагнітного γ -випромінювання).

Приклад: ${}^{46m}\text{Sc} \xrightarrow{g (18,7 \text{сек})} {}^{46}\text{Sc} ({}^{46g}\text{Sc})$

Перехід нукліда із високоенергетичного у основний стан може проходити також і в результаті α - або β -розпаду з утворенням іншого нукліда:



Основний стан нукліда визначається з таблиці Менделєєва, заокругливши масове число елемента до цілого числа.

Приклад 1. Які з приведених нижче рядів хімічних елементів належать до:

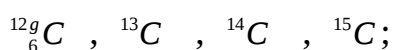
а) Нуклідів;

б) ізотопів;

в) ізобарів;

г) ізотонів;

д) ізомерних нуклідів (основних, метастабільних).



$^{40g}_{20}\text{Ca}$, ^{41}Ca , ^{45}Ca , ^{48}Ca ;

$^{42m}_{21}\text{Sc}$, ^{44}Sc , ^{45g}Sc , ^{47}Sc ;

$^{43}_{22}\text{Ti}$, ^{44}Ti , ^{45m}Ti , ^{48g}Ti , ^{52}Ti ;

$^{50}_{24}\text{Cr}$, ^{52g}Cr , ^{54}Cr , ^{56}Cr ;

$^{52}_{26}\text{Fe}$, ^{53}Fe , ^{54}Fe , ^{56g}Fe , ^{58}Fe , ^{59}Fe ;

$^{194g}_{82}\text{Pb}$, ^{197m}Pb , ^{199}Pb , ^{200}Pb , ^{205m}Pb , ^{210}Pb ;

$^{199}_{83}\text{Bi}$, ^{200}Bi , ^{206}Bi , ^{209g}Bi , ^{211}Bi , ^{215}Bi .

Приклад 2. Який ізомерний стан нуклідів представлено в таблиці елементів?

Користуючись таблицею елементів, вказати ізомерний стан Si, Mn, Zn, Pb, Ag, In, Os, Ra.

Стабільність нуклідів

Науці відомо 113 природних та штучних хімічних елементів. 81 з них мають стабільні ізотопи, 27 елементів відомі тільки як радіоактивні ізотопи. $^{238}_{92}\text{U}$ самий важкий елемент, який зустрічається в природі, а число $A = 238$ - найбільше для природних нуклідів масове число. Загалом доведено існування понад 2000 нуклідів. Із них 271 стабільні, інші радіоактивні. В стабільних ядрах можуть бути лише цілком визначені співвідношення між числом нейтронів і протонів. В залежності від кількості протонів і нейтронів, ядра діляться на:

а) парно-парні ($^{36}_{16}\text{S}$);

б) непарно-непарні ($^{19}_9\text{F}$);

в) парно-непарні ($^{13}_6\text{C}$);

г) непарно-парні ($^{14}_7\text{N}$).

Розподілення нуклідів по групах таке:

а) 162 парно-парних нуклідів;

- б) 5 непарно-непарних;
- в) 55 парно-непарних;
- г) 49 непарно-парних.

Таким чином, найбільш стійкими є ядра з парним числом протонів і нейтронів, а ядра з непарним числом протонів і непарним числом нейтронів нестабільні, вони рідко зустрічаються в природі. Ядра з парним числом протонів та непарним числом нейтронів і навпаки з непарним числом протонів та парним числом нейтронів мають приблизно однакову стійкість, зокрема, як ті, так і інші помірно поширені у природі. Найбільш поширеними в природі є ізотопи $^{16}_8\text{O}$, $^{28}_{14}\text{Si}$, $^{56}_{26}\text{Fe}$, $^{24}_{12}\text{Mg}$ – вони містять парну кількість протонів і парну кількість нейтронів.

Поширеність ізоотопів у природі

Усього в природі існує більше 300 ізоотопів (як стабільних, так і нестабільних), поширеність їх дуже різна. Найбільш поширеними є ізотопи, які мають стабільні ядра з парним числом протонів і нейтронів. Якщо говорити про природні елементи, а не ізотопи взагалі, то в земній корі їх зустрічається 28. 12 з них, що утворюють 99,5% всієї маси Земної кори приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Елемент	Вміст, %	Елемент	Вміст, %
O	50	K	2,4
Si	26	Mn	1,9
Al	7.5	H	0.9
Fe	4.5	Ti	0.6
Ca	3.4	Cl	0.2
Na	2.6	P	0.1

Іонізуюче випромінювання

Радіація в загальному розумінні являє собою потік корпускулярної (елементарних – альфа-, бета-частинок, γ -променів, потік нейтронів) або електромагнітної енергії. До іонізуючих належать випромінювання різних типів, які під час проходження крізь речовину в актах дискретного передавання енергії здатні іонізувати або збуджувати атоми і молекули.

По своїй природі всі іонізуючі випромінювання розподіляються на:

- 1) електромагнітне;
- 2) корпускулярне.

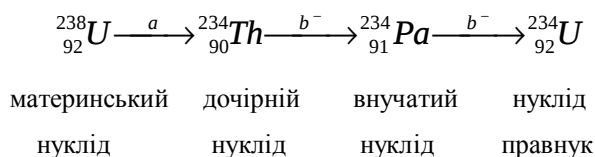
Електромагнітне – це рентгенівське випромінювання, γ -випромінювання радіоактивних елементів і гальмівне випромінювання, яке виникає в результаті проходження через речовину швидких або сильно прискорених заряджених елементарних частинок.

Усі інші види іонізуючого випромінювання пов'язані з ядерними перетвореннями, тому радіоактивність розглядається як ядерне перетворення елементів. Воно має корпускулярну природу і являє собою потік елементарних частинок, γ -квантів від радіоактивних ядер хімічних елементів або іонів. Більш ніж із 2000 відомих на сьогодні нуклідів тільки 271 є стабільні, інші радіоактивні.

Радіоактивність – це ядерне перетворення хімічних елементів. Радіонукліди шляхом одного або кількох послідовних розпадів (ядерних перетворень), що супроводжуються вилученням елементарних частинок або γ -квантів, перетворюються у стабільні нукліди.

Послідовні перетворення ядер утворюють ланцюги радіоактивних елементів, так звані радіоактивні ряди (радіоактивні родини). Для позначення генетичного зв'язку між ядрами цих рядів, використовують поняття “материнський”, “дочірній”, “внучатий” та інші нукліди.

Наприклад, при розпаді $^{238}_{92}\text{U}$ утворюються такі нукліди:



Розпад радіоактивних ядер у природі відбувається безперервно. Швидкість розпаду не залежить від умов навколишнього середовища, хімічних сполук, у які входять дані радіоактивні елементи, хімічного та фізичного стану радіонуклідів.

В загальному вигляді радіоактивний розпад може бути описаний схемою розпаду:

$$\mathbf{A} \rightarrow \mathbf{B} + \mathbf{x} + \Delta E,$$

де $\mathbf{A}$ – материнський нуклід;

$\mathbf{B}$ – дочірній нуклід;

$\mathbf{x}$ – елементарні частки та кванти;

ΔE – енергія випромінювання елементарних часток і γ -квантів.

Сумарна енергія, яка виділяється при радіоактивному розпаді (Q) визначається, як різниця мас початкового нукліду і продуктів розпаду:

$$Q = \Delta mc^2 = (m_A - m_B - m_x)c^2.$$

Закон радіоактивного розпаду

Після відкриття у 1896 році А. Беккерелем природної радіоактивності відомі фізики Резерфорд і Соді у 1903 році, досліджуючи явище радіоактивності, запропонували гіпотезу, згідно з якою кожної секунди розпадається певна частина загального числа радіоактивних атомів.

Нехай в зазначений момент часу $t = 0$ маємо N_0 атомів радіоактивних елементів, які не зазнали розпаду. Якщо кількість ядер, що розпадається за відрізок часу Δt , позначимо ΔN , то отримаємо:

$$\Delta N / \Delta t = -\lambda N_0,$$

де λ стала радіоактивного розпаду.

Цей вираз можна переписати так:

$$\Delta N/N_0 = -\lambda \Delta t \quad \text{або} \quad dN/N_0 = -\lambda dt.$$

Знак мінус означає, що з часом число атомів, які не розпалися, зменшується.

Інтегруючи від N_0 до N_t за час від $t = 0$ до t отримаємо:

$$\int_{N_0}^{N_t} dN / N_0 = -\lambda \int_0^t dt ,$$

$$\ln N_t - \ln N_0 = -\lambda \cdot t,$$

$$\ln N_t / N_0 = -\lambda \cdot t ,$$

$$N_t / N_0 = e^{-\lambda \cdot t}.$$

Звідси отримуємо рівняння, яке являє собою **закон радіоактивного розпаду**:

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t},$$

де N_0 – початкове число радіоактивних атомів при $t = 0$,

λ – характеризує ймовірність розпаду ядер за одиницю часу і називається *сталою розпаду*. Вона обернено пропорційна середній тривалості життя ядер атомів даної речовини і виражається в сек^{-1} .

Для характеристики радіоактивного розпаду вводиться ще одна величина: період напіврозпаду $T_{1/2}$. Для кожного елемента $T_{1/2} = \text{const}$. Це такий проміжок часу, протягом якого радіоактивність зменшується в 2 рази.

$$\frac{NT_{1/2}}{N_0} = 1/2 = e^{-\lambda T_{1/2}},$$

$$\ln(1/2) = \ln(e^{-\lambda T_{1/2}}),$$

$$0,963 = \lambda T_{1/2},$$

$$T_{1/2} = 0,963/\lambda.$$

Період напіврозпаду для різних елементів різний – від часток секунд до мільйонів років. Експериментально можна знайти той період, коли активність радіоактивного елемента зменшується в 2 рази, тоді можна визначити константу розпаду:

$$\lambda = 0,963/T_{1/2}, \quad (1/\text{сек}).$$

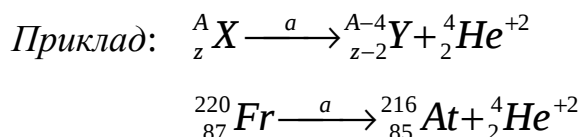
Види радіоактивного розпаду

Радіоактивний розпад характеризується трьома основними видами: α -розпад, β -розпад, емісія γ -квантів. При радіоактивному випромінюванні проходить перетворення одних хімічних елементів в інші по цілком визначеним закономірностям, які відповідають *правилам зміщення*. Для кожного із видів радіоактивного розпаду правило зміщення має свій конкретний зміст.

а) α -розпад.

α -частка – це двічі іонізоване ядро атома He, яке складається з двох протонів і двох нейтронів. При α -розпаді материнське ядро радіоактивного елемента (X) випромінює ядро ${}^4_2\text{He}^{+2}$, перетворюючись у дочірнє ядро Y. В цьому разі правило зміщення стверджує, що дочірнє ядро має масове число на 4 одиниці менше і заряд на 2 одиниці менше ніж материнське. Тому в таблиці Менделєєва новий елемент розміщується на 2 клітинки ліворуч від материнського.

α -розпад записується таким загальним ядерним рівнянням або схемою розпаду:



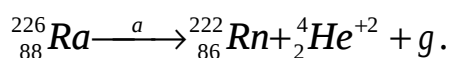
Схематично радіоактивний розпад зображують графічно у вигляді енергетичної діаграми, використовуючи такі позначення: горизонтальна лінія зверху – енергетичний стан вихідного ядра радіоактивного ізотопу; горизонтальна лінія знизу – енергетичний стан кінцевого ядра атома, що виникає внаслідок радіоактивного перетворення. Відстань по вертикалі між цими двома лініями відповідає значенню кінетичної енергії радіоактивного розпаду.

Нижню риску зміщують ліворуч чи праворуч залежно від того, зменшується чи збільшується номер елементу, що виникає під час радіоактивного розпаду.



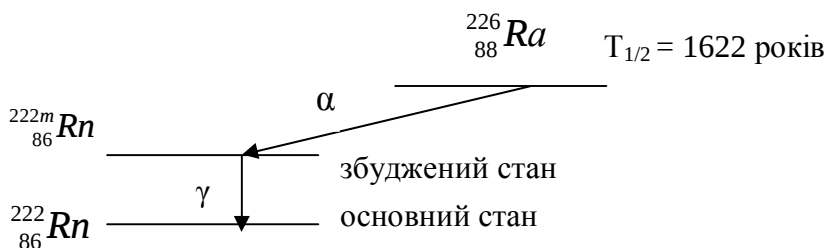
α -розпад може супроводжуватись випромінюванням γ -променів.

Приклад природного процесу:



Спочатку нуклід $^{226}_{88}\text{Ra}$ перебуває в збудженому стані. З часом надлишок енергії виносить γ -квант, а ядро $^{222}_{86}\text{Rn}$ переходить в основний стан.

Схема цього розпаду:



Вертикальна лінія відображає перехід ядра із збудженого у незбуджений стан шляхом випромінювання γ -фотонів.

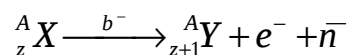
б) β – розпад

Прийнято розрізняти 4 види β -перетворень:

1. електронний β^- -розпад;
2. позитронний β^+ -розпад;
3. електронне захоплення (е.з.);
4. розгалужений розпад (радіоактивна вилка).

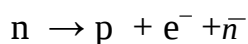
1. Електронний β -розпад. Материнське ядро X випромінює електрон і антинейтрино, перетворюючись у дочірнє ядро Y .

Загальна схема розпаду:

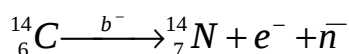


Гіпотетична елементарна частка антинейтрино $\bar{\nu}$ нейтральна, з дуже близькою до нуля масою спокою, близьким до нуля магнітним моментом. Довжина вільного пробігу в твердому тілі складає 10^{16} км.

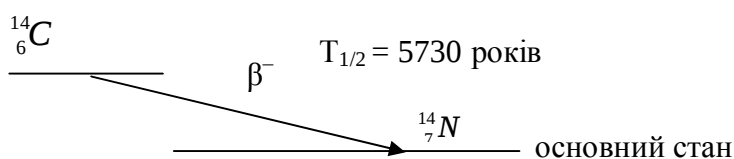
Як видно із схеми, масове число A не змінюється, а заряд збільшується на одиницю. Відповідно правилу зміщення, отриманий дочірній елемент у таблиці Менделєєва переходить вправо на одну клітину порівняно з материнським. В ядрі елемента стало на протон більше. Пояснюється це тим, що один з нейтронів материнського ядра перетворюється в протон. Електронний β -розпад спостерігається лише у нуклідів, які мають надлишок нейтронів. Таке ядерне перетворення йде за схемою:



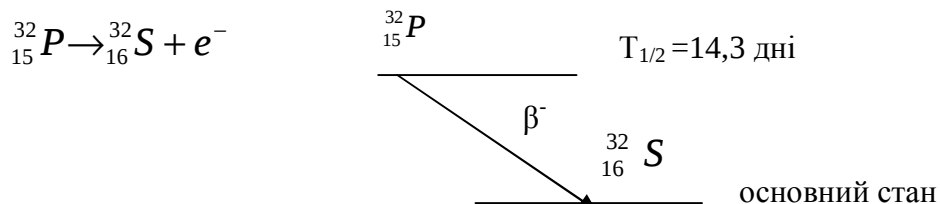
Приклад:



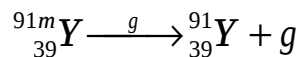
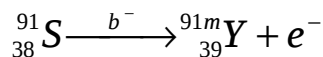
При написанні схем β^- -перетворень частку антинейтрино не пишуть. Графічно цей процес представлено нижче:



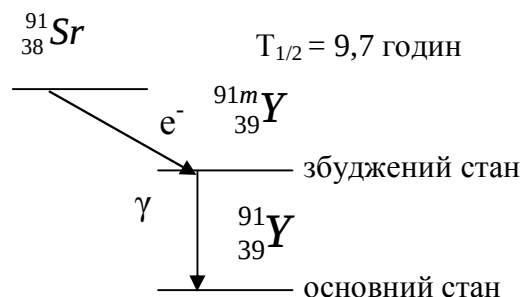
Приклад:



Електронний β^- -розпад може супроводжуватись γ -випромінюванням. Це проходить у випадку, коли в процесі розпаду утворюється ядро, яке перебуває не в основному, а в збудженому стані. Прикладом такого розпаду є перетворення ${}^{91}_{38}\text{Sr}$ в ${}^{91}_{39}\text{Y}$:

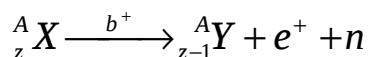


Графічно процес представлений схемою:

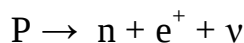


2. Позитронний β^+ -розпад.

При позитронному β^+ -розпаді материнське ядро X перетворюється у дочірнє ядро Y з випромінюванням позитрона і нейтрино. Загальна схема розпаду:

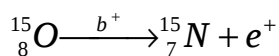


Елементарні частки антинейтрино $\bar{\nu}$ і нейтрино ν різняться лише станом спіну, величина яких протилежна. В даному випадку масове число не змінюється, а заряд зменшується на одиницю. Пояснюється це тим, що один із протонів материнського ядра перетворюється у нейтрино і позитрон.

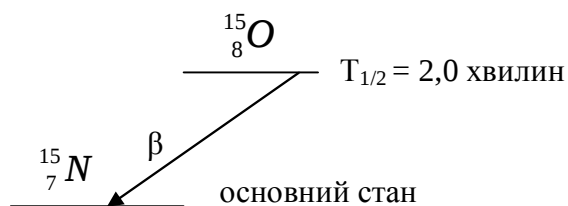


В таблиці Менделєєва дочірній елемент зміщується на одну клітину ліворуч.

Приклад:

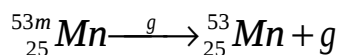
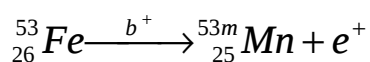


Графічне зображення:



Якщо дочірнє ядро опиняється у збудженому стані, то позитронний β^+ -розпад може супроводжуватись γ -випромінюванням.

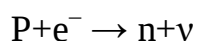
Приклад:

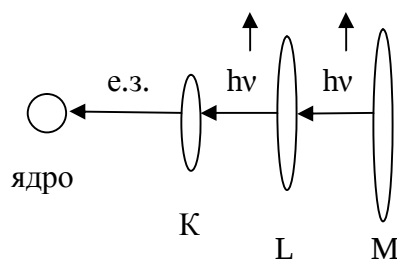


Як правило, позитронний β^+ -розпад відбувається у нуклідів з надлишком протонів в ядрі.

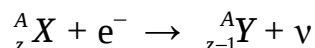
3. Електронне захоплення (е.з.)

Електронне захоплення полягає у поглинанні атомним ядром електрона з найближчого до ядра електронного К-шару. При цьому один із протонів ядра перетворюється у нейтрон і нейтрино:



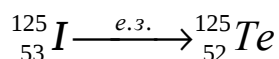


Рівняння електронного захоплення може бути записано в загальному вигляді:



Отже, в результаті К-захоплення утворюється ядро елемента з порядковим номером на одиницю меншим за материнське.

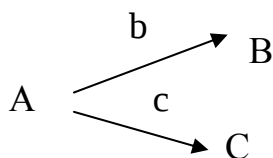
Приклад:



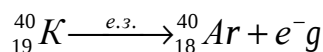
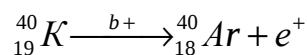
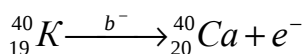
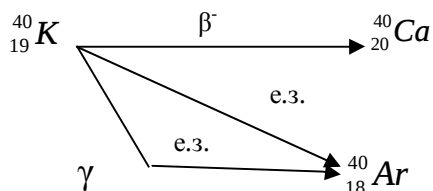
Перехід віддалених електронів на звільнені місця супроводжується характеристичним рентгенівським випромінюванням у вигляді енергії γ -квантів.

4. Розгалужений розпад.

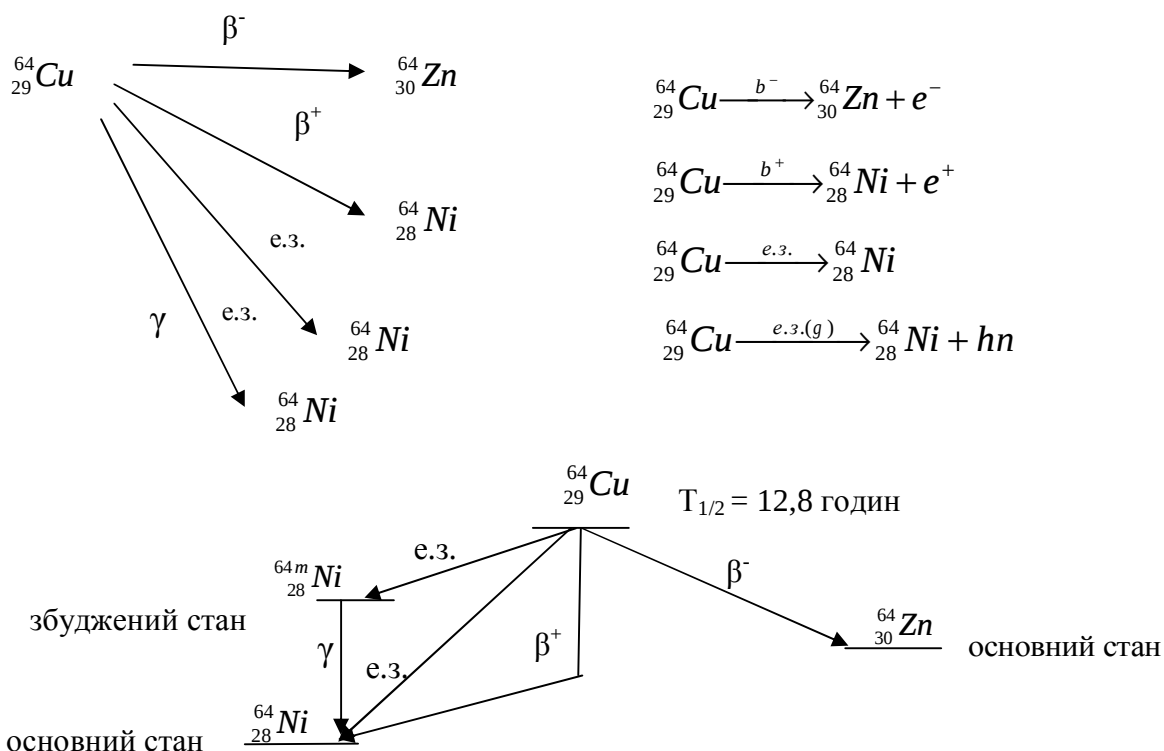
Для деяких нуклідів характерний розгалужений розпад, або так звана радіоактивна вилка.



Приклад:



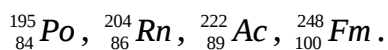
Прикладом складного ядерного перетворення, коли має місце і радіоактивна вилка, і електронне захоплення, може бути нуклід $^{64}_{29}\text{Cu}$:



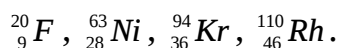
Приклади на закріплення матеріалу:

Користуючись таблицею Менделєєва, визначити символ дочірнього елемента радіоактивного нукліда, коли відомо по якому виду проходить радіоактивний розпад материнського ядра. Відповіді супроводжувати відповідними рівняннями і схемами розпаду.

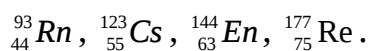
1) α -розпад



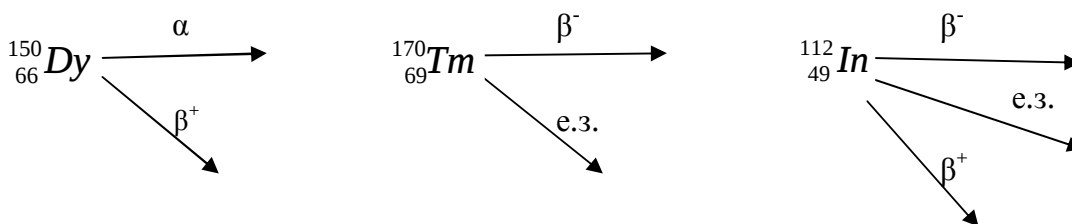
2) β^- -електронний розпад



3) β^+ -позитронний розпад



4) радіоактивна вилка



Поняття про ядерні реакції

1. Ядерні реакції розглядаються як взаємодія елементарних часток з атомними ядрами, що приводить до утворення нових хімічних елементів. Перетворення атомів хімічних елементів у ядерних реакціях здійснюється за участю і за допомогою бомбардуючих елементарних часток – нейтронів, протонів, дейтронів, тритонів, α -часток (геліонів), γ -променів та інших важких іонів. Принципово кожний з хімічних елементів шляхом деяких ядерних реакцій може бути перетворений в будь-який наперед заданий елемент. Однак в більшості відомих ядерних реакціях відбувається перетворення в елементи, які в таблиці Менделєєва розташовані поруч.

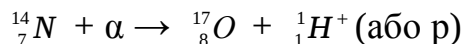
При позначенні атомних реакцій:

- а) вказується початкове ядро ^A_zX атома;
- б) елементарна частка, яка обстрілює дане ядро (n, p, d, t, α , γ , іони);
- в) частка, яка вилітає (α -частка, протон і т.д.);
- г) записують продукт реакції $^{A_1}_{z_1}\text{X}$.

Ядерні реакції діляться за типом елементарних часток, що викликають саму реакцію, і елементарних часток, які утворюються в результаті реакції. Наприклад, (n, α) означає, що зазначене ядро обстрілюється нейтроном, в результаті чого утворюється α -частка.

Вперше штучне перетворення ядер досліджував Резерфорд у 1919 році. При бомбардуванні атомів азоту геліонами Резерфорду вдалося виділити ядра водню і одержати атоми ізотопу $^{17}_8\text{O}$.

Розглянута ядерна реакція може бути записана рівнянням:



У скороченій формі маємо: ${}^{14}_7\text{N} (\alpha, p) {}^{17}_8\text{O}$. За дужками стоять початковий ${}^{14}_7\text{N}$ і кінцевий ${}^{17}_8\text{O}$ нукліди, а в середині дужок бомбардуюча і утворена елементарні частки.

Джерелами елементарних часток для ядерних реакцій є:

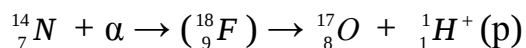
- а) різні ядерні прискорювачі, ядерні реактори, радіоактивні речовини;
- б) у природних умовах – це космічні промені та природні радіоактивні елементи.

Основні типи ядерних реакцій природного середовища:

а) реакції, породжені α -частками.

До складу космічного проміння входять α -частки (геліони). У верхніх шарах атмосфери вони взаємодіють з атомами азоту та іншими хімічними елементами за типом ядерної реакції (α, p). α -частки спричиняють ядерні реакції типу (α, p) та (α, n), так чи інакше початковий нуклід виділяє із свого ядра протон або нейтрон.

Приклад (α, p) (реакція Резерфорда):



або ${}^{14}_7\text{N} (\alpha, p) {}^{17}_8\text{O}$;

б) ядерні реакції, породжені нейтронами.

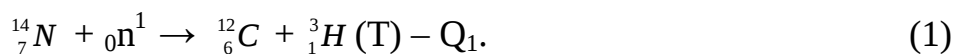
В залежності від енергії, якою володіє нейтрон, їх поділяють на:

- теплові нейтрони (з тепловою рушійною енергією атомів і молекул в межах сотих часток електронвольт (eV);
- повільні нейтрони з енергією від 0,03 до 100 eV;
- електрони з середньою енергією (від 100 eV до 0,1 MeV);
- швидкі нейтрони (більше 0,1 MeV).

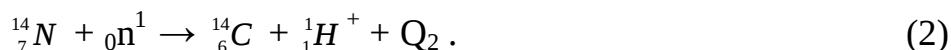
При дії космічних променів складовою яких є і нейтрони, постійно здійснюються перетворення легких β -активних ядер за типом (n, P).

Радіонукліди, які утворюються у природі за таким типом є тритій і радіовуглець.

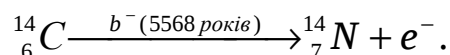
Приклад реакції типу (n, t):



Приклад реакції типу (n, p):



Із двох ядерних реакцій (1) і (2), які відбуваються в природі, друга має більший вихід і є одна з малочисельних реакцій типу (n, p), ініційованої повільними нейтронами. Ця реакція має важливе біологічне значення, бо ${}^{14}_6\text{C}$ являє собою радіоактивний нуклід, який розпадається по негатронному механізму:



При цьому початковий продукт реакції тотожний з кінцевим, так що в даному випадку проходить ніби перетворення нейтрона в протон і електрон.

Радіоактивні джерела навколишнього природного середовища.

Випромінювання природного середовища

Основна частина ізоотопів, які існують на Землі, виникла із того набору елементів, що існував у період формування самої Землі. Фундаментальна властивість Всесвіту полягає в сталому співвідношенні поширеності ізоотопів у природі. Радіоактивність же природного середовища в першу чергу обумовлена співіснуванням трьох радіоактивних рядів (родин ізоотопів важких елементів). Такими рядами є:

– родина урану ${}^{238}_{92}\text{U}$;

– родина торію ${}^{232}_{90}\text{Th}$;

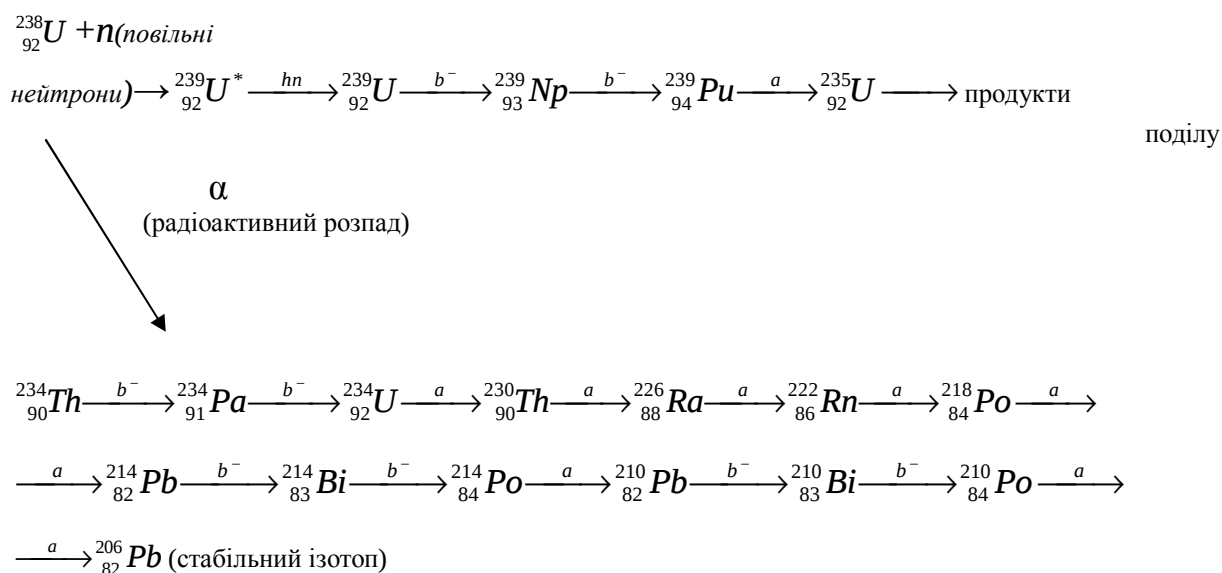
– родина актинію ${}^{235}_{92}\text{U}$.

Крім радіоактивних родин в природі існує ще кілька радіонуклідів, які не увійшли до названих рядів. Це в першу чергу ^{40}K – найбільш важливий представник цієї групи. Усього їх близько 20.

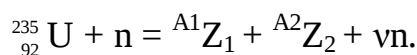
Радіоактивні тритій ^3H (Т) і ^{14}C , які входять в цю групу, утворюються у верхніх оболонках атмосфери завдяки ядерним реакціям, породженими космічними променями. В число випромінювань природного походження входить також і космічне випромінювання.

Поділ урану

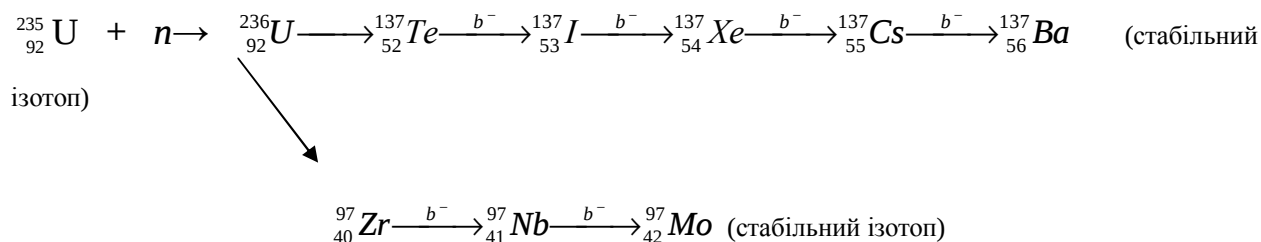
Природний уран являє собою суміш ізотопів з масами 234, 235, 238 у співвідношенні 0,006; 0,712; 99,282. При попаданні в ядро урану теплових або повільних нейтронів космічного чи то земного походження ізоотоп $^{238}_{92}\text{U}$ захоплює нейтрон і перетворюється у активну форму $^{239}_{92}\text{U}^*$ з подальшим ланцюгом ядерних перетворень. Паралельно з цим перетворенням проходить природний розпад $^{238}_{92}\text{U}$:



$^{235}_{92}\text{U}$ зазнає більш суттєвих перетворень, причому лише приблизно 15% його утворює ізоотоп $^{236}_{92}\text{U}$ ($T_{1/2} = 2,4 \cdot 10^7$ років), а більшість складового ядра ($^{235}_{92}\text{U} + n$) перебуває у надзбудженому стані і швидко ділиться на нестійкі уламки і невелику кількість вторинних нейтронів ν :



Ця реакція називається **реакцією поділу** і скорочено позначається ${}^{235}\text{U}$ (n,f).



Після Чорнобильської аварії в біосферу надходили усі ці нукліди. Обидва ланцюги розпаду взаємопов'язані один з одним:

$$Z_1(52) + Z_2(40) = 92$$

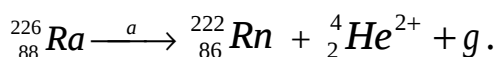
$$A_1(137) + A_2(97) + \nu(2) = 236.$$

Процес поділу протікає і по іншим варіантам.

Опромінення радіоактивним родоном

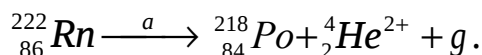
Найбільш суттєвим з усіх природних джерел радіації, яке зумовлює найбільший внесок у внутрішнє опромінення людини є газ родон (${}_{86}^{222}\text{Rn}$).

В родині урану ${}_{92}^{238}\text{U}$ родон утворюється при α -розпаді ${}_{88}^{226}\text{Ra}$:



Невидимий, без запаху і смаку газ родон у 7 разів важчий за повітря. Тому він накопичується в підвальних, частіше гранітних приміщеннях. $\frac{3}{4}$ частини усього природного опромінення людина отримує за рахунок внутрішньої родонової радіації, вдихаючи родон разом з повітрям.

Схема розпаду представлена нижче:



У гірських місцевостях родон зустрічається частіше. Там він розповсюджується на великі відстані. Йому характерна властивість еманції — витікання.

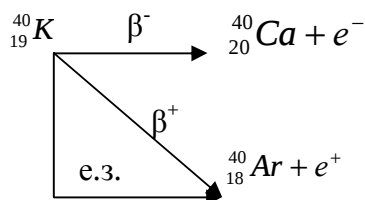
Опромінення радіоактивним калієм

Серед природних радіонуклідів, які не увійшли до трансуранових рядів суттєва частка природного радіаційного фону припадає на $^{40}_{19}\text{K}$. Із трьох відомих природних ізотопів $^{39}, ^{40}, ^{41}\text{K}$, радіоактивним є $^{40}_{19}\text{K}$ ($T = 1,3 \cdot 10^9$ років).

Ізотоп $^{40}_{19}\text{K}$ складає 0,0119% від загальної кількості елемента калію у природі. Це співвідношення зберігається у продуктах харчування і в самому організмі людини.

Людина вагою 70 кг містить біля 130 г загального калію (більша частина якого локалізується у м'язах), де $^{40}_{19}\text{K}$ спричиняє внутрішню радіоактивність в межах 0,1 мккюри.

$^{40}_{19}\text{K}$ розпадається за схемою радіоактивної вилки:



Враховуючи досить значну енергію випромінювання β -частинок і, як наслідок, можливість внутрішнього опромінення, бажано проводити постійний контроль за вмістом $^{40}_{19}\text{K}$ в різних сировинних джерелах даного елемента, обмежуючи можливості потрапити $^{40}_{19}\text{K}$ в організм людини.

Космічне випромінювання

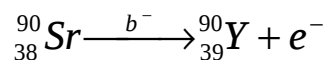
Первинне космічне випромінювання утворюється у Всесвіті. Потрапивши у верхні шари атмосфери, воно складається переважно з протонів (79%), α -частинок (20%), ядер C, N, O (0,7%), інших елементів з

атомним номером $M > 10$ (0,2%). Головною характеристикою первинних космічних променів є їх дуже велика енергія (до 10^{19} електровольт).

Взаємодія елементарних часток первинного космічного випромінювання з ядрами атомів в атмосфері призводить до утворення електронів, γ -квантів, нейтронів та мезонів (так зване вторинне космічне випромінювання). До рівня моря сягає біля 0,05% первинних променів, з яких близько 80% мезонів і 20% електронів.

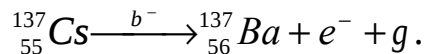
Антропогенні джерела радіації природного середовища

Серед радіоактивних нуклідів антропогенного походження, які потрапили в природне середовище, найбільш важливі $^{137}_{55}\text{Cs}$, $^{90}_{38}\text{Sr}$ ($T_{1/2} = 29$ років). Техногенний радіонуклід $^{90}_{38}\text{Sr}$ є одним із довгоживучих продуктів розпаду ядерного палива (ядерного вибуху).

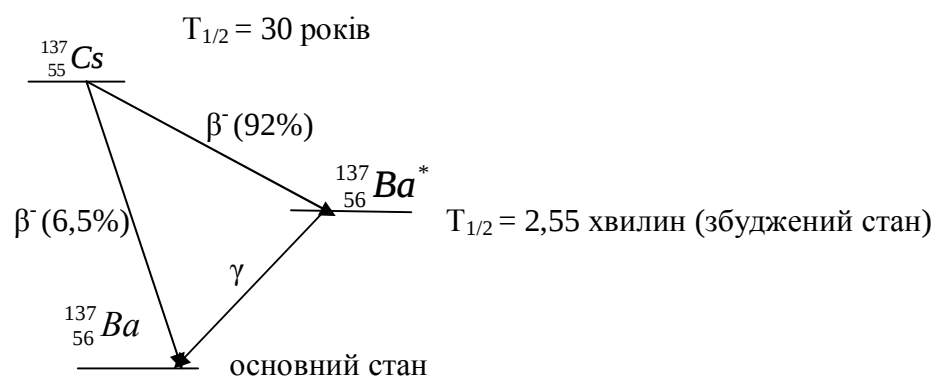


Стронцій-90 – нуклід з м'яким β^- -випромінюванням, тому визначити його досить важко. Елемент Sr належить до остеотропних (накопичується в кістках) речовин, тому є радіонуклідом, лімітуючим забруднення навколишнього середовища.

Радіонуклід $^{137}_{55}\text{Cs}$ також має великий період напіврозпаду ($T_{1/2} = 30$ років):



На відміну від $^{90}_{38}\text{Sr}$, $^{137}_{55}\text{Cs}$ легко визначається γ -спектрометром, тому що радіоактивний розпад $^{137}_{55}\text{Cs}$ супроводжується γ -випромінюванням.



Вплив випромінювання на об'єкти навколишнього середовища

Енергія випромінювання передається атомам і молекулам навколишнього природного середовища. Передача енергії є першим фізичним актом в процесах опромінення, збудження та іонізації молекул. Наступний акт перетворень для живої матерії) – хімічний етап променевого враження клітини. В основі первинних радіаційно-хімічних перетворень молекул можуть бути 2 механізми, які визначаються як пряма та непряма дія радіації. Але спочатку коротко розглянемо таке поняття як іонізація.

Іонізація

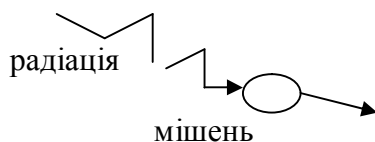
Іонізація – це перетворення нейтральних атомів чи молекул на частинки, які несуть позитивний або негативний заряд. Проходячи через речовину, іонізуюче випромінювання взаємодіє з її атомами і молекулами, при цьому відбувається:

- 1) первісна іонізація – збудження атомів, відрив окремих електронів, утворення позитивно заряджених іонів;
- 2) вторинна іонізація – взаємодія вибитих первісною іонізацією електронів з іншими нейтральними атомами, утворення нових іонів;
- 3) електрони, втративши енергію, залишаються у вільному стані або приєднуються до нейтральних атомів, утворюючи негативно заряджені іони.

Очевидно, процес іонізації можливий, коли кількість енергії, що передана атому або молекулі перевищує енергію зв'язку електрона з атомом чи молекулою.

Пряма дія радіації на речовину

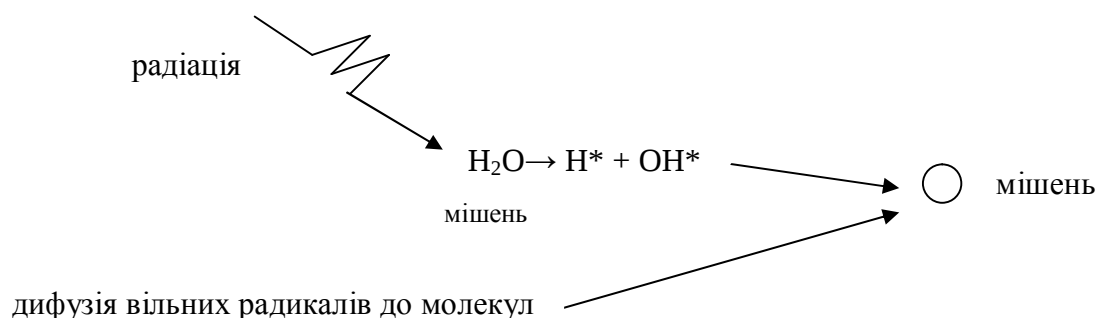
Під прямою дією радіації розуміють такі зміни, які виникають безпосередньо у молекулах (мішенях) в результаті поглинання ними енергії випромінювання. Безпосереднім результатом дії проникаючої радіації на речовину є іонізація та збудження молекул і атомів цієї речовини. В умовах надлишку енергії, вибиті електрони здатні спричиняти вторинну іонізацію. Ці так звані вторинні електрони або (у випадку дії нейтронів) ядра віддачі збільшують зону дії радіації. Вторинні електрони, які утворюються під дією рентгенівських променів чи γ -квантів, можуть на своєму шляху в тканинах живого організму іонізувати ще десятки молекул. Вторинні електрони поширюються рівномірно в усі боки від основного треку (слідів у формі скупчення іонів) іонізуючої частинки. Збуджені атоми можуть переходити в нормальний стан шляхом висвітлення кванта ультрафіолетового випромінювання, тепла або хімічної енергії взаємодії. Отже, уздовж треку первинної частки і вторинних електронів утворюються іонізовані і збуджені атоми та молекули живих тканин. Цей чисто фізичний процес може бути відправним моментом для прямої дії радіації.



Непряма дія радіації на біологічні об'єкти

Під непрямою дією радіації розуміють зміни молекул в розчині речовини, які відбуваються завдяки продуктам радіаційного розкладу

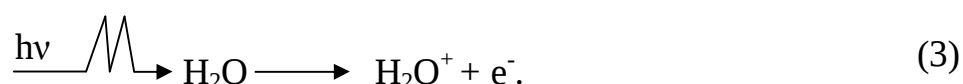
(радіолізу) води або розчинених речовин, а не енергією випромінювання, яку поглинула сама розглянута молекула.



Дія радіації на воду

Вода є найбільш суттєвою та поширеною складовою як біологічних об'єктів, так і технологічних процесів у хімічній, технічній та атомній індустрії. Тому важливо знати, який вплив іонізуюче випромінювання завдає воді (механізм радіолізу води). Жива клітина містить до 90% води. І де б не пролітала іонізуюча частка або квант енергії в живому організмі, вони завжди потрапляють у молекулу води.

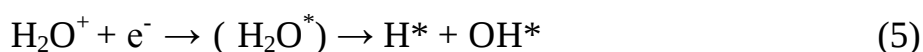
При радіолізі води молекула іонізується зарядженою часткою, втрачаючи при цьому електрон:



Іонізована молекула води взаємодіє з іншою нейтральною молекулою води, в результаті чого утворюється високореактивний радикал гідроксилу OH^* :



“Вирваний” електрон дуже швидко взаємодіє з молекулами води, які його оточують. При цьому виникає сильно збуджена молекула води H_2O^* , яка в свою чергу дисоціює з подальшим утворенням вже двох радикалів H^* та OH^* :

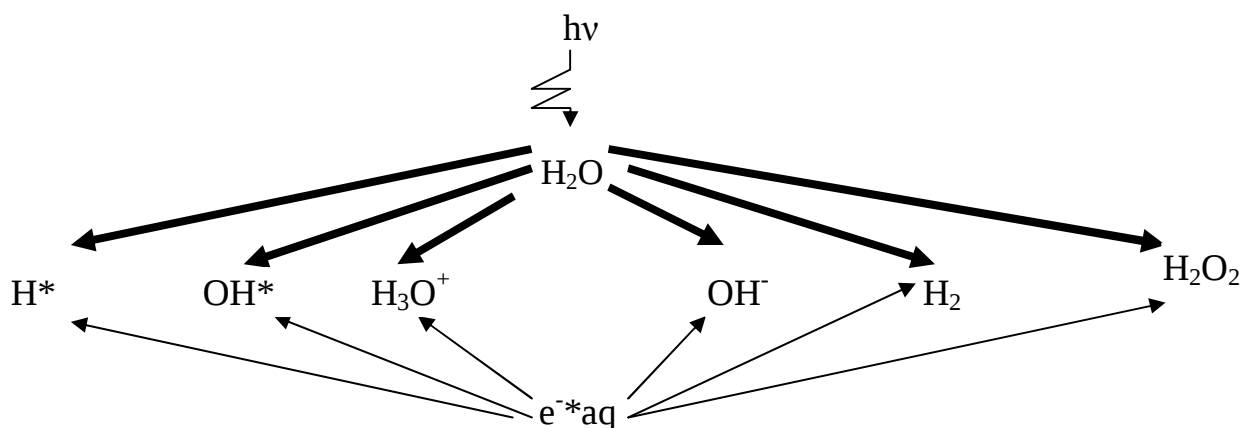


Ці вільні радикали мають неспарені електрони, а тому відзначаються надзвичайно високою реакційною спроможністю. Термін їхнього життя у воді не більше 10^{-5} сек. За цей період вони або рекомбінуються один з одним, або реагують з розчиненим субстратом. Отже, другий етап радіаційного враження – це первинні хімічні перетворення, які відбуваються практично миттєво. В присутності кисню утворюються і інші продукти радіолізу, які також мають окисні властивості, – гідропероксидний радикал HO_2^* , пероксид водню H_2O_2 і атомарний кисень, відповідно до реакцій (3-7).



В процесі радіолізу води крім цих окисних продуктів виникає стабілізована форма електрона – гідратовані електрони ($\text{e}^{-*\text{aq}}$). Вони також мають високу реакційну спроможність, але вже в якості відновлювача, тому реагують з продуктами радіолізу та іншими речовинами, які легко відновлюються.

Процес радіолізу води може бути представлений схематично:



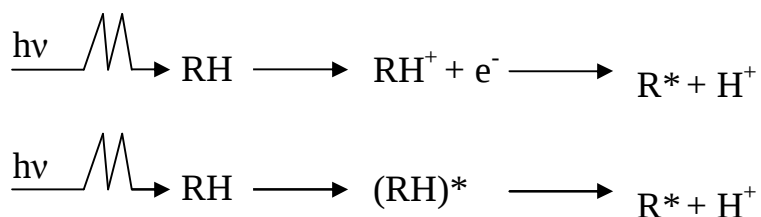
Тонкими лініями показані можливі реакції з гідратованим електроном.

У біологічних об'єктах продукти радіолізу води поглинаються органічними молекулами живої тканини, завдаючи їй руйнівного впливу.

В ядерних реакторах, де вода використовується як теплоносії для усунення можливості утворення вибухонебезпечної суміші, воду піддають ретельному очищенню.

Дія радіації на живу матерію

В клітині живого організму, аналогічно ситуації, розглянутої у воді, процес протікає ще складніше. Це відбувається тому, що поглинаючи радіацію речовина в даному випадку являє собою великі органічні молекули, які пошкоджуються дією радіації або продуктами радіолізу води. При цьому можуть також відбуватися процеси збудження, іонізації та утворення вільних іонів та радикалів органічних пероксидів і гідропероксидів типу:



а при наявності кисню (яким дихають живі істоти) процес ускладнюється:



Утворені при цьому органічні радикали мають також неспарені електрони, а тому надзвичайно реакційноспроможні. Завдяки великому запасу енергії, вони легко приводять до розриву хімічних зв'язків у життєво важливих макромолекулах. Якраз саме цей процес і проходить частіше за все в проміжках між утворенням іонних пар та формуванням кінцевих хімічних продуктів. Біологічний ефект опромінювання посилюється за рахунок кисню, який завжди присутній в даному середовищі.

Спрощена схема первинних фізико-хімічних процесів, які ведуть до кінцевих біологічних ефектів, буде мати вигляд:



Як видно, суть теорії непрямой дії радіації полягає в тому, що іонізуюче випромінювання впливає на живу речовину опосередковано, через так звані “активні радикали”. Вважається, що найбільш активними є радикали: HO_2^* , OH^* , H_2O_2 .

Отже радіація по своїй природі шкідлива для живого організму. Малі дози опромінення можуть започаткувати “ланцюги подій”, які ініціюють процес виникнення онкологічних хвороб або генетичних ушкоджень. При великих дозах радіація може руйнувати клітину, ушкоджувати тканини і стати причиною швидкої загибелі організму.

Особливостями біологічної дії опромінення є:

- а) висока ефективність поглинутої енергії;
- б) скритий інкубаційний період дії;
- в) накопичення малих доз, так званий кумуляційний ефект;
- г) генетичний ефект (вплив на нащадків);
- д) селективна дія на різні органи тіла;
- є) залежність впливу опромінення від частоти та енергії опромінення.

При радіаційному опроміненні біологічне ураження органів тіла або окремих систем організму різне, тому їх ділять на групи:

Перша (найбільш вразлива) – все тіло, гонади і червоний кістковий мозок.

Друга – кришталіки ока, ендокринна система, легені, м'язи, жирова тканина, печінка, нирки, інші органи.

Третя – шкіряний покрив, кісткова тканина.

Таблиця 2. Основні дозові межі сумарного зовнішнього і внутрішнього опромінення за рік (бер)

Категорія	Групи критичних органів		
	1	2	3
А	5	15	30
Б	0.5	1.5	3

Вплив радіонуклідів на біосферу

1. Вплив радіонуклідів на мікроорганізми.

Мікроорганізми відрізняються від багатоклітинних організмів високою радіорезистентністю (стійкістю). Вони надзвичайно стійкі до хронічного опромінювання радіонуклідами, що містяться в середовищі їх проживання.

У разі забруднення навколишнього середовища радіонуклідами до рівня $3,7 \times 10^5$ Бк/км² (10^5 Кі/км²) ці мікроорганізми практично не реагують на опромінення.

Водночас вони виконують дві функції:

а) переводять радіонукліди у розчинний стан (елімінація – знешкодження радіонуклідів із навколишнього середовища);

б) накопичення з подальшим осадженням радіонуклідів в донні відкладення.

2. Вплив радіонуклідів на рослини.

Найчутливішими до впливу радіонуклідів є насіння, паростки і дерева сосни. Інші дерева значно стійкіші. Ще більш радіорезистентні - чагарники і, нарешті, трави.

Трави можуть витримувати хронічні опромінювання дозою до 10 Гр/добу, що відповідає поверхневій активності радіонуклідів на забрудненій території до $3,7 \times 10^{14}$ Бк/км².

3. Вплив радіонуклідів на живі організми.

а) Вплив на безхребетних - найбільш чутливі до радіації дощові хробаки.

б) Вплив на птахів - птахи посідають проміжне місце між рибами і ссавцями, їх радіочутливість коливається в межах 8-20 Гр.

в) Вплив радіонуклідів на ссавців.

Найбільш радіочутливими вважаються вівці, віслюки і коні (напівлетальна доза ЛД₅₀ для них становить 1,5 – 2,5 Гр). В подальший ряд входять собаки, свині і люди (ЛД₅₀ становить 2,5 - 3,5 Гр), трохи стійкішими є мавпи (2,5 - 4 Гр). Досить стійкими є хом'яки і кролики (9 - 10 Гр). І найбільш стійкими є пацюки та миші (6 - 15 Гр).

г) Вплив радіонуклідів на людину.

Опромінення людини може бути зовнішнім та внутрішнім. Зовнішнє опромінення можливе лише при враженні β-випромінювачами високих енергій та γ-випромінювачами.

Внутрішнє опромінювання може здійснюватись двома основними шляхами:

1. органами дихання – вдихаючи повітря з радіоактивним пилом;
2. разом з продуктами харчування та водою.

Гостра променева хвороба проявляється в разі одноразового опромінення дозою в 2 - 2,5 Гр і більше. Доза радіації в 1,5 Гр може спричинити хронічне опромінення. Летальний кінець наступає при потужності дози в 3 - 3,5 Гр. Хронічна променева хвороба може розвиватись при еквівалентній дозі 0,001- 0,005 Зв/добу (0,1 - 0,5 бер/добу).

Методи захисту від радіації

1. Методи фізичного захисту (екранування).
2. Застосування радіопротекторів – речовин, які знижують ступінь променевого враження організму.

На сьогоднішній день радіопротектори розділяють на групи в залежності від хімічної будови речовини або механізму захисної дії. *Згідно однієї з класифікацій всі радіозахисні препарати можуть бути розділені на дві групи:*

короткочасної та пролонгованої дії. Радіопротектори короткочасної дії є високоефективними при дії великих доз опромінення, впливають на обмінні процеси в радіочутливих клітинах і тканинах, в першу чергу на активність геному (пригнічення клітинних біоенергетичних процесів і нуклеопротейдного обміну). В другу групу входять об'єднані радіопротектори, механізм дії яких в основному пов'язаний з активацією систем, які забезпечують підвищення загальної неспецифічної резистентності організму, високим вмістом в них антиоксидантів.

Більш фундаментальною є *класифікація радіопротекторів, яка оснований на розумінні механізмів дії радіації на біологічні системи:*

- протектори антиоксидантної дії, які є пастками вільних радикалів, що утворюються як в цитоплазмі, так і в мембранах клітини при опроміненні. До них можна віднести сполуки з розгалуженою системою подвійних

зв'язків, низькомолекулярні спирти, конденсовані синтетичні або природні поліфеноли.

- речовини, які спричиняють комплексні біохімічні перебудови в обміні речовин, що призводять, з одного боку, до зниження рівня обміну речовин, а з іншого, до активації систем репарації ДНК (тіоли).
- речовини, які здатні зв'язувати в достатньо міцні комплекси, потрапивши до організму, радіопротектори – хелатуючі речовини. До них відносять пектини, розгалужені оліго- і поліцукри.

Методи зниження рівня радіоактивного забруднення навколишнього середовища і захоронення радіоактивних відходів

Основними заходами щодо попередження забруднення навколишнього середовища радіоактивними ізотопами є надійні системи збору, переробки та локалізації радіоактивних відходів, які утворюються при роботі атомних електростанцій, промислових виробництв і науково-дослідних інститутів.

Вибір схеми переробки і видалення радіоактивних відходів знаходиться у прямій залежності від багатьох факторів, головними з яких є:

- характеристика відходів (питома активність, хімічний та радіохімічний склад);
- кількість відходів, які підлягають знезараженню;
- ступінь очищення, який вимагається, з урахуванням діючих санітарних правил;
- спосіб заключного зберігання концентрату.

За своїм агрегатним станом радіоактивні відходи бувають рідкі, тверді та газоподібні.

Поверхнева адсорбція. В якості адсорбентів використовують активоване вугілля, силікагель, молекулярні сита.

Витримка. Для розпаду короткоживучих радіоактивних ізотопів використовують ємності, в яких витримують оптимальні об'єми забрудненого повітря. Така техніка зручна при роботі з інертними газами, які розпадаються в спеціальних ємностях з перетворенням відповідних елементів в тверду субстанцію.

Очищення рідких радіоактивних стоків. Метою цих методів є концентрування радіоактивних ізотопів в невеликому об'ємі, які можна локалізувати. А великі об'єми очищеної води знову використовувати або скидати у водойми.

Коагуляція, осаджування, фільтрація. Перевагою осаджувальних методів очищення стічних вод є їх універсальність, тобто здатність знезараження стічних вод із вмістом різних домішок та різного радіонуклідного складу. Недоліком є утворення значної кількості радіоактивного шламу переважно у вигляді осадів, які потребують додаткової обробки, з подальшим видаленням та захороненням. Ефективність очищення таких стічних вод з використанням методів коагуляції, відстоювання та фільтрації відносно невелика і складає близько 90 %.

Іонний обмін. До основних переваг очищення радіоактивних відходів цим методом відносять високий коефіцієнт очищення (до 105) і високий ступень концентрування радіоактивних відходів. Але є і *недоліки*:

- 1) жорсткі вимоги до відходів, що переробляються (солесклад, рН, кількість завислих речовин);
- 2) висока вартість процесу;
- 3) руйнування смол під дією радіації;
- 4) складність переробки стічних рідин з непостійним складом;
- 5) смоли швидко вичерпують обмінну ємність і потребують частоті регенерації;

- б) використовується для очищення рідких радіоактивних відходів з невеликим вмістом солей (до 1 - 2 г/дм³), вміст завислих речовин не повинен перевищувати 1 мг/дм³.

Тому цей метод використовують головним чином для доочищення розчинів після хімічного осадження або випаровування.

Випаровування як метод переробки рідких радіоактивних відходів застосовується з 1949 року.

Переваги:

- 1) можливість випаровування відходів практично будь-якого сольового складу, будь-якого виду і рівня радіоактивності;
- 2) незалежність процесу від коливання складу домішок у відходах;
- 3) високий ступінь очищення вод;
- 4) можливість отримання дуже концентрованих осадів для захоронення.

Недоліки:

- 1) при наявності ПАР, органічних сполук в процесі випаровування може утворюватися піна, яка виносить частину радіоактивних ізоотопів в дистилат;
- 2) накипоутворення;
- 3) один з найбільш дорогих способів переробки рідких радіоактивних відходів.

Електродіаліз. Перевага в тому, що очищення проводиться без витрат реактивів і тому не викликає збільшення сольового складу концентрату.

Недоліки:

- 1) обмеженість строку роботи мембран;
- 2) складність їх заміни в існуючих апаратах;
- 3) осадження твердої фази в прикатодному просторі;
- 4) неможливість видалення радіоізоотопів, які знаходяться в колоїдній формі.

Для переробки твердих радіоактивних відходів використовують 2 методи: подрібнювання та пресування для зменшення об'ємів та спалювання для зменшення об'ємів та маси відходів.

Пресування – самий простий і економічний метод, який дозволяє зменшити об'єм відходів в 2 - 10 раз.

Спалювання – більш дорогий процес. Але в світовій практиці йому приділяють значну увагу, тому що при спалюванні суттєво зменшується об'єм відходів (в 20 - 100 раз), що суттєво зменшує витрати на їх захоронення. При спалюванні радіонукліди більш як на 90% фіксуються у золі і можуть бути переведені в стійку форму шляхом цементування, бітумування, оскловування.

Отвердіння. Найбільш простим і дешевим методом отвердіння є цементування, який не потребує спеціального нагріву і складної апаратури. Однак, цей метод обмежений обробкою відходів низької питомої активності, а також супроводжується ростом об'ємів відходів (в 1,2 – 1,3 рази), що підлягають захороненню. Цементування слід використовувати в умовах відносно невеликих об'ємах рідких радіоактивних відходів, які не перевищують 3000 - 4000 м³ на рік.

Процес **оскловування** радіоактивних відходів дає значно надійніше з точки зору закріплення радіонуклідів в матеріалі, що призводить до зменшення об'єму відходів. Однак складність апаратного оформлення, необхідність створення температури порядку 1100 - 1200⁰С обмежують використання методу оскловування і використовується лише для отвердіння високоактивних відходів. Метод оскловування полягає в змішуванні радіоактивних відходів із флюсами і перетворенні отриманої суміші в тверді склоподібні матеріали.

Метод бітумування займає середнє положення між цементуванням та оскловуванням. Бітум як вихідний матеріал – розповсюджений і дешевий. Це високомолекулярні суміші аліфатичних та ароматичних вуглеводнів та їх похідних, які збагачені киснем. Сировиною для отримання бітумів є гудрон.

Температура бітумування не перевищує 130 - 220⁰С. Діапазон активностей, які входять в бітум, ширший, ніж для цементів.

Захоронення. Перед вибором місця для влаштування станції захоронення радіоактивних відходів повинна бути вивчена геологія району (структура, щільність, склад різних порід та обмінна ємність ґрунту), швидкість виділення радіоактивності з районів захоронення, висота ґрунтових вод, швидкість їх течії, вплив виділення активності на забруднення ґрунтових вод і відстань вниз за течією до споживача ґрунтових вод.

Навколо проммайданчика відчужена територія радіусом до 2,5 км, яка створює санітарно-захисну зону. Територія в радіусі 10 км також знаходиться в сфері контролю і виділяється як зона нагляду.

Перед заключною відправкою контейнерів на них робиться помітка про дату, рівень активності, природу матеріалів та про вид випромінювачів радіоактивності.

В документації сховища представлені координати його розташування, речовинний та ізотопний склад відходів, час початку та закінчення заповнення сховища, сумарна активність захоронених в ньому відходів і потужність дози γ-випромінювання на поверхні перекриття.

Міжнародні організації, які займаються вирішенням проблем радіації

Для вирішення проблем, пов'язаних з розвитком атомної енергетики, в 1956 році організовано Міжнародне агентство по атомній енергії (МАГАТЕ). Основною ціллю створення МАГАТЕ є досягнення більш скорішого і широкого використання атомної енергії для підтримання миру, здоров'я населення.

Діяльність агентства розповсюджується на наступні основні галузі:

- ядерна безпека;
- радіаційна безпека персоналу і населення;
- перевезення радіоактивних речовин;
- захист морського середовища;
- поводження з радіоактивними відходами, їх обробка;
- оцінка впливу ядерної енергетики на навколишнє середовище.

Всесвітня організація охорони здоров'я (ВОЗ), яка була створена у 1948 році в галузі координації біомедичних досліджень, керує такими напрямками:

- норми і принципи радіаційного захисту;
- аспекти охорони здоров'я в ядерній енергетиці;
- радіаційні аварії;
- дослідження і контроль за радіоактивністю середовища;
- оцінка опромінення населення і наслідок для здоров'я.

Науковий комітет ООН по дії атомної радіації (НКДАР ООН) був заснований у 1955 році з метою оцінки величини доз, ефектів впливу і ризику від іонізуючого опромінення в загальносвітовому масштабі і наданні відповідної інформації генеральній Асамблеї ООН і науковому суспільству. Програма ООН по навколишньому середовищу (ЮНЕП) була створена в 1972 року з метою оцінки світової екологічної ситуації. Основні області екологічної програми ЮНЕП є:

- населені пункти і здоров'я людини;
- наземні екосистеми;
- навколишнє середовище і розвиток;
- океани;
- і т.д.

Література:

1. Кутлахмедов Ю.О. та ін. Основи радіоекології: Навч. посіб.— К.: Вища шк., 2003. — 319 с.: іл.
2. Келлер К. Радиохимия: Пер. с нем./ Под ред. Б.Ф. Мясоедова.—М.: Атомиздат, 1978.— 200 с. — ФРГ.1975.
3. М. Эйзенбад. Радиоактивность внешней среды — М.: Атомиздат: 1967 (перевод с англ.), 330 с.: ил.
4. Гродзинський Д.М. Радіобіологія: Підручник.— К.: Либідь, 2000.— 448 с.
5. Бундаков Л.А. Радиоактивные вещества и человек.— М.: Энергоатомиздат, 1990.— 160 с.:ил.
6. Авотин Ю.П. Практикум по радиоактивности: Учебн. пособие.— М.: Высш. школа, 1974. — 210 с.
7. Виленчик М.М. Радиобиологические эффекты и окружающая среда. — М.: Энергоатомиздат, 1991. - 160 с. — Библиогр.: 167 - ISBN 5 – 283 – 03066 – 0

.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Предмет курсу радіоекологія. Зв'язок курсу з іншими суміжними науками.....	5
Природні джерела радіації.....	6
Штучні джерела радіації.....	7
Вплив радіоактивності на біологічні об'єкти.....	7
Елементи ядерної хімії в радіоекології.....	9
Стабільність нуклідів.....	12
Поширеність ізотопів у природі.....	13
Іонізуюче випромінювання.....	14
Закон радіоактивного розпаду.....	15
Види радіоактивного розпаду.....	17
Поняття про ядерні реакції.....	23
Радіоактивні джерела навколишнього природного середовища. Випромінювання природного середовища.....	26
Поділ урану.....	27
Опромінення радіоактивним родоном.....	28
Опромінення радіоактивним калієм.....	29
Космічне випромінювання.....	29
Антропогенні джерела радіації природного середовища.....	30
Вплив випромінювання на об'єкти навколишнього середовища.....	31
Іонізація.....	31
Пряма дія радіації на речовину.....	32
Непряма дія радіації на речовину.....	32
Дія радіації на воду.....	33
Дія радіації на живу матерію.....	35
Вплив радіонуклідів на біосферу.....	37
Методи захисту від радіації.....	39
Методи зниження рівня радіоактивного забруднення	

навколишнього середовища і захоронення радіоактивних відходів.....	40
Міжнародні організації, які займаються вирішенням проблем радіації.....	44
Література.....	46