

§ 34. ПОГЛИНУТА ТА ЕКВІВАЛЕНТНА ДОЗИ ЙОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

?!

З попередніх параграфів цього розділу ви дізналися про деякі пристрої, що допомогли вченим зрозуміти загальну природу певних процесів у ядерній фізиці. Із цього параграфа ви дізнаєтеся, за допомогою яких приладів можна вимірювати вміст радіоактивних речовин у харчових продуктах, рівень радіації надворі й у шкільному класі.

1 Даємо визначення поглинутої дози йонізуючого випромінювання

Радіоактивні α -, β -, γ -випромінювання чинять значний вплив на живі організми. Потрапляючи в ту чи іншу речовину, радіоактивне випромінювання передає їй енергію. У результаті поглинання цієї енергії деякі атоми і молекули речовини йонізуються, унаслідок чого змінюється їхня хімічна активність. Життєдіяльність будь-якого організму забезпечується хімічними реакціями, що відбуваються в його клітинах, тому радіоактивне опромінення призводить до порушень функцій майже всіх органів.

Чим більшою є поглинута речовиною енергія випромінювання, тим більший вплив цього випромінювання на речовину.

Поглинута доза йонізуючого випромінювання — це фізична величина, яка чисельно дорівнює енергії йонізуючого випромінювання, поглинутій речовиною одиничної маси.

Поглинуту дозу йонізуючого випромінювання позначають символом D і визначають за формулою:

$$D = \frac{W}{m},$$

де W — енергія йонізуючого випромінювання, передана речовині масою m .



Рис. 34.1. Люкс Гарольд Грей (1905–1965) — англійський фізик, працював над проблемами, пов'язаними з впливом опромінювання на біологічні системи, визначив одиницю поглинутої дози випромінювання

Одиниця поглинутої дози йонізуючого випромінювання в СІ — **грей** ($1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$). Свою назву ця одиниця одержала на честь англійського фізика *Л. Грея* (рис. 34.1).

1 Гр — це така поглинута доза йонізуючого випромінювання, за якої речовині масою 1 кг передається енергія йонізуючого випромінювання, що дорівнює 1 Дж.

На практиці часто використовують позасистемну одиницю поглинутої дози — **рад** (її назва походить від англійської аббревіатури: *rad* — *radiation absorbed dose* — поглинута доза радіації). Ці одиниці пов'язані між собою співвідношенням: 1 грей = 100 рад.

2 Визначаємо еквівалентну дозу йонізуючого випромінювання

Біологічний вплив різних видів випромінювання на живі організми є неоднаковим при однаковій поглинутій дозі. Наприклад, за однакової енергії α -випромінювання є значно безпечнішим, ніж β - або γ -випромінювання. З огляду на зазначене вчені ввели спеціальну фізичну величину для характеристики біологічного впливу поглинутої дози — **еквівалентну дозу йонізуючого випромінювання**. Її позначають символом H (іноді використовують $D_{\text{екв}}$).

Еквівалентна доза йонізуючого випромінювання дорівнює поглинутій дозі D , помноженій на коефіцієнт якості K :

$$H = K \cdot D.$$

Коефіцієнт якості K є неоднаковим для різних випромінювань (див. таблицю). Одиниця еквівалентної дози йонізуючого випромінювання в СІ — **зиверт (Зв)**. Цю одиницю названо на честь шведського вченого *Р.-М. Зіверта* (рис. 34.2). Існує також позасистемна одиниця — **бер**: 1 бер = 0,01 Зв.

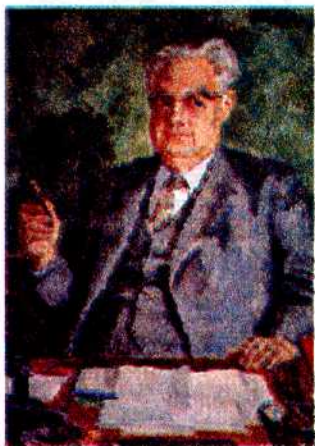


Рис. 34.2. Рольф-Максими-ліан Зіверт (1896–1966) — шведський учений. Працював у галузі медичної фізики, вивчав вплив радіації на біологічні системи

3 Дізнаємося про експозиційну дозу йонізуючого випромінювання

Фізична дія будь-якого йонізуючого випромінювання на речовину пов'язана передусім з йонізацією атомів та молекул. Тому крім поглинутої дози, що характеризує енергію випромінювання, існує фізична величина, яка визначається йонізаційною дією випромінювання. Цю величину називають **експозиційною дозою йонізуючого випромінювання**.

Експозиційна доза йонізуючого випромінювання ($D_{\text{експ}}$) визначається зарядом йонів (того чи іншого знака), що виникають під дією випромінювання в 1 кг сухого повітря:

$$D_{\text{експ}} = \frac{q}{m},$$

де q — заряд йонів, що виникають під дією випромінювання в сухому повітрі масою m .

У СІ експозиційну дозу йонізуючого випромінювання вимірюють у **кулонах на кілограм** ($\frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$).

$1 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$ — це експозиційна доза йонізуючого випромінювання, за якої сумарний заряд усіх йонів одного знака, що утворилися в 1 кг сухого повітря, дорівнює 1 Кл.

На практиці частіше використовують позасистемну одиницю експозиційної дози — **рентген (Р)**, названу так на честь німецького фізика В. Рентгена (рис. 34.3): $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$.

4 Вивчаємо потужність дози йонізуючого випромінювання

Зрозуміло, що доза йонізуючого випромінювання залежить від часу опромінення: чим більший час опромінення, тим більшою є доза випромінювання. Фізики кажуть, що доза випромінювання накопичується з часом.

Відношення дози йонізуючого випромінювання (D) до часу опромінення (t) називають потужністю дози (P_D) йонізуючого випромінювання:

$$P_D = \frac{D}{t}.$$

Одиниця потужності поглинутої дози йонізуючого випромінювання — **грей на секунду** ($\frac{\text{Гр}}{\text{с}}$); одиниця потужності експозиційної дози йонізуючого випромінювання — **рентген на секунду** ($\frac{\text{Р}}{\text{с}}$); одиниця потужності еквівалентної дози йонізуючого випромінювання — **зиверт на секунду** ($\frac{\text{Зв}}{\text{с}}$).

5 Знайомимося з особливостями ушкоджень організмів унаслідок радіації

Дослідження показали, що ушкодження організмів, зумовлені впливом радіації, мають низку особливостей.

По-перше, глибокі порушення життєзабезпечувальних функцій організму викликає навіть невелика кількість поглинутої енергії. Пояснюється це тим, що енергія випромінювання вду-

Коефіцієнти якості деяких видів йонізуючого випромінювання

Вид випромінювання	Коефіцієнт якості (K)
α -випромінювання	20
β -випромінювання	1
γ -випромінювання	1
Нейтрони	5–10
Протони	5



Рис. 34.3. Вільгельм Конрад Рентген (1845–1923) — німецький фізик-експериментатор. За відкриття променів, що згодом були названі його ім'ям, у 1901 р. Рентгену першому серед фізиків присудили Нобелівську премію

чає в особливо чутливу «мішень» — клітину. А найбільш чутливими до радіації є ті клітини, що швидко діляться. Так, першим відчуває дію радіоактивного випромінювання кістковий мозок, унаслідок чого порушується процес кровотворення.

По-друге, різні типи організмів мають різну чутливість до того чи іншого радіоактивного випромінювання. Найстійкішими, наприклад, є одноклітинні.

По-третє, наслідки впливу однакової поглинутої дози випромінювання залежать від віку організму.

Перелічені вище особливості стосуються *зовнішнього опромінення*. Але для вищих тварин і людини є небезпечним й *внутрішнє опромінення*, адже радіонукліди в організм можуть потрапити, наприклад, з їжею. Підвищена небезпека внутрішнього опромінення зумовлена кількома причинами.

По-перше, деякі радіонукліди здатні вибірково накопичуватися в окремих органах. Наприклад, 30 % йоду накопичуються в щитовидній залозі, маса якої становить лише 0,03 % маси тіла людини. Радіоактивний йод, таким чином, усю свою енергію віддає невеликому об'єму тканини.

По-друге, внутрішнє опромінення є тривалим: радіонуклід, який потрапив в організм, не відразу виводиться з нього, а зазнає низки радіоактивних перетворень усередині організму. Радіоактивне випромінювання, яке виникає при цьому, чинить руйнівну дію, йонізуючи молекули й тим самим змінюючи їхню біохімічну активність.

6 Вивчаємо конструкцію та принцип дії йонізаційного дозиметра

Для вимірювання дози йонізуючого випромінювання та її потужності використовують *дозиметри*. Основною складовою будь-якого дозиметра є *детектор* — пристрій, що слугує для реєстрації йонізуючого випромінювання. Залежно від типу детектора розрізняють йонізаційний, люмінесцентний та інші види дозиметрів (рис. 34.4). Так, у йонізаційних дозиметрах детектором є *лічильник Гейгера-Мюллера*, дія якого ґрунтується на властивості радіоактивного випромінювання значно збільшувати провідність газів.

Датчик лічильника Гейгера-Мюллера являє собою скляний циліндр, який зазвичай заповнюють розрідженим інертним газом (рис. 34.5). Стінки циліндра вкриті металевою плівкою, що є катодом. Усередині циліндра натягнуто металевий дріт — анод. Між дротом і стінками циліндра існує сильне електричне поле.

Коли радіоактивне випромінювання потрапляє всередину циліндра, відбувається йонізація атомів газу. Вільні електрони та йони, що виникають унаслідок йонізації, розганяються електричним полем і після ударів об нейтральні атоми розбивають їх на електрони та йони. У результаті в об'ємі циліндра кількість електронів та йонів лавиноподібно зростає. Під дією електричного поля електрони спрямовуються до дроту — через коло проходить імпульс струму, який підсилюється й передається на *приймач*. Якщо приймачем є, наприклад, динамік, то з приладу лунає характерне клацання: чим сильніше радіоактивне випромінювання, тим



Рис. 34.4. Деякі види дозиметрів:
а — йонізаційний; б — люмінесцентний

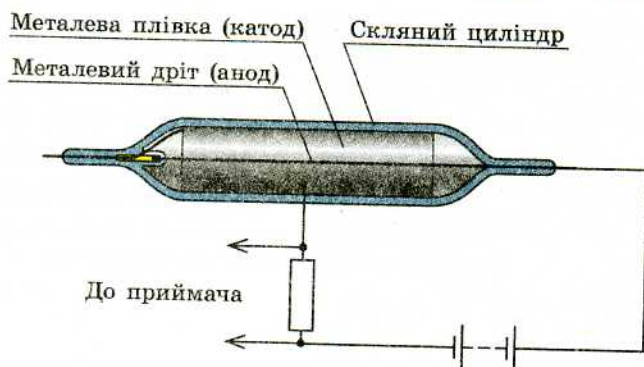


Рис. 34.5. Принципова схема лічильника Гейгера-Мюллера

частіше клацання. Зазвичай приймачем слугує цифровий вимірювальний пристрій. У такому випадку на дисплеї дозиметра з'являється числове значення дози йонізуючого випромінювання.

Підбиваємо підсумки

Фізичну величину, яка чисельно дорівнює енергії W йонізуючого випромінювання, поглинутої речовиною одиничної маси m , називають поглинутою дозою йонізуючого випромінювання D . Поглинуту дозу вимірюють у греях та розраховують за формулою $D = \frac{W}{m}$.

Біологічний вплив йонізуючого випромінювання на організми залежить не тільки від поглинутої дози, але й від особливостей самого випромінювання. Характеристика цього впливу одержала назву еквівалентної дози йонізуючого випромінювання (H): $H = K \cdot D$, де K — коефіцієнт якості; D — поглинута доза. Вимірюється еквівалентна доза випромінювання в зивертах.

Чим триваліший час опромінення, тим більшою є доза йонізуючого випромінювання. Відношення дози D йонізуючого випромінювання до часу t опромінення називають потужністю дози P_D йонізуючого випромінювання:

$$P_D = \frac{D}{t}.$$

Для вимірювання дози йонізуючого випромінювання та її потужності використовують дозиметри.

Контрольні запитання

1. У чому виявляється біологічна дія радіації на живі організми?
2. Дайте визначення поглинутої дози йонізуючого випромінювання. У яких одиницях її вимірюють?
3. Як обчислюють еквівалентну дозу йонізуючого випромінювання? У яких одиницях її вимірюють?
4. Як визначають експозиційну дозу йонізуючого випромінювання? У яких одиницях її вимірюють?
5. Що називають потужністю дози йонізуючого випромінювання?
6. Чим зумовлена підвищена небезпека радіонуклідів, що потрапили всередину організму?
7. Розкажіть про будову та принцип дії йонізаційного дозиметра.