

Урок 126

Тема: Атомна та ядерна фізика

Тема уроку: Дозиметрія. Дози випромінювання, захист від іонізуючого випромінювання

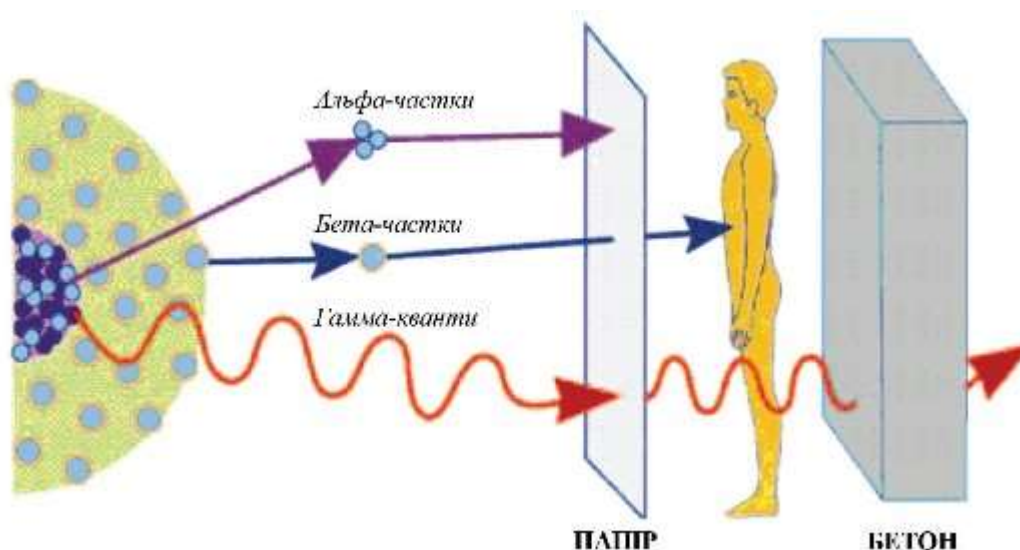
Мета уроку: Розповісти учням про види іонізуючого випромінювання та основні поняття дозиметрії

Важливою властивістю радіоактивності є іонізуюче випромінювання. Небезпеку цього явища для живого організму дослідники виявили із самого початку відкриття радіоактивності. Так, А. Беккерель і М. Кюрі-Складовська, що вивчали властивості радіоактивних елементів, отримали сильні опіки шкіри від випромінювання радію.

Іонізуюче випромінювання – будь-яке випромінювання, взаємодія якого із середовищем приводить до утворення електричних зарядів різних знаків. Розрізняють такі види іонізуючих випромінювань: α -, β -випромінювання, фотонне і нейтронне випромінювання. Ультрафіолетове випромінювання і видиму частину світлового спектру не відносять до іонізуючого випромінювання. Зазначені вище види випромінювання мають різну проникаючу здатність (мал. 3.6), що залежить від носія та енергії випромінювання.

Енергію випромінювання вимірюють в *електрон-вольтах* (eV). За 1 eV прийнята енергія, якої набуває електрон при переміщенні в прискорювальному електричному полі з різницею потенціалів в 1 В. На практиці частіше застосовуються десяткові кратні одиниці: кілоелектрон-вольт ($1 \text{ кеВ} = 10^3 \text{ eV}$) і мегаелектрон-вольт ($1 \text{ МеВ} = 10^6 \text{ eV}$). Зв'язок електрон-вольта із системною одиницею енергії Дж задається виразом: $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Альфа-випромінювання (α -випромінювання) – іонізуюче випромінювання, яке являє собою потік відносно важких частинок (ядер гелію, що складаються з двох протонів і двох нейтронів), що випускаються при ядерних перетвореннях. Енергія частинок складає декілька мегаелектрон-вольт і різна для різних радіонуклідів. При цьому деякі радіонукліди випускають α -частинки кількох енергій.



радіоактивних випромінювань і їх проникаюча здатність

Мал. 3.6. Види

Цей вид випромінювання, маючи малу довжину пробігу частинок, характеризується слабкою проникаючою здатністю, затримуючись навіть листком паперу. Наприклад, пробіг α -частинок з енергією 4 МеВ в повітрі складає 2,5 см, а в біологічній тканині лише 31 мкм. Випромінювання практично не спроможне проникнути через зовнішній шар шкіри, утворений відмерлими клітинами. Тому α -випромінювання не небезпечне до тих пір, поки радіоактивні речовини, що випускають альфа-частинки, не потраплять всередину організму через органи дихання, травлення або через відкриті рани і опікові поверхні. Ступінь небезпеки радіоактивної речовини залежить від енергії частинок, які нею випускаються. Оскільки енергія одного атома складає одиниці-десятки електрон-вольт, кожна α -частинка здатна іонізувати до 100000 молекул усередині організму.

Бета-випромінювання – потік β -частинок (електронів і позитронів), які мають більшу проникаючу здатність в порівнянні з β -випромінюванням. Частки, які випускаються, мають безперервний енергетичний спектр, розподіляючись за енергією від нуля до певного максимального значення, характерного для даного радіонукліда. Максимальна енергія β -спектру різних радіонуклідів лежить в інтервалі від декількох кеВ до декількох МеВ.

Пробіг β -частинок в повітрі може досягати декількох метрів, а в біологічній тканині декількох сантиметрів. Так, пробіг електронів з енергією 4 МеВ в повітрі складає 17,8 м, а в біологічній тканині 2,6 см. Однак вони легко затримуються тонким листом металу. Як і джерела α -випромінювання, β -активні радіонукліди більш небезпечні при попаданні всередину організму.

Фотонне випромінювання включає в себе *рентгенівське* і гамма-випромінювання (γ -випромінювання). Після радіоактивного розпаду атомне ядро кінцевого продукту часто опиняється в збудженому стані. Перехід ядра з цього стану на більш низький енергетичний рівень (в нормальний стан) відбувається з випусканням гамма-квантів. Таким чином, γ -випромінювання має внутрішньоядерне походження і являє собою досить жорстке електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі 10^{-8} – 10^{-11} нм.

Енергія кванта γ -випромінювання E (в еВ) пов'язана з довжиною хвилі

співвідношенням $E = \frac{1230}{\lambda}$, де λ виражена в нанометрах (1 нм = 10^{-9} м).

Поширюючись зі швидкістю світла, γ -промені мають високу проникаючу здатність, значно більшу, ніж α - і β -частинки. Їх може затримати лише товста свинцева або бетонна плита. Чим вище енергія γ -випромінювання і відповідно менше довжина його хвилі, тим вище проникаюча здатність. Зазвичай енергія гамма-квантів лежить в діапазоні від декількох кеВ до декількох МеВ. На відміну від γ -випромінювання рентгенівське має атомне походження, Воно утворюється в збуджених атомах при переході електронів з віддалених орбіт на ближчу до ядра орбіту або виникає при гальмуванні заряджених частинок в речовині. Відповідно перше має дискретний енергетичний спектр і називається характеристичним, друге – безперервний спектр і називається гальмівним. Діапазон енергій рентгенівського випромінювання – від сотень електрон-вольт до десятків кілоелектрон-вольт. Незважаючи на різне походження цих випромінювань, природа їх однакова, і тому рентгенівське і γ -випромінювання називають фотонним випромінюванням. Під дією фотонного випромінювання відбувається опромінення всього організму. Воно є основним фактором ураження при впливі на організм випромінювання від зовнішніх джерел. Нейтронне випромінювання виникає при поділі важких ядер і в інших ядерних реакціях. Джерелами нейтронного випромінювання на АЕС є ядерні реактори, щільність потоку нейтронів в яких становить 10^{10} – 10^{14} нейтронів / (см² · с); ізотопні

джерела, що містять природні або штучні радіонукліди, змішані з речовиною, що випускає нейтрони під впливом бомбардування його α -частинками або γ -квантами. Такі джерела застосовують для градування контрольно-виміральної апаратури. Вони дають потоки порядку 10^7 – 10^8 нейтронів/с.

У залежності від енергії нейтрони поділяють на такі типи: повільні, або теплові (із середньою енергією $\sim 0,025$ eВ); резонансні (з енергією до 0,5 кеВ); проміжні (з енергією від 0,5 кеВ до 0,5 МеВ); швидкі (з енергією від 0,5 до 20 МеВ); надшвидкі (з енергією понад 20 МеВ).

При взаємодії нейтронів з речовиною спостерігаються два типи процесів: розсіяння нейтронів і ядерні реакції, в тому числі вимушений поділ важких ядер. Саме з останнім видом взаємодій пов'язане виникнення ланцюгової реакції, що відбувається при атомному вибуху (некерована ланцюгова реакція) і в ядерних реакторах (керована ланцюгова реакція) і супроводжується виділенням величезних кількостей енергії.

Проникаюча здатність нейтронного випромінювання зіставна з γ -випромінюванням. Теплові нейтрони ефективно поглинаються матеріалами, що містять бор, графіт, свинець, літій, гадоліній і деякі інші речовини; швидкі нейтрони ефективно сповільнюються парафіном, водою, бетоном тощо.

Основні поняття дозиметрії. Маючи різну проникаючу здатність, іонізуючі випромінювання різних типів мають різний вплив на тканини живого організму. При цьому ушкоджень, що викликаються випромінюванням, буде тим більше, чим більша енергія впливає на біологічний об'єкт. Кількість енергії, передана організму при іонізуючому впливі, називається дозою.

Фізичною основою дози іонізуючого випромінювання є перетворення енергії випромінювання в процесі його взаємодії з атомами або їх ядрами, електронами і молекулами опромінюваного середовища, у результаті якого частина цієї енергії поглинається речовиною. Поглинена енергія є першопричиною процесів, що призводять до спостережуваних радіаційно-індукованих ефектів, і тому дозиметричні величини виявляються пов'язаними з поглиненою енергією випромінювання.

Дозу опромінення можна отримати від будь-якого радіонукліда або від їх суміші незалежно від того, перебувають вони поза організмом або всередині нього в результаті попадання з їжею, водою або повітрям. Дози розраховуються по-різному з урахуванням того, який розмір опроміненої ділянки і де вона розташована, одна людина чи група людей піддалася опромінюванню і протягом якого часу це відбувалося.

Кількість енергії, поглиненої одиницею маси опромінюваного організму, називається поглиненою дозою і вимірюється в системі СІ в греях (Гр). Розмірність грею – джоуль, поділений на кілограм маси (Дж / кг). Однак величина поглиненої дози не враховує того, що при однаковій поглиненій дозі α -випромінювання і нейтронне випромінювання набагато небезпечніші, ніж β -випромінювання або γ -випромінювання. Тому для більш точної оцінки ступеня ураження організму величину поглиненої дози треба збільшити на деякий коефіцієнт, що відображає здатність випромінювання даного виду ушкоджувати біологічні об'єкти. Такий коефіцієнт називається радіаційним зважуванням фактором. Його величина для β - і γ -випромінювань приймається рівною 1, для α -випромінювання – 20, для нейтронного випромінювання змінюється в діапазоні 5–20 в залежності від енергії нейтронів.

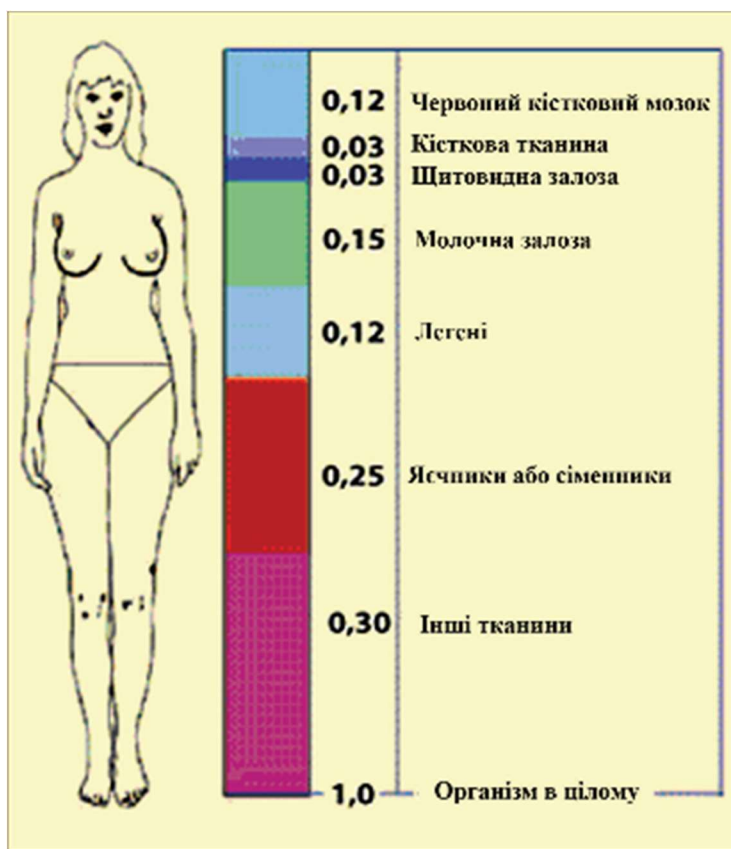
Перераховану таким чином дозу називають еквівалентною дозою, яка в системі СІ вимірюється в зівертах (Зв). Розмірність зіверта така ж, як у грея, – Дж / кг. Доза,

отримана за одиницю часу, класифікується в системі СІ як потужність дози і має розмірність Гр/ с або Зв/с. У системі СІ припустиме застосування несистемних одиниць виміру часу, таких як година, доба, рік, тому при розрахунку доз застосовують такі розмірності, як Зв / год, Зв / доба, Зв / рік.

До цього часу в геофізиці, геології і частково в радіоекології застосовується несистемна одиниця дози – рентген. Ця величина була введена у вжиток ще на зорі атомної ери (в 1928 р.) і використовувалася для вимірювання величини експозиційної дози. Рентген дорівнює такій дозі γ -випромінювання, яка створює в одному кубічному сантиметрі сухого повітря загальний заряд іонів, рівний одній одиниці електричного заряду. При вимірюванні в повітрі експозиційної дози γ -випромінювання використовуються співвідношення між рентгеном і греєм: $1 \text{ Р} = 8,77 \text{ мДж} / \text{кг}$ або $8,77 \text{ мГр}$. Відповідно $1 \text{ Гр} = 114 \text{ Р}$.

У дозиметрії збереглася ще одна позасистемна одиниця – рад, яка дорівнює поглиненій дозі опромінення, при якій 1 кг опромінюваної речовини поглинає енергію, яка дорівнює 0,01 Дж. Відповідно $1 \text{ рад} = 100 \text{ ерг} / \text{г} = 0,01 \text{ Гр}$. У даний час ця одиниця виходить з ужитку.

При розрахунку доз, одержуваних організмом, слід враховувати, що одні частини тіла (органи, тканини) більш чутливі до опромінення, ніж інші. Зокрема, при однаковій еквівалентній дозі ураження легень більш імовірно, ніж, наприклад, щитовидної залози. Міжнародною комісією з радіаційного захисту (МКРЗ) були розроблені перераховочні коефіцієнти, які рекомендується використовувати при оцінці дози опромінення різних органів і біологічних тканин людини (мал. 3.7).



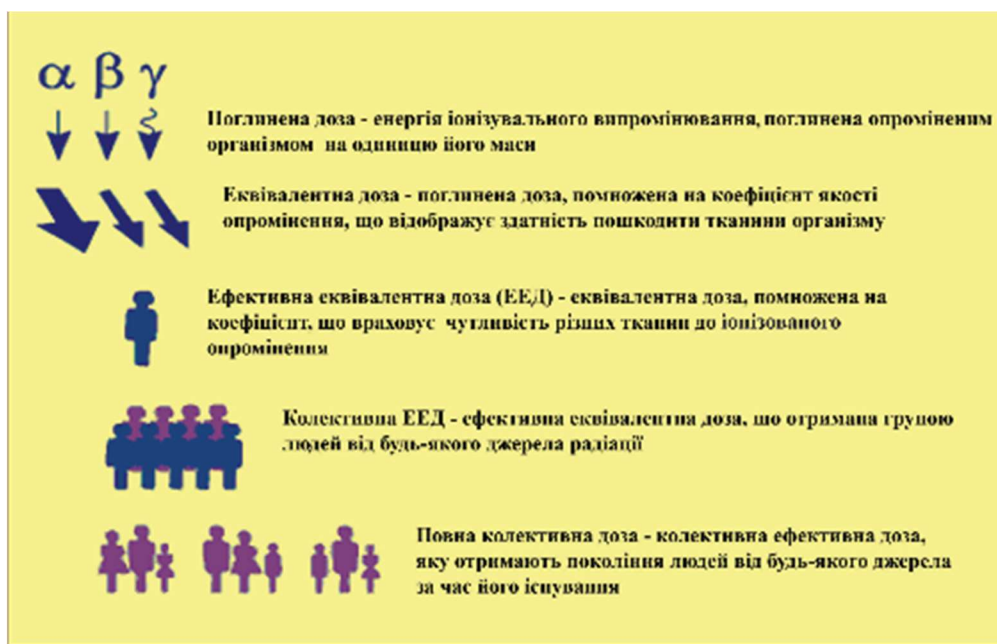
Мал. 3.7. Коефіцієнти радіаційного ризику для різних тканин (органів) людини при рівномірному опроміненні всього тіла

Після помноження величини еквівалентної дози для даного органу на відповідний коефіцієнт і підсумовування її по всім органам і тканинам отримують *ефективну еквівалентну дозу*, яка відображає сумарний ефект від опромінення організму. Ця

доза також вимірюється в зівертах. Описане поняття дози характеризує лише індивідуально одержувані дози.

При необхідності вивчення ефектів дії радіації на групу людей використовується поняття *колективної ефективної еквівалентної дози*, яка дорівнює сумі індивідуальних ефективних еквівалентних доз і вимірюється в людино-зівертах (люд.Зв).

Оскільки багато радіонуклідів розпадаються дуже повільно і будуть діяти на населення у віддаленому майбутньому, колективну ефективну еквівалентну дозу від подібних джерел будуть отримувати ще багато поколінь людей, що живуть на планеті. Для оцінки зазначеної дози введено поняття *очікуваної (повної) колективної ефективної еквівалентної дози*, яка дозволяє прогнозувати ураження групи людей від дії постійних джерел радіації. Для наочності описана вище система понять проілюстрована на мал. 3.8.



представлення системи понять про дози радіаційного опромінювання населення

Мал. 3.8. Узагальнене