

**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Інститут природничих наук
Катедра неорганічної і фізичної хемії**

Л.Я. Мідак

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З КУРСУ
«РАДІОХІМІЯ»
(для студентів напрямку 6.040101-хімія)**

Затверджено
на засіданні кафедри
неорганічної і фізичної хімії
(протокол №5 від 15.12.2011 р.)

Івано-Франківськ
2012

Мідак Л.Я. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Радіохімія»: Методична розробка. – Івано-Франківськ: Прикарп. нац. ун-т ім. В.Стефаника, 2012. – 23 с.

Репрезентовано методичні вказівки до практичних занять з курсу «Радіохімія». Методичні рекомендації розроблені на основі курсу лекцій з радіохімії. Теоретична частина програми містить розділи: будова ядра, закон радіоактивного розпаду, типи радіоактивних перетворень, реакції поділу ядра.

Навчальна програма курсу призначена для підготовки спеціалістів з напрямку «Хімія» в університетах класичного типу. Літ. джерел 20.

Зміст

Тематика практичних занять.....	3
Будова ядра.....	5
Закон радіоактивного розпаду.....	11
Типи радіоактивних перетворень.....	14
Реакції поділу ядра.....	18
Вимоги до заліку.....	21
Рекомендована література.....	22

© Катедра неорганічної і фізичної хімії
Прикарпатського національного
університету ім. В.Стефаника
© Мідак Лілія Ярославівна

ТЕМАТИКА ПРАКТИЧНИХ ТА СЕМІНАРСЬКИХ ЗАНЯТЬ

Практичне заняття №1

Тема: Атомне ядро. Радіоактивний розпад та перетворення ядер.

План:

1. Будова ядра.
2. Основні типи радіоактивних перетворень. Правила зміщення.

Практичне заняття №2

Тема: Атомне ядро. Радіоактивний розпад та перетворення ядер.

План:

1. Основний закон радіоактивного розпаду. Стала розпаду. Період піврозпаду та середній час життя радіонуклідів.
2. Побудова схем радіоактивного розпаду. Послідовні радіоактивні перетворення.

Практичне заняття №3

Тема: Явище поділу ядра.

План:

1. Ядерні реакції. Природа та енергетика ядерних реакцій.
2. Відмінність ядерних реакцій від хімічних. Умови, необхідні для протікання ядерних реакцій.
3. Поділ важких ядер.
4. Ланцюгові ядерні реакції, поняття про критичну масу.
5. Термоядерний синтез.

Практичне заняття №4 (семінар)

Тема: Основи загальної радіохімії. Хімія радіоактивних елементів.

План:

1. Закономірності розподілу радіонуклідів між фазами в процесах осадження,

адсорбції, електрохімічних процесах та ізотопному обміні.

2. Фактори, що впливають на процес утворення радіоколоїдів. Методи виявлення та дослідження радіоколоїдів.

Практичне заняття №5 (семінар)

Тема: Взаємодія радіоактивного випромінювання з речовиною. Радіаційно-хімічні ефекти в речовині.

План:

1. Взаємодія заряджених частинок з речовиною, механізм збурення та іонізації молекул речовини.
2. Радіоліз. Авторадіоліз.

Практичне заняття №6 (семінар)

Тема: Радіометрія. Радіометричні та радіохімічні методи аналізу.

План:

1. Фізичні та хімічні методи реєстрації радіоактивного випромінювання, їх загальна характеристика.
2. Области застосування радіохімічних методів аналізу.

Практичне заняття №7 (семінар)

Прикладна радіохімія: основи ядерного паливного циклу, використання радіонуклідів в хімічних дослідженнях. Вплив іонізуючого випромінювання на організм людини.

План:

1. Технологія знешкодження радіоактивних відходів: збір, транспортування, очистка, переробка, зберігання.
2. Вплив іонізуючого випромінювання на організм людини. Фізико-хімічні і біохімічні порушення.
3. Гостра та хронічна променева хвороба.

1. БУДОВА ЯДРА

Ядро складається з протонів та нейтронів. **Протон** (гр. «протон» - перший) – частинка, що має позитивний заряд, що дорівнює заряду електрона. Він є ядром найлегшого ізотопу гідрогену.

Нейтрон являє собою нейтральну частинку, маса якої мало відрізняється від маси протона.

Масове число і порядковий номер повністю визначають склад ядра. Масове число A показує повне число нуклонів в ядрі.

Порядковий номер Z – число протонів в ньому. Число нейтронів $N=A-Z$.

Протони, нейтрони, електрони називаються **елементарними частинками**. До елементарних частинок відносять і кванти світла – **фотони**.

В наш час відомі декілька десятків елементарних частин (табл. 1).

Елементарні частинки поділяються на 3 основні групи: **лептони** – легкі частинки (від гр. «лепта» - найдрібніша монета), **мезони** – середні частинки («мезос» - по гр. середній) і **баріони** – важкі частинки («бар» - важкий).

Маса та власна енергія. Згідно теорії відносності маса частинок залежить від їх швидкості. Тому в якості характеристики частинки беруть її масу спокою. Масі спокою частинки відповідає енергія спокою або власна енергія частинки. За одиницю маси елементарної частинки приймають масу електрона m_e .

Фотон і нейтрино (μ -мезонне і електронне) не мають маси спокою і можуть рухатися зі швидкістю світла.

Електричний заряд. Елементарні частинки можуть бути заряджені і нейтральні. Заряд їх може бути позитивним та негативним. Абсолютна величина заряду всіх частин = заряду електрона. Тому заряд електрона приймають в якості одиниці заряду елементарних частинок. Біля символу частинки ставлять знак заряду і нуль (для нейтральних частинок); біля символів фотону, протону, нейтрону і нейтрино знаки заряду не пишуть.

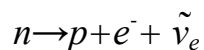
Лептонний та баріонний заряд. Електронам та електронним нейтрино

приписують електронний лептонний заряд +1, негативним μ -мезонам і μ -мезонним нейтрино – μ -мезонний лептонний заряд +1 і, нарешті, баріонам – баріонний заряд +1. Ці заряди, на відміну від електричного, не є величинами, що характеризують взаємодію, а являють собою квантові числа, що характеризують стан системи частин.

Античастинки. Для кожної частинки, в якій хоча б один з перерахованих зарядів не = 0, існує античастинка. Знаки всіх зарядів у античастинки протилежні в порівнянні зі знаками зарядів відповідних частинок. Але інші властивості (маса, час життя) повністю тотожні. Якщо частинка не має визначеного символу, то вона позначається символом відповідної частинки з тильдою нагорі.

При зустрічі частинки зі своєю античастинкою відбувається **анігіляція** – перетворення в інші більш легкі частинки. Наприклад, протон та антипротон при анігіляції перетворюються головним чином в π -мезони і частково у фотони. При анігіляції електрона і позитрона одержують 2 або 3 фотони. Слід відмітити, що хоч слово «анігіляція» означає «знищення», не треба розуміти під цим терміном знищення матерії, оскільки при анігіляції матерія не знищується, а лиш переходить в інші види.

На відміну від протона, нейтрон — нестабільна частинка і розпадається у вільному стані (коли летить, наприклад, у пучку) на протон p , електрон e^- і електронне антинейтрино $\tilde{\nu}_e$:

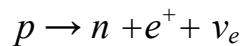


Надлишок маси у нейтрона порівняно з сумою мас протона та електрона настільки великий, що енергетично можливим є процес перетворення нейтрона на протон і електрон внаслідок β -розпаду (маса антинейтрино ($m(\tilde{\nu}_e) \ll m_e$). Під час електронного β -розпаду нестабільних атомних ядер такого самого, перетворення зазнає один із нейтронів ядра. Період напіврозпаду вільного нейтрона дорівнює приблизно 12 хв., тоді середній час життя $\tau = T_{1/2} : \ln 2 = 17$ хв. ($\approx 10^3$ с).

При β -розпаді електрони випромінюються нестабільними ядрами подібно

до того, як випромінюються кванти світла збудженими атомами: β -частинок (електронів) у ядрі, як і квантів світла в атомі, немає аж до моменту їх випромінювання. Однак випромінювання електронів разом з антинейтрино із ядер зумовлено, як припускав Е. Фермі, не електромагнітними силами, як при випромінюванні світла атомами, а зовсім новим типом, сил, які отримали назву **сил слабкої взаємодії**.

Хоча нейтрони у вільному стані й у радіоактивних ядрах можуть розпадатися, в стабільних ядрах нейтрони, як і протони, стабільні. Деякі ядра, переважані протонами, можуть зазнавати позитронного β -розпаду, коли один із протонів ядра, що забрав енергію в інших протонів і нейтронів того самого ядра, перетворюється на нейтрон, позитрон e^+ та електронне нейтрино:



При цьому позитрон і нейтрино вилітають із області ядра, а утворений нейтрон замість початкового протона залишається в ядрі. В цьому випадку ядро, що зменшило свій заряд на одиницю, тобто зменшило число протонів на одиницю й одночасно збільшило число нейтронів на одиницю, стає, як правило, більш стабільним. Хоча після цього може виникнути і такий β -розпад ядра, що утворилося.

При β -розпадах ядер сумарне число протонів та нейтронів, тобто масове число ядра A , не змінюється. Ядра з однаковим числом A називаються **ізобарами**, з однаковим числом протонів Z — **ізотонами**, а з однаковим числом нейтронів N — **ізотонами**. Найбільш стабільні серед легких ядер-ізобар ($A \leq 40$) будуть такі, в яких $N = Z$ для парно-парних (N і Z — парні) і непарно-непарних (N і Z — непарні) ядер, або в яких числа N і Z відрізняються лише на одиницю для непарних ядер, коли A — непарне число. Проте у важких стабільних ядрах число нейтронів може перевищувати число протонів у півтора рази. Ланцюжок β -розпадів ядер закінчується на одному з найбільш стабільних ядер-ізобар. У природі трапляються позитивно заряджені частинки, які значно легші за протон. Крім позитрона, це позитивно заряджені **мюон** (μ -мезон) μ^+ , **піон** (π -мезон) π^+ , **каон** (K -мезон) K^+

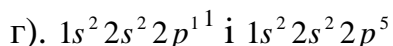
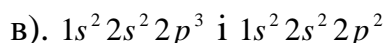
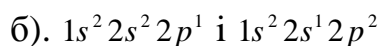
Властивості елементарних частинок

Сімейство	Назва	Символ		Маса спокою (в масах спокою електрону)	Власна енергія (MeV)	Спін	Схема розпаду	Час життя	Примітки	
		частинка	анти-частинка							
Електро-магнітне поле	фотон	γ		0	0	1	стабільний	∞	Фотони являють собою світло, рентгенівське випромінювання, γ -промені при радіоактивному розпаді ядер	
Лептони	Електронне сімейство	Електронне нейтрино	ν_e	$\tilde{\nu}_e$	0	0	$\frac{1}{2}$	стабільне	∞	Утворюється при β -розпаді ядер, розпаді μ^- і K-мезонів і нейтронів в парі з позитроном (антинейтрино – в парі з електроном)
		Електрон	e^-	e^+	1	0,511	$\frac{1}{2}$	стабільний	∞	Електрони e^- складають електронні оболонки атомів. Позитрони e^+ утворюються при розпаді штучних радіоактивних ізотопів, мезонів та при взаємодії γ -квантів з речовиною. При зустрічі електрона та позитрона відбувається анігіляція ($e^-e^+ \rightarrow 2-3\gamma$)
	Мю-мезонне сімейство	Мю-мезонне нейтрино	ν_μ	$\tilde{\nu}_\mu$	0	0	$\frac{1}{2}$	стабільне	∞	Утворюється при розпаді π^- і K-мезонів в парі з μ^+ -мезоном та при розпаді μ^- -мезона (антинейтрино – в парі з μ^- -мезоном і при розпаді μ^+ -мезону)
		Мю-мінус-мезон	μ^-	μ^+	207	106	$\frac{1}{2}$	$\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	Утворюється при розпаді π^- і K-мезонів, міститься в космічних променях
Мезони	Пі-плюс-мезон	π^+	π^-	273	140	0	$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ $\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$	$2,6 \cdot 10^{-8}$	Утворюються при взаємодії баріонів високої енергії з ядрами, при розпаді K-мезонів та гіперонів, містяться в космічних променях, одержуються на прискорювачах	
	Пі-нуль-мезон	π^0		264	135	0	$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$	$1,8 \cdot 10^{-16}$		
	Ка-плюс-мезон	K^+	K^-	966	494	0	$K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$ $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$ $K^0_1 \rightarrow 2\pi^0$ $K^0_1 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ $K^0_2 \rightarrow 3\pi^0$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	Утворюються при взаємодії баріонів високої енергії з ядрами, одержуються на прискорювачах, зустрічаються в космічних променях. Є два різновиди K^0 -мезонів (K^0_1 і K^0_2) з різними типами розпаду та часом життя	
								$0,9 \cdot 10^{-10}$		
Ка-нуль-мезон	K^0	\tilde{K}^0	975	498	0	$K^0_2 \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ $K^0_2 \rightarrow \pi^- + \mu^+ + \nu_\mu$ $K^0_2 \rightarrow \pi^- + e^+ + \nu_e$	$5,6 \cdot 10^{-8}$			

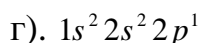
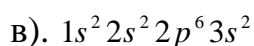
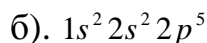
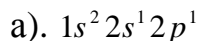
	Ета-нуль-мезон		η^0		1074	549	0	$\eta^0 \rightarrow 2\gamma$ або $3\pi^0$ $\eta^0 \rightarrow \pi^0 + 2\gamma$ $\eta^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$	10^{-17} (теорет)	
Сімейство	Назва		Символ		Маса спокою (в масах спокою електрону)	Власна енергія (MeV)	Спін	Схема розпаду	Час життя	Примітки
			частинка	анти- частинка						
Баріони	Нуклони	Протон	p	\tilde{p}	1836	938	1/2	стабільний	∞	p і n складають ядра атомів, \tilde{p} і \tilde{n} одержуються на прискорювачах при взаємодії протонів високої енергії з ядрами
		Нейтрон	n	\tilde{n}	1839	940	1/2	$n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$	$1,0 \cdot 10^3$	
	Гіперони	Лямбда-нуль- частинка	Λ^0	$\tilde{\Lambda}^0$	2183	1115	1/2	$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$ $\Lambda^0 \rightarrow n + \pi^0$	$2,6 \cdot 10^{-10}$	Утворюються при взаємодії баріонів та мезонів високої енергії з ядрами, одержуються на прискорювачах, зрідка зустрічаються в космічних променях
		Сигма-плюс- частинка	Σ^+	$\tilde{\Sigma}^+$	2328	1189	1/2	$\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0$ $\Sigma^+ \rightarrow n + \pi^+$	$0,8 \cdot 10^{-10}$	
		Сигма-нуль- частинка	Σ^0	$\tilde{\Sigma}^0$	2343	1197	1/2	$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$	$1 \cdot 10^{-14}$	
		Сигма-мінус- частинка	Σ^-	$\tilde{\Sigma}^-$	2333	1192	1/2	$\Sigma^- \rightarrow n^0 + \pi^-$	$1,6 \cdot 10^{-10}$	
		Ксі-нуль- частинка	Ξ^0	$\tilde{\Xi}^0$	2572	1314	1/2	$\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$	$3,0 \cdot 10^{-10}$	
		Ксі-мінус- частинка	Ξ^-	$\tilde{\Xi}^-$	2585	1320	1/2	$\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$	$1,7 \cdot 10^{-10}$	
		Омега-мінус- частинка	Ω^-	$\tilde{\Omega}^-$	3278	1675	1/2?	$\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + \pi^-$ $\Omega^- \rightarrow \Lambda^0 + K^-$	$0,7 \cdot 10^{-10}$	

Запитання і завдання:

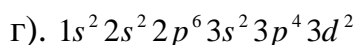
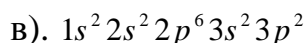
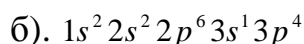
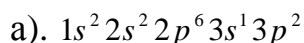
1. Вкажіть кількість нейтронів у атомі Урану.
2. Вкажіть кількість електронів у атомі Радону/
3. До якої групи належить елемент, будова зовнішнього електронного шару якого відповідає формулі ns^2np^6 ?
4. До якої групи належить елемент, будова електронів якого відповідає формулі $(n-1)d^5ns^2$?
5. Скільки електронів міститься в атомі Талію у незбудженому стані на 3р-підрівні?
6. Скільки електронів міститься в атомі Плюмбуму на 3р-підрівні у незбудженому стані?
7. Скільки електронів міститься в атомі Карбону на 2р-підрівні у збудженому стані?
8. Скільки електронів міститься на 4 енергетичному рівні в атомі Бромі?
9. Напишіть електронну формулу атома Полонію. Скільки неспарених електронів у зовнішньому шарі цього атома?
10. Напишіть електронну формулу атома Астату. Вкажіть кількість неспарених електронів.
11. Напишіть електронну формулу атома Радію. Вкажіть кількість вільних 2р-орбіталей.
12. Напишіть електронну формулу атома Цезію. Вкажіть сумарну кількість s-електронів у цьому атомі.
13. Скільки електронів міститься на зовнішньому р-підрівні атома Бромі?
а). 5; б). 2; в). 7; г). 3.
14. Яка електронна конфігурація неможлива?
а). $3d^5$; б). $4s^1$; в). $3p^7$; г). $5p^2$;
15. В яких випадках, наведених нижче, електронні формули відповідають атомам одного і того ж елемента, що знаходяться в різних - збудженому і незбудженому - станах?
а). $1s^2 2s^2 2p^1$ і $1s^2 2s^2 2p^2$



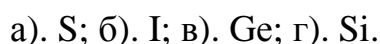
16. Які з наведених нижче електронних формул атомів відповідають збудженому стану атомів елементів?



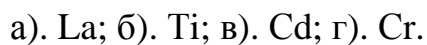
17. Які з наведених нижче електронних формул атомів відповідають незбудженому стану атомів елементів?



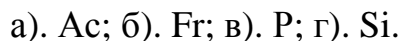
18. Атом елемента має на 7 електронів більше, ніж йон кадмію. Назвіть елемент.



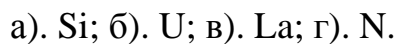
19. Атом елемента має на 2 електрони більше, ніж йон цезію. Назвіть елемент.



20. Атом елемента має на 3 електрони більше, ніж йон францію. Назвіть елемент



21. Атом елемента має на 5 електронів менше, ніж йон радію. Назвіть елемент, складіть електронні формули його атома у незбудженому та збудженому станах



2. ЗАКОН РАДІОАКТИВНОГО РОЗПАДУ

Радіоактивність - (від лат. radio - випромінюю, radius - промінь і activus - той що діє) здатність нестійких атомних ядер самовільно (спонтанно) перетворюватись в інші ядра з випромінюванням високоенергетичних частинок і електромагнітного випромінювання. Новоутворені ядра можуть бути стабільними, або теж радіоактивними.

Радіонуклід - загальна назва радіоактивних атомних ядер, які відрізняються числом нейтронів N і протонів P .

Радіоактивний ізотоп - сукупність радіоактивних атомів даного хімічного елементу, масове число яких однакове. Різні радіоактивні ізотопи одного хімічного елементу характеризуються однакою зарядом ядра і відрізняються один від одного масою. Кожен радіоактивний ізотоп характеризується властивим йому періодом піврозпаду, типом розпаду та енергією випромінювання, а також визначеним енергетичним станом.

Радіоактивні елементи поділяють на природні та штучні. Штучні радіоактивні елементи синтезуються шляхом ядерних реакцій.

Кінетика радіоактивного розпаду

Швидкість радіоактивного розпаду може бути виражена співвідношенням

$$dN/dt = -\lambda N. \quad (2.1)$$

Вираз (2.1) є диференційною формою кінетичного закону радіоактивного розпаду, де N - число радіоактивних атомів в момент часу t ; λ - константа, яка називається радіоактивною сталою.

Інтегральну форму кінетичного закону можна отримати інтегруванням (1) в межах від $t=0$ до t

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (2.2)$$

де N_0 - число радіоактивних атомів в початковий момент часу ($t=0$).

Константа радіоактивного розпаду λ характеризує імовірність перетворення ядра і чисельно дорівнює кількості атомів, що розпадаються за одиницю часу. Прийнято виражати λ в обернених секундах (s^{-1}) і тому для кожної секунди справедлива рівність

$$\lambda = dN/N. \quad (2.3)$$

Вираз dN/dt в диференційній формі закону (2.1) є швидкістю розпаду і називається абсолютною активністю (радіоактивністю).

Поряд із сталою λ для характеристики кінетики розпаду дуже часто використовується величина проміжку часу, протягом якого проходить розпад половини радіоактивних ядер. Ця величина називається періодом піврозпаду і позначається T . Між величинами λ і T існує просте співвідношення:

$$\lambda T = \ln 2 = 0,693. \quad (2.4)$$

Ступінь розпаду за заданий проміжок часу, який виражається цілим числом періодів піврозпаду $n=t/T$, можна розрахувати за рівнянням (2.5).

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda n T} = \frac{1}{2^n} \quad (2.5)$$

З формули (2.5) випливає так зване правило десяти періодів піврозпаду, тобто проміжку часу, коли практично вся речовина розпадеться (залишиться менше 0,1 % від вихідної кількості). Але треба відмітити, що це правило має відносний характер. Дійсно, при великих вихідних кількостях радіоактивної речовини, кінцева кількість речовини також буде великою.

Кожен радіоактивний ізотоп може характеризуватись також і середньою тривалістю життя τ . Між середньою тривалістю життя τ і періодом піврозпаду T існує наступний зв'язок:

$$T = \tau \ln 2. \quad (2.6)$$

Закон радіоактивного розпаду має статистичний характер і тому експоненційний закон справджується тільки для достатньо великої кількості радіоактивних атомів. У відповідності з теорією імовірності із зменшенням кількості атомів зростають відхилення від експоненціального закону (радіоактивні флуктуації), які можна спостерігати експериментально.

Завдання:

1. Визначити сталу радіоактивного розпаду (в s^{-1}) для ізотопів I_{53}^{131} ($T_{1/2}=8$ діб); Sr_{38}^{90} ($T_{1/2}=28$ років).

2. В посудині міститься 0,3 г радону. Період піврозпаду дорівнює 3,82 дні. Яка кількість радону (%) залишиться в посудині через 10 днів?

3. В деякій мономолекулярній реакції половина взятої речовини розпадається за 1000 с. Розрахувати час, за який розкладається 0,8 від початкової кількості та 99,9% речовини.

4. Константа розпаду радіоактивної речовини дорівнює 0,00507. Визначити час (дні), протягом якого речовина розкладеться на 88%.

5. За який час активність актинію складатиме 35% від початкової, якщо період його піврозпаду дорівнює 36,1 хв.?

6. Період піврозпаду торію дорівнює 60,5 хв. Через який час розкладеться 85% торію?

7. Протягом години розкладається 16,7% деякого радіоактивного елемента. Визначити період його піврозпаду.

7. Константа розпаду радію дорівнює $3,79 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$. Визначити період піврозпаду і час, за який радій розпадеться на 70%.

8. Визначити, в скільки разів початкова кількість ядер радіоактивного ізотопу зменшиться за 4 роки, якщо за один рік вона зменшиться в 5 разів.

9. Визначити час, за який розпадеться $\frac{2}{3}$ від початкової кількості ядер Ra_{88}^{219} , якщо його період піврозпаду $T_{1/2}=10^{-3} \text{ c}$.

10. Визначити період піврозпаду деякого радіоактивного ізотопу, якщо його активність за дві доби зменшиться в три рази.

3. ТИПИ РАДІОАКТИВНОГО РОЗПАДУ

Радіоактивні перетворення мають дві особливості, які роблять їх більш простими порівняно з хімічними перетвореннями. Перша особливість полягає в тому, що для всіх типів радіоактивних перетворень справедливий один кінетичний закон. Друга особливість полягає в тому, що кількість типів радіоактивних перетворень дуже обмежена.

Типи радіоактивного розпаду класифікують за основними видами випромінювання, якими є ядра гелію (α -частинки), електрони (β -частинки) і

короткохвильове електромагнітне випромінювання (γ -промені). На сьогодні відомо сім основних типів радіоактивного розпаду:

- 1) альфа-розпад;
- 2) бета-розпад;
- 3) гама-розпад;
- 4) електронний захват;
- 5) нейтронний розпад;
- 6) протонний розпад;
- 7) спонтанний поділ.

Кожен тип радіоактивних ядер (радіонуклід) має певний тип розпаду, швидкість розпаду і енергію випромінювання.

Енергія α -частинок має дискретні значення в межах 2–9 MeV. Енергетичний спектр β -частинок є неперервним в інтервалі від 0 до неповного максимального значення, яке становить 0,015–15 MeV.

α -Розпаду переважно підлягають важкі елементи з порядковими номерами більше 78 ($Au^{197}, Bi^{214}, Bi^{210}$). Винятком в цьому ряду є талій, в якого немає ні одного ізотопу α -випромінювача. Відомі і елементи з середньою масою, які підлягають α -перетворенню. Прикладом можуть бути природні ізотопи Nd^{144}, Sm^{147} , а також штучні ізотопи рідкісноземельних елементів (Sm, Eu, Gd і т.д.).

β -Радіоактивність найбільш розповсюджена порівняно з іншими видами. Існує три різновиди β -розпаду. В одному випадку ядро випромінює електрон (β^- -розпад), в другому – позитрон (β^+ -розпад), в третьому ядро поглинає один з електронів внутрішньої оболонки.

β^- -розпад характерний для ядер, які мають надлишок нейтронів. Одночасно з електроном випромінюється антинейтрино. β^+ -Розпад властивий ядрам, з надлишком протонів. Процес супроводжується випромінюванням нейтрино, позитрона, а також можливе виникнення γ -променів. β^- -Радіоактивність найбільш розповсюджена порівняно з іншими видами. Явище

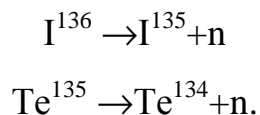
захоплення електрона спостерігається надзвичайно рідко.

Згідно **правила зміщень** (К. Фаянс та Ф. Содді, 1913 р.), елемент, який утворився в результаті **α -розпаду** займає в періодичній системі місце, що лежить на дві клітини лівіше вихідного елементу. Наприклад, при α -розпаді Po_{84}^{210} утворюється Pb_{82}^{206} .

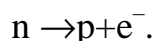
При **β -розпаді** новий елемент займає в періодичній системі місце, що лежить або на одну клітину правіше, або на одну клітину лівіше вихідного елементу.

γ -Розпад полягає у випромінюванні ядром γ -квантів. γ -Випромінювання супроводжує α - і β -розпад, завдяки утворенню збуджених ядер. Збуджені ядра звільняються від надлишкової енергії шляхом γ -випромінювання з переходом основний стан. Енергія γ -квантів рівна різниці енергій збудженого і основного станів. Збуджене ядро може утворитись не тільки в результаті α - і β -розпаду, але і в результаті зовнішніх дій. Але й в такому випадку перехід в основний стан здійснюється за рахунок γ -випромінювання. Енергія γ -випромінювання радіоактивних ізоотопів може доходити до великих значень. Наприклад, β^- -розпад ядер ^{16}N супроводжується γ -випромінюванням з $E = 6-7 \text{ MeV}$, а ^{210}Pb – з $E = 0,05 \text{ MeV}$.

Нейтронний розпад. Нейтронний розпад спостерігається у деяких ядер-уламків, які утворюються при поділі важких ядер. Ці нейтрони на відміну від нейтронів, що утворюються в момент поділу, називають запізнілими. Процес випромінювання запізнілих нейтронів підпорядковується експоненціальному закону. Прикладом нейтронного розпаду можуть бути уламкові ядра



Нейтрон є нестійкою часткою, з періодом піврозпаду 12,5 хв. за схемою



При проходженні нейтронів в речовині їх енергія розсіюється в процесі пружної і непружної взаємодії з ядрами, тобто проходить сповільнення

нейтронів. Сповільнення може проходити до теплових значень енергії нейтронів ($\sim 0,025$ eВ). Кінцевим результатом взаємодії є захват нейтронів ядрами, який проходить досить легко через відсутність потенціального бар'єру ядер для нейтронів.

Протонний розпад. Ядра, що мають надлишок протонів, можуть підлягати протонному розпаду. Експериментально протонний розпад був виявлений в 1962 році в Дубні радянськими фізиками В.А. Карнауховим, Г.М. Тер-Акопяном і В.Г. Суботіним. Виділення протонів здійснюється шляхом тунельного ефекту по аналогії з виділенням α -частинок. Протонний розпад може здійснюватись і за механізмом так званої запізнілої протонної радіоактивності. В цьому випадку ядро спочатку підлягає позитронному розпаду, в результаті якого енергія, що утворюється, захоплюється одним з надлишкових протонів і останній покидає ядро. Тут протонний розпад супроводжує позитронний, причому період піврозпаду для обох розпадів однаковий.

Взаємодія протонів із зовнішнім середовищем аналогічна до взаємодії α -частинок.

Спонтанний поділ. Спонтанний поділ полягає в тому, що атомне ядро самовільно розщеплюється на два ядра різних елементів (уламків). Це розщеплення супроводжується виділенням декількох нейтронів. Спонтанний поділ вперше був відкритий радянськими вченими Петржаком і Флеровим в 1940 році у урану-238. Період піврозпаду був ними оцінено приблизно в 10^{15} – 10^{16} років. Спонтанний поділ характерний для важких ядер. Для деяких ізотопів визначені тільки нижні границі періоду спонтанного поділу (для $\text{Ra}^{226} > 10^{14}$ років, для $\text{Th}^{232} > 10^{21}$ років). Періоди спонтанного поділу ізотопів зменшуються із збільшенням порядкового номеру Z:

Ядро	U^{235}	U^{238}	Pu^{239}	Cm^{242}	Cf^{252}	Fm^{256}
Період, роки	$1,8 \times 10^{17}$	8×10^{15}	$5,5 \times 10^{15}$	$7,2 \times 10^6$	66	3×10^{-4}

Період також зменшується з ростом маси при сталому Z , тому що період спонтанного поділу являє собою неперервно спадаючу функцію від величини Z^3/A . Для кожного типу ядер характерне середнє число нейтронів, що виділяється в процесі кожного акту спонтанного поділу. Наприклад, для U^{238} це число рівне 2,30; для Pu^{239} – 2,28; для Cm^{242} – 2,59; для Cf^{252} – 3,84; для Fm^{254} – 4,05.

Спонтанний поділ супроводжується виділенням великої кількості енергії, відповідного дефекту мас, і аналогічний поділу ядер при зовнішньому впливі.

Завдання:

1. Радіоактивний ізотоп урану U_{92}^{233} піддається шести α - і трьом β^- -розпадам. Визначити кінцевий продукт поділу.
2. Визначити скільки α - і β^- -частинок утворюється при перетворенні ізотопу Ra_{88}^{225} в ізотоп Pb_{82}^{209} .
3. Радіоактивний ізотоп торію Th_{90}^{232} піддається послідовно α -розпаду, двом β^- -розпадам і α -розпаду. Визначити кінцевий продукт поділу.
4. Радіоактивний ізотоп талію Tl_{81}^{210} піддається трьом β^- -розпадам і одному α -розпаду. Визначити кінцевий продукт поділу.
5. Визначити, який ізотоп утворюється з ізотопу урану U_{92}^{238} в результаті трьох α -розпадів і двох β^- -розпадів.
6. Скільки і яких перетворень спостерігається при розпаді $U^{238} \rightarrow U^{234}?$
7. Скільки і яких перетворень спостерігається при розпаді $U^{235} \rightarrow At^{219}?$
8. Скільки і яких перетворень спостерігається при розпаді $Th^{232} \rightarrow Pb^{208}?$

4. РЕАКЦІЇ ПОДІЛУ ЯДРА

Ядерні реакції – перетворення атомних ядер внаслідок їх взаємодії з елементарними частинками і між собою.

Ланцюгова ядерна реакція.

Знаючи енергію, що виділяється при поділі одного ядра урану, можна вирахувати, що вихід енергії при поділі всіх ядер 1 кг урану складає $8 \times$

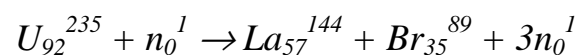
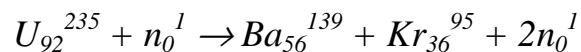
10^{13} Дж. Це в декілька мільйонів разів більше ніж при спалюванні 1 кг кам'яного вугілля або нафти. Тому були прийняті спроби знайти шляхи звільнення ядерної енергії для практичного використання.

Ядерні ланцюгові реакції – це ядерні реакції, в яких частинки, що викликають їх, утворюються як продукти цих реакцій.

Вперше реакція поділу урану була здійснена італійським фізиком Е. Фермі (1942). Після відкриття поділу атомних ядер Е. Фермі, У. Зінн, і Л. Сцилард (США), Г.Н. Фльоров (СРСР) показали, що при поділі ядра, крім уламків-ядер, вилітають 2-3 вільних нейтрона:



де А і В – уламки поділу з масовими числами А від 90 до 150, n – число вторинних нейтронів. Ці нейтрони можуть ініціювати подальший поділ ядер урану з утворенням нових нейтронів і тим самим реалізувати ланцюгову реакцію.



Умови ланцюгової реакції.

Нехай при поділі ядра утворюється в середньому n нейтронів. Якщо тільки частина f загального числа вторинних нейтронів може бути використана для продовження реакції поділу, то на 1 нейтрон першого покоління, що викликав поділ, припаде $k = fn$ нейтронів наступного покоління, які викличуть поділ, і при $k > 1$ (коефіцієнт розмноження нейтронів) число нейтронів n буде зростати в часі t за законом:

$$n = n_0 t^{(k-1)t},$$

де t час життя одного покоління нейтронів. Якщо $k-1=0$, то число поділів в одиницю часу стало і реакція відбувається з постійною інтенсивністю. При достатньо великих значеннях (k-1) реакція перестає бути керованою і може призвести до ядерного вибуху.

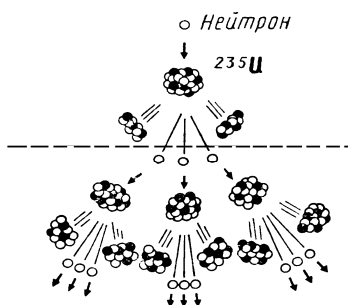
Отже, щоб проходив ланцюговий процес поділу атомних ядер коефіцієнт розмноження нейтронів k повинен бути більшим 1. Тоді реакція буде наростати

в геометричній прогресії:

$$k = \frac{n + \Delta n}{n} > 1,$$

де n – кількість нейтронів в першому поколінні;

$n + \Delta n$ – кількість нейтронів в другому поколінні.



Практичне здійснення ядерної ланцюгової реакції становить складне завдання. Нейтрон, ще до того як сповільниться, може бути захоплений ядром і поділу не буде, а випроміниться γ -квант. До того ж, в зразку малих розмірів більшість нейтронів пролітає крізь зразок, не потрапивши в жодне ядро.

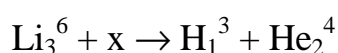
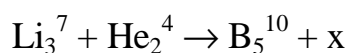
Мінімальна маса урану, в якому може виникнути ланцюгова реакція, називається **критичною масою**. Критична маса залежить від чистоти і форми зразка, і становить для U^{235} – декілька десятків кілограмів.

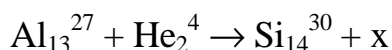
Необхідні умови для реалізації ланцюгової реакції і отримання енергії:

1. хімічно і ізотопно чистий вихідний матеріал (тому що домішки поглинають нейтрони);
2. маса матеріалу повинна бути більша за критичну;
3. необхідно утримувати певний час критичну масу – для підтримки і розвитку реакції.

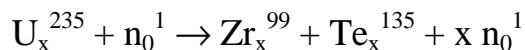
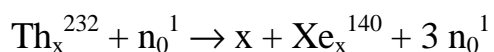
Завдання:

1. Визначити заряд і масове число невідомої частинки (x) в рівнянні ядерної реакції:





2. Доповнити позначення x в наступних ядерних реакціях:



3. При захопленні теплового нейтрона ядром урану U_{92}^{235} утворюється два уламки поділу і два нейтрона. Визначити заряд і масове число одного з уламків, якщо іншим є ядро Sr_{38}^{95} . Перший з уламків піддається трьом β^- -розпадам. Записати реакцію поділу і ланцюг β^- -розпадів.

4. Ядро літію Li_3^7 , захопивши елементарну частинку, ділиться, утворюючи дві α -частинки. Запишіть ядерну реакцію, визначивши елементарну частинку.

5. При достатньо великих енергіях нейтронів на ядрі урану U_{92}^{238} відбувається ядерна реакція типу $(n; 3n)$, в результаті якої утворюється штучне радіоактивне ядро, що піддається β^- -розпаду. Запишіть вказані процеси.

ВИМОГИ ДО ЗАЛІКУ

1. Представити конспект лекцій або опрацьовані літературні джерела згідно програмових вимог.
2. Дати визначення предмету “Радіохімія”, сформулювати завдання; розкрити значення і роль цієї науки в розвитку людського суспільства, її місце в різних областях техніки.
3. Охарактеризувати об’єкти дослідження, звернувши увагу на їх особливості; сформулювати (пояснити) основні поняття та визначення.
4. Пояснити причини стабільності або нестабільності ядер, особливості умов протікання ядерних реакцій, закони радіоактивного розпаду.
5. Знати суть методів виділення та ідентифікації радіоактивних елементів, хімічні властивості радіоактивних елементів.
6. Вміти пояснити генетичний зв’язок між елементами і дати характеристику найбільш важливих природних та штучних радіоактивних елементів.
7. Знати області використання радіоактивних ізотопів в науці і техніці.

8. Знати особливості процесу поділу ядер урану і можливості його технічної реалізації.
9. Знати методи реєстрації радіоактивного випромінювання та їх потенційні можливості для аналізу радіоактивних об'єктів.

Рекомендована література

1. Бугаенко Л.Т., Кузьмин М.Г., Полак Л.С. Химия высоких энергий. М.,1988.
2. Вдовенко В.Н. Современная радиохимия. – М.: Атомиздат, 1969. – 544с.
3. Громов В.В., Москвин А.Н., Сапожников Ю.А., Техногенная радиоактивность мирового океана. М.,1985.
4. Защита от ионизирующих излучений/ Под ред. Н.Г. Гусева в 2-х т. - Т1.- М.,1989. – Т.2. – М.,1990.
5. Кабардин О.Ф. Физика. Справочные материалы. М., 1991.
6. Коренман И.М., Справочник. Методы количественного химического анализа. - М.: Химия, 1989.
7. Краткий курс радиохимии/ Под. ред. А.В. Николаева, М.: Высшая школа, 1969.- 334с.
8. Мурин А.Н. Физические основы радиохимии. – М.: Высшая школа, 1971. – 288с.
9. Несмеянов А.Н. Радиохимия. - М.: Химия, 1978. – 592с.
10. Несмеянов А.Н. Прошлое и настоящее радиохимии. - Л.: Химия, 1985.
11. Нефедов В.Д., Текстер Е.Н., Торопова М.А. Радиохимия. - М.: Высшая школа, 1987. – 386с.
12. Охрана окружающей среды на предприятиях атомной промышленности/ Под ред. Б.Н. Ласкорина. - М.,1982.
13. Патологічна фізіологія/ За ред. М.Н. Зайко і Ю.В. Биця.- К., 1995.
14. Руководство к практическим занятиям по радиохимии/ Под ред. А.Н. Несмеянова. - М.: Госхимиздат, 1980.

15. Слейбо У., Персонс Т., Общая химия/ Пер. з англ. Е.Л. Розенберга. - М., 1979.
16. Старик И.Е. Основы радиохимии. – Л.: Наука, 1969. – 479с.
17. Фридлендер Г., Кеннеди Дж., Миллер Дж. Ядерная химия и радиохимия. – М.: Мир, 1967. – 567с.
18. Хенли Э., Джонсон Э. Радиационная химия/ Пер. з англ. В.Н. Лисцова. М.: Атомиздат, 1974.
19. Чернобыль. Дни испытаний. Книга свидетельств/ Сост. В.Г. Шкода. - К.: Радянський письменник, 1988.
20. Шведов В.П., Седов В.Н., Рыбальченко И.Л., Власов И.Н. Ядерная технология. – М.: Атомиздат, 1979. – 336с.