

УДК 539.1.073

DOI <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-1-38>**Швалюк Є. П.***аспірант кафедри електричної інженерії та енергомашинобудування,
Національний університет «Київський авіаційний інститут»**Київ, Україна;**начальник сектору науково-технічного відділу повірки і калібрування засобів вимірювальної техніки іонізуючого випромінювання,**ДП «КИЇВОБЛСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ»**Біла Церква, Україна**E-mail: 8863264@stud.kai.edu.ua**ORCID: 0009-0001-1235-1655*

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Анотація

У статті представлено сучасні методи та засоби вимірювання іонізуючого випромінювання, а також детально розглянуто фізичні основи кожного з методів реєстрації іонізуючого випромінювання. Вимірювання іонізуючого випромінювання виконується з метою визначення якісних і кількісних характеристик, як-от вид випромінювання, активність джерела іонізуючого випромінювання, енергія, густина потоку тощо.

Виявлення радіоактивних речовин та іонізуючих (радіоактивних) випромінювань, зокрема нейтронів, гамма-променів, бета- і альфа-частинок, ґрунтується на здатності цих випромінювань іонізувати речовину середовища, у якій вони безпосередньо поширюються. Проведений аналіз підтверджує, що вплив іонізуючого випромінювання на середовище призводить до іонізації та збудження атомів і молекул цього середовища.

Взаємодія іонізуючого випромінювання з різними речовинами приводить до різноманітних змін їхніх фізичних і хімічних властивостей (зміни електричних властивостей, зміни оптичних параметрів, температури, випромінювання світла, об'єму, а також зміни концентрації продуктів радіаційно-хімічних реакцій). Саме ці зміни беруться за основу під час розробки методів і засобів вимірювання та реєстрації іонізуючого випромінювання.

Дослідження підкреслює, що залежно від характеру взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною розрізняють такі методи його реєстрації: іонізаційні, люмінесцентні, сцинтиляційні, напівпровідникові, фотоемульсійні, хімічні тощо.

Отримані результати є важливими для практичного вибору конкретного методу або засобу вимірювання з урахуванням типу випромінювання, необхідної точності та умов експлуатації. Правильна класифікація та обґрунтований вибір обладнання для вимірювань відіграють ключову роль у забезпеченні радіаційної безпеки, контролі стану довкілля та виконанні наукових досліджень, що сприяє дотриманню як міжнародних, так і національних стандартів, а також нормативів щодо максимально допустимих рівнів радіації та забруднень.

***Ключові слова:** іонізуюче випромінювання, іонізаційний метод, сцинтиляційний метод, напівпровідниковий метод, люмінесцентний метод, фотоемульсійний метод, хімічний метод, доза опромінення, детектор, фотон, електрон, атом.*

Вступ. За останні кілька десятиліть використання атомної енергії стало невід'ємною частиною життя людства. Сьогодні ядерні технології застосовуються дуже широко: від зміцнення обороноздатності до мирних цілей – в енергетиці, медицині, під час пошуку корисних копалин, а також для діагностики та контролю якості на виробництві.

Таке активне використання штучних джерел призводить до того, що рівень радіаційного навантаження на населення поступово зростає. При цьому дози, які отримують різні люди, можуть суттєво відрізнятися. У більшості випадків ці рівні опромінення є незначними, проте іноді навантаження від техногенних джерел може бути в багато разів вищим, ніж від природних.

Слід зазначити, що опромінення від штучних джерел зазвичай легше контролювати, ніж природні чинники (як-от космічне випромінювання чи радіація від земних порід) або наслідки аварійних ситуацій. Проте ефективність такого контролю безпосередньо залежить від точності вимірювальних приладів. Оскільки іонізуюче випромінювання впливає на організм людини на рівні клітин, надзвичайно важливо отримувати максимально достовірні дані про рівень радіації. Саме тому вдосконалення методів вимірювання та розробка нових підходів до обробки отриманих результатів залишаються актуальним завданням для сучасної науки.

Мета роботи – провести аналіз сучасних методів і засобів вимірювання іонізуючого випромінювання, а також розкрити фізичні принципи, що лежать в основі кожного з існуючих методів його реєстрації.

Виклад основного матеріалу дослідження. В основі іонізаційного методу лежить здатність випромінювання створювати вільні носії заряду під час проходження крізь речовину. У діелектричному середовищі, що перебуває під впливом іонізуючих часток, відбувається передача енергії атомам і молекулам, що призводить до утворення пар позитивних і негативних іонів. За відсутності зовнішнього впливу ці заряди швидко рекомбінують, досягаючи певної рівноважної концентрації.

Однак ситуація змінюється, якщо до об'єму речовини прикласти різницю потенціалів. Створене електричне поле спрямовує рух заряджених частинок до відповідних електродів, формуючи в електричному колі струм. За дотримання певних фізичних умов величина цього струму стає пропорційною інтенсивності падаючого випромінювання.

За своєю конструктивною схемою іонізаційні детектори нагадують електричні конденсатори (рис. 1), де простір між електродами заповнений інертним газом або спеціальною газовою сумішшю [4, с. 91].



Рис. 1. Найпростіша схема іонізаційного детектора

Процес реєстрації базується на взаємодії заряджених частинок із зовнішнім полем. На кожен іон із зарядом e , що перебуває в електричному полі з напруженістю U , діє сила, яка чисельно дорівнює добутку $e \cdot U$. Під впливом цієї сили носії заряду починають рух до електродів, причому їхня швидкість дрейфу безпосередньо залежить від параметрів напруженості прикладеного поля.

Особливе значення має режим роботи за високої напруженості поля. У такому випадку електрони, маючи малу масу, встигають розігнатися на відстані вільного пробігу до енергій, що перевищують поріг іонізації газу. Унаслідок непружних зіткнень із нейтральними атомами виникають додаткові пари зарядів. Цей процес, відомий як ударна іонізація, забезпечує газове посилення сигналу, що дає змогу суттєво підвищити ефективність реєстрації випромінювання [1, с. 66–70].

Основою сцинтиляційного методу є явище люмінесценції, яке виникає в певних середовищах під впливом іонізуючого випромінювання. Сцинтилятори – це речовини, що мають здатність генерувати короткочасні світлові спалахи під час проходження крізь них заряджених частинок. Ці сигнали фіксуються та вимірюються за допомогою апаратури з високою світлочутливістю.

Принцип реєстрації випромінювання базується на збудженні атомів і молекул робочої речовини. Отримавши енергію від частинки, вони переходять у збуджений стан, а з поверненням до нормального стану випускають світло, характеристики якого залежать від структури енергетичних рівнів конкретного матеріалу. Варто зауважити, що світлові спалахи можуть виникати й під дією непрямого іонізуючого випромінювання завдяки утворенню вторинних заряджених частинок. Так, у випадку з фотонами це будуть електрони, вибиті з атомів середовища, а в разі проходження нейтронів – протони чи ядра віддачі, або ж заряджені частинки, що з'явилися внаслідок ядерних реакцій типу (n, α) -, (n, p) тощо.

Технічно цей процес реалізується за допомогою фотоелектронного помножувача (ФЕП). Світло від спалаху через світлопровід потрапляє на фотокатод ФЕП, де вибиває електрони. Останні прискорюються електричним полем і, проходячи через систему електродів (динодів), посилюються в 10^5 – 10^6 разів. Унаслідок цього на аноді приладу формується електричний струм, величина якого є прямо пропорційною інтенсивності випромінювання, що взаємодіє з детектором [5, с. 27–29].

Основними характеристиками сцинтиляторів є такі параметри, як сцинтиляційна ефективність, світловий вихід та час висвічування.

Сцинтиляційна (або конверсійна) ефективність η_k визначає частку енергії іонізуючого випромінювання, що була поглинута в сцинтиляторі та перетворена на енергію світлового спалаху. Кількісно вона виражається як відношення сумарної енергії світлових фотонів E_ϕ до повної енергії зарядженої частинки E_n , поглиненої в сцинтиляторі:

$$\eta_k = \frac{E_\phi}{E_n}. \quad (1)$$

Величина η_k визначається типом сцинтиляційного матеріалу і зазвичай перебуває в діапазоні від 0,01 до 0,3. Використовуючи співвідношення (1), можна розрахувати кількість випущених фотонів η_ϕ за формулою:

$$\eta_\phi = \eta_k \cdot \frac{E_n}{\bar{E}}, \quad (2)$$

де \bar{E} – середня енергія фотонів.

Світловий вихід χ визначається як відношення кількості фотонів у світловому спалаху до повної енергії зарядженої частинки, поглиненої в об'ємі сцинтилятора:

$$\chi = \frac{\eta_{\phi}}{E_n} = \frac{\eta_k}{E}. \quad (3)$$

Час висвічування τ – це середній час життя збуджених станів атомів середовища. Цей параметр є індивідуальною характеристикою кожного типу сцинтилятора і зазвичай перебуває в діапазоні 10^{-9} – 10^{-5} с [4, с. 100–102; 8].

Ключовим критерієм розмежування напівпровідників є їхня питома електропровідність, за значенням якої вони посідають проміжне місце між провідниками та ізоляторами. Діапазон значень питомої електропровідності напівпровідникових матеріалів лежить у межах 10^{-10} – 10^4 Ом $^{-1}$ · см $^{-1}$, тоді як для металів цей показник становить 10^5 – 10^6 Ом $^{-1}$ · см $^{-1}$, а для діелектриків не перевищує 10^{-14} Ом $^{-1}$ · см $^{-1}$.

Згідно із зонною теорією, напівпровідникові властивості проявляють речовини, ширина забороненої зони яких не перевищує 2–3 еВ. У діелектриків заборонена зона є значно ширшою, тоді як у металів вона практично відсутня.

Напівпровідниковий детектор за принципом дії виступає твердотільним аналогом іонізаційної камери. Під впливом іонізуючого випромінювання в об'ємі напівпровідника генеруються вільні носії заряду. У разі прикладення до робочого об'єму різниці потенціалів зміна провідності детектора дає змогу зробити висновок про наявність та інтенсивність випромінювання.

Використання твердого тіла як чутливого середовища забезпечує суттєві переваги. Зокрема, висока густина речовини (що приблизно в 1000 разів перевищує густину газів) дає можливість значно збільшити енергію, поглинуту в одиниці робочого об'єму. Крім того, середня енергія, необхідна для утворення однієї пари носіїв заряду, відповідає ширині забороненої зони. Це приблизно на порядок нижче, ніж у газових іонізаційних камерах, що забезпечує високу чутливість детектора навіть за його малих габаритів. Унаслідок цього іонізаційний ефект у напівпровіднику виявляється приблизно в 10^4 разів вищим порівняно з газовим середовищем.

Напівпровідникові методи реєстрації знайшли широке застосування в спектрометричних системах. У таких випадках вихідний сигнал детектора подається на вхід багатоканального амплітудного аналізатора, де кожний канал реєструє імпульси лише певної амплітуди [6, с. 515–520; 7].

Фотографічний метод реєстрації базується на здатності іонізуючого випромінювання впливати на світлочутливий шар фотоматеріалів аналогічно до дії видимого світла. Для детектування випромінювань зазвичай застосовують рентгенографічні плівки, що складаються із чутливої емульсії, нанесеної з одного або обох боків на целулоїдну підкладку. Основу емульсії становлять мікрочастинки броміду або хлориду срібла (AgBr, AgCl), рівномірно розподілені в шарі желатину. Проходження іонізуючого випромінювання крізь фотоемульсію активує кристали, роблячи їх здатними до проявлення. Унаслідок поглинання енергії випромінювання в кристалах формуються центри проявлення, що складаються з атомів металевих срібла, сукупність яких утворює приховане зображення. Наступна хімічна обробка (проявлення) призводить до відновлення металевих срібла в усіх кристалах, що містять центри достатніх розмірів. При цьому кількість атомів металевих срібла в околі центра прихованого зображення зростає в 10^{10} – 10^{12} разів, що забезпечує високий коефіцієнт посилення сигналу.

Під час подальшої обробки фотоплівки фіксажем (закріплювачем) кристали, що не були відновлені, розчиняються та вимиваються з емульсії. Наявність на плівці частинок металевих срібла призводить до поглинання видимого світла, що характеризується оптичною щільністю почорніння S :

$$S = \lg \frac{J_0}{J}, \quad (4)$$

де J_0 – інтенсивність видимого світла, що падає на оброблену фотоплівку; J – інтенсивність світла, що проходить крізь неї.

Значення S теоретично змінюється від 0 до ∞ , проте на практиці зазвичай вимірюють щільність почорніння, що не перевищує трьох одиниць. Так, значення S , що дорівнюють 1, 2 та 3, відповідають відношенню J/J_0 , рівному 0,1, 0,01, 0,001 відповідно.

Оптична щільність почорніння плівки залежить від експозиції – добутку інтенсивності випромінювання на час опромінення. За незмінного спектрального складу експозиція прямо пропорційна поглиненій дозі. Для аналізу цю залежність представляють у напівлогарифмічному масштабі, що відомий як сенситометрична характеристика фотоплівки (рис. 2) [4, с. 119].

Для вимірювання іонізуючого випромінювання у фотоплівок використовують саме прямолінійну частину їхньої характеристики. Тут важливу роль відіграє кут θ : чим він більший, тим контрастнішою буде плівка. Також є поняття вуалі S_0 – це легке потемніння, яке з'являється на плівці саме по собі під час її виготовлення або зберігання.

Щоб точно визначити дозу опромінення, зазвичай беруть три групи плівок. Контрольні потрібні, щоб відсікти фон (вуаль). Градувальні, які вже отримали відому дозу, використовують для побудови графіка (градувальної кривої). Оскільки на якість почорніння впливає не тільки радіація, а й сама плівка, склад розчину чи температура проявлення, дуже важливо проявляти всю серію плівок одночасно.

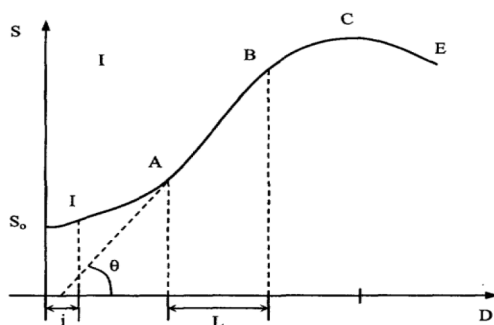


Рис. 2. Сенситометрична характеристика фотоплівки

Після цього для кожної партії будують свій графік залежності почорніння від дози. І вже за цією кривою, знаючи щільність робочої плівки, знаходять індивідуальну дозу опромінення.

Варто враховувати, що фотоемулсія, яка містить срібло, бром і желатин, за своїм складом відрізняється від повітря (не є повітроеквівалентною). Через це ступінь її почорніння за однакової дози залежатиме від енергії самого випромінювання.

Принцип люмінесцентного методу ґрунтується на здатності певних речовин (люмінофорів) накопичувати поглинену енергію іонізуючого випромінювання. Під дією радіації носії заряду (електрони та дірки) локалізуються в центрах захоплення. Щоб звільнити цю енергію, необхідний додатковий зовнішній вплив або збудження. Найчастіше для цього використовують нагрівання люмінофора (термолюмінесценція) або його освітлення світлом із певним спектром (фотолюмінесценція) [4, с. 90–127].

Фізика термолюмінесценції полягає в тому, що електрон, отримуючи енергію від випромінювання, переходить із валентної зони в зону провідності. При цьому утворюється дірка, яка переходить у заборонену зону, формуючи центр люмінесценції.

Якщо в забороненій зоні через дефекти кристала або введення домішок існують «електронні пастки», вони захоплюють електрон, переводячи його в метастабільний стан. Зовнішнє нагрівання надає електрону необхідну енергію для повернення в зону провідності, після чого відбувається його рекомбінація з діркою. Як результат, центр люмінесценції переходить у збуджений стан і випромінює світловий фотон.

Далі ці світлові спалахи трансформуються в електричний сигнал. Цей процес аналогічний роботі сцинтиляційного методу в струмовому режимі.

Інтенсивність такої люмінесценції прямо пропорційна дозі, яку отримав люмінофор. Крива висвічування зазвичай має декілька максимумів. Це пов'язано з наявністю різних енергетичних рівнів, на яких розташовані пастки, адже вихід електронів із них потребує різної енергії зовнішнього впливу. На практиці величина дози визначається за площею відповідних піків або за висотою головного максимуму люмінесценції [3, с. 11–12; 9].

В основі хімічного методу дозиметрії лежить кількісне визначення іонів або молекул, які виникають чи зазнають структурних змін під впливом іонізуючого випромінювання. Ефективність такої реакції (радіаційно-хімічний вихід) перебуває у прямій пропорційній залежності від величини поглиненої дози. Цей зв'язок описується наступною математичною моделлю:

$$D = \frac{K \cdot C}{X \cdot p}, \quad (5)$$

де D – доза випромінювання, K – коефіцієнт пропорційності, C – концентрація речовини, що утворилася внаслідок реакції, p – густина речовини, що опромінюється, X – вихід продукту (визначається кількістю частинок, які з'являються або зникають за поглинання енергії у 100 еВ).

За показником радіаційно-хімічного виходу речовини поділяють на чотири основні категорії: $X < 0,1$; $0,1 < X < 20$; $20 < X < 100$; $X > 100$. Останні два класи (третій та четвертий) зазвичай характеризуються ланцюговими хімічними процесами. Проте для практичних потреб дозиметрії найбільш оптимальними вважаються сполуки другої та третьої груп. Вони демонструють високу стабільність результатів, надійну відтворюваність і низьку чутливість до побічних факторів, як-от перепади температури, сторонні домішки чи рівень освітлення.

Більшість хімічних дозиметрів – це водні розчини. Найбільшого розповсюдження в метрологічній практиці набув дозиметр на основі сульфату заліза FeSO_4 , розчиненого в сірчаній кислоті. Унаслідок електролітичної дисоціації в такому середовищі накопичуються іони двовалентного заліза Fe^{2+} . Під впливом випромінювання відбувається радіоліз води з утворенням вільних радикалів (H, OH) та активних окислювачів. Вони забезпечують перетворення двовалентного заліза на тривалентне за такими реакціями:



Кількість іонів Fe^{3+} , що з'явилися після завершення реакцій, впливає на оптичну густину розчину. Цей показник фіксується за допомогою спектрофотометра – спеціального приладу для аналізу поглинання світла.

Таким чином, зміна оптичних властивостей розчину виступає точним індикатором поглиненої енергії випромінювання.

Розрахунок енергії поглинання ΔE в хімічному дозиметрі здійснюється на основі такої залежності:

$$\Delta E = M(\rho_{\text{опр}} - \rho_{\text{чист}}), \quad (7)$$

де $\rho_{\text{опр}}$ і $\rho_{\text{чист}}$ – оптична густина опроміненого та неопроміненого розчинів, M – коефіцієнт, що визначається конструктивними параметрами дозиметра та конкретними умовами проведення вимірювань.

$$\rho_{\text{опр}} - \rho_{\text{чист}} = \varepsilon \cdot C \cdot l, \quad (8)$$

де ε – коефіцієнт поглинання, величина якого залежить від температурного режиму, C – концентрація іонів тривалентного заліза (Fe^{3+}), l – товщина шару розчину.

Отже, аналіз зміни оптичної густини дає змогу встановити концентрацію продуктів радіаційно-хімічної реакції. Виходячи з отриманих даних про концентрацію та враховуючи радіаційно-хімічний вихід, обчислюють величину поглиненої дози. Наприклад, для феросульфатного дозиметра показник виходу становить $15,6 \pm 0,5$.

Оскільки базовою складовою цього дозиметра виступає вода, показник ефективного атомного номера розчину за рівнем поглинання фотонів майже ідентичний параметрам води та, як наслідок, біологічних тканин. Завдяки такій еквівалентності дозиметр демонструє стабільність показань (відсутність енергетичної залежності або «ходу з жорсткістю») у межах енергій від 100 кеВ до 2 МеВ. У разі реєстрації високих значень доз сумарна похибка вимірювання мінімізована і не перевищує межі 1 % [2, с. 10–12; 4].

Висновки. У роботі проведено аналіз методів і засобів вимірювання іонізуючого випромінювання. Встановлено, що вибір конкретного методу та засобу вимірювання безпосередньо залежить від виду випромінювання, необхідної точності й умов його застосування. Оскільки фізична природа альфа-, бета-, гамма- та нейтронного випромінювання суттєво різниться, не існує єдиного універсального методу чи засобу вимірювання, який був би придатним для всіх випадків одночасно.

Чітка класифікація дає можливість фахівцям вибрати найбільш оптимальний метод або детектор для визначеного типу випромінювання й енергетичного діапазону, що забезпечує отримання надійних і точних результатів. Правильна класифікація, а також професійний вибір засобів вимірювання є критично важливими факторами для забезпечення радіаційної безпеки, моніторингу навколишнього середовища та виконання наукових досліджень. Такий підхід гарантує дотримання національних і міжнародних стандартів та нормативів щодо гранично допустимих доз опромінення і рівнів забруднення [10, с. 224–234].

Отже, класифікація методів і засобів вимірювання іонізуючого випромінювання є фундаментальним організаційним принципом. Вона забезпечує наукову обґрунтованість, практичну ефективність та надійний захист здоров'я людей і довкілля від небезпечного радіаційного впливу.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці математичної моделі з урахуванням нового інформативного параметра для підвищення достовірності результатів вимірювань характеристик іонізуючого випромінювання. Подальша робота буде спрямована на вдосконалення методів оцінювання параметрів випромінювання шляхом застосування сучасних систем інтелектуального аналізу даних, що дасть змогу мінімізувати вплив випадкових факторів і забезпечити високу точність результатів у метрологічній практиці.

Список використаних джерел

1. Безшийко О. А., Голінка-Безшийко Л. О., Каденко І. М. Методичні рекомендації до лабораторного практикуму «Методи реєстрації іонізуючого випромінювання» для студентів кафедри ядерної фізики фізичного факультету. Київ, 2019. С. 66–70.
2. Бобало Ю. Я., Дудикевич В. Б., Максимович В. М. та ін. Методи і засоби опрацювання вихідних сигналів дозиметричних детекторів : монографія. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2009. С. 10–12.
3. Капустяник В. Б., Кулик Б. Я., Партика М. В. Практикум з ядерної фізики для студентів фізичного факультету : навч. посіб. Львів : Видавничий центр фізичного факультету ЛНУ імені Івана Франка, 2012. С. 11–12.
4. Ключников О. О., Носовський А. В. Основи дозиметрії іонізуючих випромінювань : навч. посіб. Київ : Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, 2007. С. 90–127.
5. Ковальський О. В., Мечев Д. С., Данилевич В. П. Радіологія. Променева терапія. Променева діагностика : підручник. Вінниця : Нова Книга, 2013. С. 27–29.
6. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, В. О. Яцук та ін. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. С. 515–520.
7. Чернявський І. Ю., Марущенко В. В., Мартинюк І. М. Військова дозиметрія : навч. посіб. Харків : ФВП НТУ «ХП», 2011. С. 144–153.
8. Чернявський І. Ю. Технічні засоби радіаційного, хімічного та біологічного захисту : метод. вказівки. Харків : НУЦЗУ, 2015. С. 54–58.
9. Abaza A. M. H. New Trend in Radiation Dosimeters. *American Journal of Modern Physics*. 2018. Vol. 7, No. 1. P. 21–30. DOI: 10.11648/j.ajmp.20180701.13
10. Sievert R. M. A Method for the Automatic Recording of Ionizing Radiation. *Acta Radiologica*. 2010. Vol. 51, No. sup188. P. 224–234. DOI: 10.3109/00016925909177091

Shvaliuk Y. P.

*Postgraduate Student at the Department of Electrical
Engineering and Power Engineering,
National University "Kyiv Aviation Institute"
Kyiv, Ukraine;*

*Head of the Sector of the Scientific and Technical Department of Verification and Calibration
of Ionizing Radiation Measuring Equipment
State Enterprise "KYIVOBSTANDARTMETROLOGY"
Bila Tserkva, Ukraine*

E-mail: 8863264@stud.kai.edu.ua

ORCID: 0009-0001-1235-1655

METHODS AND MEANS OF MEASURING IONIZING RADIATION

Abstract

The article presents modern methods and instruments for measuring ionizing radiation and provides a detailed examination of the physical foundations of each radiation registration method. The measurement of ionizing radiation is performed to determine its qualitative and quantitative characteristics, such as radiation type, ionizing radiation source activity, energy, and flux density.

The detection of radioactive substances and ionizing radiation, specifically neutrons, gamma rays, beta and alpha particles, is based on the ability of such radiation to ionize the medium in which it propagates. The conducted analysis confirms that the impact of ionizing radiation on the medium leads to the ionization and excitation of the atoms and molecules of this medium.

The interaction of ionizing radiation with various substances leads to diverse changes in their physical and chemical properties (changes in electrical properties, optical parameters, temperature, light emission, volume, and changes in the concentration of radiation-chemical reaction products). These specific changes are taken as the basis for the development of methods and instruments for measuring and recording ionizing radiation.

The study emphasizes that, depending on the nature of the interaction between ionizing radiation and matter, the following registration methods are distinguished: ionization, luminescent, scintillation, semiconductor, photo-emulsion, and chemical methods.

The obtained results are important for the practical selection of a specific measuring method or instrument, considering the radiation type, required accuracy, and operational conditions. Proper classification and a justified choice of measuring instruments play a key role in ensuring radiation safety, environmental monitoring, and scientific research, facilitating compliance with both international and national standards and regulations regarding maximum permissible radiation levels and contamination.

Key words: ionizing radiation, ionization method, scintillation method, semiconductor method, luminescence method, photoemulsion method, chemical method, radiation dose, detector, photon, electron, atom.

References

1. Bezshyyko, O. A., Holinka-Bezshyyko, L. O., & Kadenko, I. M. (2019). Metodichni rekomendatsii do laboratornoho praktykumu "Metody reestratsii ionizuiuchoho vprominiuvannia" [Methodological recommendations for the laboratory workshop "Methods of registration of ionizing radiation"]. Kyiv. P. 66–70 [in Ukrainian].
2. Bobalo, Yu. Ya., Dudykevych, V. B., Maksymovych, V. M., et al. (2009). Metody i zasoby opratsiuvannia vykhidnykh syhnaliv dozymetrychnykh detektoriv [Methods and means of processing output signals of dosimetric detectors]. Lviv : Lviv Polytechnic. P. 10–12 [in Ukrainian].
3. Kapustyanyk, V. B., Kulik, B. Ya., & Partyka, M. V. (2012). Praktykum z yadernoi fizyky dlia studentiv fizychnoho fakultetu [Workshop on nuclear physics for students of the physics faculty]. Lviv: LNU Publishing Center. P. 11–12 [in Ukrainian].
4. Kliuchnykov, O. O., & Nosovskiy, A. V. (2007). *Osnovy dozymetrii ionizuiuchykh vprominiuvan* [Fundamentals of dosimetry of ionizing radiation]. Kyiv : ISP NPP NASU. P. 90–127 [in Ukrainian].
5. Kovalskiy, O. V., Mechev, D. S., & Danylevych, V. P. (2013). Radiolohiia. Promeneva terapiia. Promeneva diahnostyka [Radiology. Radiation therapy. Radiation diagnostics]. Vinnytsia : Nova Knyha. P. 27–29 [in Ukrainian].
6. Polishchuk, Ye. S., Dorozhovets, M. M., Yatsuk, V. O., et al. (2012). Metrolohii ta vymiriuvalna tekhnika [Metrology and measuring equipment]. Lviv : Lviv Polytechnic. P. 515–520 [in Ukrainian].
7. Chernyavskiy, I. Yu. (2015). Tekhnichni zasoby radiatsiinoho, khimichnogo ta biolohichnogo zakhystu [Technical means of radiation, chemical and biological protection]. Kharkiv : NUTSZU. P. 54–58 [in Ukrainian].
8. Chernyavskiy, I. Yu., Marushchenko, V. V., & Martynyuk, I. M. (2011). Viyskova dozymetriia [Military dosimetry]. Kharkiv: FVP NTU "KhPI". P. 144–153 [in Ukrainian].
9. Abaza, A. M. H. (2018). New Trend in Radiation Dosimeters. *American Journal of Modern Physics*, 7 (1), 21–30. <https://doi.org/10.11648/j.ajmp.20180701.13> [in English].
10. Sievert, R. M. (2010). A Method for the Automatic Recording of Ionizing Radiation. *Acta Radiologica*, 51 (sup188), 224–234. <https://doi.org/10.3109/00016925909177091> [in English].



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу
CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 20.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 19.02.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 27.04.2026