

**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 САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ З КУРСУ
«РАДІОХІМІЯ»
(для студентів напряму підготовки 6.040101-хімія)**

Затверджено
на засіданні кафедри
неорганічної і фізичної хімії
(протокол №1 від 30.01.2013 р.)

Івано-Франківськ

2013

Методичні вказівки до самостійної роботи з курсу «Радіохімія»: Методична розробка/ Укладач Л.Я. Мідак – Івано-Франківськ: Прикарп. нац. ун-т ім. В.Стефаника, 2013. – 28 с.

Репрезентовано рекомендації до самостійного вивчення дисципліни «Радіохімія», дані про порядок та зміст поточного і семестрового контролю, робочу навчальну програму дисципліни і завдання до контрольних робіт для студентів денної і заочної форми навчання напряму підготовки 6.040101 – хімія. Теоретична частина містить розділи: будова ядра, закон радіоактивного розпаду, типи радіоактивних перетворень, реакції поділу ядра. .

Зміст

1. Витяг з робочого навчального плану.....	3
2. Мета вивчення дисципліни.....	3
3. Програма дисципліни.....	4
3.1. Перелік програмних питань.....	4
3.2. Тематика практичних занять.....	9
4. Рекомендована література.....	11
Будова ядра.....	13
Закон радіоактивного розпаду.....	18
Типи радіоактивних перетворень.....	20
Реакції поділу ядра.....	23
Тестові завдання для самоконтролю.....	24
Вимоги до заліку.....	28

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

1. Витяг з робочого навчального плану.

Види занять, їх обсяг у академічних годинах, форму семестрового контролю та їх розподіл по семестрах встановлює робочий навчальний план напряму підготовки відповідно до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Витяг з робочого навчального плану підготовки фахівця за напрямом підготовки 6.040101 – хімія

Види роботи і занять	Форма навчання	
	денна	заочна
Всього відведено годин на вивчення дисципліни	72	
Самостійна робота	36	60
Аудиторні заняття	36	12
лекції	18	8
практичні заняття	18	4
лабораторні роботи	-	-
Індивідуальне завдання	-	-
Семестровий контроль	Залік	Залік

Дисципліна викладається протягом другого семестру на денній та заочній формах навчання. Форма семестрового контролю – залік. Для вивчення дисципліни передбачені два види робіт студентів: аудиторна і позааудиторна, що далі має назву самостійна робота студентів.

2. Мета вивчення дисципліни

2.1. Метою викладання навчальної дисципліни «Фізична хімія» є:

ознайомити з теоретичними питаннями методів виділення та ідентифікації радіоактивних елементів, хімічних властивостей радіоактивних елементів, ізотопів та речовин; хімії ядерних перетворень та супутніх їм фізико-хімічних процесів; використання радіоактивних ізотопів в науці та техніці; розглянути теоретичні основи особливості процесу поділу ядер урану і можливості його технічної реалізації; дію йонізуючого випромінювання на організм людини.

2.2. Основними завданнями вивчення дисципліни «Радіохімія» є:

- ознайомити зі статистичним характером закону радіоактивного розпаду, його значенням, генетичним зв'язком між елементами;

- дати характеристику найбільш важливих природних та штучних радіоактивних елементів;
- навчити розраховувати період піврозпаду, константу радіоактивного розпаду, середню тривалість життя радіонуклідів;
- визначати кінцевий продукт радіоактивних перетворень за правилами зміщення.

2.3. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

знати:

- основні поняття і означення;
- закон радіоактивного розпаду;
- типи радіоактивного випромінювання; правила зміщення;
- суть методів виділення та ідентифікації радіоактивних елементів, хімічні властивості радіоактивних елементів;
- особливості процесу поділу ядер урану і можливості його технічної реалізації;
- області використання радіоактивних ізотопів в науці і техніці;
- методи реєстрації радіоактивного випромінювання та їх потенційні можливості для аналізу радіоактивних об'єктів;
- дію йонізуючого випромінювання на організм людини.

вміти:

- охарактеризувати об'єкти дослідження, звернувши увагу на їх особливості;
- пояснити причини стабільності або нестабільності ядер;
- пояснити особливості умов протікання ядерних реакцій;
- записувати хімічні рівняння ядерних реакцій;
- розв'язувати розрахункові задачі за законом радіоактивного розпаду;
- пояснити генетичний зв'язок між елементами і дати характеристику найбільш важливих природних та штучних радіоактивних елементів.

3. Програма дисципліни.

3.1. Перелік програмних питань.

Для правильної організації та систематизації самостійної роботи слід користуватися програмою дисципліни відповідно до таблиці 3.1 та рекомендованою літературою. У процесі вивчення рекомендується складати короткий конспект.

Змістовий модуль 1. Радіоактивний розпад та перетворення ядер. Хімія радіоактивних елементів.

1. Предмет радіохімії. Радіохімія, як область науки, що вивчає хімію радіонуклідів і радіоактивних речовин, їх фізико-хімічні властивості, ядерні перетворення та супутні їм хімічні процеси. Розділи радіохімії: загальна радіохімія, хімія радіоактивних елементів, хімія ядерних перетворень, прикладна радіохімія. Завдання радіохімії.

Радіонукліди та радіоактивні речовини як об'єкти радіохімії. Характерні особливості об'єктів радіохімії та пов'язана із цим специфіка радіохімічних методів.

2. Атомне ядро. Радіоактивний розпад та перетворення ядер. Атомні ядра. Протонно-нейтронна, крапельна та оболонкова моделі ядра. Особливості ядерних сил. Ядерні частинки. Заряд і маса ядра. Масове число. Розміри та густина ядра. Енергія зв'язку ядра. Дефект маси. Фоторозпад. Поведінка ядер в магнітному полі. Нукліди та їх класифікація (ізотопи, ізобари, ізотони). Стабільність ядер. Магічні числа.

Радіоактивність. Перші дослідження радіоактивності. Основні типи радіоактивних перетворень (альфа-, позитронний і електронний розпад, захват орбітальних електронів, спонтанний поділ важких ядер) та їх характеристика. Причини існування різних видів радіоактивного розпаду ядер. Правила зсуву. Побудова схем радіоактивного розпаду. Утворення збурених ядер і шляхи зняття збурення. Внутрішня конверсія, ефект Оже. Явище радіоактивної віддачі.

Основний закон радіоактивного розпаду. Статистичний характер розпаду. Стала розпаду. Період піврозпаду та середній час життя радіонуклідів. Накопичення продуктів розпаду. Послідовні радіоактивні перетворення, поняття про стаціонарний стан. Радіоактивна рівновага: вікова та динамічна. Природна радіоактивність. Радіоактивні ряди.

Ядерні реакції. Природа та енергетика ядерних реакцій. Відмінність ядерних реакцій від хімічних. Умови, необхідні для протікання ядерних реакцій. Ймовірність ядерної реакції та ефективний переріз. Ядерні реакції під дією елементарних частинок, легких ядер та гама-опромінення. Поділ важких ядер. Ланцюгові ядерні реакції, поняття про критичну масу. Термоядерний синтез. Штучна радіоактивність. Синтез елементів. Застосування ядерних реакцій.

3. Основи загальної радіохімії. Процеси і методи. Фізико-хімічні закономірності поведінки радіонуклідів в ультрарозведених системах (розчинах, газах, твердих речовинах). Закономірності розподілу радіонуклідів між фазами в процесах осадження, адсорбції, електрохімічних процесах та ізотопному обміні.

Стан радіоактивних елементів в розчинах. Іоннодисперсний, молекулярний та колоїдний стан. Істинні колоїди та псевдоколоїди. Фактори, що впливають на процес утворення радіоколоїдів. Методи виявлення та дослідження радіоколоїдів.

Розподіл мікрокількостей радіоактивних ізотопів між твердою і рідкою фазами. Значення процесів розподілу для радіохімії. Процес співосадження. Закон Хана. Правило Фаянса-Хана. Процеси ізоморфної та ізодиморфної співкристалізації. Гомогенний розподіл мікрокомпонентів між твердою і рідкою фазами. Закон Бергло-Нернста. Закон Хлопіна. Фактори, що впливають на розподіл компонентів між твердою та рідкою фазами. Приклади використання процесів ізоморфної співкристалізації при радіохімічних дослідженнях.

Адсорбція радіоактивних нуклідів на іонних кристалах. Правила адсорбції та систематика адсорбційних явищ. Механізм адсорбції, вплив різних факторів на процес адсорбції. Первинна та вторинна адсорбція. Внутрішня адсорбція. Використання адсорбційних процесів в радіохімії.

Електрохімія радіоактивних ізотопів. Особливості електрохімії радіоактивних елементів. Методи визначення критичного потенціалу осадження радіоактивних елементів. Використання рівняння Нернста в процесі електрохімічного осадження радіоактивних елементів. Вплив природи електрода на величину критичного потенціалу осадження радіоактивних елементів. Використання електрохімічних методів для дослідження хімічних та фізико-хімічних властивостей радіоактивних ізотопів. Електрохімічні методи виділення і розділення радіоактивних елементів.

Екстракційні методи виділення радіонуклідів. Загальні уявлення та основні закономірності. Фактори, що впливають на процес екстракції. Екстракція ефірами та кетонами.

Процеси ізотопного обміну. Класифікація реакцій ізотопного обміну. Особливості і причини протікання реакцій ізотопного обміну. Основні кінетичні характеристики реакцій ізотопного обміну.

4. Хімія радіоактивних елементів. Радіоактивні елементи і радіоактивні ізотопи в природі.

Актиній і актиноїди. Електронна структура і закономірності зміни властивостей актиноїдів. Особливості хімічної поведінки актиноїдів. Уран і трансуранові елементи. Властивості урану і уранідів (нептуній, плутоній, америцій). Трансамерицієві актиноїди (кюрій, берклій, каліфорній, енштейній, фермій, нобелій, лоуренсій). Способи одержання трансуранових елементів. Спільне і особливе в поведінці актиноїдів.

Хімія і металургія урану. Природні ресурси урану, уран в земній корі, мінерали урану. Методи виявлення уранових руд. Добування урану з розчинів. Методи очистки урану. Промислові методи одержання UO_2 , UF_4 та UF_6 . Виробництво металічного урану. Металотермічний та електролітичний методи одержання урану. Рафінування і обробка урану. Сполуки, що використовуються як ядерне паливо.

Плутоній. Ядерно-фізичні властивості плутонію, його виробництво і використання. Хімічні властивості металічного плутонію та його іонів в розчині. Сплави та сполуки плутонію. Застосування плутонію в атомній енергетиці.

Хімія та металургія торію. Сировинні ресурси торію, його руди, способи одержання торієвих концентратів. Способи переробки монацитових концентратів. Сульфатний і лужний способи переробки монацитового концентрату. Очистка сполук торію і добування U^{233} . Метод фракційної нейтралізації і осадження гідрату сульфату торію. Метод оксалатної і екстракційної очистки сполук торію. Способи одержання металічного торію. Металотермія, електрохімічний та йодидний способи. Найважливіші сплави та сполуки торію.

Змістовий модуль 2. Прикладна радіохімія.

5. Взаємодія випромінювання з речовиною. Радіаційно-хімічні перетворення в речовині. Взаємодія заряджених частинок з речовиною, механізм збурення та іонізації молекул речовини. Механізм виникнення

гальмівного рентгенівського випромінювання. Довжина вільного пробігу цих частинок в речовині в залежності від агрегатного стану. Структура треків.

Взаємодія нейтронів з речовиною. Швидкі та повільні нейтрони. Явище пружного розсіювання нейтронів. Нейтронографія. Ядерні реакції під дією нейтронів.

Взаємодія електромагнітного випромінювання з речовиною, механізм збурення та іонізації середовища. Внутрішня конверсія гама-променів. Утворення пар. Явище фотоефекту. Ядерні реакції ініційовані гама-випромінюванням.

Радіаційно-хімічні процеси в речовині. Механізм виникнення активних частинок (збурених частинок, електронів, іонів, вільних радикалів). Радіаційно-хімічний вихід. Радіоліз. Радіоліз газів (діоксиду карбону, діоксиду нітрогену). Радіоліз води: загальні положення, схема процесу, радіаційно-хімічний вихід продуктів. Радіоліз водних розчинів. Радіоліз органічних речовин, загальні положення. Радіоліз алканів, циклоалканів та ароматичних вуглеводнів, шляхи утворення та радіаційно-хімічний вихід продуктів. Авторадіоліз.

6. Радіометрія. Радіометричні та радіохімічні методи аналізу. Одиниці вимірювання інтенсивності радіоактивного випромінювання та дози опромінення. Фізичні та хімічні методи реєстрації радіоактивного випромінювання, їх загальна характеристика, області застосування.

Іонізаційні, сцинтиляційні, фотографічні методи реєстрації випромінювання. Основи іонізаційного методу реєстрації радіоактивного випромінювання. Принципова схема іонізаційного детектора. Вольтамперна крива іонізаційного детектора. Робочі області напруг іонізаційного детектора. Іонізаційні камери та лічильники. Лічильник Гейгера-Мюллера. Метрологічні характеристики іонізаційних лічильників: фон і час розділення, ефективність.

Явище сцинтиляції: механізм процесу та його використання з метою реєстрації радіоактивного випромінювання. Речовини сцинтилятори, їх класифікація, приклади. Принципова схема сцинтиляційного лічильника та принцип його роботи. Метрологічні характеристики сцинтиляційних лічильників: фоновий сигнал, час розділення імпульсів, ефективність. Области використання сцинтиляційних лічильників.

Фотографічні методи реєстрації випромінювання. Суть та ефективність методу. Области застосування.

Хімічні дозиметри: глюкозний та "залізний" ($\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$). Методика використання та реєстрації радіоактивного випромінювання. Области застосування.

γ -Спектроскопія. Суть методу. Методика кількісного та якісного аналізу. Метрологічні характеристики. Области використання.

Активаційний аналіз. Суть методу та його різновиди. Методика кількісного та якісного аналізу. Метрологічні характеристики. Области використання. Радіометричне титрування та титрування γ -променями.

7. Деякі аспекти прикладної радіохімії. Хімія ядерного пального. Основи ядерного паливного циклу. Ядерні реактори. Технологія переробки опроміненого

ядерного пального. Технологія знешкодження радіоактивних відходів: збір, транспортування, очистка, переробка, зберігання.

Використання радіоактивних ізотопів в хімічних дослідженнях: вивчення механізму хімічних реакцій; вивчення комплексоутворення в розчинах; визначення пружності пари важколетких речовин; визначення коефіцієнтів дифузії; визначення активності каталізаторів. Аналітичне використання методу радіоактивних індикаторів.

8. Радіоактивність зовнішнього середовища. Радіохімія зовнішнього середовища. Особливості об'єктів дослідження. Характеристика і джерела утворення радіоактивних відходів. Радіоактивні відходи і навколишнє середовище.

Таблиця 3.1

Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.
Змістовий модуль 1. Радіоактивний розпад та перетворення ядер. Хімія радіоактивних елементів												
Тема 1. Вступ. Предмет радіохімії. Етапи становлення радіохімії, як науки.	4	2				2	4	1			3	
Тема 2. Атомне ядро. Радіоактивний розпад та перетворення ядер.	16	4	4			8	16	1	2		13	
Тема 3. Основи загальної радіохімії. Поділ важких ядер.	12	2	4			6	12	1	2		9	
Тема 4. Хімія радіоактивних елементів.	8	2	2			4	8	1			7	
Разом за змістовим модулем 1	40	10	10			20	40	4	4		32	
Змістовий модуль 2. Прикладна радіохімія												
Тема 1. Взаємодія радіоактивного випромінювання з речовиною. Радіаційно-хімічні ефекти в речовині.	8	2	2			4	8	1			7	
Тема 2. Радіометрія. Радіометричні та радіохімічні методи аналізу.	8	2	2			4	8	1			7	
Тема 3. Прикладна радіохімія: основи ядерного паливного циклу, використання радіонуклідів в хімічних дослідженнях.	8	2	2			4	8	1			7	
Тема 4. Радіоактивність зовнішнього середовища.	8	2	2			4	8	1			7	
Разом за змістовим модулем 2	32	8	8			16	32	4			28	
Усього годин	72	18	18			36	72	8	4		60	

3.2. Тематика практичних 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.

Практичне заняття №4

Тема: *Явище поділу ядра.*

План:

1. Поділ важких ядер.
2. Ланцюгові ядерні реакції, поняття про критичну масу.
3. Термоядерний синтез.

Практичне заняття №5 (семінар)

Тема: *Основи загальної радіохімії.*

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 №6 (семінар)

Тема: *Хімія радіоактивних елементів.*

План:

1. Радіоактивні елементи і радіоактивні ізотопи в природі.
2. Актиній і актиноїди.
3. Хімія і металургія урану.
4. Плутоній.
5. Хімія та металургія торію.

Практичне заняття №7 (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 №8 (семінар)

Тема: Радіометрія. Радіометричні та радіохімічні методи аналізу.

План:

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

Практичне заняття №9 (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.

Індивідуальні завдання

Реферати на тему:

1. Типи йонізуючих випромінювань.
2. Джерела випромінювання. Техногенні радіаційні аварії та ядерні вибухи.
3. Найважливіші природні радіонукліди (уран, торій, радон, плумбум, полоній, калій-40, карбон-14, тритій).
4. Найважливіші техногенні радіонукліди (радіойод, радіоцезій, радіостронцій, плутоній, америцій).
5. Ланцюгова ядерна реакція. Умови перебігу.
6. Некерована ядерна реакція. Ядерна зброя.
7. Паливний цикл АЕС
8. Термоядерний синтез
9. Радіохімічні реакції. Біологічні ефекти іонізуючого випромінювання
10. Вплив йонізуючого випромінювання на організм людини: внутрішнє, зовнішнє комбіноване опромінення.
11. Вплив йонізуючого випромінювання на організм людини. Фізико-хімічні та біохімічні порушення. Порушення біологічних процесів в клітинах.

12. Вплив йонізуючого випромінювання на організм людини. Порушення функцій організму і основні симптомокомплекси. Гостра променева хвороба. Хронічна променева хвороба.
13. Радіоліз води.
14. Радіоліз розведених водних розчинів неорганічних сполук
15. Радіоліз органічних сполук. Радіоліз полімерів
16. Радіоліз металів, стопів і твердих неорганічних речовин
17. Радіонукліди в хімічному аналізі. Застосування радіонуклідів в медицині та наукових дослідженнях.
18. Радіонукліди в природі.
19. Радіоекологія – розділ екології. Предмет та задачі радіоекології. Радіоактивний захист і радіопротектори.
20. Радіаційні аварії.
21. Чорнобильська катастрофа. Радіоекологічні наслідки катастрофи.
22. Нормативні документи в галузі радіаційної безпеки.

4. Рекомендована література

Базова

1. Краткий курс радиохимии/ Под. ред. А.В. Николаева. - М., 1969.
2. Несмеянов В.Н. Радиохимия. - 2изд. - М., 1978.
3. Нефедов В.Д., Текстер Е.Н., Торолова М.А. Радиохимия. - М., 1987.
4. Несмеянов А.Н. Прошлое и настоящее радиохимии - Л., «Химия». - 1985.
5. Кеплер К. Радиохимия/ Перевод с нем. – 1978.
6. Мідак Л.Я., Кравець І.В. Основи радіохімії. – Івано-Франківськ: пп Голіней, 2013. – 160 с.

Допоміжна

1. Зизенбод М. Радиоактивность внешней среды/ Перевод с английского. – М., 1967.
2. Трифанов Д.Н., Кривомазов В.Н, Лисневский Ю.Н. Учение о периодичности и учение о радиоактивности. Коментированная хронология важнейших событий.
3. Охрана окружающей среды на предприятиях атомной промышленности/ Под ред. Б.Н. Ласкорина. - М., 1982.
4. Румянцев С.В., Штань А.С., Гольцев В.А. Справочник по радиационным методам неразрушающего контроля. - М., 1982.
5. Кун П. Химическая радиозащита/ Перевод с чеш. - М., 1989.
6. Тельдешин Ю. Радиоаналитическая химия. Перевод с словац. - М., 1987.
7. Ляпидевский В.К. Методы детектирования излучений. - М., 1987.
8. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества. - Л., 1990.
9. Громов В.В., Москвин А.Н., Сапожников Ю.А., Техногенная радиоактивность мирового океана. - М., 1985.
10. Радиационная стойкость органических материалов. Справочник. Под ред. В.К. Милинчука, В.Н. Тупикова. - М., 1986.

11. Пикоев А.К. Современная радиационная химия. Основные положения. Экспериментальная техника и методы.
12. Бугаенко Л.Т., Кузьмин М.Г., Полак Л.С. Химия высоких энергий. - М., 1988.
13. Чернобыль. Дни испытаний. Книга свидетельств/ Сост. В.Г. Шкода. - К.: «Радянський письменник», 1988.
14. Хенли Э., Джонсон Э. Радиационная химия/ пер. з англ. В.Н. Лисцова. - М.: «Атомиздат», 1974.
15. Кабардин О.Ф. Физика. Справочные материалы. - М., 1991.
16. Слейбо У., Персонс Т. Общая химия/ пер. з англ. Е.Л. Розенберга. - М., 1979.
17. Патологічна фізіологія/ За ред. М.Н. Зайко і Ю.В. Биця. - К., 1995.
18. Руководство к практическим занятиям по радиохимии/ Под ред. А.Н. Несмеянова. - М., 1980.
19. Кулландер С., Ларссон Б. Жизнь после Чернобыля. Взгляд из Швеции/ Пер. зі шв. під ред. Ю.В. Кузнецова. - М., 1991.
20. Коренман И.М. Справочник. Методы количественного химического анализа. - М.: «Химия», 1989.

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.

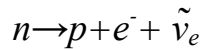
Лептонний та баріонний заряд. Електронам та електронним нейтрино приписують електронний лептонний заряд $+1$, негативним μ -мезонам і μ -мезонним нейтрино – μ -мезонний лептонний заряд $+1$ і, нарешті, баріонам – баріонний заряд $+1$. Ці заряди, на відміну від електричного, не є величинами, що характеризують 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.

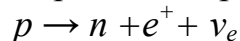
На відміну від протона, нейтрон — нестабільна частинка і розпадається у вільному стані (коли летить, наприклад, у пучку) на протон p , електрон e^- і електронне антинейтрино $\tilde{\nu}_e$:



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, перевантажені 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^+ .

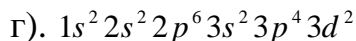
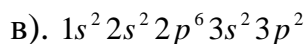
Властивості елементарних частинок

Сімейство	Назва		Символ		Маса спокою (в масах спокою електрону)	Власна енергія (MeV)	Спін	Схема розпаду	Час життя	Примітки
			частинка	анти-частинка						
Електромагнітне 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	$\bar{\nu}_e$	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 ($e^-e^+ \rightarrow 2\gamma$)
	Мю-мезонне сімейство	Мю-мезонне нейтрино	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	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	$\frac{1}{2}$	$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	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
	Ка-нуль-мезон		K^0	\bar{K}^0	975	498	0		$0,9 \cdot 10^{-10}$	

								$K^0_2 \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$ $K^0_2 \rightarrow \pi^- + \mu^+ + \nu_\mu$ $K^0_2 \rightarrow \pi^- + e^+ + \nu_e$	$5,6 \cdot 10^{-8}$	
	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	½	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	½	$n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$	$1,0 \cdot 10^3$	
	Гіперони	Лямбда-нуль-частинка	Λ^0	$\tilde{\Lambda}^0$	2183	1115	½	$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$ $\Lambda^0 \rightarrow n + \pi^0$	$2,6 \cdot 10^{-10}$	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	½	$\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0$ $\Sigma^+ \rightarrow n + \pi^+$	$0,8 \cdot 10^{-10}$	
		Сигма-нуль-частинка	Σ^0	$\tilde{\Sigma}^0$	2343	1197	½	$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$	$1 \cdot 10^{-14}$	
		Сигма-мінус-частинка	Σ^-	$\tilde{\Sigma}^-$	2333	1192	½	$\Sigma^- \rightarrow n^0 + \pi^-$	$1,6 \cdot 10^{-10}$	
		Ксі-нуль-частинка	Ξ^0	$\tilde{\Xi}^0$	2572	1314	½	$\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$	$3,0 \cdot 10^{-10}$	
		Ксі-мінус-частинка	Ξ^-	$\tilde{\Xi}^-$	2585	1320	½	$\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$	$1,7 \cdot 10^{-10}$	
		Омега-мінус-частинка	Ω^-	$\tilde{\Omega}^-$	3278	1675	½ ?	$\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + \pi^-$ $\Omega^- \rightarrow \Lambda^0 + K^-$	$0,7 \cdot 10^{-10}$	

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 $1s^2 2s^2 2p^2$
б). $1s^2 2s^2 2p^1$ і $1s^2 2s^1 2p^2$
в). $1s^2 2s^2 2p^3$ і $1s^2 2s^2 2p^2$
г). $1s^2 2s^2 2p^{11}$ і $1s^2 2s^2 2p^5$
16. Які з наведених нижче електронних формул атомів відповідають збудженому стану атомів елементів?
а). $1s^2 2s^1 2p^1$
б). $1s^2 2s^2 2p^5$
в). $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$
г). $1s^2 2s^2 2p^1$
17. Які з наведених нижче електронних формул атомів відповідають незбудженому стану атомів елементів?
а). $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p^2$
б). $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p^4$



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

а). S; б). I; в). Ge; г). Si.

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

а). La; б). Ti; в). Cd; г). Cr.

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

а). Ac; б). Fr; в). P; г). Si.

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

а). Si; б). U; в). La; г). N.

2. ЗАКОН РАДІОАКТИВНОГО РОЗПАДУ

Радіоактивність - (від лат. radio - випромінюю, radius - промінь і activus - той що діє) здатність нестабільних 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 елемента, масове число яких однакове. Різні радіоактивні ізотопи одного хімічного елемента 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 (с^{-1}) і тому для кожної секунди справедлива рівність

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

Вираз dN/dt в диференціальній 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 експоненціальний 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 с^{-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 $2/3$ 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) електронне захоплення;
- 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 0,015–15MeV.

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.

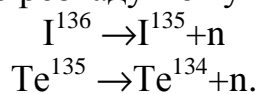
β^- -розпад характерний для ядер, які мають надлишок нейтронів. Одночасно з електроном випромінюється антинейтрино. β^+ -Розпад властивий ядрам, з надлишком протонів. Процес супроводжується випромінюванням нейтрино, позитрона, а також можливе виникнення γ -променів. β^- -Радіоактивність найбільш розповсюджена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

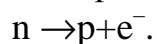
При **β -розпаді** новий елемент займає в періодичній системі місце, що лежить або на одну клітину правіше, або на одну клітину лівіше вихідного елементу.

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 ізотопів може доходити до великих значень. Наприклад, β^- -розпад ядер ^{16}N супроводжується γ -випромінюванням з $E = 6-7$ МеВ, а $^{210}Pb - z$ $E = 0,05$ МеВ.

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 ($\sim 0,025$ еВ). 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 запізненої 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 $\text{U}^{238} \rightarrow \text{U}^{234}$?
7. Скільки і яких перетворень спостерігається при розпаді $\text{U}^{235} \rightarrow \text{At}^{219}$?

8. Скільки і яких перетворень спостерігається при розпаді $\text{Th}^{232} \rightarrow \text{Pb}^{208}$?

4. РЕАКЦІЇ ПОДІЛУ ЯДРА

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

Ланцюгова ядерна реакція.

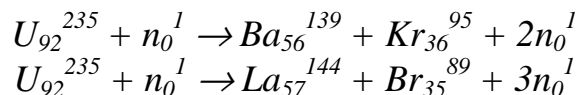
Знаючи енергію, що виділяється при поділі одного ядра урану, можна вирахувати, що вихід енергії при поділі всіх ядер 1 кг урану складає 8×10^{13} Дж. Це в декілька мільйонів разів більше ніж при спалюванні 1 кг кам'яного вугілля або нафти. Тому були прийняті спроби знайти шляхи звільнення ядерної енергії 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 стає 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 + Δn – 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.

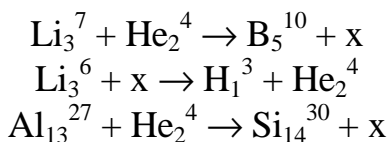
Мінімальна маса урану, в якому може виникнути ланцюгова реакція, називається **критичною масою**. Критична маса залежить від чистоти і форми зразка, і становить для U^{235} – декілька десятків кілограмів.

Необхідні умови для реалізації ланцюгової реакції і отримання енергії:

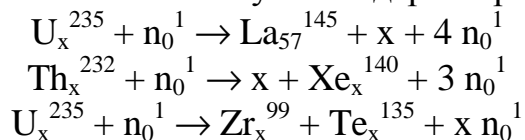
1. хімічно і ізотопно чистий вихідний матеріал (тому що домішки поглинають нейтрони);
2. маса матеріалу повинна бути більша за критичну;
3. необхідно утримувати певний час критичну масу – для підтримки і розвитку реакції.

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.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Скільки електронів міститься на зовнішньому p-підрівні атома Бром?

а). 5; б). 2; в). 7; г). 3.

2. Яка електронна конфігурація неможлива?

а). $3d^5$; б). $4s^1$; в). $3p^7$; г). $5p^2$;

3. У 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 $1s^2 2s^2 2p^2$

б). $1s^2 2s^2 2p^1$ і $1s^2 2s^1 2p^2$

в). $1s^2 2s^2 2p^3$ і $1s^2 2s^2 2p^2$

г). $1s^2 2s^2 2p^{1^1}$ і $1s^2 2s^2 2p^5$

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

а). $1s^2 2s^1 2p^1$

б). $1s^2 2s^2 2p^5$

в). $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$

г). $1s^2 2s^2 2p^1$

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

а). $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p^2$

б). $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p^4$

в). $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

г). $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4 3d^2$

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

а). S; б). I; в). Ge; г). Si.

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

а). La; б). Ti; в). Cd; г). Cr.

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

а). Ac; б). Fr; в). P; г). Si.

9. Атом елемента має на 5 електронів менше, ніж йон радію. Назвіть елемент.

а). Si; б). U; в). La; г). N.

10. Елементарні частинки поділяються на три основні групи:

а) лептони, мезони, піони;

б) лептони, мезони, баріони;

в) мезони, піони, баріони;

г) мюони, фотони, піони.

11. У результаті зустрічі елементарної частинки зі своєю античастинкою відбувається явище, що називається:

а) ефект Оже;

б) ефект Мессбауера;

в) анігіляція;

г) взагалі нічого не відбувається.

12. Античастинкою електрона є:

а) протон; б) нейтрон; в) позитрон; г) антинейтрино.

13. До якої групи елементарних частинок належать нуклони (протон, нейтрон)?

а) лептони; б) мезони; в) баріони; г) γ -частинки.

14. Ядра з однаковим числом протонів називають ...

а) ізотопами; б) ізобарами; в) ізотонами; г) важкими ядрами.

15. Ядра з однаковим числом протонів називають ...

а) ізотопами; б) ізобарами; в) ізотонами; г) важкими ядрами.

- 16.** Ядра з однаковим числом нейтронів називають ...
а) ізотопами; б) ізобарами; в) ізотонами; г) важкими ядрами.
- 17.** Ядра з однаковим масовим числом називають ...
а) ізотопами; б) ізобарами; в) ізотонами; г) важкими ядрами.
- 18.** Яка з перелічених елементарних частинок не має маси спокою:
а) протон; б) електрон; в) нейтрон; г) фотон.
- 19.** Основоположниками вчення про радіоактивність є:
а) А.Беккерель та Е. Резерфорд;
б) подружжя Марія та П'єр Кюрі;
в) К. Фаянс та Ф. Содді;
г) правильної відповіді немає.
- 20.** Закон радіоактивного розпаду в інтегральній формі має вигляд:
а) $dN/dt = -\lambda N$; б) $N = N_0 e^{-\lambda t}$; в) $\lambda = dN/N$; г) $N_0 = N e^{-\lambda t}$
- 21.** Яка елементарна частинка виділяється у результаті перетворення ${}_{84}^{210}\text{Po} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb}$:
а) α -частинка; б) β^- -частинка; в) β^+ -частинка; г) протон.
- 22.** Яка елементарна частинка виділяється у результаті перетворення ${}_{86}^{222}\text{Rn} \rightarrow {}_{84}^{218}\text{Po}$:
а) α -частинка; б) β^- -частинка; в) β^+ -частинка; г) протон.
- 23.** Яка елементарна частинка виділяється у результаті перетворення ${}_{7}^{16}\text{N} \rightarrow {}_{6}^{16}\text{O}$:
а) α -частинка; б) β^- -частинка; в) β^+ -частинка; г) протон.
- 24.** Яка елементарна частинка виділяється у результаті перетворення ${}_{37}^{79}\text{Rb} \rightarrow {}_{36}^{79}\text{Kr}$:
а) α -частинка; б) β^- -частинка; в) β^+ -частинка; г) протон.
- 25.** Яка елементарна частинка виділяється у результаті перетворення ${}_{9}^{18}\text{F} \rightarrow {}_{8}^{17}\text{O}$:
а) α -частинка; б) β^- -частинка; в) β^+ -частинка; г) протон.
- 26.** Яке твердження не є характеристикою α -випромінювання:
а) шлях α -частинки завжди прямолінійний;
б) довжина вільного пробігу в повітрі дорівнює 5-20 см;
в) енергетичний спектр α -випромінювання – неперервний 0,015 – 15 МеВ;
г) потік α -частинок повністю поглинається аркушем паперу.
- 27.** Яке твердження не є характеристикою β -випромінювання:
а) енергетичний спектр є неперервним;
б) йонізація речовини β -частинками полягає у вибиванні електронів з атомів чи молекул;
в) траєкторія руху β -частинок не є прямолінійною;
г) всі відповіді вірні.
- 28.** Назвіть штучно отриманий радіоактивний ряд:
а) уранорадієвий; б) нептунієвий; в) торієвий; г) актиноурану.
- 29.** Який ізотоп утворюється в результаті α -розпаду ${}_{92}^{238}\text{U}$?
а) ${}_{92}^{234}\text{U}$; б) ${}_{90}^{234}\text{Th}$; в) ${}_{88}^{234}\text{Ra}$; г) ${}_{88}^{236}\text{Ra}$.
- 30.** Який ізотоп утворюється в результаті β^- -розпаду ${}_{90}^{231}\text{Th}$?
а) ${}_{92}^{231}\text{U}$; б) ${}_{90}^{230}\text{Th}$; в) ${}_{88}^{227}\text{Ra}$; г) ${}_{91}^{231}\text{Pa}$.

- 31.** Який ізотоп утворюється в результаті α -розпаду ${}^{214}_{83}\text{Bi}$?
 а) ${}^{210}_{84}\text{Po}$; б) ${}^{210}_{82}\text{Pb}$; в) ${}^{210}_{81}\text{Tl}$; г) ${}^{212}_{81}\text{Tl}$.
- 32.** Який ізотоп утворюється в результаті β^- -розпаду ${}^{223}_{87}\text{Fr}$?
 а) ${}^{222}_{86}\text{Rn}$; б) ${}^{231}_{90}\text{Th}$; в) ${}^{223}_{88}\text{Ra}$; г) ${}^{219}_{88}\text{Ra}$.
- 33.** Який ізотоп утворюється в результаті α -розпаду ${}^{226}_{88}\text{Ra}$?
 а) ${}^{224}_{84}\text{Po}$; б) ${}^{230}_{90}\text{Th}$; в) ${}^{222}_{88}\text{Ra}$; г) ${}^{222}_{86}\text{Rn}$.
- 34.** Який ізотоп утворюється в результаті β^- -розпаду ${}^{211}_{82}\text{Pb}$?
 а) ${}^{215}_{84}\text{Po}$; б) ${}^{230}_{90}\text{Th}$; в) ${}^{211}_{83}\text{Bi}$; г) ${}^{213}_{86}\text{Rn}$.
- 35.** Який ізотоп утворюється в результаті α -розпаду ${}^{225}_{89}\text{Ac}$?
 а) ${}^{222}_{88}\text{Ra}$; б) ${}^{221}_{87}\text{Fr}$; в) ${}^{229}_{90}\text{Th}$; г) ${}^{223}_{87}\text{Fr}$.
- 36.** Який ізотоп утворюється в результаті β^- -розпаду ${}^{207}_{81}\text{Tl}$?
 а) ${}^{207}_{82}\text{Pb}$; б) ${}^{213}_{86}\text{Rn}$; в) ${}^{207}_{83}\text{Bi}$; г) правильної відповіді немає.
- 37.** Який ізотоп утворюється в результаті α -розпаду ${}^{215}_{84}\text{Po}$?
 а) ${}^{215}_{82}\text{Pb}$; б) ${}^{211}_{82}\text{Pb}$; в) ${}^{211}_{86}\text{Rn}$; г) ${}^{215}_{85}\text{At}$.
- 38.** Замінити x у рівнянні ${}^{136}\text{I} \rightarrow x + n_0^1$ відповідним ізотопом:
 а) ${}^{136}\text{I}$; б) ${}^{137}\text{I}$; в) ${}^{135}\text{I}$; г) правильної відповіді немає.
- 39.** Замінити x у рівнянні ${}^{135}\text{Te} \rightarrow x + n_0^1$ відповідним ізотопом:
 а) ${}^{135}\text{Te}$; б) ${}^{134}\text{Te}$; в) ${}^{133}\text{Te}$; г) правильної відповіді немає.
- 40.** Замінити x у рівнянні ${}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He} \rightarrow x + {}^{10}_5\text{B} + n_0^1$ відповідним ізотопом:
 а) ${}^{12}_5\text{B}$; б) ${}^9_5\text{B}$; в) ${}^{11}_5\text{B}$; г) правильної відповіді немає.
- 41.** Замінити x у рівнянні ${}^{11}_5\text{B} + {}^4_2\text{He} \rightarrow x + {}^{14}_7\text{N} + n_0^1$ відповідним ізотопом:
 а) ${}^{15}_7\text{N}$; б) ${}^{16}_7\text{N}$; в) ${}^{13}_7\text{N}$; г) правильної відповіді немає.
- 42.** У СІ одиницею поглинутої дози є:
 а) 1 Кі; б) 1 Рд; в) 1 Гр; г) 1 Бк.
- 43.** У СІ одиницею радіоактивності є:
 а) 1 Гр; б) 1 рад; в) 1 Бк; г) всі відповіді вірні.
- 44.** Знайдіть неправильну рівність:
 а) $1 \text{ Кі} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$; б) $3,7 \cdot 10^4 \text{ Рд} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$; в) $1 \text{ Кі} = 3,7 \cdot 10^4 \text{ Рд}$; г) всі відповіді вірні.
- 45.** Знайдіть неправильну рівність:
 а) $1 \text{ Р} = 87,7 \text{ рад}$; б) $87,7 \text{ рад} = 0,877 \text{ Гр}$; в) $1 \text{ Р} = 0,0877 \text{ Гр}$; г) всі відповіді вірні.
- 46.** Який ізотоп використовують у якості поглинача нейтронів?
 а) ${}^{238}_{92}\text{U}$; б) ${}^{233}_{92}\text{U}$; в) ${}^{112}_{48}\text{Cd}$; г) ${}^{222}_{86}\text{Rn}$.
- 47.** Основним компонентом ядерного реактора є:
 а) активна зона; б) ріаційний захист; в) теплоносій; г) конденсатор.
- 48.** Стан ядерного реактора характеризується ефективним коефіцієнтом розмноження нейтронів $k_{\text{еф}}$. За якої умови реактор знаходиться у критичному стані і відбувається стаціонарний процес?
 а) $k_{\text{еф}} > 1$; б) $k_{\text{еф}} < 1$; в) $k_{\text{еф}} = 1$; г) $k_{\text{еф}} = 0$.
- 49.** До складу природного урану входять ізотопи:

а) тільки ${}_{92}^{238}\text{U}$; б) тільки ${}_{92}^{235}\text{U}$; в) ${}_{92}^{238}\text{U}$, ${}_{92}^{235}\text{U}$, ${}_{92}^{233}\text{U}$; г) ${}_{92}^{238}\text{U}$, ${}_{92}^{235}\text{U}$, ${}_{92}^{234}\text{U}$.

50. Яким ізотопом збагачують природний уран для забезпечення ланцюгової реакції у ядерному реакторі:

а) ${}_{92}^{238}\text{U}$; б) ${}_{92}^{235}\text{U}$; в) ${}_{90}^{232}\text{Th}$; г) ${}_{94}^{239}\text{Pu}$.

51. Які ядра називають «сировинними»?

а) ${}_{92}^{238}\text{U}$; б) ${}_{92}^{235}\text{U}$; в) ${}_{90}^{232}\text{Th}$; г) ${}_{94}^{239}\text{Pu}$.

52. Термоядерні реакції відбуваються:

- а) за нормальних умов;
- б) за наднизьких температур;
- в) за надвисоких температур;
- г) їх перебіг не залежить від температури.

53. Хімічні перетворення під дією йонізуючого випромінювання називаються:

а) анігіляцією; б) радіолізом; в) спонтанним поділом; г) правильною відповіді немає.

54. Наслідком повторних опромінь невеликим дозами радіації є:

- а) гостра променева хвороба;
- б) хронічна променева хвороба;
- в) тільки стомлюваність організму;
- г) тільки ураження шкіри.

55. Йонізуюче сонячне випромінювання складається, в основному, з ...

а) нейтронів; б) електронів; в) протонів; г) нейтрино.

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.