

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

"Затверджено"

на засіданні методичної ради університету

Протокол № ____ від _____ 2002 р.

Голова методичної ради

_____ *Борик С.А.*

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни

“Радіоекологія”

для студентів 3-го курсу екологічного факультету

Напрямок підготовки - екологія

Спеціальність - “Екологія та охорона навколишнього середовища”

"Затверджено"

на засіданні методичної комісії

екологічного факультету

Протокол № ____ від “__” _____ 2002 р.

Декан _____

"Затверджено"

на засіданні кафедри фізики і хімії

Протокол № ____ від “__” _____ 2002р.

Зав.кафедрою _____

Одеса 2002

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни
“Радіоекологія” для студентів 3-го курсу очної форми навчання за
спеціальністю “Екологія та охорона навколишнього середовища”.
Укладачі: Курятников В.В., Кільян А.М. Одеса, ОДЕКУ, 35 с. укр.
мова.

1. Лабораторна робота

ВИВЧЕННЯ РОБОТИ ЛІЧИЛЬНИКА ГЕЙГЕРА-МЮЛЕРА

Мета роботи - це вивчення іонізаційних методів і засобів вимірювання радіоактивності на прикладі лічильника Гейгера - Мюлера.

1.1 Теоретична частина.

Радіоактивність - це явище спонтанного перетворення нестійких атомних ядер в ядра інших елементів, що супроводжується висиланням іонізуючого випромінювання.

Види радіоактивного розпаду:

α - розпад, β - розпад, γ - випромінювання, спонтанний поділ важких ядер, а також протонна радіоактивність.

Закон радіоактивного розпаду має експоненціальний характер

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (1.1.1)$$

де N і N_0 - кількість радіоактивних ядер в момент часу t і початкова їх кількість відповідно, λ - константа розпаду.

Стала розпаду λ , яка входить до закону радіоактивного розпаду, має імовірнісний зміст.

Активність a - це швидкість радіоактивного розпаду.

$$a = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N. \quad (1.1.2)$$

Одиниця активності в системі SI - 1 Бк = 1 розпад/с.

Позасистемна одиниця 1 Ки = $3.7 \cdot 10^{10}$ Бк.

(1 Бк - 1 Бекерель, 1 Ки - 1 Кюрі).

Період піврозпаду $T_{1/2}$ - це час, за який розпадається половина початкової кількості ядер

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (1.1.3)$$

З поняттям активності пов'язане поняття питомої активності. Питома активність q - це відношення активності радіоактивної речовини до її маси m

$$q = \frac{a}{m}, \quad (1.1.4)$$

За даними вимірювання питомої активності можна визначити період піврозпаду речовини. Якщо радіоактивний ізотоп А помістити в зачинену посудину, і в цій посудині в результаті розпаду ізотопу А утвориться радіоактивний ізотоп В, то через достатньо великий час кількість ізотопу В може бути визначена з співвідношення

$$N_A \cdot \lambda_A = N_B \cdot \lambda_B \quad (1.1.5)$$

Це співвідношення є умовою радіоактивної рівноваги. Ізотоп В при розпаді утворює інший радіоактивний ізотоп С і т.д. Таким чином утворюється ланцюжок або ряд радіоактивних елементів. Існують 4 радіоактивних ряди, три з яких є природними, а один - це ряд елементів Pr^{237} , який отримали штучно.

З формул (2.2.2) і (2.2.3) витікає

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2 \cdot N}{a} \quad (1.1.6)$$

Кількість радіоактивних ядер дорівнює

$$N = N_A \cdot \frac{m}{M} \quad (1.1.7)$$

де N_A - число Авогадро, M - молярна маса.

Отже з формул (2.2.6) і (2.2.7) можна знайти період піврозпаду

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2 \cdot N_A}{M \cdot q} \quad (1.1.8)$$

Для реєстрації ядерних частинок широко застосовуються лічильники Гейгера-Мюлера.

Лічильник Гейгера-Мюлера являє собою циліндричний конденсатор, що поміщений у скляну трубку, яка наповнена газом при тиску порядку 100 мм, рт. ст.. (Рис.1.1)

Одним електродом служить металева нитка, іншим – провідний шар, нанесений на внутрішню поверхню трубки. Оскільки газ у трубці є діелектриком, то при напрузі недостатньої для його пробою і відсутності радіоактивного випромінювання струму в ланцюзі лічильника немає.

Частинка, що виникає в процесі радіоактивного розпаду, попадає в простір між електродами лічильника і викликає іонізацію атомів газу. Електрони, що утворилися, і іони під дією полю спрямовуються на електроди. У ланцюзі лічильника виникає короткочасний імпульс струму.

Максимальне значення струму в імпульсі не завжди пропорційно напрузі на лічильнику, тобто не визначається законом Ома, а залежить від режиму роботи лічильника.

За характером окремих ділянок вольт-амперної характеристики лічильника (рис.1.1) можна визначити різні режими його роботи.

Зона збирання заряду	Зона роботи іонізаційної камери	Зона пропорційності	Зона обмеженої пропорційності	Зона Гейгера	Зона неперервного розряду
----------------------	---------------------------------	---------------------	-------------------------------	--------------	---------------------------

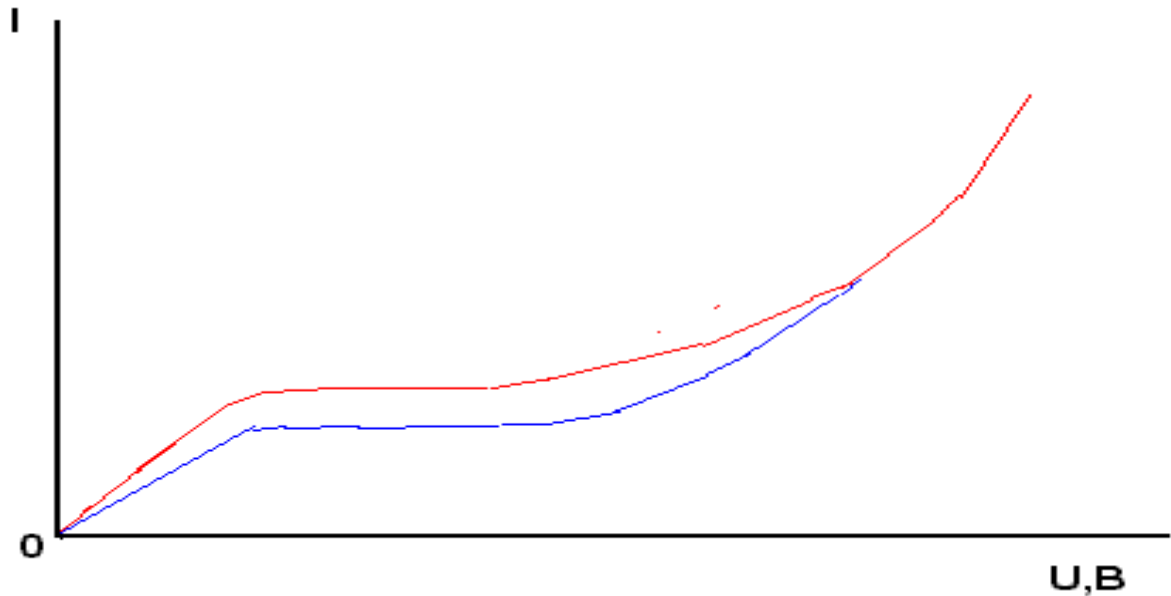


Рис.1.1

1. Зона збирання заряду
2. Зона роботи іонізаційної камери
3. Зона пропорційності
4. Зона обмеженої пропорційності
5. Зона Гейгера.
6. Зона неперервного розряду

Зона Гейгера є найбільш зручною в роботі для визначення кількості частинок іонізуючого випромінювання, що досліджується.

У цій області напруга досягає такого значення, що самостійний розряд починається лише при влученні в молекулу газу частинки іонізуючого випромінювання. Для того, щоб зафіксувати наступну частинку необхідно погасити виниклий розряд, підготувати тим самим лічильник до подальшої роботи.

У цій області створюються імпульси однакової величини від будь-якої іонізуючої частинки.

Існує два методи гасіння розряду:

а) не самогаснучі лічильники – у коло лічильника включається опір порядку 10^9 Ом, на якому відбувається спадання напруги, потенціал анода зменшується і лічильник гасне.

б) лічильники, що самогасяться – лічильник заповнюється спеціально підібраними сумішами багатоатомних газів, дія яких приводить до припинення розряду.

Гасіння лічильника здійснюється на протязі деякого часу 10^{-3} - 10^{-4} сек. У цій проміжок часу лічильник не реагує на частинки, що попадають в нього. Такий час називається «мертвим часом» лічильника. Величина, яка зворотна до «мертвого часу», називається розрізнявальною здатністю лічильника.

Розрізнявальна здатність лічильника, визначає максимальне число частинок, що може зареєструвати лічильник за 1 сек.

Імпульси струму, що виникають у результаті іонізації газу в лічильнику Гейгера- Мюлера подаються на ламповий підсилювач і від нього на механічний або електронний пристрій, що рахує імпульси.

Якщо імпульси з великою частотою будуть слідувати один за одним, то механічний лічильник у силу інерційності не встигне рахувати їх всіх.

Для подолання цих труднощів застосовуються так називані перерахункові схеми, призначення яких складається в подачі на механічний лічильник не всіх імпульсів, а наприклад кожного другого, або кожного четвертого і т.д.

Залежність кількості імпульсів від прикладеної напруги при постійної дії джерела радіоактивного випромінювання називається лічильною характеристикою.

1.2 Експериментальна частина.

У роботі з лічильником Гейгера – Мюлера необхідно виконати дві справи:

Вправа №1

Зняття лічильної характеристики по космічному випромінюванню.

Порядок роботи:

Включають установку. Установлюють мінімальну напругу і перерахунковий коефіцієнт 1х1. Кнопкою «скидання» гасять неонові лампочки. Визначають напругу на початку рахунку, для цього включають тумблер «пуск» і повільно обертаючи регулятор напруги на високовольтному випрямачі, поступово підвищують напругу на лічильнику доти, поки лічильник не почне реєструвати імпульси (неонові лампочки загоряються). Записують напругу, що відповідає граничній чутливості перерахункової схеми. і встановлюють механічний лічильник на нуль. Збільшують напругу на 50 В, включають тумблер

«пуск» і одночасно секундомір. Вимірюють час не менш, ніж 500 імпульсів і визначають кількість імпульсів у хвилину.

Аналогічні виміри повторюють через кожних 50 В.

Вправа №2

Визначення «мертвого часу» лічильника методом двох препаратів.

Якщо «мертвий час» τ відомо, то неважко визначити кількість частинок N , що потрапили у лічильник за 1 сек. Так як реєстрація кожної частинки має «мертвий час», то загальний «мертвий час» буде дорівнювати

$$\Delta t = \tau \cdot N_{\text{вим.}}$$

Реальна кількість частинок визначається з співвідношення:

$$N = N_{\text{вим.}} + N \cdot \Delta t.$$

Звідси:

$$N = \frac{N_{\text{вим.}}}{1 - N_{\text{вим.}} \cdot \tau}$$

Останнє співвідношення може бути використаним також для визначення «мертвого часу» лічильника.

Порядок роботи

Роботу роблять в області Гейгера (напруга на лічильнику вказується лаборантом).

Беруть два радіоактивних препарати. Один з них дає N_1 частинок, а інший N_2 частинок за хвилину.

1. Поміщають препарат №1 під лічильник. Знімають показання лічильника за 1 хв.

$$N = \frac{N_{1\text{вим.}}}{1 - N_{1\text{вим.}} \cdot \tau} \quad (1.2.1)$$

2. Поміщають препарат №2 під лічильник і знімають показання лічильника за 1хв.

$$N = \frac{N_{2\text{вим.}}}{1 - N_{2\text{вим.}} \cdot \tau} \quad (1.2.2)$$

3. Поміщають одночасно два препарати і знімають показання лічильника за той же проміжок часу (1 хв.)

$$N_{12} = \frac{N_{12\text{вим.}}}{1 - N_{12\text{вим.}} \cdot \tau} . \quad (1.2.3)$$

4. Визначають фон лічильника. Для цього роблять рахунок частинок без препаратів за час 1 хв. Дійсне випромінювання від двох препаратів дорівнює сумі $N_1 + N_2$ дійсних випромінювань кожного препарату. Підставляючи сюди значення N_1 , N_2 , N_{12} і вирішуючи їх відносно τ , одержимо остаточно:

$$\tau = \frac{N_{1\text{вим.}} + N_{2\text{вим.}} - N_{12\text{вим.}}}{2 \cdot N_{1\text{вим.}} \cdot N_{2\text{вим.}}} . \quad (1.2.4)$$

Обчислюють розрізнявальну здатність лічильника

$$\beta = \frac{1}{\tau} . \quad (1.2.5)$$

5. За формулами 1.1, 1.2, 1.3 обчислюємо дійсні випромінювання обох препаратів і їхнє спільне випромінювання.
6. Проводимо порівняння спільного випромінювання N_{12} із сумою $N_1 + N_2$.

1.3 Контрольні питання

- 1.Що називається радіоактивністю ?
- 2.Запишіть закон радіоактивного розпаду.
- 3.Що називається питомою активністю ?
- 4.В яких одиницях системи СІ вимірюється активність радіонуклідів ?
- 5.Що являє собою лічильник Гейгера-Мюлера ?
- 6.Який фізичний принцип дії лічильника Гейгера- Мюлера ?
7. Які характерні зони має вольт-амперна характеристика лічильника Гейгера-Мюлера ?
- 8.Як відбувається механізм ударної іонізації ?
- 9.В якій характерній зоні хід вольт-амперної характеристики не залежить від енергії ядерних частинок ?
10. Що називається мертвим часом лічильника ?

2. Лабораторна робота

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СЦИНТИЛЯЦІЙНИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ

Метою роботи є вивчення сцинтиляційних методів і засобів реєстрації іонізуючого випромінювання.

2.1 Теоретична частина

Принцип роботи сцинтиляційних детекторів заснований на здатності іонізуючого випромінювання збуджувати атоми і молекули середовища. Перехід атомів і молекул зі збудженого стану в основний супроводжується випускненням світла (видимого, ультрафіолетового). У сцинтиляційних детекторах відбувається перетворення енергії випромінювання у світловий спалах.

Сцинтиляційні детектори класифікуються за різними ознаками.

- *За механізмом виникнення світлових спалахів.* У деяких сцинтиляційних детекторах світловий спалах виникає в момент проходження випромінювання через них, тобто в дуже короткий проміжок часу (10^{-3} - 10^{-6} с). Це явище називається флуоресценцією. Для поліпшення флуоресценції в неорганічні сцинтиляційні детектори вводять атоми інших речовин, які називаються активаторами (Tl, CsI, I й ін.). Активатори вказуються в дужках після символічного позначення сцинтилятора: Na (I), CsI (Tl) т.п.

Активатор не є сцинтилятором, а лише утворює центри флуоресценції.

В інших сцинтиляційних детекторах під дією іонізуючого випромінювання збуджені атоми і молекули знаходяться в метастабільному (збудженому) стані тривалий час, поки не одержать додаткову енергію ззовні. Тільки додаткова енергія, що отримана, наприклад, у виді ультрафіолетового випромінювання, дозволяє збудженим атомам перейти в основний стан з випускненням світлових спалахів. Це явище зветься фосфоресценцією, а речовини, у яких спостерігається ефект фосфоресценції - спалахуючими сцинтиляторами.

- *За природою.* Сцинтиляційні детектори розрізняють на неорганічні ZnS, NaI, CsI, CaWO₄ і органічні (антрацен, стильбен, нафталін, терфеніл і ін.). C₁₄H₁₀, C₁₄H₁₂...C₁₈H₁₄.

- *За способом готування.* Сцинтиляційні детектори виготовляються у виді монокристалів, що заполімеризовані у прозорій пластмасі, чи нанесені тонким шаром на скло, органічну плівку чи інший прозорий для світла матеріал. Монокристали органічних і неорганічних речовин мають найкращі параметри, але бувають складними у виготовленні, крихкі, поглинають вологу з повітря. Для збільшення

терміну служби кристали поміщають у герметичні алюмінієві контейнери з оптичним виходом. Однак при наявності контейнера ускладнюються виміри випромінювань малої проникаючої здатності і невеликих енергій. Для реєстрації м'якого випромінювання і випромінювання з малою проникаючою здатністю готують рідкі сцинтилятори, що розчинені в будь-якому розчиннику.

- *За агрегатним станом* сцинтилятори підрозділяються на тверді, рідкі і газоподібні. Прикладом газоподібного сцинтилятора є чистий ксенон, що застосовується для реєстрації уламків поділу.
- *За видом випромінювання, що реєструється:* β (м'які і тверді) сцинтилятори, γ - сцинтилятори.

Вимоги до сцинтиляційних детекторів.

Вони повинні мати високу ефективність перетворення енергії випромінювання у світлову енергію, мати малий час висвітлювання, бути прозорими до власного світла, що випускається, мати радіаційну стійкість.

Достоїнства сцинтиляційних детекторів.

Сцинтиляційні детектори в даний час знайшли широке застосування в дозиметрії, і роз'яснюється це наступними причинами: вони мають високу ефективність реєстрації іонізуючого випромінювання, мають пропорційність залежності яскравості світлового спалаху від енергії випромінювання, малий часом розділення, що дозволяє вимірювати великі потоки випромінювання, прості у виготовленні й експлуатації.

Недоліки сцинтиляційних детекторів.

Поряд з достоїнствами сцинтиляційні детектори мають недоліки: однакова висока чутливість одночасно до декількох видів випромінювання; довжина хвилі світлового спалаху може не збігатися зі спектральною чутливістю фотокатода; наявність власних шумів фотоелектронного помножувача (ФЕП) в результаті теплової емісії електронів з фотокатода; недостатньо стабільна напруга на електродах ФЕП.

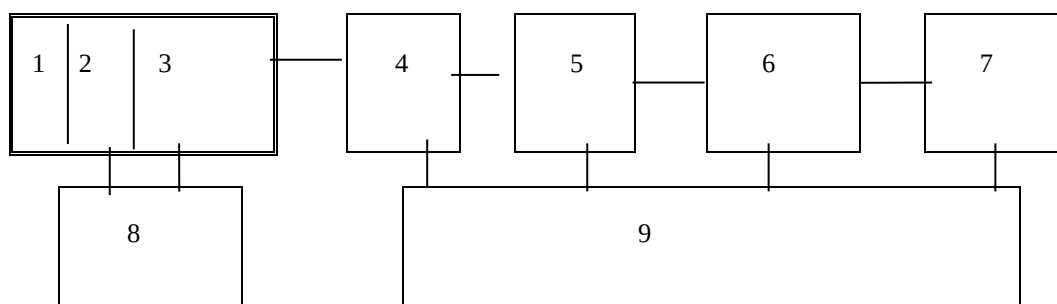


Рис.2.1 Блок-схема сцинтиляційного лічильника.

1 - сцинтилятор; 2 - світловод; 3 - ФЕП; 4 - попередній підсилювач;
5 - основний підсилювач; 6 - дискримінатор; 7 - пристрій, що реєструє;
8 - високовольтний блок ; 9 - низьковольтний блок.

Принцип роботи сцинтиляційного лічильника.

Сцинтиляційний лічильник являє собою сукупність сцинтиляційного детектора (1) з фотоелектронним помножувачем (ФЕП) (3), який призначений для перетворення спалахів світла, що виникають у сцинтиляторі під дією випромінювання, в електричний сигнал. Багатокаскадний електронний помножувач був винайдений у СРСР у 1930 р. інженером Л. А. Кубецьким.

Під дією випромінювання в сцинтиляційному детекторі виникають спалахи світлу, що попадають на чуттєвий шар (найчастіше сурм'яно-цезієвий) фотокатода і вибивають з нього фотоелектрони. За допомогою фокусуєного електрода фотоелектрони попадають на перший динод, з якого вони вибивають у результаті вторинної емісії додаткові електрони. Фотоелектрони і додаткові електрони надходять на наступний динод, і знову відбувається подальше збільшення потоку електронів і т.д. Таким чином, у ФЕП відбувається множення електронів, інакше - посилення електронного потоку. З останнього динода електрони попадають на анод, зв'язаний з радіотехнічним пристроєм для посилення і реєстрації струму. ФЕП має до 15 динодів, живлення ФЕП здійснюється від блоку високої напруги за допомогою дільника напруги, коефіцієнт посилення досягає 10^3 .

При роботі з сцинтиляційним лічильником необхідно забезпечити його достатню світлонепроникність, захистити його від впливу зовнішніх магнітних і електричних полів і по можливості забезпечити сталість температури і вологості навколишнього повітря. Необхідно також забезпечити надійний оптичний контакт сцинтилятору з фотокатодом ФЕП. Для цих цілей використовують світловод (3) - рідина, що має показник заломлення, близький до показника скляного балона ФЕП (вазелінова, кедрова олія).

Предпідсилювач (4), що призначений для електричного узгодження ФЕП з основним підсилювачем (5) і, як правило, розміщується в одному корпусі зі сцинтилятором (1), світловодом (2) і ФЕП (3), що утворює блок детектування.

Основний підсилювач (5) призначений для посилення вхідного сигналу до величини, що піддається подальшій обробці в аналогових і цифрових каскадах лічильника.

Дискримінатор (6) призначений для обмеження смуги вхідних сигналів і вибору діапазону обробки сигналу (шкали приладу). Пристрій, що реєструє (7), уявляє собою стрілочний чи цифровий індикатор, цифропечатуючий пристрій, екран, монітор, і т.д.

2.2 Опис лабораторної установки.

Основою для лабораторної установки служить сцинтиляційний геологорозвідувальний прилад СРП-68-01, призначений для пошуку радіоактивних джерел по їх гамма-випромінюванню. Прилад закріплений на лабораторному штативі, живлення здійснюється від батарейок стабілізованого джерела постійної напруги Б5-47.

Основні технічні характеристики приладу СРП-68-01

1. Прилад дозволяє проводити вимір потоку гамма- випромінювання в межах від 0 до 10000 s^{-1} (Бк) і потужності експозиційної дози гамма-випромінювання в межах від 0 до 3000 мкР/год.
2. Діапазон виміру потоку гамма-випромінювання розбитий на наступні діапазони, s^{-1} ;
 - від 0 до 100;
 - від 0 до 300;
 - від 0 до 1000;
 - від 0 до 3000;
3. Контроль працездатності приладу здійснюється від контрольного джерела К-ЗА, № 69482 , період напіврозпаду 5,25 років.
4. Нижній поріг дискримінації гамма-випромінювання по енергії знаходиться в межах від 15 до 25 кеВ.
5. Час установлення робочого режиму не більш 1 хвилини з моменту включення приладу.
6. Прилад допускає безупинну роботу протягом 8 годин при збереженні основної похибки в межах норми.
7. Прилад має лінійну шкалу з відхиленнями від лінійного закону в межах $\pm 5\%$, а на останньому діапазоні (від 0 до 10000 s^{-1}) у межах $\pm 10\%$.
8. Комплект живлення складається з 9 послідовно з'єднаних елементів живлення типу 343, що замінені в лабораторній установці блоком стабілізованого живлення Б5-47.
9. Споживана потужність не більш 200 мВт.
10. Детектор - кристал йодистого натрію, діаметром 18 мм і висотою 30 мм.
11. Середній наробіток на відмовлення 5000 годин.

12. Прилад зберігає працездатність в інтервалі температур від мінус 20 до + 50 °С і при відносної вологості повітря до 90 %.

2.3 Порядок виконання роботи.

2.3.1. Підготовка приладу до роботи

1. Переконавшись, що на джерелі живлення Б5-47 виставлена напруга 12В.
2. Підключити джерело живлення тумблером "Мережа".
3. Перевірити по індикатору приладу напругу живлення, для цього перемикач установити в положення "Контр, бат".
4. Дати приладу прогрітись не менш 2 хвилин.
5. Перевірити працездатність приладу, для цього:
 - 5.1. Перемикач діапазонів установити на необхідний діапазон "ЗТ".
 - 5.2. Перемикач часу експозиції установити в положення "5s".
 - 5.3. Контрольне джерело К-ЗА, № 69482. розташувати на відстані не більш 1 см від детектора. Вимір проводити протягом 10 с.
 - 5.4. Отриманий результат, з урахуванням періоду напіврозпаду джерела, повинний відповідати даним, зазначеним вище. Якщо отриманий результат відповідає необхідному, то можна переходити до подальших вимірів.

2.3.2 Визначення мертвого часу лічильника

Визначення мертвого часу сцинтиляційного лічильника здійснюється методом "двох препаратів" аналогічно тому, як це робилося в попередній роботі.

Джерела, видані викладачем, розташовувати на відстані не більш 2 см. від детектора.

Кожний вимір робити протягом 1 хвилини.

Розрахунок здійснюють за формулою:

$$\tau = \frac{N_1 + N_2 - N_{1,2}}{2 * N_1 * N_2}, \quad (2.1)$$

де N_1 - показання від першого джерела;

N_2 - показання від другого джерела;

$N_{1,2}$ - показання від першого і другого джерела одночасно.

2.3.3 Визначення чутливості приладу в залежності від відстані "джерело - детектор".

1. Розташувати джерело на мінімальній відстані від детектора. Використовуючи перемикач діапазонів, домогтися, щоб стрілка індикатора знаходилася в центральному секторі шкали. Через 20 секунд записати показання приладу.
2. Видалити джерело на 1 см від попереднього положення. Використовуючи перемикач діапазонів домогтися, щоб стрілка індикатора знаходилася в центральному секторі шкали. Через 20 секунд записати показання приладу.
3. Збільшувати відстань від джерела до детектора доти , поки показання приладу реагують на зміну відстані, при цьому необхідно вчасно переключати діапазони.
4. Побудувати графік залежності "показання приладу/відстань".

2.4 Контрольні питання.

1. На чому заснований принцип роботи сцинтиляційних детекторів?
2. Які вимоги пред"являються до характеристик сцинтиляційних детекторів?
3. Які переваги і недоліки сцинтиляційних детекторів?
4. Класифікація сцинтиляційних детекторів.
5. Що таке активатори?
6. Намалювати схему сцинтиляційного детектора, пояснити призначення компонентів схеми.
7. Принцип роботи ФЕП.
8. Намалювати схему сцинтиляційного лічильника.
9. Які одиниці виміру активності?
10. Основні характеристики приладу СРП-68-01.

3. Лабораторна робота

БЕТА-РАДІОМЕТР РУБ-01П

Метою роботи є вивчення роботи бета-радіометра РУБ-01П, калібрування приладу і визначення за допомогою бета-радіометра коефіцієнту поглинання бета-випромінювання різними речовинами.

3.1 Теоретична частина

Проходження бета-частинок через речовину супроводжується пружними і непружними співударяннями бета-частинок з ядрами і електронами середовища.

Пружне розсіяння на ядрах здійснюється при відносно низьких енергіях ($E < 0,5 \text{ MeV}$) бета-частинок. При енергії бета-частинок більше енергії зв'язку електронів і до 1 MeV основним механізмом втрат енергії є непружне розсіяння на зв'язаних електронах, що веде до іонізації і збудження атомів речовини.

При великих енергіях бета-частинок головним механізмом втрат енергії є гальмове випромінювання у полі ядер речовини. Цей внесок зростає з збільшенням енергії бета-випромінювання.

Внаслідок цих механізмів інтенсивність бета-випромінювання зменшується з зростанням товщини шару речовини приблизно за експоненціальним законом.

Проходячи через речовину, пучок бета-частинок поступово ослаблюється і повністю поглинається шаром речовини певної товщини.

Ослаблення (поглинання) відбувається за експоненціальним законом:

$$N = N_0 \cdot e^{-kx}, \quad (3.1.1)$$

де N_0 , N - кількість частинок (імпульсів), відповідно що зареєстровані приладом без поглиначів за час t і тих, що пройшли через шар речовини товщиною X і зафіксовані приладом за той же час;
 k - коефіцієнт поглинання.

Логарифмування виразу (3.1.1) дає

$$K = \frac{1}{x} \ln \frac{N_0}{N}. \quad (3.1.2)$$

Таким чином, для визначення коефіцієнту поглинання потрібно вимірити товщину x пластинки, що поглинає випромінювання, кількість N_0 бета-частинок, що падають на пластинку, і кількість N частинок, що проходять через пластинку.

Якщо записати рівняння (3.1.2) для двох пластинок речовини товщиною x_1 і x_2 і вирішити їх відносно k , то можна отримати ще одне рівняння для визначення коефіцієнту поглинання бета-частинок:

$$K = \frac{\ln N_1 - \ln N_2}{x_2 - x_1}, \quad (3.1.3)$$

де N_1 і N_2 - відповідно кількість частинок, що проходять через шар речовини товщиною x_1 і x_2 .

Принцип роботи бета-радіометра РУБ-01

Бета-радіометр РУБ-01П призначений для виміру питомої і об'ємної активності бета-випромінюючих нуклідів у пробах природного середовища. Бета-радіометр може застосовуватися для комплексного санітарного контролю в лабораторних і польових умовах.

Принцип дії бета-радіометра заснований на перетворенні світлових спалахів у чуттєвому об'ємі детектора в імпульси струму.

Прилад дозволяє проводити експресні виміри об'ємної активності проб рідин і газів, питомої активності сипучих харчових продуктів і ґрунту, а також питомої активності проб, приготовлених з використанням методів концентрування і радіохімічного виділення. З цією метою бета-радіометр постачається відповідними блоками детектування.

До складу приладу РУБ-01П входять:

блок детектування: БДЖБ-05П1 - призначений для виміру об'ємної активності проб рідин і газів;

блоки БДЖБ-06П і БДЖБ-06П1 - призначені для виміру питомої активності проб;

пристрій вимірювальний УИ-38П1; |

блок автономного живлення БНН-268П2,.

Потужність приладу при живленні від джерела постійного струму - 3 Вт., від мережі змінного струму - 15 Вт.

Блок детектування БДЖБ-05П виконаний на основі детектора з розвинутою поверхнею у виді об'ємно-активованих пластин-світловодів повного внутрішнього відбиття. В цьому блоці використовуються два підсилювачі з регульованим коефіцієнтом підсилення. Посилені сигнали подаються на вузол збігу, що фільтрує корисний сигнал від шумів. З вузла збігу сигнал надходить у вузол дискримінатора. Вузол дискримінатора пропускає імпульси, що перевищують установлений поріг.

Блоки детектування БДЖБ-06П і БДЖБ-06П1 виконані на основі сцинтиляційних тонкоплівкових детекторів у виді дисків, що відрізняються об'ємом чуттєвої поверхні.

Під дією енергії заряджених частинок у чуттєвому шарі детектора відбувається спалахи (сцинтиляції).

Фотоелектронний помножувач (ФЕП) перетворює спалахи в імпульси електричного струму, а також підсилює цей струм до рівня, що піддається виміру. Далі ці імпульси надходять на підсилювачі і дискримінатори.

Для живлення ФЕП в кожному блоці детектування використовуються високовольтні вузли живлення.

Пристрій вимірювальний УИ-38П1 може працювати з одним із блоків детектування. Він здійснює накопичення імпульсів від блоків детектування і виведення інформації про їхню кількість на індикатор, або ЕОМ.

3.2 Експериментальна частина

Опис приладу

Кнопка "ВКЛ" з фіксацією служить для включення вимірювального пристрою.

Кнопка "ЭКСПОЗ" без фіксації служить для установки потрібного часу набору інформації (1,10,100,1000,1800, ∞) чи режиму контролю ("К").

Кнопка "N*10" з фіксацією призначена для перерахунку інформації, що надходить, у 10 разів.

Кнопка "ПОДСВЕТ" без фіксації призначена для короткочасного підсвічування індикатора в темряві.

Кнопка "ПУСК МК" призначена для відключення пускового ланцюга мікро ЕОМ на час програмування.

Індикатор І - позначає цикл накопичення інформації:

індикатори (1,10,100,1000,1800, ∞) показують час набору інформації в секундах:

індикатор О позначає перевищення ємності рахунка (переповнення).

Підготовка до роботи

1. Приєднати до вимірювального пристрою мережний шнур і кабель від блоку детектування.

2. Підключити вимірювальний пристрій до мережі змінного струму 220 В. Натисканням кнопки "ВКЛ" уключити живлення приладу, при цьому повинні засвітитися світлодіоди "1" і цифри індикатора.

3. Витримати прилад включеним на протязі 15 хвилин.

4. Натисніть і відпустите кнопку "ЭКСПОЗ" при цьому повинні по черзі загорятися і гаснути світлодіоди "1,10,100,1000,1800, ∞ " і "К". Зупинитися на світлодіоді "К", при цьому на цифровому табло з

періодичністю 10 с. повинне висвічуватися число 7680 з одночасною видачею короткого звукового сигналу.

3.2.1 Калібрування приладу (БДЖБ-06П, БДЖБ-06П1)

Для калібрування використовують зразкові джерела, за допомогою яких визначають зразкову середню швидкість рахування за формулою:

$$N = A \cdot P \pm 5, \text{ с}^{-1}, \quad (3.2.1)$$

де P - чутливість блоків детектування. У разі зразкового джерела ІСО-133 :

для БДЖБ -06П - $P = 0,11, \text{с}^{-1} \cdot \text{Бк}^{-1}$,

БДЖБ-06П1 - $P = 0,22 \text{ с}^{-1} \cdot \text{Бк}^{-1}$.

A - активність зразкового джерела в день виміру, визначається за формулою:

$$A = A_0 \cdot e^{-0,693 \cdot t / T}, \quad (3.2.2))$$

де A_0 - початкова активність зразкового джерела ІСО-133.

t - час, що минув з дня виготовлення зразкового джерела;

T - період напіврозпаду (для даного джерела - 30 років).

Зразкове джерело - ($^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$)

Дата виготовлення - 06. 1988 р.

$A_0 = (1,3 \pm 0,3) \cdot 10^3 \text{ Бк}$.

Для калібрування приладу встановлюють зразкове джерело ІСО-133. Використовуючи ручку "ПОРІГ" на блоці детектування, домагаються, щоб середнє значення швидкості лічби при наявності фону відповідало зразковій середній швидкості лічби.

Для цього роблять 10 вимірів тривалістю 100 с. в кожному вимірі зі зразковим джерелом ІСО-133 і для визначення середнього фонового значення - 18 вимірів тривалістю 100 с. у кожному вимірі без джерела. У результаті з точністю до 1,5 % повинна виконатися умова:

$$N = N^1 - N_{\text{ф}}, \text{ с}^{-1},$$

де N^1 - середнє значення швидкості рахування від джерела і фону, яке визначається з 10 вимірів тривалістю 100 секунд у кожному вимірі.

$N_{\text{ф}}$ - середнє значення швидкості рахування для фону, яке визначається з 18 вимірів тривалістю 100 секунд у кожному вимірі.

3.2.2 Визначення коефіцієнту поглинання бета-випромінювання

Між зразковим радіоактивним джерелом і детектором встановлюють металеві пластини, для яких визначається коефіцієнт поглинання бета-випромінювання.

При цьому визначають швидкість рахування N_1 , N_2 , N_3 і т.д., де індекс 1, 2, 3 позначає кількість пластин між зразковим джерелом і детектором.

За допомогою мікрометра вимірюють товщину пластин X . Вимірювання проводять 3 рази, дані вимірювань заносять до таблиці:

№	Матеріал	X	N_0	N	k

За даними середніх значень N_0 і N розраховують коефіцієнт поглинання бета-випромінювання, використовуючи формулу (3.1.3).

3.3 Контрольні питання

1. Які механізми взаємодії бета-випромінювання з речовиною ?
2. Що називається коефіцієнтом поглинання ?
3. Яке призначення бета-радіометра РУБ-01П ?
4. Який принцип роботи детектора в радіометрі РУБ-01П ?
5. Яке призначення фотоелектронного помножувача ФЕП ?
6. Як здійснюється калібрування бета-радіометра ?
7. Як залежить активність радіоактивного препарату від часу ?
8. Що називається періодом напіврозпаду ?
9. Яка одиниця коефіцієнту поглинання в системі СІ ?

4. Лабораторна робота

РАДІОМЕТР - ДОЗИМЕТР ГАММА-БЕТА ВИПРОМІНЮВАНЬ РКС-01 "СТОРА"

4.1 Теоретична частина

Дози і одиниці доз випромінювання.

Для кількісної оцінки іонізуючого випромінювання існує поняття "доза". Розрізняють поглинуту, експозиційну та еквівалентну дози.

а) Поглинута доза D_p - це енергія, що поглинута одиницею маси речовини. Одиниця дози в системі SI - 1 Грей.

$$1 \text{ Гр} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ кг}} .$$

Позасистемна одиниця поглинутої дози 1 рад. 1 Гр. = 100 рад.

б) Експозиційна доза X - це кількість заряду, що утворився в одиниці маси речовини при проходженні іонізуючого випромінювання. Одиниця експозиційної дози в системі SI - 1 Кл/кг, внесистемна одиниця - 1 Рентген.

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг} .$$

в) Еквівалентна доза H_T - це добуток поглинутої дози на коефіцієнт якості k , який показує у скільки разів біологічна дія даного випромінювання більша за дію рентгенівського. Одиниця дози в системі SI - 1 Зіверт.

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер} .$$

Еквівалентна доза

$$H_T = D_p \cdot k .$$

Експозиційна доза в 1 Рентген відповідає поглинутій дозі 8,8 мГр, або 0,88 рад, або еквівалентній дозі фотонного випромінювання 8.8 мЗв. (Коефіцієнт якості для фотонного випромінювання $k = 1$).

Потужність дози - це відношення отриманої дози випромінювання до часу перебування в зоні випромінювання t .

Згідно нормам радіаційної безпеки (НРБ) існують середня річна ефективна доза і гранично допустима доза (ГДД).

За міжнародними нормами прийнято, що річна ефективна доза дорівнює 10 мЗв., а тижнева гранично допустима доза (ГДД) відповідає 100 мР на тиждень, або 5 бер за один квартал.

Призначення, принцип роботи і опис приладу РКС-01 "СТОРА"

Радіометр - дозиметр гамма-бета випромінювань РКС-01 "СТОРА" (далі радіометр) призначений для індивідуального та колективного користування при вимірюванні потужності експозиційної дози (ПЕД) гамма-випромінювання, а також щільності потоку бета-частинок. Радіометр призначений для вимірювання фону в місцях проживання і праці населення, контролю радіаційної чистоти житлових та промислових приміщень, будівель та споруд, предметів побуду, одягу, території, що прилягає, ґрунту, транспортних засобів.

В основі роботи приладу лежить іонізаційний метод реєстрації ядерного випромінювання. В якості детектора в приладі використовується лічильник Гейгера-Мюлера.

ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

Діапазон вимірювання потужності експозиційної дози (ПЕД), мР/рік
0,01-100;

Межа основної відносної похибки вимірювання ПЕД, що визначена за допомогою зразкового джерела Cz-37 при довірчій ймовірності 0,95, %
±25;

Діапазон енергій гама-випромінювання, МеВ 0,05-3,0;
Енергетична залежність у діапазоні енергій, % 0,05 - 0,66 МеВ ± 25
0,66 - 3,00 МеВ, + 40, - 25

Діапазон вимірювання при щільності потоку бета-частинок,
част/(хв см²) (20÷ 4)10³

Межа основної відносної похибки вимірювання щільності потоку бета-частинок для Sr-90 + Y-90 при довірчій ймовірності 0,95,% ±25

Час встановлення робочого режиму не більше, с - 10

Часові інтервали вимірювання, с 1; 10; 100

Діапазони вимірювання ^x1, ^x10, ^x100;

Час безперервної роботи без зміни елемента живлення:

("КОРУНД") не менше, год. 12.

(для батареї типу "Д 0,125") не менше, год. 30.

Габаритні розміри, мм 220X80X35

Маса не більше, г. 400

СТИСЛИЙ ОПИС РАДІОМЕТРА

Радіометр-дозиметр гамма-бетта випромінювань РКС-01 "СТОРА" являє собою малогабаритний переносний вимірювальний прилад, схемотехнічне рішення якого запатентовано в Україні (патент №1957 на винахід "Цифровий інтенсиметр"), номер у Держреєстр засобу вимірювань У720-96.

Універсальність схеми радіометра забезпечує простоту в управлінні, можливість встановлювати будь-який тип лічильнику Гейгера-Мюлера, що дає можливість широкого використання радіометра.

Радіометр "СТОРА" з встановленим у ньому лічильником СБМ-20 дає можливість оцінити рівень гамма-фону і радіаційної чистоти житлових і виробничих приміщень, харчових продуктів, предметів побуту, поверхні ґрунту і т.д.

Широкий діапазон вимірюваних ПЕД з високою оперативністю і достатньою точністю роблять можливим застосування приладу в різноманітних галузях.

Живлення радіометра здійснюється від батареї типу "КОРУНД" чи від батареї акумуляторного типу "Д 0,125".

У приладі передбачені три інтервали часу вимірювання: "1", "10", "100", а також три діапазони вимірювань дози: "х 1", "х 10", "х 100".

Детектор іонізуючого випромінювання (СБМ-20) і цифровий індикатор розміщені в одному корпусі.

Результати вимірювання зчитуються з цифрового індикатора-дисплея в стандартних одиницях мР/рік.

Для приблизної оцінки рівня радіації у приладі передбачена звукова сигналізація

Перевірка радіометра-дозиметра здійснюється 1 раз на рік.

4.2 Експериментальна частина

4.2.1 Підготовка радіометра-дозиметра до роботи

1. Перед роботою з радіометром потрібно перевірити наявність та придатність елементів живлення.
2. Включення радіометра здійснюється шляхом переміщення повзунка перемикача ОРР-ОК у крайнє праве положення. Відсутність інформації або мерехтіння індикатора свідчить про те, що напруга елемента живлення знаходиться нижче припустимого значення і необхідна його заміна чи підзарядка.

Більш точно контролювати напругу джерела живлення можна по комі між розрядами. Про падіння напруги нижче припустимого рівня в першу чергу можна судити по повному зникненню коми між розрядами індикатора приладу.

4.2.2 Порядок роботи з радіометром-дозиметром

Для вимірювання ПЕД різних рівнів використовуються п'ять режимів роботи. Для вимірювання значень ПЕД з рівнями від 10 мкР/рік до 9,999 мР/рік використовується діапазон "х1". У діапазоні

" $\times 1$ " можна вибрати один з трьох інтервалів вимірювання:

- а) для точного вимірювання значень ПЕД з рівнями від 10 мкР/год до 500 мкР/год використовуються інтервал " 100 s ";
- б) для точного вимірювання значень ПЕД з рівнями від 500 мкР/год до 5 мР/год використовуються інтервал " 100 s ";
- в) для оперативного вимірювання значень ПЕД з рівнями від 5 мР/год до 9,999 мР/год використовуються інтервал " 1 s ";
- г) для вимірювання значень ПЕД з рівнями від 9,999 мР/год до 99,99 мР/год використовуються під діапазон " $\times 10$ " при інтервалі " 1 s ";
- д) для вимірювання значень ПЕД з рівнями більш ніж 99,99 мР/год використовуються діапазон " $\times 100$ " при інтервалі " 1 s ".

Описані вище режими роботи дозволяють точно, а при потребі і оперативно з достатньою точністю визначати ПЕД з різними рівнями.

При включенні радіометра шляхом переміщення повзунка перемикача OFF -ON в крайнє праве положення на цифровому індикаторі з'явиться випадкова інформація. При цьому буде чути клацання звукового сигналізатора. Для вимірювання ПЕД необхідно повзунками перемикачів INTERVAL і RANGE встановити інтервал вимірювання і діапазон у відповідності з вибраним режимом роботи. Потім натиснути кнопку START. Про закінчення інтервалу вимірювання свідчить поява коми після першого зліва розряду в режимах "а", "б", "в" і після другого чи третього в режимах "г", "д" відповідно.

Примітки:

1. Радіометр дозволяє приблизно оцінювати значення ПЕД до 140 мР/год, але похибка показів після 100 мР/год буде вище 25%.
2. Вимірювання в усіх режимах роботи радіометра потрібно проводити не менше ніж по три рази. Результатом вимірювань потрібно вважати середнє арифметичне з трьох значень.
3. Після закінчення режиму вимірювань (з'явлення коми) наступне вимірювання можна проводити не раніше, ніж через 5с.

4.2.3 Виконання роботи

Порядок роботи при вимірюванні щільності потоку бета-частинок.

Вимірювання щільності потоку бета-частинок здійснюються в тому ж порядку, як і вимірювання ПЕД. Вимірювання здійснюють двічі: один раз з відкритим отвором бета-екрану, а другий раз із закритим отвором. Результат вимірювання щільності потоку в одиницях «част, / (хв см^2) » розраховується за формулою:

$$\Pi = (P1 - P2) \cdot K,$$

де P_1 (мР/год) - результати першого

вимірювання (отвір бета-екрану відкритий);

P_2 (мР/год) - результати другого вимірювання (отвір бета-екрану закритий),

K (част/хв * см²) (мР/год)) - калібрувальний коефіцієнт, значення якого визначається при перевірці (дорівнює 614.0).

Порядок роботи в автоматичному режимі: В приладі передбачено режим автоматичного запуску лічення по закінченні попереднього інтервалу вимірювання. При цьому прилад буде на протязі 5 с висвічувати результат вимірювань, а потім автоматично переходити в режим вимірювання.

Визначення "мертвого" часу радіометру

Для визначення мертвого часу

- 1) спочатку три рази вимірюється ПЕД від контрольного препарату 1 у режимі а) і розраховується середнє арифметичне з результатів вимірювання P_1 ,
- 2) потім три рази вимірюється ПЕД від контрольного препарату 2 у режимі а) і також розраховується середнє арифметичне з результатів вимірювання P_2 ,
- 3) останні три рази вимірюється ПЕД разом від обох контрольних препаратів 1 та 2 у режимі а), розраховується середнє арифметичне з результатів вимірювання $P_{1,2}$,
- 4) ПЕД перераховується в активність A за формулою:

$$A = f \cdot P,$$

де f - перерахунковий коефіцієнт.

"Мертвий" час розраховується за формулою:

$$\tau = \frac{A_1 + A_2 - A_{1,2}}{2A_1A_2}$$

4.3 Контрольні питання

1. Які існують дози іонізуючого випромінювання ?
2. Що називається поглинутою дозою випромінювання ?
3. Що називається експозиційною дозою випромінювання ?
4. Що називається еквівалентною дозою випромінювання ?
5. Назвіть одиниці поглинутої, експозиційної і еквівалентної дози.
6. Якій еквівалентній дозі відповідає експозиційна доза 1 Рентген ?
7. Який метод реєстрації іонізуючого випромінювання лежить в основі роботи приладу "Стора" ?
8. Який порядок роботи з дозиметром ?
9. Як можна визначити "мертвий" час приладу "Стора" ?

5. Лабораторна робота

ВИВЧЕННЯ РОБОТИ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРА

Мета роботи - ознайомитися з принципом роботи гамма-спектрометра, навчитися проводити його енергетичне калібрування, визначити ефективність реєстрації спектрометра.

5.1 Теоретична частина

Робота приладів, які реєструють ядерні випромінювання, засновується на вторинних процесах, що супроводжують взаємодію випромінювання з речовиною. Ядерні частинки збуджують і іонізують атоми речовини. Рекомбінація іонів, перехід із збудженого стану в основний супроводжується висиланням квантів світлу.

Спалахи світлу або електричний розряд в газі при його іонізації можна зареєструвати. Спалахи світлу реєструються за допомогою сцинтиляційних лічильників. Сцинтиляційний лічильник являє собою сукупність сцинтиляційного детектора з фотоелектронним помножувачем (ФЕП). ФЕП призначений для перетворення спалахів світлу, що виникають у сцинтиляторі, в електричний сигнал.

Основні характеристики приладів, що реєструють іонізуючі випромінювання.

1. Функція відгуку, яка визначає зв'язок між властивостями частинок, що реєструються, і характеристиками сигналу. Якщо функція $\Phi(E)$ описує енергетичний спектр частинок іонізуючого випромінювання, то функція $N(U)$, яка описує апаратний спектр сигналів (імпульсів), що утворюються в приладі в результаті реєстрації ядерних частинок, не обов'язково повинна бути ідентичною до функції $\Phi(E)$. Тут E - це енергія ядерних частинок, а U - це амплітуда напруги імпульсів. Зв'язок між апаратним спектром імпульсів і дійсним енергетичним спектром ядерних частинок можна описати інтегральним рівнянням Фредгольма першого роду за допомогою функції відгуку $G(E,U)$.

$$N(U) = \int \Phi(E) \cdot G(E,U) dE. \quad (5.1)$$

2. Ефективність (чутливість) приладу визначається мінімальним вторинним ефектом, який може бути зареєстрованим. Чутливістю називається відношення кількості зареєстрованих частинок до кількості частинок, що входять в чутливий об'єм приладу. Для заряджених частинок чутливість близька до 100 %. Для гама-квантів і нейтронів вона є меншою.

3. Енергетичне розділення - це мінімальна різниця в енергіях двох груп частинок, при якій прилад реєструє їх як частинки з різними енергіями.

4. Часове розділення - це мінімальний час між послідовними влученнями в детектор двох частинок, при якому вони реєструються окремо. Цей час називається "мертвим" часом.

Принцип роботи спектрометра.

Спектрометр іонізуючого випромінювання - це прилад, за допомогою якого можна визначити енергетичний або будь-який інший (наприклад розподіл імпульсів за часом) спектр іонізуючого випромінювання. Знаючи спектр іонізуючого випромінювання, можна визначити радіонукліди, яким він належить і їх концентрацію. У склад гамма-спектрометра входить детектор гамма-випромінювання, який перетворює спектр гамма-випромінювання в спектр амплітуд імпульсів напруги, і аналізатор імпульсів.

Одноканальний амплітудний аналізатор - це пристрій, що дозволяє визначити кількість імпульсів, амплітуда яких лежить в границях вузького інтервалу $A_i - A_{i+1}$. Такий інтервал амплітуд називається каналом. Регулюючи положення та ширину каналу і вимірюючи кожного разу кількість імпульсів в межах вибраного каналу, можна визначити спектр випромінювання. Недоліки в роботі з одноканальним амплітудним аналізатором пов'язані з великим часом проведення дослідів.

Багатоканальний амплітудний аналізатор уявляє собою набір зібраних в одному блоці одноканальних аналізаторів, кожний з яких настроюється на свій канал. Один канал, наприклад, реєструє імпульси від 0 до 10 В, другий - від 10 до 20 В і т.д. Таким чином, для визначення спектру імпульсів потрібно тільки одне вимірювання і час проведення вимірювання скорочується в багато разів. Сучасні аналізатори мають сотні і тисячі каналів. Кожний з зареєстрованих імпульсів знаходиться в пристрої, що їх запам'ятає.

Блок детектування, до якого входить детектор іонізуючого випромінювання і фотоелектронний помножувач, розміщується у свинцевому будиночку.

Аналоговий цифровий перетворювач (АЦП), що призначений для перетворення аналогових сигналів у цифрові коди, розміщується в одному блоці з аналізатором імпульсів.

Інтерфейс забезпечує зв'язок і узгодження АЦП з оперативною пам'яттю комп'ютера, на який виводяться дані вимірювань.

У комп'ютері на програмному рівні здійснюється обробка інформації, яка надходить з АЦП, побудова спектру і його аналіз, здійснюється виведення інформації на екран і принтер, забезпечується збереження інформації.

Блоки живлення забезпечують живлення вимірювальної схеми й блоку детектування.

Алгоритм роботи спектрометра полягає в тому, що він сортує імпульси за інтенсивністю і пропорційно інтенсивності записує їх у відповідний канал аналізатора. У міру надходження інформації на екрані спектрометра з'являється спектр. У більшості випадків апаратурний спектр є перекрученим відображенням дійсного обумовленого схемою розпаду ізотопу спектра випромінювання. Мірою відповідності апаратурного спектра дійсному є форма апаратурної лінії спектра, що отримується при реєстрації моноенергетичного випромінювання.

Ідеальним може вважатися такий спектрометр, у якого апаратурна лінія наближається до "нормованої" δ -функції, а детектор разом з електронною апаратурою забезпечує однозначний зв'язок енергії гамма-кванта E з утвореним електричним сигналом (наприклад, амплітудою імпульсу напруги), тобто $U = k \cdot E$, де k - коефіцієнт пропорційності при ефективності реєстрації, близької до 1.

На практиці виявляється, що крім невідповідності апаратурної лінії ідеальній, її форма також перетерплює істотні зміни у залежності від основних характеристик гамма-спектрометра: лінійності перетворення, енергетичного і часового розділення, ефективності реєстрації й ін.

Перед початком роботи прилад потрібно відкалібрувати.

Калібрування складається з двох етапів:

- енергетичне калібрування,
- визначення ефективності реєстрації спектрометра.

Енергетичне калібрування необхідне для того, щоб визначити ціну поділки шкали спектрометра, що дозволяє визначити склад проби за її спектром. Для енергетичного калібрування потрібно кілька зразкових джерел радіоактивного випромінювання. З отриманого від цих джерел спектру визначають ціну поділки шкали приладу, як відношення енергії центра ваги фотопіка (ЦВП) до номера каналу, у якому він знаходиться.

Знаючи спектральний склад і апаратурний спектр, будують калібровану пряму, де на осі абсцис відкладаються номери каналів, а на осі ординат - відповідні їм енергії спектральних ліній. Пряма описується вираженням типу:

$$Y = KX + B,$$

де Y - енергія γ -квантів зразкового джерела;

X - номер каналу, в якому знаходиться ЦВП відповідного фотопіка,

B - поправочний коефіцієнт.

Після проведення енергетичного калібрування вимірюють фон приладу, що складається з власних шумів апаратури і з природного радіаційного фону.

Наступний етап калібрування - визначення ефективності реєстрації спектрометра. Принципова можливість кількісного визначення складу радіоізотопів за даними обмірюваного гама-спектру препарату виникає в

зв'язку з результируючим ефектом взаємодії гамма-випромінювання з речовиною сцинтиляційного кристала.

Основними особливостями γ -спектрів, індивідуальними для різних ізотопів, що безпосередньо можуть бути використані для кількісних розрахунків, є піки повного поглинання гамма-квантів.

Інтенсивність ("площа") піка повного поглинання S (імп/с), що відповідає γ -квантам з енергією E (і), однозначно зв'язана з активністю A , (расп/с) даного ізотопу співвідношенням.

$$S = K_{\gamma} \cdot K_{ef} \cdot A , \quad (5.2)$$

де S - площа фотопіка, K_{γ} - коефіцієнт гамма виходу ізотопу зразкового джерела, A - активність зразкового джерела на день виміру.

Площа активності фотопіка визначається зі спектра як відношення суми імпульсів у кожному каналі фотопіка, за винятком фону, до часу експозиції.

Розрахувавши площу фотопіка, можна визначити ефективність реєстрації спектрометра:

$$K_{ef} = \frac{S}{K_{\gamma} \cdot A} . \quad (5.3)$$

Ефективність реєстрації спектрометра - це відношення кількості зареєстрованих частинок до числа частинок, випущених контрольним джерелом. Ця характеристика залежить від енергії γ - квантів.

Після визначення декількох значень K_{ef} для різних препаратів потрібно побудувати калібрувальну криву ефективності реєстрації, яка використовується для визначення активності проби.

Ще одна важлива характеристика спектрометра - енергетичне розділення, яке визначається в процесі калібрування за формулою:

$$R = \frac{N_{1/2}}{N_{цтп}} \cdot 100\% , \quad (5.4)$$

де $N_{1/2}$ - ширина фотопіку на половині висоти піку,

$N_{цтп}$ - номер каналу, у якому знаходиться центр тяжіння даного фотопіку.

5.2 Експериментальна частина

5.2.1 Побудова калібрувальної прямої

Шкала спектрометра (1024 канали) повинна бути відкаліброваною з ціною поділки в межах 1 - 3 (КеВ / канал). Для цього використовують

препарати з відомим радіонуклідним складом (Cs-137, Ra-226, Am-241, Co-60).

Вони повинні бути рівномірно розподіленими на всій ширині діапазону спектра від 30 до 1500 KeV.

№	Ізотоп	Енергія γ-кванта, кеВ	Коефіцієнт γ-виходу, %	Номер каналу, де знаходиться центр фотопіку	Коефіцієнт ефективності реєстрації
1	Am-241	59,537	35,37	31	
2	Cs-137	661,660	85,08	331	
3	Co-60	1173,237	99,80	582	
		1332,502	99,9	662	

Регулюванням підсилення домагаються запису фотопіку Cs-137 в 331 канал.

Вимірюємо спектр враховуючи, що мінімальна кількість імпульсів в ЦТП повинно бути не менш за 2000. Одночасно з цим в текстовому редакторі готуємо файл бібліотеки радіонуклідів, що використовуються при калібруванні, розширення файлу .lib. Цей файл містить назву радіонуклідів, період напіврозпаду, енергію γ-квантів, абсолютну інтенсивність і її похибку.

На базі отриманого спектра програма будує калібрувальну пряму. При цьому калібруванні оператор може скоректувати отриманий графік, добиваючись його максимальної лінеаризації. Ці дані автоматично запам'ятовуються програмою і зберігаються в пам'яті до наступного енергетичного калібрування.

Отриманий спектр можна зберігати в файлі з розширенням .spe.

Наступним етапом підготовки спектрометра є вимірювання спектра. Вимірювання фону здійснюють при відсутності в детекторі джерел іонізуючого випромінювання і при зачиненому свинцевому будиночку. Тривалість вимірювання фону повинна як мінімум в 5 разів перевищувати час вимірювання спектра. Після вимірювання фону відповідний файл зберігається для подальшого використання з розширенням .fon. Дані, що записані в цьому файлі, потім віднімаються з даних спектрів при обробці. При цьому враховується час вимірювання спектра і час вимірювання фону.

5.2.2 ОПИС ПАКЕТУ ПРОГРАМ ЛСРМ93(С)

Пакет "ЛСРМ93(С)" призначений для програмної підтримки гамма-спектрометричного аналізу, проведеного за допомогою сцинтиляційних

детекторів на базі многоканальних аналізаторів, що сполучені з ЕОМ типу IBM PC і їх вітчизняних аналогів (ЕС1840, Іскра-1030М).

Програмні модулі, що входять до складу пакета, виконують наступні функції:

- 1) обмін даними між аналізатором і ЕОМ;
- 2) первинна обробка спектральної інформації - пошук піків і розрахунки їхніх параметрів;
- 3) ідентифікація радіонуклідів і розрахунок їх активності;
- 4) градування спектрометра по ефективності реєстрації. Пакет може бути доповнений програмними модулями, що дозволяють організувати банк даних результатів вимірів.

Пакет організований на основі "меню" різних рівнів. Головне "меню" включає три основних режими:

Вимірювання і обробка спектра.

Архів результатів вимірів.

Побудова кривої ефективності.

Перший режим поділяється на три додаткових режими:

Вимір

Обробка спектрів

Настроювання.

У режимі "Вимір" виконуються наступні функції: запуск і зупинка вимірів, аналіз стану аналізатора, очищення аналізатора, передача інформації з аналізатора в ЕОМ, збереження (при необхідності) спектра у виді файлу на зовнішньому носії.

У режимі "Обробка спектрів" можуть бути обробленими обмірювані раніше і збережені у виді файлів спектри. Оператором може бути встановлений режим, коли обробка спектра починається автоматично після закінчення виміру. Обробка спектра виконується незалежно від аналізатора, що може знаходитися в режимі набору спектра. У режимі "Настроювання" оператором можуть бути змінені значення т.зв. "настроювального" файлу. У цьому файлі зберігаються параметри, що необхідні для функціонування системи: імена допоміжних файлів, до яких відбувається звертання (наприклад, бібліотека радіонуклідів), файл з кривою ефективності, а також ряд параметрів, що дозволяють оптимізувати обробку результатів вимірів, виходячи з конкретно розв'язуваної задачі. Використання "настроювального" файлу рятує оператора при проведенні масових вимірів від необхідності вводити якісь параметри при кожному вимірі і, з іншого боку, дає можливість варіювання великого кола параметрів.

Режим "Побудова кривої ефективності" дозволяє провести градування спектрометра за ефективністю реєстрації з утворенням відповідного файлу.

У режимі "Архів результатів вимірів" можуть бути переглянуті і роздруковані збережені раніше результати вимірів.

5.2.3 Побудова кривої ефективності реєстрації

При побудові кривої ефективності реєстрації використовуються файли:

- файл результатів RESULT, який автоматично створюється і зберігається програмою при обробці спектра, він містить час вимірювання спектра, активність ідентифікованих джерел, похибку розрахунку активності, енергетичне розділення спектрометра в ЦТП;
- файл бібліотеки радіонуклідів (*.lib) і файл паспортів джерел випромінювання (*.psp). Цей файл створюється завчасно, містить значення активності джерел випромінювання та їх похибки, дату їх вироблення.

На основі цих даних визначається коефіцієнт ефективності реєстрації $K_{\text{еф}}$ і знаходиться крива ефективності реєстрації.

Після закінчення процесу калібрування переходять до вимірювання проби.

5.2.4 Вимірювання невідомого радіоізоотопу

Для вимірювання невідомої проби вертаємося в програмний модуль вимірювань. Для цього використовуємо файл бібліотеки і починаємо набір спектра. Для надійної ідентифікації потрібно в ЦТП проби набрати не менш 900 імпульсів. При досягненні цього значення можна зупинити процес вимірювання і обробити отриманий спектр.

Згідно вимогам НРБУ-97 робляться висновки відносно можливості використання матеріалу (продукту), з якого зроблена проба, в конкретних цілях.

5.3 Контрольні питання

1. На яких процесах засновується робота приладів, що реєструють іонізуюче випромінювання ?
2. Що являє собою сцинтиляційний лічильник ?
3. Чим відрізняється апаратурний спектр імпульсів від енергетичного спектра ядерних частинок ?
4. Що описує функція відгуку ?
5. Що називається чутливістю гамма-спектрометра ?
6. Що називається енергетичним розділенням гамма-спектрометра ?
7. Як визначається "мертвий" час приладу ?

- 8.Що являє собою канал амплітудного аналізатора ?
- 9.Які функції виконує одноканальний амплітудний аналізатор ?
- 10.Скільки каналів містять в собі сучасні багатоканальні аналізатори ?
- 11.Які функції виконує аналоговий цифровий перетворювач ?
- 12.Що являє собою енергетичне калібрування спектрометра ?
- 13.Як можна визначити ефективність реєстрації спектрометра ?
14. Які файли використовуються при побудові кривої ефективності реєстрації спектрометра ?

6. ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ

Згідно існуючих нормативних документів, зокрема "Положення про організацію роботи з охорони праці учасників навчально-виховного процесу в установах і закладах освіти", затвердженого наказом Міністерства освіти і науки України №563 від 01.08.2001р., в навчальній лабораторії радіоекології розроблені та діють правила техніки безпеки та охорони праці, які доводяться до студентів перед початком проведення лабораторних занять.

Перед початком першого заняття викладач, що веде лабораторні заняття дає студентам інструктаж з правил охорони праці та оформлює його підсумки у відповідному журналі.

Студентам перед початком лабораторних робіт потрібно розписатися в журналі під тим, що з правилами поведінки і техніки безпеки в лабораторії вони ознайомилися і зобов'язуються їх виконувати.

Студенти, що порушують правила техніки безпеки і правила поведінки в лабораторії, звільняються від виконання робіт.

Особливості техніки безпеки в лабораторії радіоекології пов'язані з наявністю в кожній роботі джерел іонізуючого випромінювання і джерел високої напруги, що використовуються для живлення фотоелектронних помножувачів та лічильників Гейгера-Мюлера. В зв'язку з цим основні правила роботи, які потрібно виконувати:

- 1.Перед включенням приладів потрібно перевірити справність електричної схеми. Встановити ручки регуляторів напруги в нульове положення.
- 2.Після включення у розетку вилки приладу потрібно включити спочатку низьку напругу і напругу 220 В.
- 3.Потім потрібно плавно вивести напругу високовольтного блоку живлення на потрібну величину.
- 4.При зникненні напруги мережі привести прилад в початковий стан, установивши регулятори напруги в нульове становище, і докласти про це викладачу.

5. Прилади, що підлягають заземленню, повинні бути надійно заземленими.
6. Після закінчення вимірювань потрібно вимкнути всі прилади, привести в порядок своє робоче місце і здати його лаборанту.
7. Радіоактивний препарат під час вимірювань дістається лаборантом з свинцевого ящика і встановлюється в свинцевий будиночок або іншу установку.
8. Після закінчення вимірювань препарат забирається лаборантом і ховається в металевий контейнер.
9. Після закінчення лабораторного заняття потрібно ретельно з милом вимити руки.

КАТЕГОРИЧНО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ

1. Торкатися до елементів електросхеми і провідників високовольтної напруги.
2. Ремонтувати, розбирати і перевіряти електричну схему під час роботи приладу при включеній напрузі.
3. Включати в мережу несправні прилади, а також прилади, технічний стан яких не перевірений.
4. Приносити до лабораторії їжу і напої. Під час перерви, як і під час занять, їсти і пити в лабораторії радіоекології.
5. Курити під час всього проведення лабораторної роботи.
6. Заходити в лабораторію в пальто.
7. Забороняється вільне ходіння в лабораторії без потреби.
8. Виходити і входити до лабораторії під час занять без дозволу викладача.
9. Брати і переносити радіоактивний препарат без дозволу керівника заняття.
10. Залишати без догляду прилад, що знаходиться під напругою.
11. Допускати до роботи з апаратурою і приладами сторонніх осіб.
12. Працювати без інструктажу з техніки безпеки.
13. Забороняється самочинно включати прилади і джерела напруги без дозволу керівника.
14. Категорично забороняється виносити з лабораторії дозиметри без дозволу викладача, що проводить заняття.

Порядок виконання роботи

1. Напередодні виконання лабораторної роботи студентам потрібно ознайомитися з методичними вказівками до роботи, вивчити матеріали теми, на яку планується робота.

2. Усі записи акуратно виконати в зошиті. Підготувати таблиці для запису даних вимірювання. Робочий зошит мати при собі на кожному лабораторному занятті, а також при захистах робіт.
3. Роботи виконуються бригадами з 2-3 студентів.
4. Допуск на виконання роботи дає викладач після індивідуальної співбесіди з студентом і перевірки ступеня його підготовленості до роботи.
5. Результати вимірювань заносяться до таблиць і показуються викладачеві під час занять.
6. За даними вимірювань студент виконує відповідні розрахунки.
7. На тому ж занятті чи на наступному занятті студент повинен підготувати і захистити звіт до роботи.
8. Звіт потрібно оформляти на окремих подвійних листах.
9. Звіт повинен містити теоретичну частину, дані вимірювань і результати розрахунків.
10. Студент, що має дві незахищені роботи, до наступної роботи не допускається.

З М І С Т

1. Лабораторна робота ВИВЧЕННЯ РОБОТИ ЛІЧИЛЬНИКА ГЕЙГЕРА-МЮЛЕРА.....	3
2.Лабораторна робота ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СЦИНТИЛЯЦІЙНИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ.....	9
3.Лабораторна робота БЕТА-РАДІОМЕТР РУБ-01П.....	15
4.Лабораторна робота РАДІОМЕТР - ДОЗИМЕТР ГАММА-БЕТА ВИПРОМІНЮВАНЬ РКС-01 "СТОРА".....	20
5.Лабораторна робота ВИВЧЕННЯ РОБОТИ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРА.....	25
6. Правила техніки безпеки та охорони праці	32
Зміст	35

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни
“Радіоекологія” для студентів 3-го курсу очної форми навчання за
спеціальністю “Екологія та охорона навколишнього середовища”.
Укладачі: Курятников В.В., Кільян А.М. Одеса, ОДЕКУ, 35 с. укр.
мова.

Відповідальний за випуск - Курятников В.В., доцент, в. о. завідуючого
кафедрою фізики і хімії.

Одеський державний екологічний університет

65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15

