

Грудінін Д.Ю., Поліщук А.О., Яцуненко В.П., Іванова І.М.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», Берестейський проспект, 37, Київ,
email: dmygryk@gmail.com

СУЧАСНІ ДЕТЕКТОРИ РАДІАЦІЇ: ПРИНЦИП ДІЇ ТА ПРИКЛАДИ ДЕТЕКТОРІВ

***Анотація.** В роботі розглядаються методи детекції іонізуючого випромінювання та типи радіаційних детекторів. Зокрема, розглянуто напівпровідникові, сцинтиляційні та черенковські детектори. Приділено увагу фізичним принципам, на яких працюють радіаційні детектори.*

***Abstract.** This paper investigates the methods for ionizing radiation detection and the types of radiation detectors. In particular, semiconductor, scintillation, and Cherenkov detectors are considered. The physical principles on which the ionizing radiation detectors work are highlighted.*

***Ключові слова:** іонізуюче випромінювання, радіація, детектор іонізуючого випромінювання, напівпровідниковий детектор, сцинтиляційний детектор, черенковський детектор.*

***Keywords:** ionizing radiation, ionizing radiation detector, semiconductor detector, scintillation detector, Cherenkov detector.*

Детектування іонізуючого випромінювання є актуальною проблемою як в науці, так і в техніці, з огляду на розвиток фізики ядра і елементарних частинок; використання ядерних реакторів, де потрібно моніторити радіаційний фон тощо [1]. Мета даної роботи – огляд основних принципів реєстрації радіації, та розгляд декількох типів детекторів радіації.

Іонізуюче випромінювання можна зареєструвати лише за рахунок його взаємодії з речовиною [2]. Його можна поділити на дві групи: заряджені і незаряджені частинки. Заряджені частинки взаємодіють з речовиною переважно через кулонівські сили, внаслідок чого відбувається її іонізація під час проходження частинки. Натомість незаряджені частинки мають значно меншу ймовірність взаємодії з матеріалом, і тому їх кількість при проникненні в речовину зменшується експоненційно [2]. У процесі проходження крізь речовину частинки або взаємодіють із нею, повністю чи частково передаючи свою енергію електронам або ядрам, або не залишають помітного впливу, проходячи крізь матеріал без взаємодії [3]. На основі цих фізичних процесів працюють радіаційні

детектори: для заряджених частинок це, як правило, іонізація або збудження атомів у середовищі детектора, гальмівне випромінювання, черенковське та перехідне випромінювання, при яких реєструються фотони. Для незаряджених частинок важливу роль відіграють процеси розсіяння та поглинання фотонів, ядерні реакції між адронами та ядрами речовини детектора, а також слабка взаємодія, що, зокрема, лежить в основі детектування нейтрино [1, 2].

Для аналізу основних характеристик детектора необов'язково знати точні фізичні процеси, що відбуваються всередині нього. Достатньо розглядати його як пристрій, який на вхід отримує частинки, а на виході видає сигнали [4]. Властивості детектора можна описати функцією відгуку $G(E; t; V; t')$, яка визначає густину імовірності появи в детекторі сигналу з амплітудою V в час t' , якщо в час t в детектор потрапила частинка з енергією E . Інтеграл від $G(E; V)$ по dV дасть сумарну густину імовірності появи сигналу. Відношення сигналів, що з'являються, до знайденої величини дасть число частинок, що потрапили в детектор [4].

Напівпровідниковий детектор складається з катода, анода та напівпровідника між ними. В першому наближенні це іонізаційна камера із твердим діелектриком між електродами [4]. При дії на детектор радіації з'являються носії заряду, які збираються на електродах унаслідок дії зовнішнього електричного поля. Утворений при цьому струм дозволяє реєструвати іонізуюче випромінювання [4].

Сцинтиляційний детектор складається із ФЕП (фотоелектронного помножувача) та сцинтилятора (матеріалу, що під дією радіації починає випускати фотони видимої або ультрафіолетової частини спектра) [4,5]. ФЕП перетворює світло від сцинтилятора на електричний імпульс: фотони потрапляють на фотокатод ФЕП, з якого завдяки фотоэффекту вибиваються електрони. Зовнішнє електричне поле фокусує електрони на систему динодів, на яких відбувається вторинна електрона емісія, внаслідок якої на анод в кінці надходить на кілька порядків більше електронів. Електричний струм далі реєструється схемами, фіксуючи появу радіації [4].

Черенковські лічильники детектують черенковське випромінювання – фотони, які випромінюються швидкими зарядженими частинками, що рухаються у оптично прозорому діелектрику зі швидкістю, яка перевищує швидкість світла в цьому діелектрику [2]. Якщо частинка з імпульсом p має масу m , то існує деяке порогове значення імпульсу p_{th} (черенковський поріг), таке, що якщо $p < p_{th}$, то черенковське випромінювання не виникає [4]: $p_{th} = \frac{mc^2}{\sqrt{n^2-1}}$, де n – показник

заломлення середовища. Тож якщо відомий p , то можна підібрати середовище з таким n , щоб ловити лише частинки, які є достатньо легкими, щоб їхня швидкість (імпульс) перевищувала черенковський поріг [2]. При цьому їхній імпульс можна одночасно вимірювати за допомогою викривлень у магнітному полі. Це дозволяє розрізняти види частинок і вимірювати їхню енергію [2].

У найпростішому черенковському пороговому лічильнику заряджена частинка входить в середовище-діелектрик і утворює черенковські фотони. Відбиваючись від внутрішніх стінок, вони падають на фотопомножувач, що конвертує їх у електричний струм, який і вказує на наявність радіації [2]. У складніших порогових лічильниках використовуються декілька послідовних камер з різними діелектриками, що дозволяє змінювати значення черенковського порогу. Різні частинки тоді затримуються в різних камерах; це дозволяє розрізняти типи заряджених частинок [2].

Отже, іонізуюче випромінювання реєструється завдяки його взаємодії із матеріалом детектора. Заряджені й незаряджені частинки по-різному взаємодіють із речовиною, і детектуються теж по-різному. Детектор радіації – це пристрій, на вхід якого надходить іонізуюче випромінювання, яке він перетворює на сигнал. В одному пристрої для вимірювання радіації може бути поєднано декілька типів детекторів. Напівпровідникові, сцинтиляційні та черенковські детектори – лише кілька з багатьох типів детекторів радіації, які застосовуються сьогодні.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Amgarou, K., & Herranz, M. (2021). State-of-the-art and challenges of non-destructive techniques for in-situ radiological characterization of nuclear facilities to be dismantled. *Nuclear Engineering and Technology*, 53(11), 3491–3504.
- [2] Kolanoski, H., & Wermes, N. (2020). *Particle detectors: Fundamentals and applications*. Oxford University Press.
- [3] Knoll, G. F. (2010). *Radiation detection and measurement* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- [4] Абрамов, А. И., Казанский, Ю. А., & Матусевич, О. С. (1985). *Основы экспериментальных методов ядерной физики* (3-е изд.). Энергоатомиздат.
- [5] Tsoulfanidis, N., & Landsberger, S. (2021). *Measurement and detection of radiation* (5th ed.). CRC Press.