

Зміст

Список умовних скорочень	4
Вступ	5
Розділ I: ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЯДЕРНОЇ ФІЗИКИ	7
Розділ II: ДОЗА. ДОЗИМЕТРІЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ	11
Розділ III: ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ, ОСНАЩЕННЯ РАДІОЛОГІЧНОГО ВІДДІЛЕННЯ Й ЛАБОРАТОРІЇ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РАДІОМЕТРИЧНИХ І ДОЗИМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	22
Розділ IV: БІОЛОГІЧНА ДІЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. РАДІОЧУТЛИВІСТЬ	27
Розділ V: ТИПИ РАДІАЦІЙНИХ УРАЖЕНЬ	37
Розділ VI: РАДІАЦІЙНА СИТУАЦІЯ ПІСЛЯ АВАРІЇ НА ЧАЕС ..	80
Розділ VII: ДІЯ МАЛИХ ДОЗ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ	87
Розділ VIII: ВІДДАЛЕНІ НАСЛІДКИ АВАРІЙ НА АТОМНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ	92
Розділ IX: ДИСПАНСЕРИЗАЦІЯ ОСІБ, ЯКІ КОНТАКТУЮТЬ ІЗ ДЖЕРЕЛАМИ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ	95
Розділ X: МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАТОЛОГІЧНИХ ЗМІН У ОРГАНІЗМІ ПІД ДІЄЮ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ	101
Розділ XI: РАДІОПРОТЕКТОРИ	104
Розділ XII: СУЧАСНА КОНЦЕПЦІЯ РАДІОЗАХИСНОГО ХАРЧУВАННЯ	140
Література	151
Тлумачний словник	159
ДОДАТОК	165
1. Основні радіопротектори.....	165
2. Основні лікарські засоби й харчові добавки.....	174

Список умовних скорочень

Бк	– бекерель
бер	– біологічний еквівалент рентгена
ВПД	– вхідна поверхнева доза
ГПХ	– гостра променева хвороба
Гр	– грей
ДНК	– дезоксирибонуклеїнова кислота
Зв	– зіверт
ІВ	– іонізувальне випромінювання
ІДК	– індивідуальний дозиметричний контроль
ІХС	– ішемічна хвороба серця
Кі	– кюрі
ЛД	– летальна доза
МеВ	– мегаелектрон-вольт
мЗв/рік	– мілізіверт/рік
МАГАТЕ	– міжнародна агенція з атомної енергії
МПУ	– місцеві променеві ураження
НРБУ-97	– Норми радіаційної безпеки України (1997)
ОСПУ	– основні санітарні правила протирадіаційного захисту України
ПЕД	– потужність експозиційної дози
Р	– рентген
Р/год	– рентген/год
Р/с	– рентген/секунду
Р/хв	– рентген/хв
СОД	– сумарна осередкова доза
ХПХ	– хронічна променева хвороба

*«Радіація – це промінь
зірок, тож ставимось
до нього з благоговінням,
щоб він грів людей,
а не спопеляв»
М. І. Пилипенко*

Вступ

Нині людство живе в період стрімкого розвитку атомної енергетики, масштабного використання радіонуклідів та інших джерел іонізуючого випромінювання в промисловості, сільському господарстві, інших галузях народного господарства, у тому числі й у медицині.

Проте поряд із позитивними аспектами використання ядерної енергії є й негативні. Насамперед це погіршення екологічних умов за рахунок збільшення антропогенного радіаційного фону, забруднення навколишнього середовища відходами атомного виробництва. Саме у зв'язку із застосуванням у промисловості ядерних технологій, при яких неухильно зберігається ризик виникнення аварійних ситуацій, особливої актуальності набуває питання про небезпечність іонізуючої радіації й ефективність наявних засобів захисту. В Україні проблема біологічної дії іонізуючої радіації, особливо малими дозами, і захисту від неї продовжує залишатися однією з фундаментальних проблем у комплексі медико-біологічних наук.

Нині ця проблема надзвичайно актуальна у зв'язку з катастрофою на Чорнобильській АЕС, яка за своєю техногенною дією визнана наймасштабнішою катастрофою у світі. Чимало людей, у тому числі й учасники ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС, отримали різні дози іонізуючого опромінення, що несприятливо позначилось на організмі, передусім на нервовій, ендокринній, імунній системах і на генетичному апараті.

Тому засвоєння основ радіаційної медицини вкрай потрібне не лише медикам, біологам, а й представникам інших професій.

Радіаційна медицина – наука, яка вивчає особливості впливу іонізуючого випромінювання на організм людини, принципи лікування променевих уражень і запобігання можливим наслідкам опромінен-

ня населення. Радіаційна медицина охоплює широке коло проблем і тісно пов'язана з такими науками як ядерна фізика, біологія й інші галузі природознавства.

Пропонований підручник складений відповідно до програми з навчальної дисципліни «Радіаційна медицина» підготовки фахівців другого (магістерського) рівня вищої освіти за вимогами до підручників для студентів закладів вищої медичної освіти України III–IV рівнів акредитації. Може бути корисним для лікарів-інтернів, клінічних ординаторів і студентів університетів при вивченні навчальних дисциплін загальнобіологічного й екологічного профілів.

Автори-упорядники, крім особистого досвіду, використали багаторічний досвід праці в галузі радіаційної медицини провідних фахівців України, а також останні дані літератури, інструкції й нормативні документи й не претендують на авторство наведених положень і фактів, оскільки більшість із них узято з перерахованих у бібліографічному покажчику робіт.

Розділ I: ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЯДЕРНОЇ ФІЗИКИ

Теорії будови ядра атома

1. Планетарна модель будови атома Резерфорда-Бора. Модель атома за Резерфордом має такий вигляд:

1) увесь позитивний заряд атома і майже вся його маса зосереджені в атомному ядрі – ділянці, яка займає дуже малий об'єм порівняно з усім об'ємом атома (лінійні розміри ядра приблизно дорівнюють $10^{-15} - 10^{-14}$ м, а лінійні розміри атома – 10^{-10} м). Пізніше було встановлено, що ядро атома завжди містить ціле число позитивних елементарних зарядів, тобто заряд ядра виражається формулою $q = Ze$, де e – елементарний заряд; Z – номер хімічного елемента в таблиці Менделєєва;

2) навколо ядра з великою швидкістю коловими орбітами рухаються електрони подібно до планет навколо Сонця. Радіус колової орбіти найвіддаленішого від ядра електрона – це радіус атома;

3) сумарний негативний заряд електронів дорівнює позитивному заряду ядра – атом у цілому нейтральний;

4) електрон утримується на орбіті кулонівською силою притягання до ядра, яка надає електрону доцентрового прискорення.

2. Крапельна модель. Ядро подібне до краплі, в якій функцію міжмолекулярних сил зчеплення виконують ядерні сили. При збільшенні кількості протонів слабшає енергія зв'язку частин у ядрі через употужнення кулонівських сил. За крапельною моделлю для того, щоб ядро було стабільним, співвідношення між числом протонів і атомною вагою має бути строго визначеним і дорівнює:

$$N = \frac{A}{1,98 + 0,015 \times A^{2/3}},$$

де N – число протонів,

A – атомна вага.

При зміні співвідношення між нейтронами і протонами ядро стає нестабільним або через збільшення кількості нейтронів, або через її зменшення. Як і в краплі, поверхня ядра може коливатися, і при підвищенні амплітуди коливань ядро може ділитися з виходом частин, що аналогічно випаровуванню молекул.

3. Оболонкова модель. Спостерігали, що збуджені атоми, як і ядра, виділяють електромагнітне випромінювання у вигляді гамма-

квантів. Крім того, було визначено, що аналогічно хімічній стабільності при збільшенні атомної маси періодично повторюється підвищена стійкість ядер. Особливо стійкі й поширені в природі атоми, де протонів 2, 8, 20, 50, 82 і нейтронів 2, 8, 20, 50, 82, 126. Це He, O, Ca, Rv.

Згідно з оболонковою моделлю:

1. Нуклони розташовані на енергетичних рівнях, де може бути не більше одного протона й одного нейтрона;
2. Групи близьких рівнів утворюють оболонку;
3. Оболонки заповнюються за принципом мінімальної енергії;
4. При збудженні ядра нуклони можуть переходити на вищий енергетичний рівень, повернення їх на попередній рівень супроводжується виділенням енергії у вигляді гамма-кванта. Коли квантовий перехід утруднений, ядро може більш чи менш довго залишатися збудженим (метастабільний ізомер).

Види випромінювання: електромагнітне й корпускулярне.

Властивості випромінювань:

1. Проникна властивість;
2. Іонізуюча;
3. Фотохімічна дія;
4. Світлозбуджувальна дія;
5. Властивість змінювати електропровідність напівпровідників;
6. Біологічна дія.

Радіоактивність – це властивість мимовільного перетворення ядер одного елемента на ядра іншого з випромінюванням енергії у вигляді променів, у тому числі й іонізуючих. Виділяють природну і штучну радіоактивність. Ядро стабільне (за крапельною теорією) тому, що нейтрони і протони тримаються один біля одного ядерними силами.

Властивості ядерних сил:

1. Це найсильніші в природі з відомих, бо нічим не можна порушити стабільне ядро;
2. Вони зарядово незалежні (об'єднують протони й нейтрони);
3. Діють лише на дуже коротких відстанях, оскільки природа цих сил квантова й пов'язана з обміном нуклонів π^\pm -мезонами, які утворюють тонку хмару навколо протонів і нейтронів. Обмін π^\pm -мезонами можливий лише на відстані не більше 10^{-15} м, тому вони діють тільки в ядрі.

4. Ядерні сили можуть насичуватися, бо кожен нуклон може взаємодіяти тільки з обмеженою кількістю найближчих до нього нуклонів.

Розпад ядер супроводжується випромінюванням енергії у вигляді альфа-, бета-, гамма-випромінювання й інших. Є три радіоактивні сімейства: ${}^{238}_{92}\text{U}$ урану, ${}^{238}_{90}\text{Th}$ торію, ${}^{235}_{92}\text{Ua}$ ураноактинію, ${}^{222}_{89}\text{Ac}$ актинію.

Усі вони розпадаються до різних ізотопів свинцю.

Види розпадів:

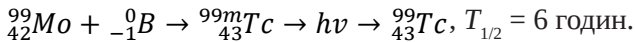
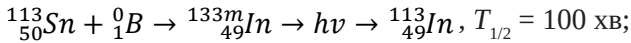
1. Альфа-розпад ${}_Z^aX \rightarrow {}_2^4\alpha + {}_{Z-2}^{a-4}y + Y$ – за надлишку протонів і нейтронів;

2. Бета-розпад ${}_Z^aX \rightarrow {}_{-1}^0e + {}_{Z+1}^ay + Y$ – за надлишку нейтронів він перетворюється в протон, що супроводжується випромінюванням електрона;

3. Позитронний розпад ${}_Z^aX \rightarrow {}_{+1}^0e + {}_{Z-1}^ay + \nu$ – мало нейтронів, протон перетворюється в нейтрон, випромінюючи позитрон;

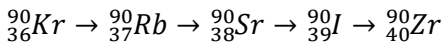
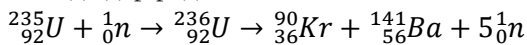
4. Електронний захват ${}_Z^aX + {}_{+1}^0e \rightarrow {}_{Z-1}^ay + Y$ – мало нейтронів.

При бета- й альфа-розпаді утворене нове ядро перебуває в збудженому стані, що супроводжується (за оболонкової моделі) випромінюванням γ -променів, це найчастіше відбувається миттєво, але іноді збуджений рівень живе навіть понад годину – це метастабільний стан ядра. Такі ядра випромінюють тільки γ -кванти. Це явище використовують у генераторах, які застосовуються для мічення різних сполук за радіоізотопної діагностики.

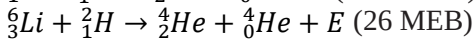
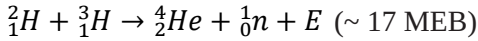


Це приклади ізомерного переходу. Після розпаду ядра якийсь нуклон у ньому переходить на вищий енергетичний рівень. Повертаючись назад, він випромінює гамма-квант. Якщо він по дорозі вибиває електрон, то це приклад ще одного виду розпаду, який називається внутрішньою конверсією.

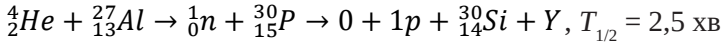
Розпад ядер радіоактивних елементів.



Синтез ядер :



Штучна радіоактивність. У 1934 році Ірен Жоліо Кюрі й Фредерік Жоліо Кюрі вперше отримали радіоактивний елемент.



Одночасно вони відкрили позитронний розпад, але не змогли розпізнати нейтрон. Його відкрив англійський фізик Чедвік, а італійський фізик Фермі використав нейтрони для створення штучних радіоактивних елементів:

1. Зі швидкими нейтронами (20–0,5 МЕВ) ${}^A_Z\text{X}/\text{n} \rightarrow {}^A-Z-2_{Z-2}\text{Y}$;
2. З проміжними нейтронами (500–0,5 КЕВ) ${}^A_Z\text{X}/\text{n} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y}$;
3. З повільними нейтронами (до 0,5 ЕВ) ${}^A_Z\text{X}/\text{n} \rightarrow {}^A+1_Z\text{X}$.

Закон радіоактивного розпаду: за однаковий проміжок часу розпадаються однакові частини нестійких атомів:

$$A = A_0 e^{-\lambda t},$$

де e – основа натурального логарифму;

λ – постійна розпаду, яка визначається кількістю атомів, що розпадаються за одиницю часу;

t – час розпаду.

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}},$$

де $0,693 = |\ln 2|$

$T_{1/2}$ – час, за період якого розпадається половина початкової кількості атомів.

$T_{1/2}$ і T_6 визначають $T_{\text{еф}}$ (ефективне) – ефективний період напіввиведення.

$$T_{\text{еф}} = \frac{T_6 \times T_{1/2}}{T_6 + T_{1/2}},$$

де T_6 – біологічний період напіввиведення.

Активність – міра, кількість розпадів за одиницю часу. Її вимірюють у Бк і Кюрі. 1 Бк = 1 розпад за 1 сек.

1 Кюрі = $3,7 \times 10^{10}$ розпадів за 1 сек. одного грама радію.

Розділ II: ДОЗА. ДОЗИМЕТРІЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Доза – це енергія, передана іонізуючим випромінюванням елементарному об'єму або масі речовини, що опромінюється. Для кількісної характеристики квантового випромінювання введена величина, названа експозиційною дозою, – X-доза, поглинена в повітрі. В одиницях СІ вимірюється в кулонах/кг. 1 кулон/кг дорівнює експозиційній дозі рентгенівського або гама-випромінювання, при якому з'єднана корпускулярна емісія в 1 кг сухого атмосферного повітря виробляє іони, які несуть електричний заряд кожного знака, рівний 1 кл. Позасистемна одиниця – 1 рентген – дорівнює дозі випромінювання, при якій з'єднана з рентгенівським або гамма-випромінюванням корпускулярна емісія утворює на 0,001293 г (1 см³) повітря іони, які несуть заряд у одну електростатичну одиницю кількості електричності кожного знака:

$$D = f x,$$

де коефіцієнт пропорційності для рентгенівського $f = 0,873$;

D – доза поглинання; x – доза експозиційна.

Поглинена доза. Дія іонізуючої радіації на речовину проявляється в порушенні й іонізації молекул, які входять до її складу. Показником цього впливу служить «поглинена доза».

Поглинена доза – величина енергії, поглинута в одиниці маси речовини, що опромінюється. В одиницях СІ вимірюється в греях, 1 Гр = 1 Дж/кг, тобто дорівнює дозі іонізуючого випромінювання, при якому речовині масою 1 кг передається енергія в 1 Дж. У позасистемних одиницях – рад (Radiation Absorbed Dose). 1 рад = 100 ерг/г і дорівнює дозі, коли масі 1 кг передається 0,01 Дж енергії. Потужність дози Гр/с – для поглиненої дози, а А/кг – для експозиційної.

Еквівалентна доза. Різні види іонізуючих випромінювань діють на тканини по-різному, оскільки ушкодження тканини іонізуючим випромінюванням пов'язане не тільки з кількістю поглиненої енергії, а і з просторовим розподіленням дози. Останнє характеризується лінійною щільністю іонізації. Установлено, що чим вища ця щільність, тим вищий ступінь біологічного ушкодження. Для обліку цього чинника введено поняття «еквівалентна доза».

Еквівалентна доза випромінювання – це така поглинена доза будь-якого випромінювання, яка при опроміненні створює такий же

біологічний ефект, як і 1 Гр поглиненої дози рентгенівського або гама-випромінювання. Еквівалентна доза визначається рівністю

$$H = D \times G,$$

де D – поглинена доза, а G – безрозмірний коефіцієнт якості, призначений тільки для використання в сфері радіаційного захисту, що й характеризує біологічну ефективність іонізуючого випромінювання цього виду.

Коефіцієнт якості показує, в скільки разів даний вид опромінення має сильнішу біодію, ніж квантове, при однаковій поглиненій дозі енергії в одиницях маси речовини. Вимірюється в системі СІ в зівертах:

$$1 \text{ Зв} = \frac{1 \text{ Гр}}{K} = \frac{1 \text{ Дж/кг}}{K};$$

у позасистемних одиницях – у берах

$$1 \text{ бер} = \frac{1 \text{ рад}}{K} = \frac{0,01 \text{ Дж/кг}}{K}.$$

Відносна біологічна ефективність (ВБЕ) різних видів іонізуючих випромінювань

ВБЕ	Вид випромінювання
1	Рентгенівське і гальмівне випромінювання
1	Гамма-випромінювання
1	Бета-частинки, електрони
10	Альфа-частинки
3	Повільні нейтрони
10	Швидкі нейтрони
10	Важкі іони, ядра віддачі

У зв'язку з тим, що опромінення тіла людини відбувається нерівномірно, в інтересах радіаційної безпеки потрібно оцінити можливу шкоду здоров'ю людини від опромінення різних органів. Із цією метою вводиться поняття «ефективна еквівалентна доза» (H_E), величини якої визначається як:

$$H_E = \sum_m \omega_m H_m,$$

де H_m – середнє значення еквівалентної дози в органі чи тканині;

ω_m – коефіцієнт, який відображає відношення шкоди опромінення органа або тканини «m» до шкоди від опромінення всього тіла при однакових еквівалентних дозах.

Ефективна еквівалентна доза – це доза, рівномірно поглинена всім тілом, що і створює такий же ризик виникнення шкоди для здоров'я від окремих стохастичних ефектів, як і фактичні дози, поглинені в окремих органах або тканинах. При переході від реально поглинених доз у органах і тканинах до ефективної дози використовуються спеціальні коефіцієнти, які зважують.

Значення тканинних вагових факторів для різних органів і тканин людини (М. П. Мащенко, 1999)

Органи і тканини	ω_m
Статеві залози	0,20
Молочна залоза	0,05
Червоний кістковий мозок	0,12
Легені	0,12
Щитоподібна залоза	0,05
Кістки (поверхня)	0,01
Ободова кишка	0,12
Шлунок	0,12
Сечовий міхур	0,05
Печінка	0,05
Стравохід	0,05
Шкіра	0,01
Інші органи (тканини)	0,025

Обов'язковою умовою дотримання правил радіаційної безпеки є реєстрація й точний кількісний облік величин, що характеризують взаємодію іонізуючих випромінювань із речовиною, у тому числі й біологічною.

Дозиметрія – це визначення кількості й якості іонізуючих випромінювань. За допомогою дозиметрії вирішують два принципові питання:

- пошук джерела випромінювання, визначення його виду, кількості й енергії;

- визначення ступеня впливу випромінювання на об'єкт, що опромінюється.

В основі будь-якого методу реєстрації лежить кількісна оцінка процесів, що відбуваються в опроміненій речовині. Першим приладом для реєстрації випромінювань була камера Вільсона, яку він заповнював повітрям або водяною парою. Якщо крізь таку камеру пропускати альфа-промені радіоактивної речовини, то альфа-частки будуть вибивати із зовнішніх оболонок атомів газу електрони, перетворюючи молекули газу на іони. Якщо охолодити газ, який міститься в камері, і знизити тиск, то відбудеться конденсація пари і шлях альфа-часток матиме вигляд тоненьких смужок туману, які можна сфотографувати.

У радіаційно-гігієнічній практиці й медичній радіології набули широкого застосування лічильники заряджених частинок. Залежно від принципу дії є лічильники іонізаційні, напівпровідникові (кристалічні), сцинтиляційні, черенківські. Принцип роботи лічильника Черенкова – сцинтиляційний, але замість люмінофору використовується речовина, в якій під дією випромінювання вибиваються швидкі електрони (видиме черенківське випромінювання). Зупинимося на кожному з них окремо.

Іонізаційний принцип реєстрації лежить у основі роботи іонізаційних лічильників. До них належать пропорційні лічильники й лічильники із самостійним розрядом – лічильники Гейгера-Мюллера. Це газонаповнені торцеві або циліндричні конденсатори-лічильники, які реєструють кожен заряджену частинку, що потрапила в лічильник.

Напівпровідникові (кристалічні) лічильники – це теж іонізаційні лічильники, в яких частинка, що пролітає, породжує електрони провідності й «дірки» у напівпровіднику. Невеликих розмірів пластинки із сірчаного кадмію (CdS), сірчаного цинку (ZnS), алмазу, хлористого срібла (AgCl), германію, кремнію та інших включаються у спеціальну радіотехнічну схему. На пластинку спрямовують потік частинок, який слід виміряти. Частинка, яка проникає в напівпровідник, породжує в ньому велику кількість носіїв струму: електронів провідності й «дірок». Напівпровідник стримує провідність, яка миттєво вплине на зростання електричного струму. Вимірювальний прилад проградуєований так, що він покаже не силу струму, а кількість частинок, які потрапили на пластинку. За кількістю зареєстрованих імпульсів роблять висновок про кількість частинок, що потрапили на пластинку.

Простота пристрою й експлуатації, малі розміри, висока чутливість, швидке зростання імпульсу струму – переваги кристалічних лічильників.

Лічильники газорозрядні мають зовнішній циліндр і тонкий металевий натягнутий по осі циліндра й ізольований від нього дріт. На лічильник подається напруга порядку 1000–1400 В. Лічильник на 90 % заповнений паром ізопентанового спирту (10 %). Тиск – 50–100 мм рт. ст. Заряджена частинка, що потрапила в лічильник, утворює велику кількість пар іонів. Первинні іони (електрони) у сильному електричному полі набувають такої енергії, що починають іонізувати газ у лічильнику і створювати в ньому велику кількість вторинних іонів – газовий розряд, який у електричному ланцюгу дає імпульс струму. Кількість газових розрядів пропорційна кількості частинок, що потрапили в лічильник. Важливий показник лічильника – розрізнявальна спроможність, це кількість імпульсів, яку здатний зареєструвати лічильник за 1 сек. Вона залежить від конструкції й робочої напруги. Зазвичай лічильники працюють у режимі, який знаходиться всередині «плато» (зона Гейгера), коли кількість імпульсів залежить лише від кількості іонізуючих часток або гамма-квантів, що попали на детектор, і мало залежить від зміни напруги.

Сцинтиляційний метод реєстрації базується на реєстрації спалахів світла, які виникають у сцинтиляторі (люмінофорі) під дією іонізуючих випромінювань. Для виготовлення люмінофорів використовують багато неорганічних і органічних сполук: CsI(Tl), NaI(Tl), CdS, антрацен, транс-стильбен, нафталін, тканиноеквівалентні пластмаси з додаванням сірчаного цинку.

Є також рідкі й газоподібні сцинтилятори, які використовують для реєстрації альфа-, бета-часток, а також низькоенергетичного фотонного випромінювання за допомогою фотоелектронного помножувача (ФЕП). Там сцинтиляції перетворюються на електричний струм, величина якого і швидкість лічення пропорційні рівню радіації. ФЕП – це вакуумний прилад, який має фотокатод, кілька диодів, розміщених у скляній трубці під певним кутом один до одного й до анода.

Найчастіше фотокатодом служить сурм'яно-цезієва пластинка. На фотокатод К, діоди й анод А подається певна позитивна напруга, величина якої на кожній наступній парі діодів зростає в порівнянні з напругою на попередній парі. Під дією падаючих світлових квантів

із фотокатода вириваються електрони, які прискорюються напругою між фотокатодом і першим діодом.

Отже, потік електронів від діода зростає й на останньому електроді (аноді) з'являється в мільйони разів більше електронів, ніж їх вилетіло з фотокатода. Ці електрони створюють у ланцюгу ФЕП імпульс струму, який потрапляє в лічильний пристрій. У сцинтиляційному лічильнику розміщують сцинтиляційний кристал безпосередньо біля вікна ФЕП. При проходженні іонізуючих частинок крізь кристал виникають сцинтиляції навіть при слабких імпульсах.

Люмінофор і ФЕП поміщають у світлонепроникний кожух, і єдине джерело світла – це сцинтиляції люмінофора. Іонізаційний метод ґрунтується на вимірюванні іонізації активного об'єму детектора (іонізаційної камери) шляхом вимірювання електричного струму або газових розрядів, що відбуваються в детекторі під дією іонізуючого випромінювання.

Найпростіша іонізаційна камера становить собою наповнену повітрям колбу з двома електродами, яка живиться від джерела постійного струму. Струм вимірюється чутливим гальванометром. Іонізаційні камери – це складова частина багатьох дозиметрів і радіометрів, що використовуються для реєстрації дози, потужності дози, щільності потоку часток.

Електродами можуть бути стінки камери і стержень, закріплені на ізоляторі. Іонізаційні камери бувають плоскими, сферичними, циліндричними й торцевими. Стінки камери виготовляють із повітряно-еквівалентних матеріалів, тобто 1 г такого матеріалу має поглинати стільки ж енергії, як і 1 г повітря. У звичайних умовах газ між електродами є діелектриком і електричний струм не проводить. Якщо заряджена частина проходить між електродами, газ іонізується, створюються вільні електрони й позитивні іони. Під дією електричного поля іони рухаються між електродами і в ланцюгу виникає іонізаційний струм. Його величина пропорційна кількості іонізуючих випромінювань, що потрапили в іонізаційну камеру. При цьому значення напруги має бути таким, що включає можливість рекомбінації іонів (струм насичення). Струм вимірюється чутливим гальванометром.

Іонізаційні камери становлять собою складову частину багатьох дозиметрів, що використовуються для реєстрації доз, потужності дози. Радіолюмінесцентний (фотолюмінесцентний і термолюмінесцентний) метод вимірювання іонізуючих випромінювань полягає

в поглинанні й накопиченні енергії іонізуючого випромінювання спеціальними люмінесцентними детекторами з подальшим перетворенням її на люмінесцентну, інтенсивність якої пропорційна дозі іонізуючого випромінювання й зареєструвати яку можна при термостимуляції (нагріванні) чи фотостимуляції (опроміненні ультрафіолетовим промінням) спеціальним реєструючим приладом. Ця властивість люмінофора пов'язана зі зсувом у структурних ґратках кристалу люмінофора.

До термолюмінофорів належать LiF , CaF_2 , Al_2O_3 , $\text{Mg}_2\text{B}_4\text{O}_7$ та ін. Як фотолюмінофор використовується, наприклад, алюмофосфатне скло. Люмінофори у вигляді порошку, таблеток, гранул тощо використовуються для визначення накопиченої дози. Наприклад, для індивідуальної дозиметрії термолюмінесцентний детектор (ТЛД) вставляють у футляр і носять із собою, коли перебувають у полі іонізуючих випромінювань. Після певного часу накопичення дози детектор розміщують у вимірювальному пристрої, нагріваючи до певної температури (200–230 °С) і на табло або шкалі зі стрілкою визначають накопичену дозу. Детектори заздалегідь калібрують. Термолюмінесцентні детектори мають широкий енергетичний і дозовий діапазон. Такі детектори багаторазового використання і після відповідної термообробки знову придатні для вимірювання доз.

Визначають кілька методів дозиметрії. Один із найдавніших – фотохімічний метод, що базується на здатності випромінювань викликати фотоліз галоїдного броміду срібла (AgBr). При проявленні експонованої фотоплівки срібло відновлюється до металічного й зумовлює її почорніння, інтенсивність якого пропорційна поглинутій енергії випромінювання, тобто дозі. Цей метод використовується, головним чином, для реєстрації індивідуальних доз і є досить чутливим, але потребує уніфікації проявлення плівки й її певної марки.

Хімічний метод базується на вимірюванні виходу незворотних радіаційно-хімічних реакцій, що відбуваються під впливом іонізуючих випромінювань у рідких чи твердих системах, які змінюють своє забарвлення внаслідок радіаційно-хімічних реакцій. До таких реакцій належить радіохімічна реакція окиснення двовалентного заліза у тривалентне. Деякі органічні й неорганічні сполуки теж можуть змінювати свій колір. Зміна забарвлення пропорційна енергії, поглинутій у речовині детектора. Метод використовується для реєстрації високих рівнів радіації.

Основні фізичні величини, що застосовуються в радіаційній біології та їхні одиниці

Фізична величина	Одиниця, її назва, призначення (міжнародне й українське)		Співвідношення між одиницями	
	несистемна	СІ	несистемна і СІ	СІ й несистемна
Активність нукліду в радіоактивного джерела	Кюрі (Ci, Ki)	Бекерель (Бк, Вг)	1 Ки = $3,7 \times 10^{11}$ Бк	1 Бк = $2,7 \times 10^{-11}$ Ки
Експозиційна доза випромінювання	Рентген (Р, R)	Кулон/кг (Кл/кг, C/Kg)	1 Р = $2,58 \times 10^{-4}$ Кл/кг	1 Кл/кг = 3876 Р
Потужність експозиційної дози випромінювання	Рентген за секунду (Р/с, R/c)	Ампер на кг (А/кг, A/kg)	1 Р/с = $2,58 \times 10^{-4}$ А/кг	1 А/кг = 3876 Р/с
Поглинена доза випромінювання	РАД (рад, rad)	Гр (Гр, Gy)	1 рад = 0,01 Гр	1 Гр = 100 рад
Потужність поглиненої дози радіації	Рад за секунду (рад/сек, rad/c)	Гр за секунду (Гр/сек, Gy/c)	1 рад/сек = 0,01 Гр/сек	1 Гр/сек = 100 рад/сек
Інтегральне радіаційне дозування	Рад-грам (рад-г)	Джоуль (Дж)	1 Рад-г = 10^{-5} Дж	1 Дж = 10^5 рад-г
Еквівалентна доза радіації	Бер (бер, rem)	зіверт (Зв, Sv)	1 бер = 0,01 Зв	1 Зв = 100 бер
Потужність еквівалентної дози радіації	Бер за сек (бер/с, rem/c)	зіверт за секунду (Зв/с, Sv/c)	1 бер за сек = 0,013 в/с	1 Зв за с = 100 бер/с

Нейтронно-активаційний метод пов'язаний із вимірюванням наведеної радіоактивності. Застосовується для вимірювання слабких потоків нейтронів або при короткочасній дії великих потоків ней-