

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

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів спеціальності 7.070801
“Екологія та охорона навколишнього середовища”
по курсу
“Радіоекологія”
Частина 2

Рекомендовано Методичною радою НТУУ “КПІ”

Київ
НТУУ “КПІ”
2010

2

Вступ

Забруднення середовища існування негативно впливає на здоров'я людей, приносить значні збитки народному господарству. За останні часи відбулося значне погіршення стану навколишнього середовища: багато районів об'явлені районами екологічного лиха.

Одним із таких негативних факторів є підвищення радіаційного фону на нашій планеті за рахунок радіоактивних відходів, що утворюються в результаті діяльності атомних електростанцій, а також використання радіонуклідів в медицині, промисловості, сільському господарстві, науці.

Для вирішення проблем в цьому напрямку необхідні висококваліфіковані фахівці, які мають глибокі знання у галузі наук радіаційного спрямування. Важливе місце серед цих наук займає і радіоекологія, яка займається дослідженням міграції радіонуклідів у екосистемах, вплив на організм радіонуклідів, а також методами розрахунку індивідуальних та колективних доз випромінювання для великих популяцій населення.

Основною метою методичних вказівок до виконання лабораторних робіт є поглиблення теоретичних знань майбутніх фахівців у галузі екології та охорони навколишнього середовища, розвиток аналітичних навичок, а також ознайомлення з конструкцією та роботою основних приладів, що застосовуються у галузі охорони навколишнього середовища.

Дані методичні вказівки містять вісім лабораторних та теоретично-практичних робіт, представлено схеми приладів та пояснення щодо їх експлуатації. Дана інформація значно полегшить роботу студентів в розумінні та подальшому вивченні проблем радіоекології.

Лабораторна робота № 1

Експресні методи визначення радіоактивності об'єктів навколишнього природного середовища

Мета роботи: ознайомитися з конструкцією та роботою приладу ” СРП – 68 – 01” та навчитися вимірювати питому активність різних матеріалів.

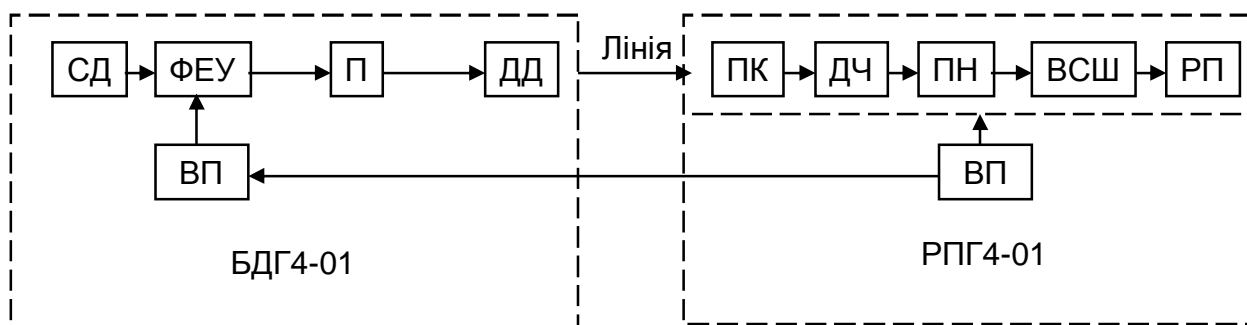
1. Загальні відомості

Експресний метод визначення радіоактивності різних об'єктів навколишнього природного середовища дозволяє безпосередньо вимірювати радіоактивні забруднення зовнішнього довкілля, а також питому активність будь – яких матеріальних проб без попереднього проведення спеціальної підготовки останніх.

Методика експресного визначення активності обстежуваних об'єктів включає п'ять основних операцій:

- вибір та підготовка проб досліджуваного матеріалу;
- підготовка вимірювального приладу до роботи;
- вимірювання фону;
- проведення замірів радіоактивності проб досліджуваного матеріального об'єкту навколишнього середовища;
- розрахунок радіоактивності проб.

Необхідна апаратура: прилад СРП – 68 – 01.



БДГ4 - 01 – блок детектування

СД – сцинтиляційний детектор;

П – підсилювач;

ДД – диференційний дискримінатор;

ВП – високовольтний перетворювач.

РПГ4 - 01 – вимірювальний пульт

ПК – погоджуючий каскад

ДЧ – цілитель частоти

ПН – підсилювач-нормалізатор амплітуди імпульсів

ВСШ – вимірювач середньої швидкості рахунку

РП – реєструючий прилад

Рис 1. Блок – схема рентгенометра СРП-68-01

Прилад призначений для визначення активності γ -випромінюючих радіонуклідів у воді, продуктах харчування, а також продуктах рослинництва та тваринництва. Діапазон вимірювань ділиться на наступні під діапазони: при вимірюванні потоку γ -квантів – 100, 300, 1000, 3000 та 10 000, при вимірюванні міцності експозиційної дози – 30, 100, 300, 1000 і 3000. Нижній поріг дискримінації γ -випромінювання по енергії знаходиться в діапазоні 15 – 35 кеВ.

Принцип роботи приладу засновано на перетворенні фізичної інформації про поле випромінювання в електричні сигнали з наступним вимірюванням їх параметрів. Функцію сцинтилятора виконують кристал йодиду натрію і ФЕУ, який перетворює світлові спалахи, які виникають у сцинтиляторі при взаємодії з ним γ -квантів, у електричні імпульси.

Об'єкти дослідження:

- а) приміщення учбового корпусу №4 (учбова лабораторія, підвальне приміщення, 1 – 2 поверхи);
- б) зовнішня частина території хімічного корпусу (усі чотири зовнішні сторони корпусу №4);
- в) сніг;
- г) вода з – попід розталого снігу;
- д) вода з водопровідної мережі.

Хід роботи:

1. Підготовка приладу СРП – 68 – 01 (згідно з технічним паспортом на прилад).

Перемикач режиму роботи поставити в положення “Викл.”. Виставити аретиром стрілку прибору на нуль. Попередньо відвернути герметуючий винт-заглушку аретиру на передній панелі.

Перемикач режиму роботи перевести в положення “Бат” та перевірити напругу живлення (8 – 15 В). Якщо напруга < 8 В, то необхідно замінити елементи живлення.

Перемикач режиму робіт перевести в положення “5 В”. Вихідне напруження стабілізатора повинно бути (5 \pm 0,3) В.

Через 1 хвилину після вмикання приладу перемикач режиму перевести в положення 5 або 25 с. Приложити до торця блоку детектування контрольне джерело ^{60}Co , перевірити показання приладу, які повинні відповідати паспортній величині.

Перевірити плато рахункову характеристику ФЕУ: натиснути кнопку “Контр.”, не змінюючи положення контрольного джерела на блоці детектування.

2. Визначення γ – фону ($A_{\text{ф}}$) в зазначених місцях корпусу №4 та його межами.

3. Визначення рівня радіації (Фон) та орієнтовного рівня забруднення досліджуваних об'єктів, використовуючи таблицю 1.

Таблиця 1. Співвідношення рівнів радіоактивності та забруднення землі.

Фон, мР/г	Забрудненість землі, Ки/км ²	Фон, мР/г	Забрудненість землі, Ки/км ²
0,01	0,1	20	80
0,1	1	30	100
1	8	50	150
2	15	100	300
55	40		
10	60		

1. Визначення коефіцієнта послаблення (захисту) ($K_{\text{посл.}}$) приміщенням фонового опромінення людини на відкритій місцевості по формулі:

$$K_{\text{посл.}} = A_{\text{ф(зов.)}}/A_{\text{ф(внутр.)}}$$

2. Вимірювання радіоактивності проб снігу та води проводять в спеціальних свинцевих камерах (свинцева хатина):

- визначення γ - фону порожньої свинцевої камери;
- визначення активності проб (снігу, талої води, води з водопровідної мережі).

Перед вимірюванням радіоактивності проб на детекторний пристрій надівають палець від гумової рукавички.

Маса досліджуваної проби води становить 600 – 800 г. Кожну пробу вимірюють (не менше як) два рази, потім підраховують середнє значення.

1. Рівень забрудненості визначають за формулою:

$$A_0 = A_{\text{д}} - A_{\text{ф}}$$

де: A_0 – величина потужності експозиційної дози досліджуваної проби без фону, (мкР/ год.);

$A_{\text{д}}$ - величина потужності експозиційної дози досліджуваної проби, (мкР/ год.);

$A_{\text{ф}}$ - величина потужності експозиційної дози γ – фону, (мкР/ год).

2. Використовуючи значення A_0 в мкР/год. із таблиці 2, визначаємо рівень питомої активності вимірюваних проб в Ки/кг або Ки/л.

Таблиця 2. Співвідношення між величиною потужності експозиційної дози досліджуваної проби без фону та питомою активністю.

Величина потужності експозиційної дози досліджуваної проби без фону (A_0 , мкР/год)	Питома активність досліджуваної проби (Ки/кг, Ки/л)
3	$2 \cdot 10^{-8}$
7	$5 \cdot 10^{-8}$
13	$1 \cdot 10^{-7}$
25	$2 \cdot 10^{-7}$
50	$4 \cdot 10^{-7}$
100	$8 \cdot 10^{-7}$
125	$1 \cdot 10^{-6}$
250	$2 \cdot 10^{-6}$
375	$3 \cdot 10^{-6}$
500	$4 \cdot 10^{-6}$
625	$5 \cdot 10^{-6}$
750	$6 \cdot 10^{-6}$
875	$7 \cdot 10^{-6}$
1000	$8 \cdot 10^{-6}$
1125	$9 \cdot 10^{-6}$
1250	$1 \cdot 10^{-5}$
2500	$2 \cdot 10^{-5}$

Лабораторна робота №2

Вимірювання питомих активностей радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у харчових продуктах

Мета роботи: Навчитися вимірювати питомі активності радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у харчових продуктах.

1. Загальні відомості

Для проведення вимірювань питомих активностей радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у харчових продуктах допускаються метрологічно атестовані методики виконання вимірювань, що відповідають вимогам забезпечення єдності вимірювань і забезпечують достовірність контролю питомих активностей, що характеризуються довірчою імовірністю не нижче 0,95.

Порядок проведення радіаційного контролю продуктів харчування, продовольчої сировини, води та тари включає наступні етапи:

Відбір проб

Підготовка до аналізу

Аналіз радіохімічний чи радіометричний

Вимір активності у рахункових зразках

Подрібнення проби

Проби можуть мати рідку, пастоподібну, сипку або іншу консистенцію, яка дозволяє рівномірно заповнювати простір між стінками посудини Марінеллі, або іншої “геометрії”.

Частина зразків не потребує особливої попередньої підготовки перед вимірюваннями (молоко і молочні продукти, чай, крупи тощо).

Підготовка зразків фруктів та овочів вимагає їх очистки від зовнішніх забруднень та подрібнення для найбільш щільного укладання у вимірювальну “геометрію”.

Визначення маси проби:

Порожню ємність поставити на ваги і зважити, після чого заповнити приготованим у відповідності з вимогами пробопідготовки матеріалом, який досліджують. Поставити заповнену “геометрію” на ваги, значення маси зразка записати до робочого журналу. При заповненні ємності необхідно слідкувати, щоб частинки проби не потрапили на її зовнішню поверхню, в протилежному випадку ємність іззовні необхідно протерти спиртом.

Підготовлену ємність з пробою помістити на детектор гамма – спектрометра у захисну камеру приладу для подальшого вимірювання.

Питома активність радіонукліду, яка визначається за піком з енергією E, дорівнює:

$$A = \frac{\frac{N_{зр}}{T_{зр}} - \frac{N_{\phi}}{T_{\phi}}}{h \cdot e \cdot m_{зр}}$$

де A – питома активність радіонукліда, Бк·кг⁻¹;

N_{зр} – кількість відліків за час вимірювання зразка, імп.;

T_{зр} – час вимірювання зразка, с;

N_ф – кількість відліків за час вимірювання фону, імп.;

T_ф – час вимірювання фону, с;

η – квантовий вихід для певної лінії певного радіонукліду (фотон·розпад⁻¹);

ε – ефективність піка повного поглинання, імп·с⁻¹·Бк⁻¹;

m_{зр} – маса зразка, кг.

Необхідна апаратура: Бета – спектрометр СЕБ – 01 призначений для проведення бета – спектрального аналізу продуктів харчування на вміст радіонуклідів стронцію – 90. Він нормально експлуатується при температурі повітря від +10 до +35, відносній вологості повітря до 75% при +30⁰ С та більш низьких температурах та атмосферному тиску від 84 до 106,7 кПа.

До складу спектрометра входять:

- блок детектування;
- захисна камера (від зовнішнього випромінювання);
- блок живлення БЖС – 0,2
- спектрометричний процесор АЦП в модульному виконанні, вмонтований в системний блок комп'ютера;
- комп'ютер;
- програмне забезпечення.

Для виміру активності стронцію – 90 рекомендується бета – спектрометри, що характеризуються значенням мінімальної вимірюваної активності 0,5 – 1,5 Бк·пробу⁻¹.

Визначення вмісту цезію – 137 в продуктах харчування проводиться за допомогою багатоканального **гамма – спектрометра VARRO** фірми SILENA з напівпровідниковим германієвим детектором.

Метод гамма – спектроскопії оснований на залежності інтенсивності гамма – випромінювання від концентрації радіоактивного елемента в зразку. Детектування гамма – випромінювання ґрунтоване на взаємодії гамма – квантів з речовиною. В результаті такої взаємодії на виході детектора виникають електричні заряди, величина яких пропорційна енергії, втраченій гамма – квантом в детекторі. Амплітудний розподіл сигналів складає спектр випромінювань. Спектри реєструють та обробляють.

До складу типового спектрометра гамма – випромінювань входять:

- блок детектування;

- захист блока детектування від впливу фонового гамма - випромінювання;
- система охолодження детектора рідким азотом;
- аналізатор, який обробляє, зберігає всю необхідну інформацію і виводить її на екран.

Першим етапом радіаційного контролю харчових продуктів є відбір та приготування проб, що повинно найбільш об'єктивно забезпечити радіаційну характеристику досліджуваних зразків.

Якість підготовки проби до вимірювання безпосередньо впливає на достовірність отриманих результатів.

Вимірювання зразків відбувається в ємностях для рідких та сипучих проб різних об'ємів, для яких розраховано ефективність реєстрації вимірювань цезію - 137 (ε):

- а) дента – об'єм 0,10 л (ε = 0,016);
- б) банка – об'єм 0,50 л (ε = 0,0053);
- в) посудина Марінеллі - об'єм 1, 0 л (ε = 0,0117).

Процедура приготування проб.

Першим етапом радіаційного контролю харчових продуктів є відбір та приготування проб, що повинно найбільш об'єктивно забезпечити радіаційну характеристику досліджуваних зразків.

Вимірювання зразків відбувається у спеціальних вимірювальних кюветах.

Первинна підготовка проб включає звичайну обробку харчових продуктів на першому етапі приготування їжі:

- коренеплоди, фрукти, харчову зелень, м'ясо, рибу тощо промивають проточною водою, видаляють неїстівні частини продуктів; з ковбасних виробів, сиру, кондитерських виробів знімають захисну оболонку, подрібнюють за допомогою ножа, м'ясорубки тощо;
- тверді продукти, круп'яні, бобові, макаронні, хлібобулочні вироби подрібнюють за допомогою ножа, м'ясорубки, тертки, подрібнювача;
- підготовлена таким чином проба масою 0,5 – 2,0 кг зважується (маса сирової проби) та висушується при температурі 100 – 120⁰ С;
- досліджуваний зразок зважується (маса після концентрування), подрібнюється до гомогенного стану;
- даний зразок готовий до прямого вимірювання або подальшого оголення. Суха проба переноситься в ємності для спалювання (каструлі, протвині) та нагрівається на електроплиті до повного обвуглення;
- молоко, соки та інші рідкі продукти випарюють до сухої маси, а потім обвуглюють;
- для підвищення інтенсивності обвуглювання зразків треба періодично їх помішувати, при цьому не допускати їх запалювання. Обвуглювання завершено, якщо не виникає подальшого розбухання матеріалу та виділення диму;
- після обвуглювання зола подрібнюється, вміщується в фарфорову чашку, ставиться у муфельну піч та озольється до отримання “чорної” (температура до 300⁰ С) або “білої” (температура до 700⁰С) золи;

- озолення завершено, коли зола набуває білого або сіро – білого кольору та стає розсипчастою;
- після деякого охолодження зразки із муфеля переносять в ексикатор, охолоджують до кімнатної температури, розтирають до дрібно дисперсійного порошку, зважують та відбирають 10 г золи для вимірювання на бета – спектрометрі;
- для проведення вимірювання, пробу вміщують у вимірювальну кювету, де її розрівнюють та ущільнюють до питомої ваги $1,0 \text{ г/см}^3$ за допомогою спеціального пристрою, який додається до комплекту спектрометра;
- накривають пробу в кюветі тонкою не кольоровою плівкою та закріплюють її;
- результати всіх 3 – х зважувань вносять в програму АК1 для розрахунку активності стронція – 90 у пробі;
- в підготовлених таким чином пробах харчових продуктів визначають стронцій – 90 за допомогою бета – спектрометра (типу СЕБ – 01).

Для визначення відповідності харчових продуктів критеріям радіаційної безпеки використовується **показник відповідності**, значення якого розраховується за результатами вимірювань питомих активностей ^{137}Cs та ^{90}Sr :

$$B = \frac{A_{Cs}}{DP_{Cs}} + \frac{A_{Sr}}{DP_{Sr}}$$

де B – показник відповідності;

A_{Cs} , A_{Sr} – результати вимірювань питомих активностей ^{137}Cs та ^{90}Sr відповідно в пробі харчового продукту;

DP_{Cs} та DP_{Sr} – нормативи вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr відповідно в харчових продуктах.

Значення абсолютної похибки визначення показника B розраховується за такою формулою:

$$\Delta B = k_p \sqrt{\left(\frac{A_{Cs}}{DP_{Cs}}\right)^2 + \left(\frac{A_{Sr}}{DP_{Sr}}\right)^2},$$

де ΔB – абсолютна похибка визначення показника відповідності;

ΔA_{Cs} , ΔA_{Sr} – абсолютні похибки вимірювань питомих активностей ^{137}Cs та ^{90}Sr ;

DP_{Cs} та DP_{Sr} – нормативи вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr відповідно в харчових продуктах;

k_p – коефіцієнт, що залежить від прийнятої довірчої імовірності та закону розподілу випадкових величин A_{Cs} , A_{Sr} (для довірчої імовірності 0,95 та невідомого закону розподілу $k_p = 1,1$).

Оцінка харчового продукту на предмет його придатності до використання за призначенням проводиться шляхом перевірки виконання умови:

$$B + 0,6\Delta B \leq 1,0,$$

де 0,6 – коефіцієнт, розрахований для достовірності контролю, що характеризується довірчою імовірністю 0,95.

Лабораторна робота №3

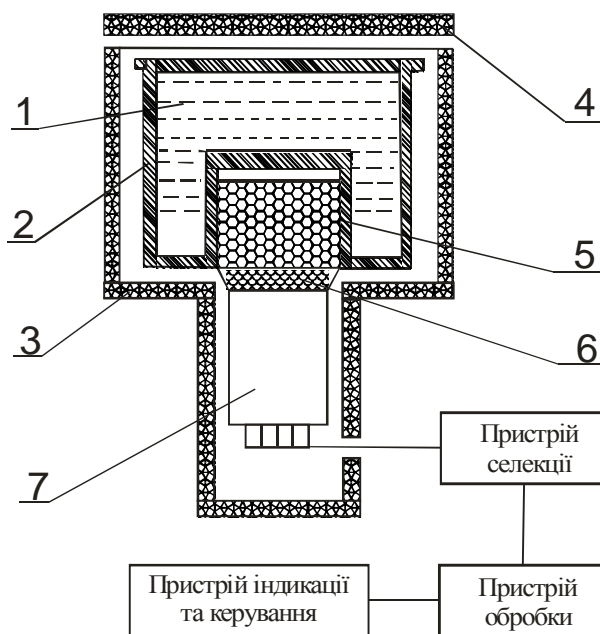
Вимірювання сумарної питомої (об'ємної) активності радіонуклідів цезію – 134 та цезію – 137 у пробах води

Мета роботи: ознайомитися з конструкцією та роботою гама-радіометру та навчитися вимірювати сумарну питому (об'ємну) активність радіонуклідів цезію – 134 та цезію – 137 у пробах води.

1. Загальні відомості

Гама – радіометр призначений для вимірювання сумарної питомої (об'ємної) активності радіонуклідів цезію – 134 та цезію – 137, а також питомої (об'ємної) активності природного ізотопу калію – 40 в забруднених радіонуклідами пробах води.

Гама – радіометр дозволяє проводити аналізи як в лабораторіях, так і в побутових умовах.



- 1 – дослідний зразок (проба);
- 2 – кювета (сосуд Маринеллі);
- 3 – захисний свинцевий екран;
- 4 – захисна свинцева кришка;
- 5 – сцинтилятор;
- 6 – світовод;
- 7 – фотоелектронний помножувач.

Рис. 2 Функціональна схема гама – радіометру

Робочі умови експлуатації гама – радіометру:

температура навколишнього повітря від 10 до 35° С;

відносна вологість повітря до 75% при 30° С;

атмосферний тиск 84 – 106,7 кПа (630 – 800 мм рт. ст.).

Діапазони вимірюваної питомої (об'ємної) активності радіонуклідів цезію – 134, 137, кБк/л, не менш:

при часі вимірювання 20 хв. – 0,018 - 5,0

при часі вимірювання 2 хв. – 0,06 - 50,0

Межі допустимої основної відносної похибки вимірювань питомої активності цезію – 134, 137, не більш:

При часі вимірювання 20 хв. в інтервалах:

0,018 – 0,030 кБк/л 50%

0,030 – 0,100 кБк/л 30%

0,100 – 1,0 кБк/л 15%

1,0 – 5,0 кБк/л 10%

При часі вимірювання 2 хв. в інтервалах:

0,060 – 0,100 кБк/л 50%

0,100 – 0,600 кБк/л 30%

0,600 – 10,0 кБк/л 15%

10,0 – 50,0 кБк/л 10%

Діапазони вимірюваної питомої (об'ємної) активності радіонукліда калій – 40, кБк/л, не менш:

при часі вимірювання 20 хв. – 0,20 - 50,0

при часі вимірювання 2 хв. – 0,50 - 50,0

Межі допустимої основної відносної похибки вимірювань питомої активності радіонукліда калій – 40, не більш:

при часі вимірювання 20 хв. (0,20 - 50,0 кБк/л) 50%

при часі вимірювання 2 хв. (0,50 - 50,0 кБк/л) 50%

Межа допустимої додаткової відносної похибки вимірювань питомої активності радіонуклідів цезію при наявності радіонукліда калій – 40, не більш 2%.

Межі допустимої додаткової похибки вимірювань від впливу зовнішніх факторів, не більш:

при зміні температури 1% / °С

при підвищенні напруженості постійного (змінного)
магнітного поля до 400 А/м 25%

при зміні зовнішнього фону гама – випромінювання
до $3,5 \cdot 10^{-12}$ А/кг (50 мкР/г) 25%

Вивід інформації виконується цифровим 4 – х розрядним табло:

радіаційний фон – в одиницях підрахованих імпульсів/100;

питома (об'ємна) активність – в кБк/л.

Час встановлення робочого режиму, не більш 30 хв.

Час безперервної роботи, не менш 24 год.

Об'єм проби, л 0,5

Підготовка до роботи

1. Встановити захисну пластмасову вставку до свинцевого екрану.
2. Під'єднати мережевий шнур до мережі постачання 220 В.
3. Нажати кнопку мережа.
4. Витримати гама – радіометр вимкненим на протязі 30 хвилин.
5. Вихід гама – радіометру на робочий режим супроводжується звуковим сигналом та висвічуванням "0" в усіх розрядах табло.

Порядок роботи

1. Вимірювання фону.

Заповнити кювету дистильованою водою, встановити її усередину свинцевого екрану, впевнитися в правильності установки та закрити захисну кришку.

Натиснути кнопку ФОН. Проконтролювати включення режиму по загоранню світлодіоду над кнопкою та звуковому сигналу.

Натиснути кнопку часу вимірювання (2 хв. або 20 хв.).

Фон вимірюється одночасно по двом каналам: К – 40 та Cs – 137.

В процесі вимірювання фону на табло індикується оборотне відрахування часу вимірювання.

При закінченні вимірювання фону натиснути кнопку калій – 40 або цезій – 137. На табло індикується значення фону для калію – 40 або цезію – 137 в одиницях швидкості рахунку (число зареєстрованих імпульсів фону за завданий час вимірювання).

Значення, що вимірюються, заносяться в пам'ять гама – радіометра і зберігаються в ній до наступного вимірювання фону.

Якщо фон вже вимірювався і мережевий шнур гама – радіометру не відключався від мережевої сітки, то після включення кнопки СІТЬ на табло висвічується його значення.

Порівняти значення фону, що вимірювалось, з останнім зафіксованим його значенням. При збільшенні значень на 10% і більше вийняти захисну вставку з свинцевого екрану, ретельно промити в дистильованій воді або етиловим спиртом та продовжити вимірювання.

Рекомендується вести робочі записи дати вимірювання фону та його значень.

2. Вимірювання активності проби.

Заповнити кювету пробою, помістити її усередину свинцевого екрану, впевнитись в правильності встановлення та закрити захисну кришку.

Натиснути кнопку ПРОБА.

Вибрати необхідний час вимірювання: 20 – хвилинні вимірювання слід проводити для малоактивних проб (менш 200 Бк/л), для більшості вимірювань достатньо 2 – х хвилин.

Натиснути кнопку 20 ХВ. або 2 ХВ. Над обраною кнопкою загоряється світлодіод і роздається звуковий сигнал.

Вимірювання активності проби йде одночасно по двох каналах – К – 40 та Cs – 137.

В процесі вимірювання активності проби на табло індицюється оборотний відрахунок часу вимірювання.

Після закінчення вимірювання натисніть кнопку КАЛІЙ – 40 або ЦЕЗІЙ – 137. На табло висвічується значення об'ємної активності проби в кБк/л.

Після закінчення роботи виключити гама – радіометр кнопкою СІТЬ, вийняти з свинцевого екрану кювету, звільнити її від проби та ретельно промити дистильованою водою або етиловим спиртом. При відсутності необхідності збереження в пам'яті гама – радіометру значення фону, який вимірювався, відімкнути мережевий шнур від сіті.

Вимірювання питомої (об'ємної) активності радіонукліда стронцій – 90 в природних об'єктах

Мета роботи: ознайомитися з конструкцією та роботою бета-радіометру та навчитися вимірювати питому (об'ємну) активність радіонукліда стронцій – 90 в природних об'єктах.

1. Загальні відомості

Бета – радіометр призначений для вимірювання питомої (об'ємної) активності радіонукліда стронцій – 90 в природних об'єктах та продуктах харчування з відповідною підготовкою проб.

Бета – радіометр дозволяє проводити вимірювання в твердих та сипких зразках, сухих продуктах харчування, а також пробах ґрунтів на фоні радіонуклідів техногенного походження цезія – 137, рутенія – 106, церія – 144 та природного радіонукліда калію – 40.

Принцип роботи. При появі в об'ємі газорозрядного лічильника іонізуючих часток в ньому розвивається електричний розряд, в результаті чого на виході лічильника з'являються імпульси, які за допомогою електричної схеми перетворюються в цифрову інформацію табло. Для зменшення впливу зовнішнього γ -фону лічильник розміщують в свинцевій хатинці з товщиною стінок 2 см.

Робочі умови експлуатації бета – радіометра:

температура навколишнього повітря від 10 до 35⁰ С;

відносна вологість повітря до 75% при 30⁰ С;

атмосферний тиск 84 – 106,7 кПа (630 – 800 мм рт. ст.).

Діапазон вимірюємої питомої (об'ємної) активності (ПА) радіонукліда стронція – 90 складає від 1,8 до 1,8·10⁴ Бк/кг (від 0,2 до 2000 Бк на пробу).

Питома активність, що мінімально детектується:

для “тонких” проб – 0,2 Бк/пробу;

для об'ємних проб з $\rho = 1$ г/см та масою 30 г – 6 Бк/кг;

для об'ємних проб природних об'єктів з $\rho = 1,6$ г/см та масою порядку 50 г – 9 Бк/кг;

для об'ємних проб ґрунту з ρ порядку 1,6 г/см та масою порядку 50 г – 30 Бк/кг (з врахуванням вмісту радіонуклідів природного походження рядів урану і торію).

Відповідна підготовка проби дозволяє вимірювати питомі активності проб до 1,8 Бк/кг.

Індикація калію – 40 передбачена в тому випадку, якщо активність калію – 40 в пробі, що вимірюється, складає не менш 5 Бк.

Бета – радіометр забезпечує вимірювання питомої активності стронція – 90 в присутності радіонукліда цезій – 137.

Межа допустимої основної відносної похибки вимірювань питомої активності (при довірчій вірогідності 0,95) не перевищує 35%.

Межа допустимої основної відносної похибки вимірювань питомої активності радіонуклідів стронція при наявності радіонукліда калій – 40 (співвідношення 10:1) не перевищує подвоєнної основної відносної похибки.

Межа допустимої додаткової відносної похибки вимірювань питомої активності не перевищує 10% при зміні температури на 10^0 С.

Межі допустимої додаткової похибки бета – радіометра від впливу зовнішніх факторів не перевищує наступних значень:

10% - при зміні температури навколишнього середовища на кожні 10^0 С;

25% - при підвищенні напруженості постійного (змінного) магнітного поля до 40 А/м;

25% - при зміні зовнішнього фону гама – випромінювання до $3,5 \cdot 10^{-12}$ А/кг (50 мкР/г);

додаткова похибка від впливу вологості – не нормується і входить в основну відносну похибку.

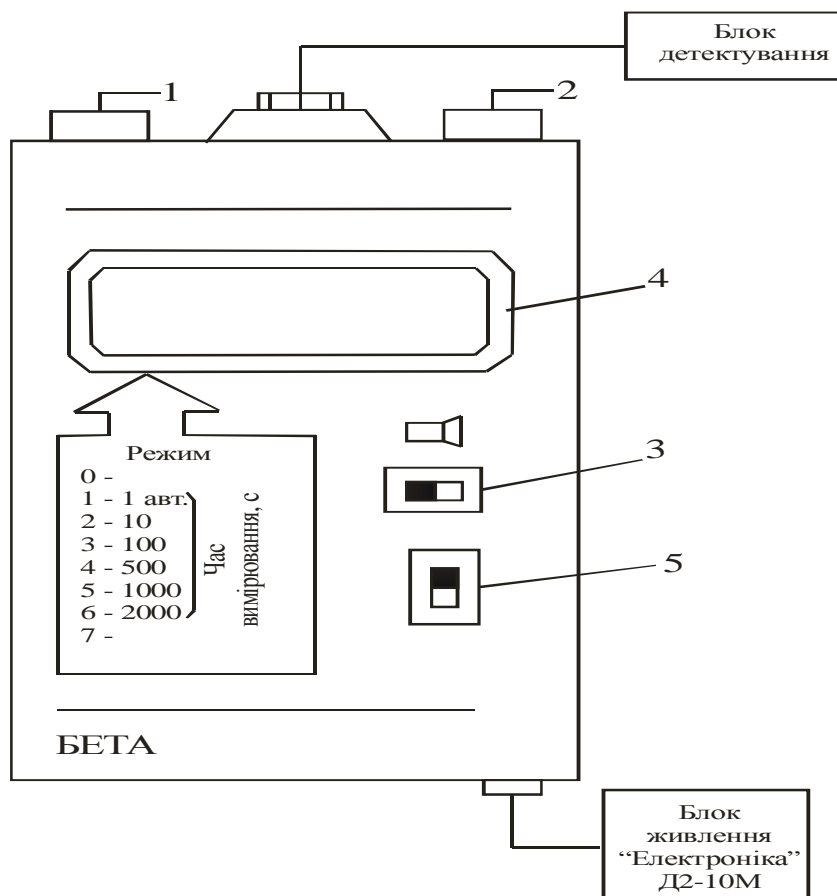
Час встановлення робочого режиму – не більш 60 хв.

Час безперервної роботи – не менш 24 год.

Час вимірювання власного фону радіометру повинен бути не більш 10^4 с.

Підготовка приладу до роботи.

1. Підключити до блоку індикації блок живлення та включити в мережу з напруженням 220 В. При відсутності електричної мережі поставити в блок індикації три батареї типу А316 ТУ 16.729.125-78.
2. Підключити блок детектування до блоку індикації.
3. Встановити на робоче вікно блоку детектування захисну кришку зі сталлюю пластину.
4. Перемикачем 5 включити блок індикації та встановити кнопкою 1 режим роботи 7. В цьому режимі на вхід перелічильного пристрою подаються імпульси з частотою 128 Гц, і на індикаторному табло 4 проводиться підрахунок імпульсів. Послідовна зміна цифр від 00 000 до 9 999свідчить про нормальне функціонування блоку індикації.



- 1 – режим роботи;
- 2 – пуск;
- 3 – звукова індикація;
- 4 – індикаторне табло;
- 5 – вмикач живлення.

Рис.3 Схема радіометра “Бета”

Підготовка проб

Для підготовки проб прісної води об’ємом 10 – 20 л її пропускають крізь іонообмінну колонку з іонообмінною смолою КУ – 2 – 8 – 4С. Смолу видаляють з колонки у фарфоровий тигль, висушують під дзеркальною лампою та прокалюють в муфельній печі при температурі 400⁰С на протязі 3 – 6 годин. Після охолодження попільний залишок аналізують на бета – радіометрі.

Для підготовки проб доних відкладень їх сушать в сушільній шафі при температурі 105 – 110⁰С 6 – 12 годин. Подрібнюють у ступці та зважують.

Відбирають наважку масою 50 – 100 г, прокалюють у муфельній печі при 400⁰С на протязі 3 – 6 годин.

Порядок роботи

1. Визначення фону.

Кювету без проби, яка була підготовлена згідно пункту 2.1, з приклеєною кришкою встановити на столик блоку аналізатора, задвинути столик.

Витримати бета – радіометр включеним на протязі 60 хвилин.

Натиснути кнопку “Фон”. Проконтролювати включення режиму по загоранню світлодіоду над кнопкою і звуковому сигналу.

Натиснути кнопку “Час вимірювання·10³ с” – “10”.

В процесі вимірювання фону на табло індицюється оборотний відрахунок часу вимірювання.

При закінченні вимірювання на табло індицюється значення фону в одиницях швидкості рахунку (кількість зареєстрованих імпульсів фону в секунду).

Визначене значення заноситься в пам’ять бета – радіометра і зберігається в ній до наступного визначення фону.

2. Вимірювання активності проби.

Кювету та кришку кювети перед заповненням пробкою ретельно промити дистильованою водою або етиловим спиртом. Заповнити кювету пробкою, вирівнявши її поверхню з краями кювети. Приклеїти до кювети кришку резиновим клеєм, що входить до комплексу поставки бета – радіометру. Перед встановленням в бета – радіометр заклеєну кювету ретельно протерти вологою серветкою або етиловим спиртом. Встановити кювету на столик блоку аналізатора, задвинути столик. Забороняється встановлювати кювету з пробкою усередину блока детектора без приклеєної кришки.

Натиснути кнопку, що відповідає щільності проби.

Проконтролювати, щоб над кнопкою “ФОН” не горів світлодіод, в протилежному випадку необхідно повторно натиснути кнопку “ФОН” для його виключення.

Натиснути одну з шести кнопок, що відповідає необхідному часу вимірювання: “0,1”, “0,5”, “1”, “2”, “5”, “10” ($\square 10^3$ с). Над обраною кнопкою загорається світлодіод і роздається звуковий сигнал.

В процесі вимірювання активності проби на табло індицюється оборотний відрахунок часу вимірювання.

При закінченні вимірювань звучить сигнал, на табло з’являється напис “ОБР.” і на протязі 18 с йде обробка результатів вимірювання. При закінченні обробки результатів звучить сигнал і на табло індицюється величина активності для попередньо обраного ізотопу. Після чого бета – радіометр переходить в режим індикації.

Обробку результатів вимірювань можна повторити як для зразка іншого типу. Для цього слід натиснути одну з кнопок “щільність, г·см⁻³”. По закінченню обробки і звукового сигналу на табло індицюється величина активності.

Для індикації значення активності проби в Бк/пр. для іншого радіонукліду слід натиснути відповідну кнопку (“ ^{40}K ”).

Для індикації величини абсолютної похибки слід нажати кнопку “ПОХИБКА”. Якщо величина похибки перевищує граничну величину, то для підвищення точності слід збільшити час дослідження. При цьому накопичені дані сумуються з попереднім значенням, що було збережено в пам’яті радіометру. Вихід з режиму індикації повторним натисненням кнопки “ПОХИБКА”.

Перед початком роботи з новою пробой необхідно натиснути кнопку “СКИД”.

При закінченні роботи вийняти з блоку аналізатору кювету з пробой, виключити кнопку “СІТЬ”.

Лабораторна робота №5

Визначення вмісту ізотопу ^{40}K в природних та промислових матеріалах

Мета роботи: навчитися кількісно визначати вміст ізотопу ^{40}K у досліджуваних пробах.

1. Загальні відомості

Серед поширених у природі радіоактивних елементів значний внесок в зовнішній радіоактивний фон завдає ізоотп ^{40}K . Його частка складає 0.0119 % від загальної кількості елементарного калію у природі. Це співвідношення зберігається у продуктах харчування та у самому організмі людини. Але, враховуючи досить значну енергію випромінюваних ним β -часток і, як наслідок, можливість внутрішнього опромінення, треба проводити постійний контроль за вмістом ^{40}K в різних сировинних джерелах, обмежуючи шлях попадання цього ізотопу в людський організм.

Кількісне визначення ізотопу ^{40}K у досліджуваних пробах проводять шляхом порівняння потрібних зразків з еталонними, де вміст радіоактивної складової відомий.

Приготування еталону із ^{40}K .

Готують наважку із хлориду калію (KCl), (наприклад 250 мг) та підраховують частку калію в даній наважці: у 74,6 мг KCl міститься 39,1 мг ^{39}K , в 250 мг KCl – X мг ^{39}K :

$$X = 39,1 \cdot 250 / 74,6 = 131 \text{ мг.}$$

Природний калій містить 0,0119 % радіоактивного ^{40}K . Звідси легко визначити частку ^{40}K у взятій наважці: 1 мг ^{39}K містить 0,000119 ^{40}K , а 131 мг ^{39}K – Y ^{40}K :

$$Y = 0,000119 \cdot 131 = 0,015589 \text{ мг.}$$

Знаючи, що 1 мг ^{40}K дає $1,5 \cdot 10^4$ розп./хв., знаходять активність ^{40}K в наважці: активність 1 мг ^{40}K дорівнює $1,5 \cdot 10^4$ розп./хв., 0,015589 мг ^{40}K – A розп./хв.

$$A = 1,5 \cdot 10^4 \cdot 0,015589 = 233,8 \text{ (округ. 234).}$$

Тобто, активність 250 мг KCl дорівнює 234 розп./хв. При розпаді атомів ^{40}K тільки 88 % актів розпаду супроводжується вилітом β -часток. Тому β -активність еталона буде дорівнювати 88 % від 234, т.ч.і. 206 розп./хв.

Визначення активності досліджуваних зразків проводять з використанням радіометричних установок “Бета” або РУБ – 91 “Адані”.

Швидкість лічби дослідного препарату ($N_{\text{пр.}}$) визначається також , як швидкість лічби еталону ($N_{\text{ет.}}$), але спочатку визначають фонову активність навколишнього середовища ($N_{\text{ф.}}$).

Результати визначення активності препаратів, що виражаються у одиницях Кюрі підраховують по формулі:

$$A_{\text{пр.}} = (N_{\text{пр.}} - N_{\text{ф}}) \cdot K / 2,2 \cdot 10^{12}$$

$$K_{\text{еф.}} = A_{\text{ет.}} / (N_{\text{ет.}} - N_{\text{ф}})$$

де:

$A_{\text{пр.}}$ – активність препарату (Ки);

$N_{\text{пр.}}$ – число імпульсів від препарату за хвилину (ім./хв.);

$N_{\text{ф}}$ – число імпульсів від фону (ім./хв.);

$K_{\text{еф.}}$ – коефіцієнт ефективності;

$2,2 \cdot 10^{12}$ – коефіцієнт перерахунку активності.

При обчисленні питомої ваги радіоактивності зразків їх виражають Ки/л або Ки/кг.

Для визначення активності дослідних зразків отриману швидкість лічби ($N_{\text{пр.}}$) порівнюють із швидкістю лічби від еталонних зразків ($N_{\text{ет.}}$).

Якщо попереднє визначення активності еталона представлене в Ки/кг, тоді активність препаратів в цих же одиницях розраховується по формулі:

$$A_{\text{зр.}} = A_{\text{ет.}} \cdot N_{\text{пр.}} / N_{\text{ет.}}$$

де: $A_{\text{зр.}}$ – активність зразка (Ки/кг);

$A_{\text{ет.}}$ – активність еталона (Ки/кг).

Лабораторна робота №6

Теоретично – практичні завдання

Мета роботи: ознайомитися з основними термінами радіоекології та навчитися розв'язувати основні типи задач.

1. Загальні відомості

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

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

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

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

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

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

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

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

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

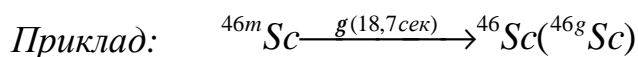
3. Ізотонними нуклідами (ізотонами) називають нукліди з однаковим числом нейтронів ($N = \text{const}$).

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

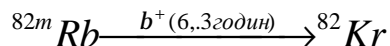
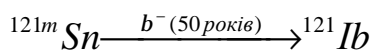
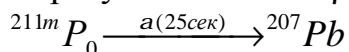
4. Ізомерні нукліди (ізомери) різняться не числом протонів або числом нейтронів, а енергією зв'язку ядра. В даному випадку мова йде про різний енергетичний стан цих нуклідів, причому кожний стан ядра має певний термін життя. У хімічній символіці інколи додають до числа нуклідів літеру g (для основного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

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

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



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



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

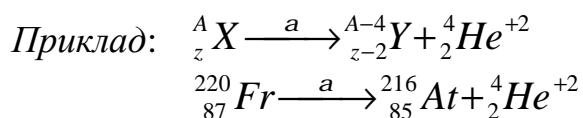
Види радіоактивного розпаду

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

а) α -розпад.

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

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



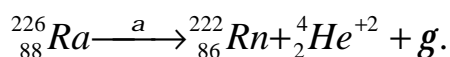
Схематично радіоактивний розпад зображують графічно у вигляді енергетичної діаграми, використовуючи такі позначення: горизонтальна лінія зверху – енергетичний стан вихідного ядра радіоактивного ізотопу; горизонтальна лінія знизу – енергетичний стан кінцевого ядра атома, що виникає внаслідок радіоактивного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

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



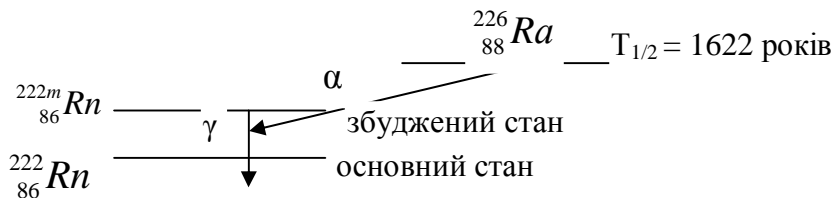
α -розпад може супроводжуватись випромінюванням γ -променів.

Приклад природного процесу:



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

Схема цього розпаду:



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

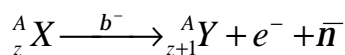
б) β – розпад

Прийнято розрізняти 4 види β -перетворень:

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

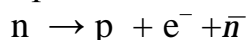
1. Електронний β^- -розпад. Материнське ядро X випромінює електрон і антинейтрино, перетворюючись у дочірнє ядро Y.

Загальна схема розпаду:

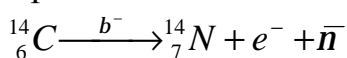


Гіпотетична елементарна частка антинейтрино $\bar{\nu}$ нейтральна, з дуже близькою до нуля масою спокою, близьким до нуля магнітним моментом. Довжина вільного пробігу в твердому тілі складає 10^{16} км.

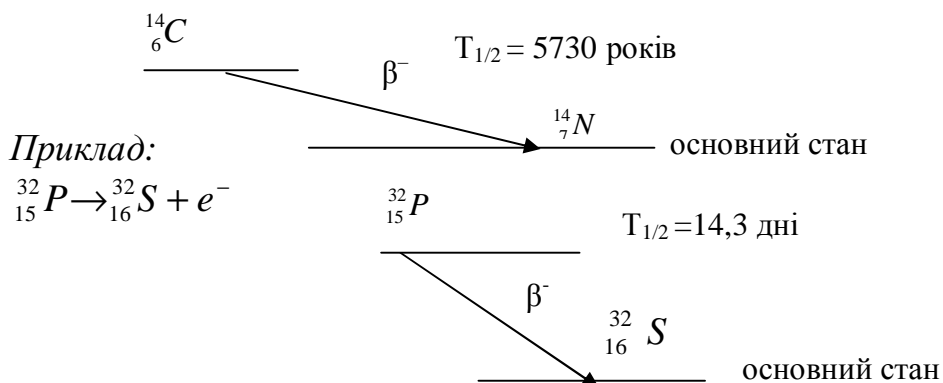
Як видно із схеми, масове число A не змінюється, а заряд збільшується на одиницю. Відповідно правилу зміщення, отриманий дочірній елемент у таблиці Менделєєва переходить праворуч на одну клітину порівняно з материнським. В ядрі елемента стало на протон більше. Пояснюється це тим, що один з нейтронів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



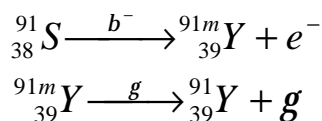
Приклад:



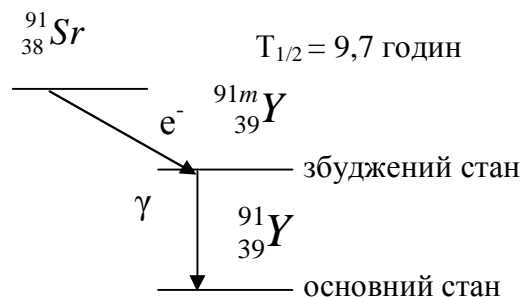
При написанні схем β^- -перетворень частку антинейтрино не пишуть. Графічно цей процес представлено нижче:



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

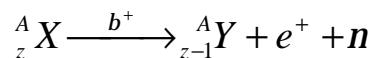


Графічно процес представлений схемою:

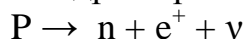


2. Позитронний β^+ -розпад.

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

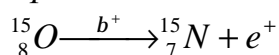


Елементарні частки антинейтрино $\bar{\nu}$ і нейтрино ν різняться лише станом спіну, величина яких протилежна. В даному випадку масове число не змінюється, а заряд зменшується на одиницю. Пояснюється це тим, що один із протонів материнського ядра перетворюється у нейтрино і позитрон.



В таблиці Менделєєва дочірній елемент зміщується на одну клітину ліворуч.

Приклад:

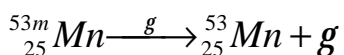
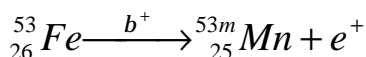


Графічне зображення:



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

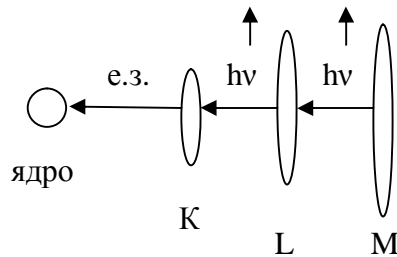
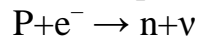
Приклад:



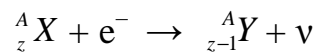
Як правило, позитронний β^+ -розпад відбувається у нуклідів з надлишком протонів в ядрі.

3. Електронне захоплення (е.з.)

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

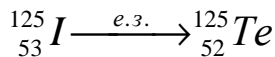


Рівняння електронного захоплення може бути записано в загальному вигляді:



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

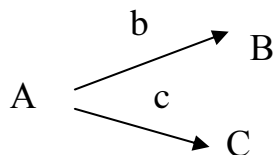
Приклад:



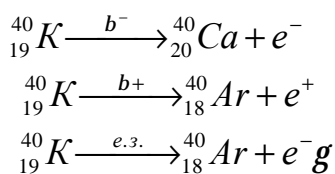
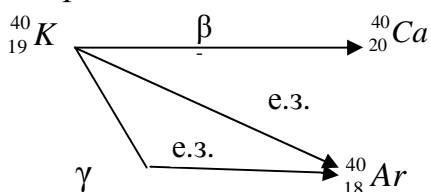
Перехід віддалених електронів на звільнені місця супроводжується характеристичним рентгенівським випромінюванням у вигляді енергії γ -квантів.

4. Розгалужений розпад.

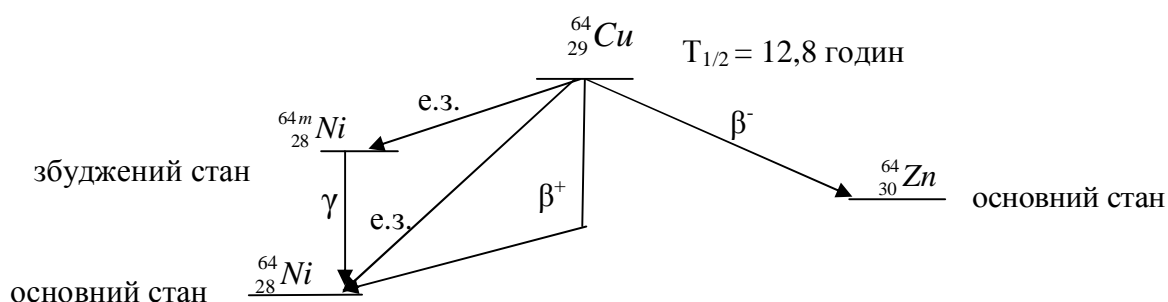
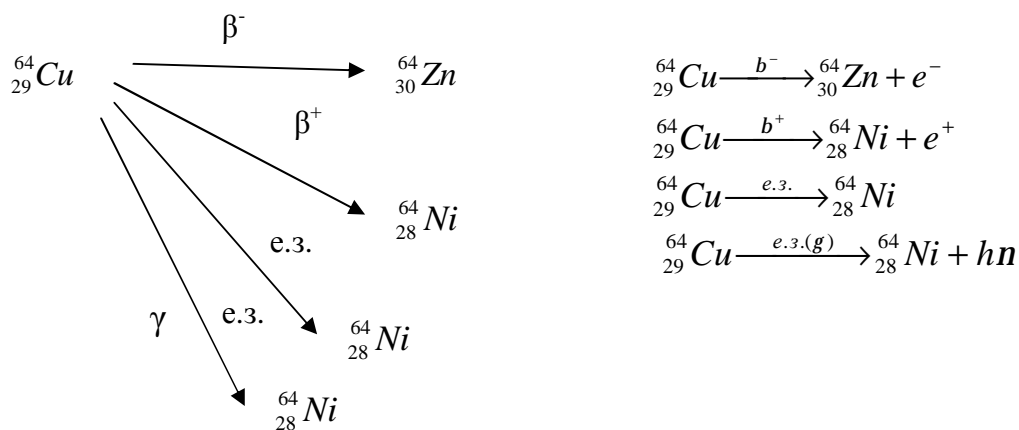
Для деяких нуклідів характерний розгалужений розпад, або так звана радіоактивна вилка.



Приклад:



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



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

- Нуклідів;
- ізотопів;
- ізобарів;
- ізотонів;
- ізомерних нуклідів (основних, метастабільних).

$^{12g}_6\text{C}$, ^{13}C , ^{14}C , ^{15}C ;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Завдання 3. Користуючись таблицею Менделєєва, визначити символ дочірнього елемента радіоактивного нукліда, коли відомо по якому виду проходить радіоактивний розпад материнського ядра. Відповіді супроводжувати відповідними рівняннями і схемами розпаду.

1) α -розпад

$^{195}_{84}Po$, $^{204}_{86}Rn$, $^{222}_{89}Ac$, $^{248}_{100}Fm$.

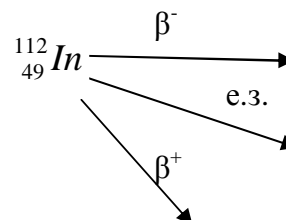
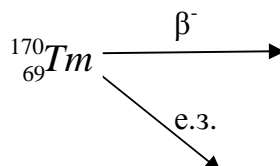
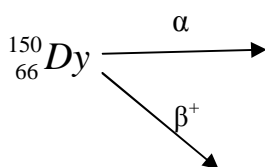
2) β^- -електронний розпад

$^{20}_9F$, $^{63}_{28}Ni$, $^{94}_{36}Kr$, $^{110}_{46}Rh$.

3) β^+ -позитронний розпад

$^{93}_{44}Rn$, $^{123}_{55}Cs$, $^{144}_{63}En$, $^{177}_{75}Re$.

4) радіоактивна вилка



Лабораторна робота №7

Теоретично – практичні завдання

Мета роботи: ознайомитися з радіоактивними джерелами навколишнього природного середовища.

1. Загальні відомості

7.1 Випромінювання природного середовища

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

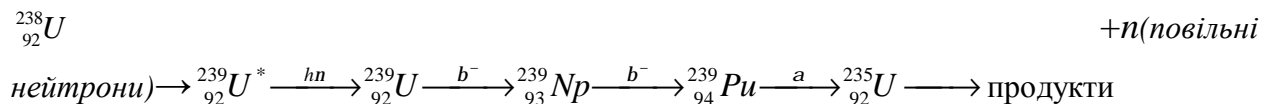
- родина урану ${}_{92}^{238}\text{U}$;
- родина торію ${}_{90}^{232}\text{Th}$;
- родина актинію ${}_{92}^{235}\text{U}$.

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

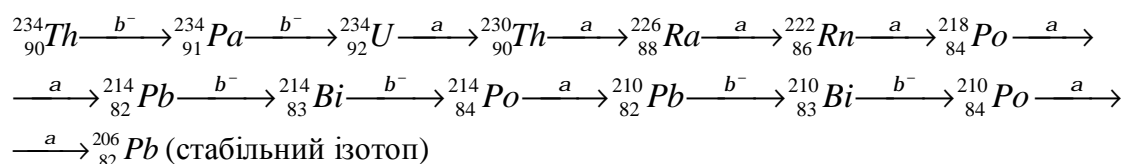
Радіоактивні тритій ${}^3\text{H}$ (Т) і ${}^{14}\text{C}$, які входять в цю групу, утворюються у верхніх оболонках атмосфери завдяки ядерним реакціям, породженим космічними променями. В число випромінювань природного походження входить також і космічне випромінювання.

Поділ урану

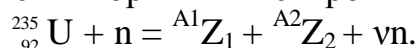
Природний уран являє собою суміш ізотопів з масами 234, 235, 238 у співвідношенні 0,006; 0,712; 99,282. При попаданні в ядро урану теплових або повільних нейтронів космічного чи то земного походження ізоотоп ${}_{92}^{238}\text{U}$ захоплює нейтрон і перетворюється у активну форму ${}_{92}^{239}\text{U}^*$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



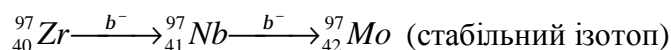
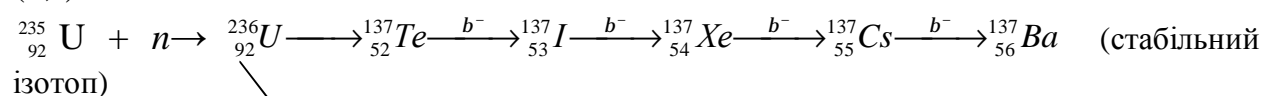
поділу
 α
(радіоактивний
розпад)



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



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



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

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

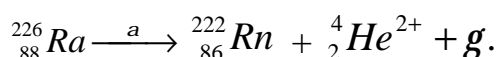
$$A_1(137) + A_2(97) + v(2) = 236.$$

Процес поділу протікає і по іншим варіантам.

Опромінення радіоактивним родоном

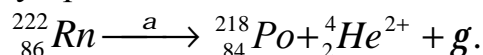
Найбільш суттєвим з усіх природних джерел радіації, яке зумовлює найбільший внесок у внутрішнє опромінення людини є газ родон (${}^{222}_{86}\text{Rn}$).

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



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

Схема розпаду представлена нижче:



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

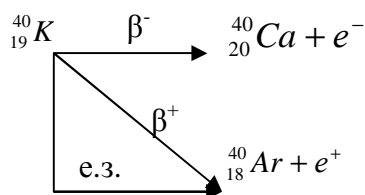
Опромінення радіоактивним калієм

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

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

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

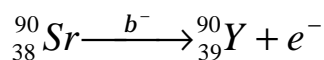
$^{40}_{19}\text{K}$ розпадається за схемою радіоактивної вилки:



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

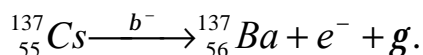
7.2 Антропогенні джерела радіації природного середовища

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

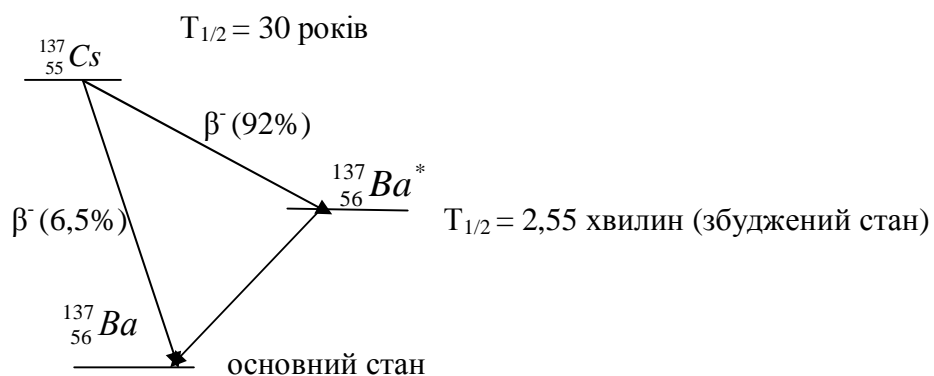


Стронцій-90 – нуклід з м'яким β^- -випромінюванням, тому визначити його досить важко. Елемент Sr належить до остеотропних (накопичується в кістках) речовин, тому є радіонуклідом, лімітуючим забруднення навколишнього середовища.

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



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



Завдання 1.

Чим обумовлена радіоактивність природного середовища в першу чергу ?

Завдання 2.

Охарактеризуйте поділ урану. Наведіть реакцією поділу урану.

Завдання 3.

Охарактеризуйте опромінення радіоактивним родоном.

Завдання 4.

Охарактеризуйте опромінення радіоактивним калієм.

Завдання 5.

Які нукліди є антропогенними джерелами радіації природного середовища ?

Лабораторна робота №8

Теоретично – практичні завдання

Мета роботи: ознайомитися з основними характеристиками радіоактивності (швидкість радіоактивного розпаду, активність, доза випромінювання) та навчитися оперувати основними одиницями вимірювання випромінювання.

1. Загальні відомості

До основних характеристик радіоактивності належать:

- швидкість радіоактивного розпаду;
- активність;
- доза випромінювання.

Швидкість радіоактивного розпаду визначається періодом напіврозпаду ($T_{1/2}$). Ця характеристика розглянута в параграфі про закон радіоактивного розпаду.

Активність. Мірою кількості радіоактивної речовини є її активність, яка визначається кількістю радіоактивних розпадів за 1 сек.

За одиницю активності прийняте одне ядерне перетворення в секунду (розп/сек). В системі СІ ця одиниця отримала назву бекерель (Бк). Позасистемною одиницею активності взято кюрі, що відповідає радіоактивності 1 г $^{226}_{88}\text{Ra}$. Оскільки в 1 г $^{226}_{88}\text{Ra}$ за секунду розпадається $3,7 \cdot 10^{10}$ атомних ядер даного радіонукліда, то **1 кюрі** – це така активність будь-якої радіоактивної речовини, в якій за 1 секунду розпадається $3,7 \cdot 10^{10}$ відповідних ядер.

$$1 \text{ кюрі (Ки)} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ розп/сек.}$$

Треба зазначити, що 1 кюрі – це дуже велика активність, тому на практиці частіше користуються похідними одиницями активності. Для полегшення практичних підрахунків громіздкі числа представляються у формі ступеню, де використовується літера “Е”, яка позначає основу ступеню “10”, а показник ступеню (позитивний чи негативний) слідує за основою.

Наприклад, число Авогадро може бути записано у наступній формі:

$$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ атом/грам} = 6\text{E}23 \text{ атом/моль,}$$

а діаметр ядра атома

$$d = 1 \cdot 10^{-14} \text{ м} = 1\text{E}-14 \text{ м.}$$

Похідні активності для одиниці бекерель:

- кілобекерель (1 кБк = 10^3 Бк), Е3Бк;
- мегабекерель (1 МБк = 10^6 Бк), Е6Бк;
- гігабекерель (1 ГБк = 10^9 Бк), Е9Бк;
- терабекерель (1 ТБк = 10^{12} Бк), Е12Бк;
- петабекерель (1 ПБк = 10^{15} Бк), Е15Бк;
- ексабекерель (1 ЕБк = 10^{18} Бк), Е18Бк.

Похідні активності для одиниці Кюрі:

пікокіюрі ($1\text{пКі} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ Кі}$), $1\text{Е-}12\text{Кі}$;

нанокіюрі ($1\text{нКі} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ Кі}$), $1\text{Е-}9\text{Кі}$;

мікрокіюрі ($1\text{мкКі} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Кі}$), $1\text{Е-}6\text{Кі}$;

мілікіюрі ($1\text{мКі} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Кі}$), $1\text{Е-}3\text{Кі}$;

кілокіюрі ($1\text{кКі} = 1 \cdot 10^3 \text{ Кі}$), $1\text{Е}3\text{Кі}$;

мегакіюрі ($1\text{МКі} = 1 \cdot 10^6 \text{ Кі}$), $1\text{Е}6\text{Кі}$.

Доза випромінювання. Результатом дії іонізуючого випромінювання на опромінені об'єкти є фізико-хімічні або біологічні зміни у цих об'єктах. Прикладом таких змін можуть бути нагрівання тіла, фотохімічна реакція рентгенівської плівки, зміни біологічних показників живого організму та інше.

Радіаційний ефект (\square), який спостерігається при іонізуючому опроміненні залежить від фізичних величин A_i , що характеризують поле випромінювання або взаємодію випромінювання з речовиною

$$\square = F(A_i).$$

Задачою дозиметрії є визначення величин A_i для передбачення або оцінки радіаційного ефекту. Величини A_i функціонально пов'язані з радіаційними ефектами (\square), називають *дозиметричними*.

Поширеною дозиметричною величиною є доза випромінювання. *Дозою випромінювання* називається енергія випромінювання, яку поглинуто одиницею об'єму або одиницею маси речовини (середовища) за весь час впливу іонізуючого випромінювання. Поглинута енергія випромінювання витрачається на іонізацію. Тому доза випромінювання характеризує ступінь іонізації речовини: чим більша доза, тим більший ступінь цієї іонізації. Доза випромінювання є мірою вражаючої дії радіоактивного опромінення на організм людини, тварини, рослини. Одна й та ж доза може накопичуватись за різний проміжок часу, причому біологічний ефект випромінювання залежить не тільки від величини дози, але і від терміну його накопичення. Чим швидше отримана ця доза, тим більше її вражаюча дія і навпаки.

Існують три різновидності доз: *поглинута, експозиційна, еквівалентна*.

а) Поглинута доза.

Дія випромінювання на речовину обумовлена лише тією її частиною, яка, взаємодіючи з атомами та молекулами, при цьому поглинається. Тому основною характеристикою випромінювання, яке враховує його дію на речовину, є енергія випромінювання, поглинута одиницею маси речовини впродовж терміну опромінення. Ця величина називається *поглинутою дозою випромінювання (Д)*.

За одиницю поглинутої дози іонізуючого випромінювання в системі одиниць СІ прийнято *грей (Гр)* – поглинута доза іонізуючого випромінювання, при якій речовині масою 1 кг передається енергія іонізуючого випромінювання в 1 Дж.

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}.$$

Позасистемною одиницею поглинутої дози іонізуючого випромінювання є рад. *Рад* – це поглинута доза іонізуючого випромінювання, при якій 1 кг опроміненої речовини поглинає енергію в 0,01 Дж.

1 рад = 0,01 Гр (або 1 Гр = 100 рад).

Величина поглинутої дози випромінювання залежить від енергії вражаючих часток та γ -квантів, а також від природи речовини, в якій дана енергія поглинається.

Безпосереднє вимірювання поглинутої дози випромінювання у речовині, особливо в тканинах живого організму, є досить складною проблемою.

б) Експозиційна доза.

Для кількісної характеристики квантового або рентгенівського випромінювання введена величина, яку називають експозиційною дозою (*X*). Доза випромінювання, яка характеризує іонізаційний ефект рентгенівського та γ -випромінювання у повітрі, називається *експозиційною*. Саме цю дозу вимірюють дозиметричними приладами. Експозиційна доза характеризує джерело та радіоактивне поле, яке вона створює. Це потенційна загроза опромінення. Людина може увійти в це поле і отримати опромінення, але може і не увійти, а отже і не зазнати опромінення. Але поле з певною дозою випромінювання залишається.

За одиницю експозиційної дози в системі СІ прийнято кулон на кілограм (Кл/кг). *Кл/кг* – експозиційна доза рентгенівського та γ -випромінювання, при якій поєднана з цим випромінюванням корпускулярна емісія на кілограм сухого атмосферного повітря створює в повітрі іони, які несуть заряд в 1 кулон електрики кожного заряду.

Позасистемною одиницею експозиційної дози рентгенівського та γ -випромінювання прийнято рентген (Р). *Рентген* визначається як доза рентгенівського або γ -випромінювання в повітрі, при якій утворюється корпускулярна емісія, яка в 1 см³ (0,0012939 г) повітря утворює іони, що несуть заряд в одну електростатичну одиницю кількості електрики кожного знаку. Оскільки заряд одного іона дорівнює $4,8 \cdot 10^{-10}$ абсолютної одиниці, то можна розрахувати, що при дозі в 1 р в 0,0012939 г повітря повинно утворитися $2,08 \cdot 10^9$ пар іонів. Дійсно, $4,8 \cdot 10^{-10} \cdot 2,08 \cdot 10^9 = 1р$.

За одиницю дози випромінювання “рентген” приймається така поглинута енергія, яка в 1 см³ повітря при нормальних умовах утворює $2,08 \cdot 10^9$ пар іонів різного знаку.

Поглинута та експозиційна дози фотонного випромінювання пов'язані між собою простою лінійною залежністю:

$$D = fX,$$

де *f* – коефіцієнт пропорційності, який може бути розрахований на основі енергетичних еквівалентів при різних умовах опромінення.

$$f = 0,873 \mu_{\text{тканини}} / \mu_{\text{повітря}} ;$$

$$f = 33,8 \mu_{\text{тканини}} / \mu_{\text{повітря}} ;$$

де μ - лінійний коефіцієнт послаблення;

0,873 та 33,8 – енергетичні еквіваленти відповідно рентгена і кулона на кілограм у повітрі.

Оцінюючи дію радіоактивного випромінювання на будь-яке середовище (особливо при опромінюванні живих організмів) потрібно враховувати не тільки загальну дозу, але й той час, впродовж якого вона була отримана.

Для кількісної характеристики цього явища вводиться поняття потужності дози випромінювання (Р). Одиниця потужності поглинутої дози – це грей в секунду (Гр/сек), а потужність експозиційної дози – ампер на кілограм (А/кг). Одиниці Р/год, Р/хв, Р/сек, мР/сек, мкР/сек – позасистемні.

в) Еквівалентна доза.

Біологічний вплив кожного виду іонізуючого випромінювання різний і залежить як від щільності іонізації, так і від спроможності передавати прилеглим часткам біологічної речовини енергію. Тому в дозиметрії вводиться поняття еквівалентна доза (Н). Це добуток поглинутої дози (Д) та середнього коефіцієнту якості іонізуючого випромінювання (k) в даному елементі об'єму біологічної тканини стандартного складу. Коефіцієнт якості враховує вид та енергію іонізуючого випромінювання. Він показує у скільки разів даний вид випромінювання сприяє більш сильному біологічному впливу, ніж квантове випромінювання при однаковій поглинутій енергії на одиницю маси речовини (табл.8.1).

Таблиця 8.1 Відповідна біологічна ефективність іонізуючого випромінювання

Види випромінювання	Коефіцієнт якості (k)
Рентгенівське випромінювання	
та γ - кванти	1
β^- - частки та електрони	1
α - частки та протони	10
теплові нейтрони	2 – 5
швидкі нейтрони	5 – 10

Для змішаного випромінювання еквівалентна доза визначається як добуток поглинутих доз окремих видів випромінювання D_i та відповідних значень коефіцієнта якості k_i :

$$H = \sum_{i=1}^n D_i k_i .$$

Одиницею еквівалентної дози в СІ є зіверт (Зв). *Зіверт* дорівнює еквівалентній дозі, при якій добуток поглинутої дози в біологічній тканині стандартного складу та середнього коефіцієнту дорівнює 1 Дж/кг.

Отже, епонемічні одиниці грей (Гр) та зіверт (Зв) відповідають поглинутій одиниці енергії в одиниці маси речовини, тобто

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}, 1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг}.$$

Проте, зіверт – це поглинута доза будь-якого виду іонізуючого випромінювання з урахуванням коефіцієнта ефективності, яка має таку біологічну ефективність як і 1 Дж/кг (Гр) квантового випромінювання.

Для іонізуючого випромінювання, коли $k = 1$, еквівалентна доза в 1 Зв відповідає поглинутій дозі в 1 Гр. Якщо ж $k \neq 1$, то еквівалентна доза в 1 Зв становить $1/k$ Гр поглинутої дози.

Для більшої ясності сказане можна розглянути на прикладі. Визначим, при якій поглинутій дозі нейтронного випромінювання ($k = 10$) еквівалентна доза відповідає 1 Зв. Враховуючи те, що еквівалентна доза – це добуток коефіцієнта якості та поглинутої дози, $H = 1 \text{ Зв}$ (1 Дж/кг) буде реалізована для нейтронних випромінювань з $k = 10$ при поглинутій дозі 0,1 Гр, тобто 1 Гр/10.

Позасистемною одиницею біологічного еквіваленту є бер:

$$1 \text{ бер} = 10^{-2} \text{ Зв} = 100 \text{ ерг/г}.$$

Співвідношення між одиницями величин дози іонізуючого випромінювання приведені в таблиці 8.2.

Таблиця 8.2. Співвідношення між одиницями величин дози іонізуючого випромінювання

Величина, її позначення	Одиниця, її позначення		Співвідношення між одиницями
	СІ	позасистемна	
Активність радіонуклідів, А	бекерель (Бк)	кюрі (Ки)	$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$
Поглинена доза випромінювання, Д	грей (Гр)	рад (рад)	$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$
Потужність поглиненої дози випромінювання, Р	грей за секунду (Гр/сек)	рад за секунду (рад/сек)	$1 \text{ рад/сек.} = 0,01 \text{ Гр/сек}$
Еквівалентна доза випромінювання, Н	зіверт (Зв)	бер (бер)	$1 \text{ бер} = 0,01 \text{ Зв}$
Потужність еквівалентної дози випромінювання, Р _е	зіверт за секунду (Зв/сек)	бер за секунду (бер/сек)	$1 \text{ бер/сек.} = 0,01 \text{ Зв/сек}$

Колективна еквівалентна доза.

Вище розглянута еквівалентна доза являє собою міру біологічної дії радіації на дану конкретну людину, так чи інакше вона є індивідуальним критерієм небезпеки, яка обумовлена іонізуючим випромінюванням.

В сучасних умовах розвинутого суспільства людина може зазнавати опромінення не тільки від природних, а також і від техногенних джерел радіації. Така можливість цілком вірогідна при широкому використанні атомної енергетики, де значний контингент людей задіяний в обслуговуванні даної галузі. Крім того, окремі групи населення зазнають опромінення від радіоактивних викидів.

Для оцінки загальної небезпеки радіологічної ситуації чисельно великих популяцій населення введено поняття про колективну еквівалентну дозу випромінювання. *Колективна еквівалентна доза* (H_s) являє собою суму індивідуальних еквівалентних доз H_i для даного контингента людей за даний проміжок часу:

$$H_s = \sum_{i=1}^n H_i N_i ,$$

де N_i - число людей серед певного контингенту, які отримали еквівалентну дозу H_i .

Одиницею визначення колективної дози в СІ є люд·Зв або люд·бер.

Завдання 1.

В яких одиницях вимірюється радіоактивність речовини у абсолютній системі одиниць ? Дати характеристику цієї одиниці. Розрахувати кількість розпадів за секунду радіоактивної речовини, яка має активність 5 мілікюрі.

Завдання 2.

Вказати різновидності доз опромінення. Яка із існуючих доз опромінення характеризує іонізуючий ефект радіації ?

Завдання 3.

Охарактеризувати системні та позасистемні одиниці експозиційної дози опромінення.

Завдання 4.

В яких одиницях вимірюється радіоактивність у практичній (позасистемній) системі одиниць ? Дати характеристику цієї одиниці та

вказати її похідні. Розрахувати кількість розпадів за секунду радіоактивної речовини, яка має активність 20 мікрокюрі.

Завдання 5.

Що характеризує поглинута доза опромінення ? Яка принципова відмінність поглинутої дози опромінювання від експозиційної дози ? Вказати одиниці вимірювання поглинутої дози.

Завдання 6.

Що характеризує стронцієва одиниця радіоактивності ? Яке співвідношення стронцієвої одиниці до Кюрі та Бк ? Розрахувати кількість розпадів за секунду радіоактивної речовини, яка має активність 45 Кюрі.

Завдання 7.

Яка із існуючих доз опромінення характеризує біологічний ефект ? Відповідь обґрунтувати. Вказати одиниці вимірювання еквівалентної дози.

Список рекомендованої літератури

1. Авотин Ю.П. Практикум по радиоактивности: Учебн. пособие.– М.: Высш. школа, 1974. – 210 с.
2. Кутлахмедов Ю.О. та ін. Основи радіоекології: Навч. посіб.– К.: Вища шк., 2003. – 319 с.: іл.
3. М. Эйзенбад. Радиоактивность внешней среды – М.: Атомиздат, 1967 (перевод с англ.). – 330 с.: ил.
4. Гродзинський Д.М. Радіобіологія: Підручник.– К.: Либідь, 2000.– 448 с.
5. Горбунов В.В., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., Омельченко Н.М. та ін. Радіоекологія. – Чернівці: Зелена Буковина, 2005. – 199 с.
6. Шульц В. Радиоэкологические методы / В. Шульц, Ф. Уикер. – М. : Мир, 1985. - 600 с. – Библиогр.: 275 назв. - ISBN 5 – 7120 – 0684 – 7 .

Зміст

Вступ.....	3
Лабораторна робота № 1. Експресні методи визначення радіоактивності об'єктів навколишнього природного середовища.....	4
Лабораторна робота № 2. Вимірювання питомих активностей радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у харчових продуктах.....	8
Лабораторна робота №3. Вимірювання сумарної питомої (об'ємної) активності радіонуклідів цезію – 134 та цезію – 137 у пробах води.....	13
Лабораторна робота №4. Вимірювання питомої (об'ємної) активності радіонукліда стронцій – 90 в природних об'єктах.....	17
Лабораторна робота №5. Визначення вмісту ізоотопу ^{40}K в природних та промислових матеріалах.....	22
Лабораторна робота №6. Теоретично – практичні завдання (поняття про нукліди та види радіоактивного розпаду).....	24
Лабораторна робота №7. Теоретично – практичні завдання (радіоактивні джерела навколишнього природного середовища).....	32
Лабораторна робота №8. Теоретично – практичні завдання (основні характеристики радіоактивності).....	36
Список рекомендованої літератури.....	43