

Загальні принципи медичних дій у випадку радіаційної/ ядерної надзвичайної ситуації

Модуль 1. Вступ до медичної радіології та дозиметрії

Лекція 1.

Що таке випромінювання? Особливості іонізуючого випромінювання. Приклади іонізуючих випромінювань. Будова атома. Хімічні елементи і їх ізотопи. Що таке радіоактивність? Одиниці виміру радіоактивності. Закон радіоактивного розпаду. Період піврозпаду для різних радіоактивних ізотопів. Які випромінювання називаються іонізуючими? Класифікація різних типів іонізуючого випромінювання. Електромагнітне випромінювання і його характеристики. Шкала електромагнітних хвиль. Іонізуючі електромагнітні випромінювання. Корпускулярні іонізуючі випромінювання. Характеристики різних видів іонізуючого випромінювання

1

Особливості іонізуючого випромінювання

- Радіацію не можна побачити
- Радіацію не можна відчути
- Не має смаку
- Не можна відчути
- Не має запаху

Що таке випромінювання?

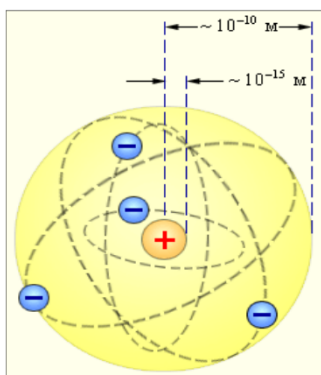
Випромінювання— це передача енергії

Є багато видів енергії (механічна, хімічна, тепла, електрична, ядерна, світлова, звукова)

Ці види енергії відрізняються за формою руху матерії та можуть перетворюватися з одного типу в інший у природних процесах.

БУДОВА АТОМА

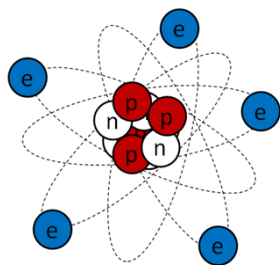
Атом – найменша частинка хімічного елементу, котра зберігає його властивості.



Планетарна модель атома Резерфорда: позитивно заряджене ядро «+», навколо якого рухаються електрони «-».

Будова атома

Атом = ядро (протони+нейтрони) + електрони



Протон (p) – позитивно заряджена частинка з зарядом $1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл та масою $1,673 \cdot 10^{-27}$ кг

Нейтрон (n) – нейтральна частинка масою $1,675 \cdot 10^{-27}$ кг

Електрон (e) – негативно заряджена частинка з зарядом $-1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл та масою $9,109 \cdot 10^{-31}$ кг

Нуклони – загальна назва частинок атомного ядра

5

БУДОВА АТОМА

Радіус атому складає близько 10^{-8} см, а ядра – лише 10^{-12} – 10^{-13} см. У ядрі зосереджено до 99,8% маси атому. Воно складається з нуклонів – протонів і нейтронів

Протон (p) – це елементарна частинка, яка має однаковий з електроном електричний заряд, але позитивний. Маса протону у 1836 разів більша за масу електрону. Протон – це ядро самого простого за фізичною будовою елемента – атому водню, позитивний заряд котрого нейтралізується негативним зарядом електрону.

БУДОВА АТОМА

- *Нейтрон (n) – електрично-нейтральна частинка масою, що дорівнює масі протону. У зв'язку з тим, що нейтрон не має заряду, він не взаємодіє з електрично-зарядженими частинками, не відхиляється в магнітному полі. Тому проникаюча здатність нейтрону у речовину досить значна.*
- *Вважається, що і протон, і нейтрон є одними й тими ж частинками, тільки такими, що знаходяться у різних „зарядових” станах, котрі за певних умов можуть переходити один в одного.*

БУДОВА АТОМА

Кількість нуклонів у ядрі може бути різною і мати назву – масове число A. Кількість протонів позначається літерою Z, яка визначає заряд ядра або кількість електронів в електронній оболонці атома. Кількість нейтронів позначається літерою N.

Тому формулу ядра атома можливо записати так:

$$A = Z + N$$

БУДОВА АТОМА

Атомне ядро включає також багато інших елементарних часток, у т.ч. електрони, позитрони, нейтрино, антинейтрино, мезони.

З радіобіологічної точки зору, крім електронів, серед них, як можливий тип іонізуючих випромінювань, викликають увагу позитрони.

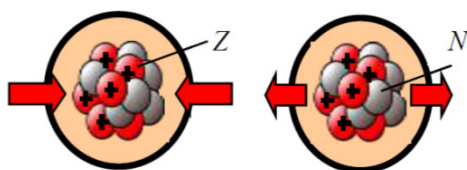
Позитрон – частинка, ідентична за своїми властивостями електрону, але при цьому має еквівалентний позитивний заряд.

Не дивлячись на те, що ці частинки разом з нуклонами, входять до складу ядра, маса ядра у вільному стані менша за суму мас його протонів і нейтронів. Це явище одержало назву *дефект маси*. Воно пояснюється тим, що при поєднанні нуклонів у атомне ядро частина маси не щезає безслідно, а передається випромінюванню, що випускається при виникненні такої системи.

Ізотопи

Щільність ядра надзвичайно велика, досягаючи величезних значень – 200 млн. т/см³

Ізотопи (грец. «ті, що займають однакові місця») – хімічні елементи, ядра атомів яких мають однакову кількість протонів, але різну кількість нейтронів. Між протонами в ядрі діють сили відштовхування, що залежать від їхнього однойменного заряду. Але одночасно між протоном і нейтроном діють сили притягання, що не залежать від заряду частинок



Ядерні сили значно перевершують сили відштовхування протонів

Ядерні сили діють у межах $1,4 \cdot 10^{-13}$ см і на декілька порядків перевищують сили електричного відштовхування між частинками, утримуючи ці частинки у ядрі.

Ядра, які мають співвідношення $N/Z=1-1,6$ є стійкими, а ядра із залишком або нестачею нейтронів – нестійкими.

Зі збільшенням кількості протонів у ядрі сили відштовхування значно збільшуються, а це, як правило, приводить до ослаблення сил притягання настільки, що ядро розпадеться на частини, тобто такі ядра стають нестійкими.

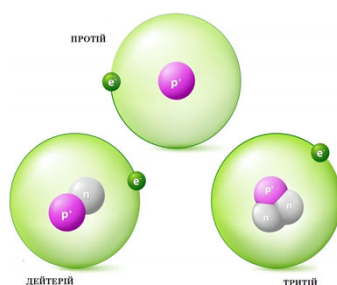
Нестійкі ядра або розпадаються на частини, перетворюючись у ядра нових елементів, або випускають елементарні частинки, перетворюючись у ядра нових елементів без усякого впливу ззовні.

ІЗОТОПИ

- Для 104 елементів періодичної системи Менделєєва відомо більше 1500 ізотопів. Частина з них є в природі, інші отримані штучним шляхом. З них більше ніж 10 % ізотопів розпадаються шляхом альфа-розпаду.

Ізотопи

Ізотопи: природні й штучні



Гідроген:

2 природних ізотопи: протій ($A=1$)

дейтерій ($A=2$)

1 штучний: тритій ($A=3$)

Уран – 3 природних ізотопи

($A = 234, 235$ і 238)

13

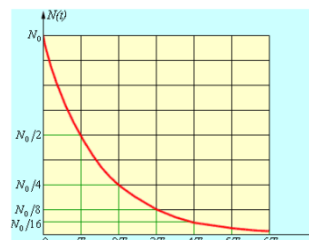
ЩО ТАКЕ РАДІОАКТИВНІСТЬ

Радіоактивність – це здатність ядер атомів хімічних елементів перетворюватися на ядра атомів інших хімічних елементів з виділенням енергії у вигляді іонізуючих випромінювань.

Розпад радіоактивних ядер не залежить від зовнішніх впливів, носить імовірнісний характер і визначається законом радіоактивного розпаду, що виражає зменшення кількості ядер атомів радіоактивної речовини в часі.

Закон радіоактивного розпаду

Час радіоактивного розпаду, протягом якого розпадається половина спочатку наявних ядер радіоактивної речовини, є постійним і називається періодом піврозпаду $T_{1/2}$.



Крива розпаду
радіоактивної
речовини

ПЕРІОД ПІВРОЗПАДУ

Для характеристики швидкості розпаду радіоактивних ізоотопів на практиці користуються величиною, яка одержала назву періоду піврозпаду.

Період піврозпаду – це час, протягом котрого кількість атомів радіоактивного ізоотопу зменшується удвічі. Період піврозпаду позначається індексами $T_{1/2}$ або $T_{0,5}$.

$$10^{-9} \text{ секунди} \geq T_{1/2} \leq 10^{19} \text{ років}$$

Період піврозпаду є індивідуальною характеристикою кожного радіоактивного ізоотопу

Періоди піврозпаду ($T_{0,5}$) деяких радіоактивних ізотопів

Вид піврозпаду	Одиниці розмірності	Приклад	$T_{0,5}$
Короткоживучі	Мікросекунди	^{212}Po , ^{218}Rn	0,3; 35
	Секунди	^{211}Po , ^{219}Rn	0,5; 3,96
	Хвилини	^{81}Sr , ^{128}Cs ,	25,5; 3,9
	Години	^{92}Sr , ^{127}Cs	2,7; 6,25
	Доби	^{132}Cs , ^{131}I	6,5; 8,04
Середньоживучі	Тижні	^{82}Sr , ^{136}Cs	3,57; 1,87
	Місяці	^{85}Sr , ^{144}Ce	2,16; 9,5
	Роки	^{134}Cs	2,06

Періоди піврозпаду ($T_{0,5}$) деяких радіоактивних ізотопів

Вид піврозпаду	Одиниці розмірності у	Приклад	$T_{0,5}$
Довгоживучі	Десятки років	^{90}Sr , ^{137}Cs	29; 30
	Сотні років	^{141}Am	4,3
	Тисячі років	^{239}Pu	24
Наддовгоживучі	Сотні тисяч років	^{234}U	2,45
Мільйони років		^{236}U	23
Мільярди років		^{40}K , ^{238}U	1,28; 4,47

Що таке радіоактивність

- Радіоактивність – це явище самовільного перетворення нестабільних ядер. 1896 р. – відкриття радіоактивності Бекерелем.
- Спонтанне ділення ядер має місце у 26 ізотопах, у тому числі в 7 природних ізотопах:
Th-230; Th-232; U-234; U-235; U-237; U-238; Pu-239.
- Активність A – швидкість розпадів за секунду .
Вимірюється в Бекерелях.
- $1\text{Бк}=1\text{ розп/сек.}$

ОДИНИЦІ РОЗМІРНОСТІ

Позасистемною одиницею радіоактивності, яка ще часто використовується і зараз, є Кюрі (Ки, Ci).

1 Кюрі – це радіоактивність будь-якої речовини, у якій відбувається $3,7 \times 10^{10}$ атомних розпадів протягом секунди, тобто $1\text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10}\text{ Бк.}$

1 Кюрі приблизно дорівнює активності
1 г Ra-226.

До відома

Тіло дорослої людини містить ~0,1 мікроКюрі (мкКюрі) ^{14}C , або ~3 700 Бк ^{14}C

1 мкКі = 37 кБк = $2,22 \times 10^6$ розпадів/хв (dpm, Disintegrations per Minute)

Активність

- Активність (A) це *швидкість розпаду* визначеного радіонукліда в зразку.

$$A = - \frac{dN}{dt}$$

- Слід розуміти, що ця активність є лише середньою швидкістю розпаду і змінюється з часом.

Міжнародна система одиниць (SI) активності: бекерель (Bq)

$$1 \text{ бекерель (Бк, Bq)} = 1 \text{ розп./сек.}$$

Основна одиниця активності в міжнародній системі одиниць CI (з фр. Le Système International d'Unités).

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$



Module: Practical Radiation Physics and Instrumentation



Активність

U-235

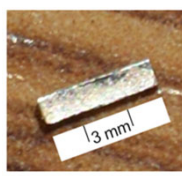
$$T_{1/2} = 7.04 \times 10^9 \text{ p.}$$



$$\sim 500 \text{ кг} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

Ra-226

$$T_{1/2} 1604 \text{ p.}$$



$$\sim 1 \text{ г} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

Co-60

$$T_{1/2} 5.26 \text{ p.}$$



$$\sim 1 \text{ мг} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$



Module: Practical Radiation Physics and Instrumentation



ЩО ТАКЕ ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЕННЯ?

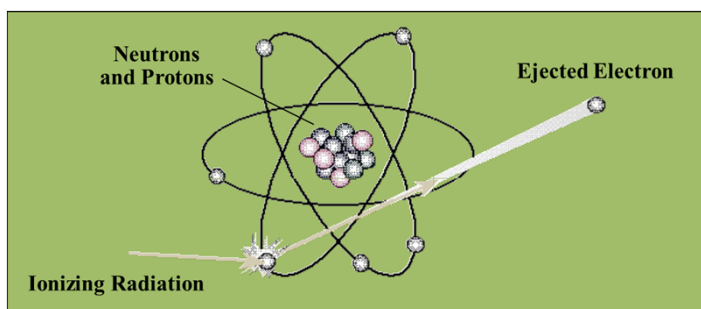
Іонізуюча радіація, або іонізуючі випромінювання, - це різні за фізичною природою види випромінювання, енергія яких достатньо висока (високоенергетичні випромінювання), щоб при їх взаємодії з речовиною викликати іонізації атомів та молекул – перетворення їх з електрично-нейтральних частинок у позитивно та негативно заряджені іони.

ЩО ТАКЕ НЕІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЕННЯ?

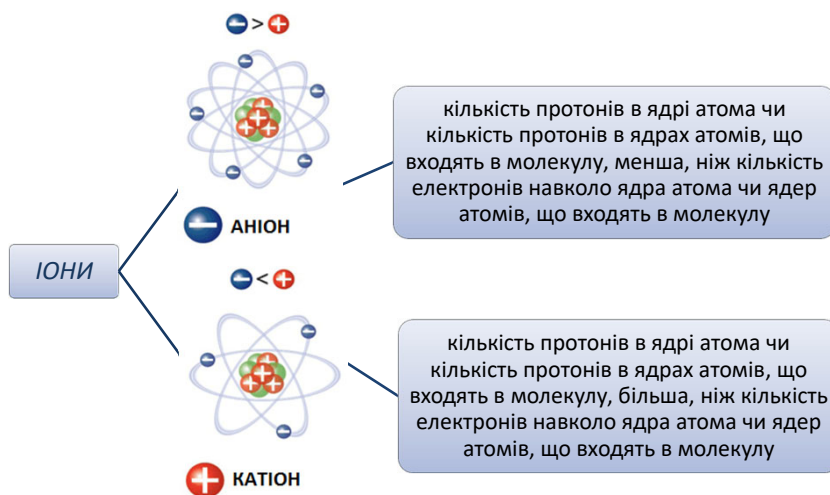
Неіонізуюче випромінювання – випромінювання, що має недостатню енергії для іонізації атомів та молекул (УФ-випромінювання, видиме та інфрачервоне світло)

Чому опромінення називається іонізуючим?

Тому що воно створює іони - атоми із зарядом



ІОНИ: АНІОНИ І КАТІОНИ



28

МІНІМАЛЬНА ЕНЕРГІЯ ІОНІЗАЦІЇ

Мінімальна енергія іонізації — це енергія, необхідна для відриву найбільш слабо зв'язаного електрона (першого електрона) від нейтрального атома або молекули в основному стані.

- **Найнижча енергія іонізації** спостерігається у лужних металів, зокрема для цезію (Cs) — приблизно **3,89 еВ**.
- Для більшості елементів перша енергія іонізації знаходиться в діапазоні від 4 до 25 еВ.

ЯКА ЕНЕРГІЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ?

Енергія квантів видимого світла – від 1 до 3 еВ

Енергія квантів ультрафіолетового світла - 3–12 еВ

Середня кінетична енергія γ -(гамма-)квантів радіоактивного ізотопу цезію ^{137}Cs , одного з декількох найбільш небезпечних штучних довгоживучих радіоактивних забруднювачів навколишнього середовища у теперішній час, джерелом якого є вибухи атомної зброї та ядерні реактори, складає 660 000 еВ

При попаданні лише одного кванту ^{137}Cs у речовину такої кількості енергії може відбутися до 11000 іонізацій, в результаті чого якої виникає багато вибитих електронів

КЛАСИФІКАЦІЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

За фізичною природою:

- Електромагнітне іонізуюче випромінювання
- Корпускулярне іонізуюче випромінювання

Приклад різних типів іонізуючого випромінювання (класифікація за фізичними властивостями)

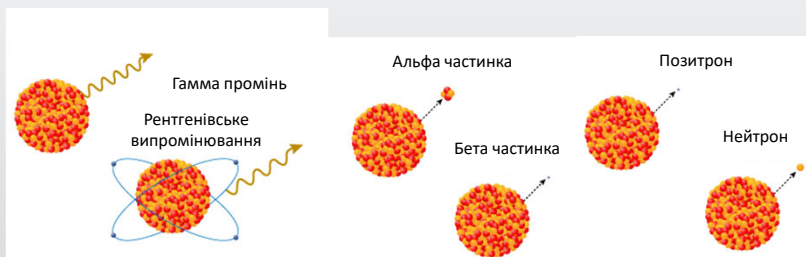
Електромагнітне випромінювання

- Рентгенівське випромінювання X
- Гамма промені γ

Корпускулярне випромінювання

- Альфа α
- Бета β
- Нейтрон n

Приклад іонізуючих випромінювань



Це випромінювання різної фізичної природи, що має одну спільну властивість, - його енергія достатньо велика для того, щоб викликати іонізацію атомів і молекул



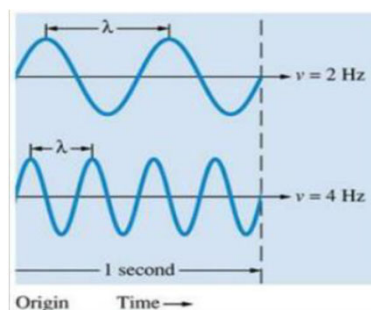
Module: Practical Radiation Physics and Instrumentation



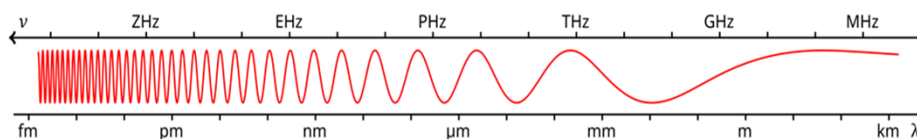
Характеристики електромагнітного випромінювання

Всі хвилі можна описати кількома характеристиками:

- **Довжина хвилі** - це найкоротша відстань між еквівалентними точками неперервної хвилі
- **Частота** - це кількість хвиль, які проходять через дану точку за секунду
- **Амплітуда** - це міра відстані між лінією, що проходить через середину хвилі, та її вершиною



Частота (ν) і довжина хвилі (λ) мають зворотну залежність



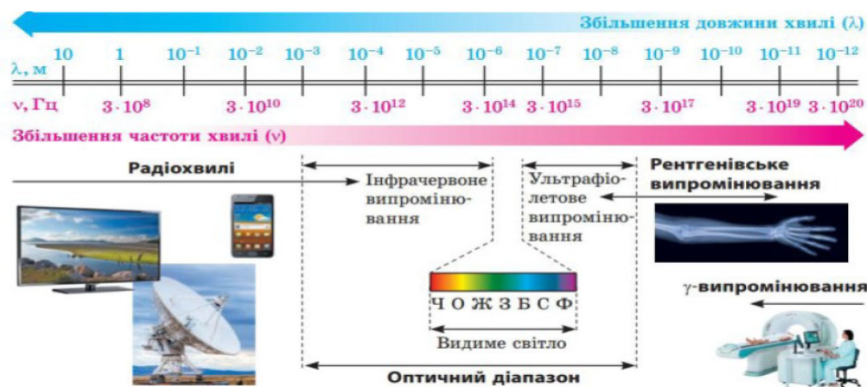
Електромагнітне випромінювання

Електромагнітні хвилі мають однакові фізичні властивості, але мають різні частоти і, отже, різну довжину хвилі.

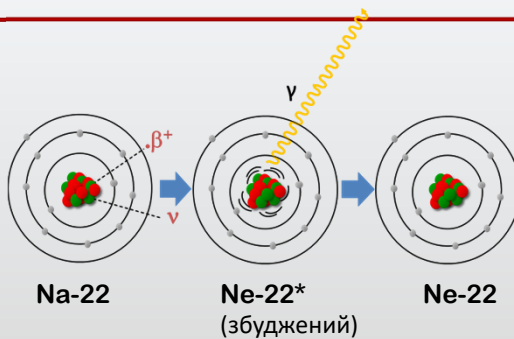
Саме завдяки цій різниці у частоті якості електромагнітних хвиль так сильно різняться. Якщо перерахувати всі відомі електромагнітні хвилі у порядку зростання частоти, то виявиться, що їх частоти різняться більше, ніж у 10^{16} разів.

Шкала електромагнітних хвиль

Шкала електромагнітних хвиль (або спектр) - це безперервна послідовність частот і довжин хвиль електромагнітних хвиль, що зустрічаються в природі. Межі діапазону довільні, тому сусідні області дещо перекриваються.



Гамма-випромінювання



Гамма-промені — це електромагнітне випромінювання, яке випромінює «збуджене» ядро, коли воно переходить на нижчий енергетичний рівень.

Коли ядро продукту розпаду вивільняє енергію, можуть випромінюватися гамма-промені.

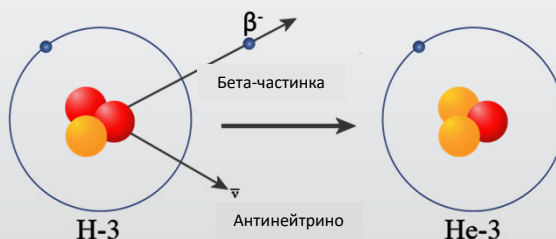
Корпускулярне іонізуюче випромінювання

Корпускулярне іонізуюче випромінювання являє собою потік частинок (корпускул), які характеризуються на відміну від електромагнітного випромінювання не тільки енергією, але ще масою та електричним зарядом. Залежно від маси та заряду, частинки діляться на легкі і важкі, заряджені (позитивно чи негативно) і нейтральні.

Бета-частинки (β , e^-) – це потік електронів, найлегших негативно заряджених частинок, що випускаються атомним ядром.

Позитрони (e^+) – це легкі елементарні частинки, що випускаються ядром, ідентичні за своїми властивостями електронам, але такі, що мають не негативний, а позитивний електричний заряд. На відміну від β -частинки, котру називають ще бета-мінус-частинка, позитрон називають бета-плюс-частинка.

Бета-розпад



Бета-частинка це електрон, який відділився із ядра атома під час розпаду

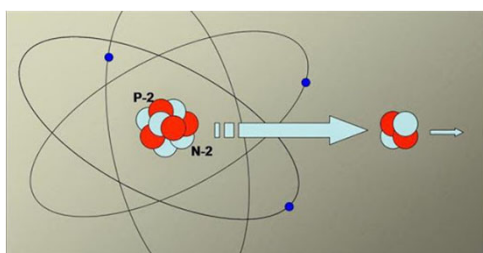
Альфа частинки

α -частинка: 2 протони + 2 нейтрони

Має позитивний заряд $= 3,204 \times 10^{-19}$ Кл, масу $\sim 6,645 \times 10^{-27}$ кг.

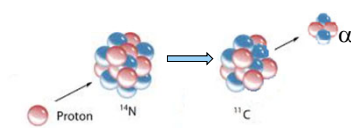
Існує значна кількість радіонуклідів, які при розпаді випромінюють α -частинки (Po-210, Ra-224, Ra-226, Th-232, Pu-238)

Відомі радіоізотопи, які випромінюють тільки α -частинки.



Альфа частинки

α -частинки можуть утворюватися в деяких ядерних реакціях під дією нейтронів чи заряджених частинок:



Корпускулярне іонізуюче випромінювання

Протони (p) відносяться до важких позитивно заряджених елементарних частинок і являють собою ядра атомів водню, входячи до складу атомних ядер усіх хімічних елементів. Протон несе однаковий з електроном і позитроном електричний заряд, але має масу в 1836 разів більшу. При поглинанні ядром атому енергії ззовні і подальшому розпаді протон всередині ядра може перетворитись у нейтрон. Цей процес чупроводжується виникненням позитрону і нейтрино. Нейтрино – це електрично-незаряджена елементарна частинка з масою спокою набагато меншою за електрон.

Корпускулярне іонізуюче випромінювання

Нейтрони (n) – це також важкі, але нейтральні, тобто, такі, що не мають електричного заряду, елементарні частинки з масою, що практично рівна масі протону. Нейтрони завдяки відсутності заряду значно у меншій мірі, ніж інші важкі заряджені частинки (α -частинки, протони, дейтрони) підпадають дії електромагнітних сил навколишнього середовища і тому легко проникають всередину атомів речовини і, досягаючи атомних ядер, поглинаються ними або розсіюються на них.

Саме тому при опроміненні речовини нейтронами високих енергій її атомні ядра стають нестійкими і, в подальшому розпадаючись, можуть випускати γ -кванти, протони, β - та інші частинки, тобто стають радіоактивними. Це явище одержало назву наведеної радіоактивності і саме на цьому принципі засноване одержання штучних радіоактивних ізотопів.

Корпускулярне іонізуюче випромінювання

- Ядра поділу урану і плутонію – найбільш важкі іонізуючі частинки, які виникають при бомбардуванні урану чи плутонію тепловими нейтронами.
- Серед найважчих з них атомні ядра окремих ізотопів трансуранових елементів: ^{233}U , ^{237}Np , ^{239}Pu , ^{241}Pu , ^{241}Am , ^{242}Am та багатьох інших елементів. Вони являють собою позитивно заряджені частинки, маса яких в багато десятків разів перевищує масу α -частинок.
- Проникаюча здатність таких частинок надзвичайно мала.

Деякі фізичні характеристики основних типів іонізуючих випромінювань

Тип	Символ	Енергія, eV	Довжина хвилі, м	Заряд, Кл	Маса, г
Корпускулярне					
Альфа-частинки	α	$3-5 \times 10^6$	–	$+3,2 \times 10^{-19}$	$6,68 \times 10^{-24}$
Бета-частинки	$e^- (\beta^-)$	$10^3-1,7 \times 10^6$	–	$-1,6 \times 10^{-19}$	$9,31 \times 10^{-28}$
Позитрони	e^+		–	$+1,6 \times 10^{-19}$	$9,31 \times 10^{-28}$
Протони	p	$2-8 \times 10^6$	–	$+1,6 \times 10^{-19}$	$1,67 \times 10^{-24}$
Нейтрони	n	10^5-10^8	–	0	$1,67 \times 10^{-24}$
Дейтрони	d	$5 \times 10^5-10^7$	–	$+1,6 \times 10^{-19}$	$3,34 \times 10^{-24}$
Важкі іони	$^7\text{Li}, ^{11}\text{B}, ^{12}\text{C}$	10^9-10^{10}	–		$>6,68 \times 10^{-24}$
Ядра поділу урану		$2,5 \times 10^5-10^8$	–		$3,8-4 \times 10^{-22}$

Характеристики різних видів іонізуючого випромінювання

Вид випромінювання	Проникаюча здатність	Можливе опромінення на відстані від джерела	Швидкість випромінювання	Іонізація в тканині організму	Може бути затримане	Біологічна дія
Альфа-випромінювання	Низька	До 10 см	20000 км/с	30000 пар іонів на 1 см пробігу	Листом звичайного паперу	Висока
Нейтронне випромінювання	Дуже висока	Декілька кілометрів	40000 км/с	Від 3000 до 5000 пар іонів на 1 см пробігу	Матеріалами з високим вмістом водню	Висока
Бета-випромінювання	Середня	До 20 метрів	Біля 300000 км/с	Від 40 до 150 пар іонів на 1 см пробігу	Металевим листом в декілька міліметрів	Середня
Гамма-випромінювання	Висока	До декількох сотень метрів	300000 км/с	Від 3 до 5 пар іонів на 1 см пробігу	Екранами з бетону, металу товщиною декілька метрів	Низька
Рентгенівське випромінювання	Висока	До сотень метрів	300000 км/с	Від 3 до 5 пар іонів на 1 см пробігу	Екраном з свинцю товщ. 2-4 мм	Низька

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

Випромінювання - це передача енергії

Атом - найменша частинка хімічного елементу, котра зберігає його властивості.

Будова атома: ядро (протони + нейтрони) + електрони

- **Протон (p)** – позитивно заряджена частинка з зарядом $1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл та масою $1,673 \cdot 10^{-27}$ кг
- **Нейтрон (n)** – електрично-нейтральна частинка масою, що дорівнює масі протону, $1,675 \cdot 10^{-19}$ кг
- **Електрон (e)** – негативно заряджена частинка з зарядом $1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл та масою $9,109 \cdot 10^{-31}$ кг
- **Нуклони** – загальна назва частинок атомного ядра

Ізотопи (грец. «ті, що займають однакові місця») – хімічні елементи, ядра атомів яких мають однакову кількість протонів, але різну кількість нейтронів.

Радіоактивність – це здатність ядер атомів хімічних елементів перетворюватися на ядра атомів інших хімічних елементів з виділенням енергії у вигляді іонізуючих випромінювань

Період піврозпаду – час радіоактивного розпаду, протягом якого розпадається половина спочатку наявних ядер радіоактивної речовини, є постійним і називається періодом піврозпаду $T_{1/2}$. Період піврозпаду є індивідуальною характеристикою кожного радіоактивного ізотопу, коливається в таких межах 10^{-9} секунди $\geq T_{1/2} \leq 10^{19}$ років

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

Активність (А) – швидкість розпадів за секунду, вимірюється в Бекерелях.

- 1 Бк = 1 розп/сек

Кюрі (Ки) - позасистемна одиниця вимірювання радіоактивності. 1 Ки – це радіоактивність будь-якої речовини, у якій відбувається $3,7 \times 10^{10}$ атомних розпадів протягом секунди, тобто $1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк}$. 1 Ки приблизно дорівнює активності 1 г Ra^{226} .

Іонізуюча радіація, або іонізуючі випромінювання - це різні за фізичною природою види випромінювання, енергія яких достатньо висока (високоенергетичні випромінювання) для того, щоб при їх взаємодії з речовиною викликати іонізацію атомів та молекул – перетворення їх з електрично-нейтральних частинок у позитивно та негативно заряджені іони. Чому опромінення називається іонізуючим? – Тому, що воно створює іони - атоми з позитивним, або негативним зарядом.

Енергія іонізуючих випромінювань (радіації) - від 0,001 МеВ до 5-10 МеВ (мегаелектронвольт) для природних радіоактивних ізотопів, для штучних радіонуклідів може досягати десятків або сотень МеВ. Електронвольт – позасистемна одиниця вимірювання енергії.

- 1 еВ — це енергія, яку набуває електрон при русі через електричне поле з різницею потенціалів у 1 Вольт. 1 еВ є еквівалентний $1,602176634 \cdot 10^{-19}$ Дж.

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

Класифікація іонізуючих випромінювань за фізичною природою:

- Електромагнітне іонізуюче випромінювання
- Корпускулярне іонізуюче випромінювання

Електромагнітне випромінювання :

- Рентгенівське випромінювання (Х-промені)
- Гамма промені (γ-промені)

Корпускулярне випромінювання:

- Альфа частки (α)
- Бета частки (потік електронів) (β)
- Нейтрони (n)

Характеристики електромагнітного випромінювання:

- Довжина хвилі - це найкоротша відстань між еквівалентними точками неперервної хвилі
- Частота - це кількість хвиль, які проходять через дану точку за секунду
- Амплітуда - це міра відстані між лінією, що проходить через середину хвилі, та її вершиною

Загальні принципи медичних дій у випадку радіаційної/ ядерної надзвичайної ситуації

Модуль 1. Вступ до медичної радіології та дозиметрії

Лекція 2.

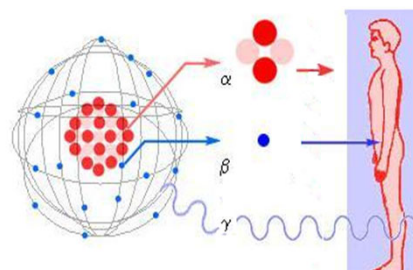
Що таке опромінення і доза радіації? Експозиційна і поглинена доза випромінювання. Зв'язок між експозиційною і поглиненою дозою. Еквівалентна і ефективна доза. Одиниці вимірювання в дозиметрії. Вагові коефіцієнти для різних органів і тканин. Взаємодія різних видів іонізуючих випромінювань з атомами та молекулами. Лінійна передача енергії (ЛПЕ) випромінювання. Відносна біологічна ефективність (ВБЕ). Рідкоіонізуючі і щільноіонізуючі випромінювання. Етапи розвитку радіобіологічних ефектів. Прямі і непрямі дії радіації. Залежність "доза-ефект".

51

Опромінення та доза радіації

ОПРОМІНЕННЯ:
передача енергії іонізуючого випромінювання клітинам тканин живого організму

Для кількісної оцінки ступеню впливу іонізуючого випромінювання на людину застосовують поняття **ДОЗА РАДІАЦІЇ**



52

Експозиційна і поглинена доза випромінення

- Потрібно відрізнати енергію іонізуючого випромінювання, що падає на об'єкт, від енергії, що ним поглинається і викликає фізичну дію. Тому в радіобіології, як і у ядерній фізиці, виділяють експозиційну, або фізичну, дозу (D_x) і поглинуту дозу (D_p).
- На відміну від ядерної фізики, в радіобіології, як правило, мають справу з дозами, що на багато порядків нижчі

53

Експозиційна доза

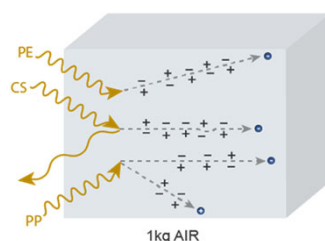
Експозиційна доза (англ. radiation exposure) – це міра іонізуючої здатності рентгенівського або гамма-випромінювання, що визначається за величиною іонізації сухого повітря. Показує сумарний електричний заряд іонів одного знаку, що утворені в одиниці маси повітря. Використовується для кількісної оцінки потенційного впливу випромінення.

Експозиційна доза

Експозиційна доза (англ. radiation exposure) – характеристика іонізаційного ефекту фотонного випромінювання (рентгенівського або гамма-випромінювання) з енергіями 1 кеВ — 3 МеВ у повітрі. Визначається як відношення сумарного електричного заряду dQ всіх іонів одного знаку, що були утворені в сухому повітрі певного об'єму за нормальних умов під дією гамма-випромінювання, до маси dm повітря в цьому об'ємі.

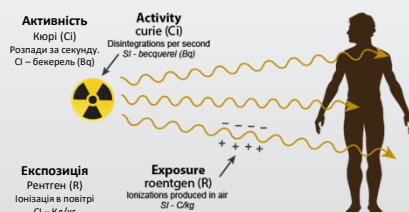
$$X = dQ/dm$$

Одиниці вимірювання експозиційної дози



Одиниця вимірювання експозиційної дози в системі SI - кулон на кілограм (Кл/кг). 1 Кл/кг — це експозиційна доза випромінювання, за якої в 1 кг сухого повітря за нормальних умов утворюються іони одного знаку загальним зарядом в 1 Кл.

Одиниці вимірювання експозиційної дози



- Позасистемна одиниця вимірювання експозиційної дози – Рентген (R(P), mR(mP), μ R(μ mP))
- За визначенням, 1 Рентген = 2.58×10^{-4} Кл/кг повітря

Поглинена доза

Поглинена доза (англ. absorbed dose) — одна з фундаментальних дозиметричних величин, що визначає кількість енергії іонізуючого випромінювання, переданого речовині в розрахунку на одиницю маси.

Одиниці виміру поглиненої дози випромінювання

Поглиненна доза - відношення середньої енергії ($d\bar{E}$), що передана іонізуючим випромінюванням речовині в елементарному об'ємі, до маси речовини в цьому об'ємі (dm).

$$D = d\bar{E}/dm$$

Одиниця виміру – Грей(Гр), 1 Гр - поглиненна доза, при якій опроміненій речовині масою 1 кг передається енергія в 1 Дж

$$1\text{Гр} = 1\text{ Дж} / 1\text{кг}$$

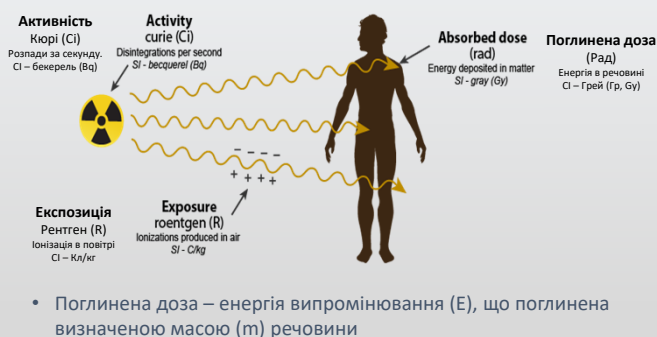
59

Одиниці виміру поглиненої дози

До прийняття системи СІ величина поглиненої дози оцінювалась в одиницях рад (rad – radiation absorbed dose), яка відповідає поглиненій енергії іонізуючого випромінювання, що дорівнює 100 ерг/г.

Таким чином, 1 рад = 0,01 Дж/кг, і, відповідно, 1 Гр = 100 рад.

Одиниці вимірювання поглиненої дози радіації



Module: Practical Radiation Physics and Instrumentation



Зв'язок між поглиненою та експозиційною дозами

При підрахунках експозиційну дозу часто прирівнюють до поглинутої $1R=1\text{рад}$, проте для точних розрахунків необхідно враховувати, що 1 R відповідає поглинута доза у повітрі - 0,87 рад, у воді та живій тканині - 0,93 рад.

$$D_{\text{погл}} = f \times D_{\text{експ}}$$

Де f - конверсійний коефіцієнт

Еквівалентна доза випромінення

В реальних умовах живі організми водночас піддаються опроміненню різних типів іонізуючої радіації як природних, так і штучних радіоактивних ізотопів, наприклад, γ - (^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra), β - (^{40}K , ^{90}Sr), α - (^{222}Rn , ^{239}Pu , ^{241}Am) та інших типів випромінювань, що мають різну біологічну ефективність, тобто не однаково діють на живі організми при однаковій дозі.

Для оцінювання біологічної дії змішаних, а також не відомих, не ідентифікованих потоків іонізуючих випромінювань в радіобіології введена спеціальна доза, яка отримала назву еквівалентної дози.

63

Одиниці виміру еквівалентної дози випромінення

Зіверт (Зв) - це одиниця вимірювання еквівалентної дози іонізаційного випромінювання в системі SI, яка використовується для вимірювання біологічного впливу іонізуючого випромінювання на організм. Вона вказує на кількість енергії, поглиненої 1 кг біологічної тканини, що викликає такий же біологічний ефект, як і поглинена доза 1 Грей рентгенівського або гамма-випромінювання.

64

Одиниці виміру еквівалентної дози випромінювання

- Раніше, як одиницю виміру еквівалентної дози був використовували бер, який рошифровується як біологічний еквівалент рентгена (інколи, враховуючи відзначену близькість абсолютних значень експозиційної та поглинутої доз в живих організмах, бер розшифровується як біологічний еквівалент рада).
- 1 бер відповідає такому опроміненню живого організму потоком іонізуючих випромінювань, при якому спостерігається така ж ступінь прояву біологічної дії, що й при опроміненні рентгенівським чи γ - випромінюванням в дозі 1 рад (Р).
- $1\text{ бер} = 0,01\text{ Зв}$

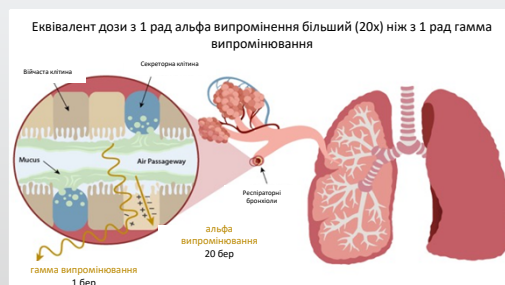
Еквівалентна доза випромінювання

Еквівалентна доза характеризує біологічний ефект будь-якого іонізуючого випромінювання, що приведений до впливу, який викликають гама-промені:

$$D_{\text{екв}} = w_R \cdot D_{\text{погл}} [36]$$

$$w_R - \text{коефіцієнт випромінювання} \quad w = \begin{cases} 1 - \text{для } \beta, \gamma \\ 20 - \text{для } \alpha \\ 5 \div 20 - \text{для нейтронів} \end{cases}$$

Еквівалентна доза (H)



Еквівалентна доза є свого роду одиницею вимірювання довгострокових біологічних наслідків для людини при певному опроміненні.

Еквівалентна і ефективна дози

При опроміненні речовини іонізуючим випромінюванням частина його енергії поглинається речовиною. Величина цієї енергії характеризується *поглиненою дозою*. Однак вона не є задовільним показником біологічного впливу опромінення, тому для врахування біологічного ефекту поглиненої дози Міжнародною комісією з радіаційних одиниць та вимірювання та Міжнародною комісією з радіаційного захисту були введені поняття еквівалентної та ефективної дози.

Еквівалентна доза враховує лише тип випромінювання і може бути задовільною характеристикою біологічного впливу опромінення лише в разі рівномірного опромінення всього організму. Для оцінки впливу неоднорідного опромінення людського тіла, враховуючи, що різні органи і тканини мають різну чутливість до опромінення, використовують ефективну дозу.

Ефективна доза опромінення

Ефективна доза (англ. effective dose) — розрахункова доза опромінення людини, яка враховує вклади ефектів опромінення різних органів і тканин людини на стан її здоров'я в цілому.

Ефективна доза опромінення - величина, що використовується для визначення міри ризику наслідків опромінення тіла людини й окремих його органів і тканин з урахуванням їхньої радіочутливості. Вона являє собою суму значень еквівалентних доз опромінення окремих органів і тканин, помножених на відповідні вагові коефіцієнти

69

Ефективна доза опромінення

Вагові коефіцієнти тканин вибрані на основі аналізу даних епідеміологічних досліджень індукції раку в опромінених популяціях, а також оцінки ризику виникнення спадкових дефектів.

Ці коефіцієнти є усередненими для обох статей і різного віку. Деякі тканини, наприклад, кістковий мозок, особливо чутливі до опромінення, тому їм присвоєний ваговий коефіцієнт непропорційно великий стосовно їхньої маси в порівнянні з масою всього тіла. Водночас інші тканини, такі як кісткова тканина, не особливо чутливі до впливу радіації, тому мають низький ваговий коефіцієнт.

70

Вагові коефіцієнти для різних органів і тканин

Орган	Ваговий коефіцієнт WT		
	ICRP26 1977	ICRP60 1990 ^[3]	ICRP103 2007 ^[4]
Гонади	0,25	0,20	0,08
Червоний кістковий мозок	0,12	0,12	0,12
Товста кишка	—	0,12	0,12
Легені	0,12	0,12	0,12
Шлунок	—	0,12	0,12
Груди	0,15	0,05	0,12
Сечовий міхур	—	0,05	0,04
Печінка	—	0,05	0,04
Стравохід	—	0,05	0,04
Щитоподібна залоза	0,03	0,05	0,04
Шкіра	—	0,01	0,01
Кісткова тканина	0,03	0,01	0,01
Спинні залози	—	—	0,01
Мозок	—	—	0,01
Інші тканини та органи тіла разом*	0,30	0,05	0,12
Всього	1,00	1,00	1,00

71

Види опромінення і потужність дози

- Для характеристики розподілу іонізуючого випромінювання у часі застосовується величина **потужності дози**, під якою розуміють кількість енергії випромінювання, що поглинається речовиною за одиницю часу.
- В залежності від потужності дози розрізняють два основних види опромінення – гостре і пролонговане.

Режим опромінення

Під *гострим опроміненням* розуміють короткочасне опромінення протягом секунд, хвилин, максимум – кількох годин, коли організм за рахунок великої потужності дози (десятки, сотні Грей за хвилину, годину) може отримати велику дозу.

Під *продовжуваним опроміненням* – тривале опромінення протягом багатьох годин, діб, тижнів, місяців за низькій потужності дози (частки Грей за годину, добу).

ПОТУЖНІСТЬ ДОЗИ

Під час роботи в умовах радіаційного впливу необхідно знати потужність дози.

Потужність дози – це доза, що отримана людиною а одиницю часу, наприклад за годину.

Якщо дозу 0,5 мЗв одержують протягом 1 години, то потужність дози становить 0,5 мЗв/год.

За другу годину роботи отримана доза складе 1 мЗв і за шосту годину – 3 мЗв.



Режими опромінення

Розрізняють також *одноразове і багаторазове (фракціоноване) опромінення*. У першому випадку доза одержується за один безперервний акт опромінення. У другому – розділяється на дві і більше частин (фракцій), що перемежаються періодами, протягом яких опромінення не відбувається.

Біологічна дія радіації за фракціонованого опромінення суттєво залежить, з одного боку, від кількості фракцій, а з іншого – від тривалості інтервалу між ними. В обох випадках з їх збільшенням вона зменшується, так як у періоди між фракціями дози відбуваються процеси відновлення різних структур і функцій клітин і організму в цілому.

Порівняння доз радіації

Еквівалентна кількість рентгенівських знімків грудної клітки		Сценарій
		1 рентг. знімок грудної клітки = 0,02 – 0,05 мЗв
 x 8		Політ від Токіо до Нью-Йорку = 0,11-0,16 мЗв
 x 100		1 комп'ютерна томографія голови = 2 мЗв
 x 300		Доза від перебування 1 годину на майданчику Чорнобильській АЕС (2010) = 6 мЗв
 x 350		1 комп'ютерна томографія грудної клітки = 7 мЗв
 x 500		Доза від перебування 2 тижні у зоні відчуження Фукусімській АЕС = 10 мЗв
 x 550		1 комп'ютерна томографія всього тіла = 11 мЗв

Порівняння доз радіації

Еквівалентна кількість рентгенівських знімків грудної клітки	Сценарій
 X 1000	Річна порогова доза працівників = 20 мЗв
 X 1800	Куріння 1,5 пачки сигарет на день протягом року = 36 мЗв
 X 5000	Найнижча доза, чітко пов'язана з підвищеним ризиком раку = 100 мЗв
 X 17 500	Типова доза переселенців із зони Чорнобиля = 350 мЗв
 X 50 000	Мінімальна гостра доза, що призводить до гострого променевого синдрому = >1000 мЗв
 X 175 000	Доза, яка, як очікується, призведе до смертельного результату протягом місяців для половини опромінених = 3500 – 4000 мЗв

Потрібно знати: Основні дозові ліміти (НРБУ-97)

Для населення:

Ефективна доза: 1 мілізіверт (мЗв) на рік від усіх видів діяльності.

Еквівалентна доза для кришталіка ока: 15 мЗв на рік.

Еквівалентна доза для шкіри: 50 мЗв на рік.

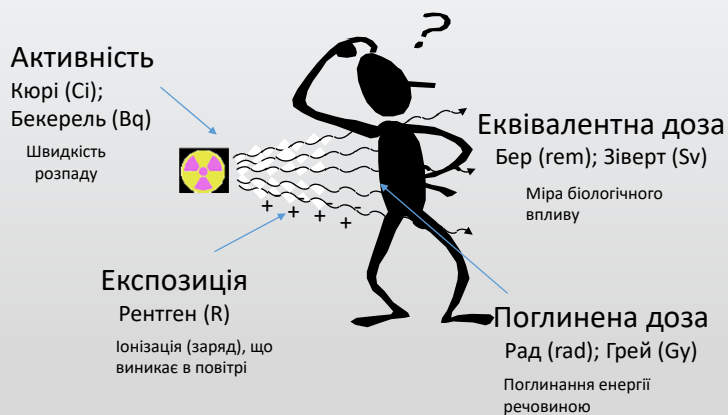
Для професійного персоналу (категорія А):

Ефективна доза: 20 мЗв на рік в середньому за будь-які 5 років, але не більше 50 мЗв за рік.

Еквівалентна доза для кришталіка ока: 150 мЗв на рік.

Еквівалентна доза для шкіри: 500 мЗв на рік.

Радіоактивність? – Це ж просто і зрозуміло!!!



Module: Practical Radiation Physics and Instrumentation



Одиниці виміру радіоактивності і дози іонізуючих випромінювань

Одиниці	Найменування одиниці		Співвідношення між одиницями
	Позасистемні	Система СІ	
Радіоактивність	Кюрі (Ки)	Бекерель (Бк)	1 Ки = $3,7 \times 10^{10}$ Бк 1 Бк = $2,7 \times 10^{-11}$ Ки
Експозиційна доза	рентген (Р)	кулон на кілограм (Кл/кг)	1 Р = $2,58 \times 10^{-4}$ Кл/кг 1 Кл/кг = 3876 Р
Поглинена доза	рад	Грей (Гр)	1 рад = 0,01 Гр 1 Гр = 100 рад
Еквівалентна доза	бер	Зіверт (Зв)	1 бер = 0,01 Зв 1 Зв = 100 бер

- Проникаючи у речовину, іонізуючі випромінювання вступають у взаємодію з його атомами та молекулами. При цьому основна частка енергії витрачається на іонізацію атомів та збудження їх електронів, перетворюючись у кінетичну енергію вторинних електронів оболонок атомів
- Проникна здатність іонізуючих випромінювань, тобто глибина їх проникнення у речовину, залежить не лише від фізико-хімічних характеристик випромінювання, але й від складу і щільності речовини, що опромінюється. Вона мінімальна у матеріалах, які мають високу щільність, подібних до бетону, сталі, свинцю, котрі звичайно і застосовують для фізичного захисту від випромінювань, й максимальна у повітрі та інших газових середовищах

Лінійна передача енергії випромінювання (ЛПЕ)

ЛПЕ (англ. LET - Linear Energy Transfer) – це міра енергії, яку іонізуюча частинка передає в речовину на певному шляху. Іншими словами, це енергія, витрачена на іонізацію та збудження атомів у речовині

ЛПЕ визначається як відношення втрат енергії частинки (dE) до довжини шляху (dl): $L = dE/dl$.

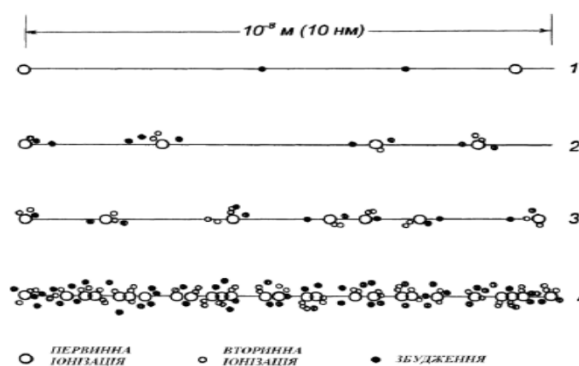
Для незаряджених частинок ЛПЕ не застосовується, але використовуються значення ЛПЕ їхніх вторинних заряджених частинок, що утворюються в речовині. Вимірюють в еВ/нм. Значення ЛПЕ варіюється від 0,2 для високоенергетичних фотонів до 104 еВ/нм для осколків поділу ядер урану.

ЛПЕ є ключовим фактором при оцінці біологічних ефектів випромінювання. Чим більша ЛПЕ, тим більший потенційний шкідливий вплив на живі організми, оскільки висока ЛПЕ призводить до інтенсивного пошкодження ДНК та інших молекул у клітинах.

Залежно від енергії електромагнітного випромінювання, а також залежно від енергії, маси і заряду корпускулярного випромінювання ступінь іонізації речовини при опроміненні у рівних дозах в однакових умовах може суттєво відрізнятись.

Відповідно, при опроміненні живих організмів може суттєво відрізнятись величина радіобіологічного ефекту, тобто ступінь прояву реакції на дію іонізуючого випромінювання – рівень ураження.

Рідкоіонізуючі і щільноіонізуючі випромінювання



Схематичне зображення ділянок траєкторій пробігу у речовині частинок рідко- та щільноіонізуючих випромінювань однакової енергії:
1 – β -частинки, 2 – протони, 3 – дейтрони і 4 – α -частинки.

Відносна біологічна ефективність випромінювань

Для порівняння біологічної дії різних типів іонізуючих випромінювань введена спеціальна величина – відносна біологічна ефективність (ВБЕ) випромінювань.

ВБЕ – це відношення дози еталонного (частіше рентгенівського) випромінювання, яке викликає певний біологічний ефект, до дози досліджуваного випромінювання, яке викликає той самий ефект

Як еталонне випромінювання використовують рентгенівське випромінювання з енергією 180–250 кеВ або γ -випромінювання ^{60}Co або ^{137}Cs .

$$\text{ВБЕ} = D_0 / D_x$$

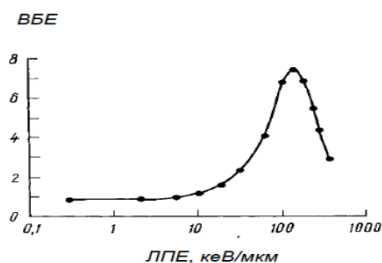
де D_0 – доза стандартного випромінювання і D_x – доза випромінювання, що випробується

ВБЕ вище 1 означає, що досліджуване випромінювання більш ефективно для викликання біологічного ефекту (наприклад, пошкодження ДНК) порівняно з рентгенівським випромінюванням

Відносна біологічна ефективність (ВБЕ) різних типів іонізуючих випромінювань

Тип випромінювання	Енергія, МеВ	Середня кількість іонізацій на 1 мкм пробігу	Середня втрата енергії, кеВ/мкм	ВБЕ
Рентгенівське і γ -випромінювання	до 3	100	3	1
β -частинки, електрони, позитрони	до 3	100	3	1
Повільні нейтрони	до 0,5	300	10	2,5–3
Швидкі та проміжні нейтрони	до 10	800–1100	25–35	5–10
Протони і дейтрони	0,5–10	700–1000	30	5–10
α -частинки	5–10	10000	300	10–20
Важкі іони	5–10	50000	1000	≥ 20
Ядра поділу урану	5–20	130000	4000	≥ 20

Зв'язок між ЛПЕ та ВБЕ



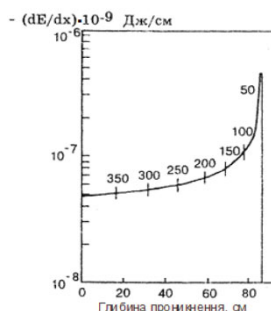
Залежність відносної біологічної ефективності (ВБЕ) іонізуючих випромінювань від лінійної передачі енергії (ЛПЕ).

Зв'язок між ЛПЕ та ВБЕ

Зі зростанням ЛПЕ значення ВБЕ збільшується, тобто зростає уражуча дія випромінювань. Однак, така кореляція спостерігається до певних меж. - Різке зростання ВБЕ починається з ЛПЕ 10 кеВ/мкм, досягає максимуму при ЛПЕ 100 кеВ/мкм і потім різко знижується.

Це пояснюється тим, що за високих значень ЛПЕ відбувається немов би насичення клітин іонізаціями, і кожна наступна частинка реалізує свою енергію у вже приреченій до загибелі клітині, тобто витрачає її даремно – відбувається так зване „переураження” клітини

Гальмівна здатність біологічної тканини



Залежність гальмівної здатності біологічної тканини для протонів з початковою енергією 400 MeV від глибини їх проникнення у шар речовини. Наприкінці пробігу – характерний пік Брегга

Коефіцієнт якості випромінювання

На основі ВБЕ визначається *коефіцієнт якості випромінювання* – показник, що дозволяє перевести значення поглиненої дози випромінювання в значення еквівалентної дози

Радіаційно-індуковані ушкодження біологічних молекул

Розподіл поглиненої енергії при опроміненні клітини:

- Вода — 70-85%
- Білки — 10-20%
- Нуклеїнові кислоти (ДНК і РНК) — 1-7%
- Ліпіди — 2-8%
- Вуглеводи — 1-5%
- Метаболіти — 0,4-2%
- Мінеральні речовини — 2-4%

Пряма і непряма дія іонізуючих випромінювань

Радіаційні зміни (структурні і функціональні) молекул (атомів) речовини обумовлені прямою та непрямою дією іонізуючого випромінювання.

Під прямою дією розуміють такі зміни молекул речовини, які виникають внаслідок безпосереднього поглинання ними (мішенями) енергії випромінювання. Іншими словами, за прямої дії відбувається збудження та іонізація молекул речовини тканин і органів.

Під непрямою (опосередкованою) дією розуміють зміни молекул речовини, викликані продуктами радіаційного розпаду в оточуючому середовищі (наприклад, радіолізом води або розчинених речовин).

Радіоліз води

Радіоліз - розкладання хімічних сполук під дією іонізуючих випромінювань з утворенням вільних радикалів. Предмет вивчення радіаційної хімії.

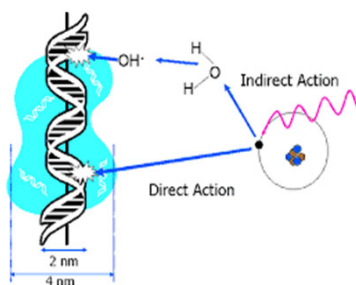
Дія іонізуючих випромінювань на воду призводить до її радіолізу. Причому, найбільший вихід продуктів радіолізу дають випромінювання, що характеризуються високою щільністю іонізації, наприклад α -частинки.

У результаті радіолізу води відбуваються іонізація і збудження молекул води:



Під час радіолізу води виникає також стабільна форма електрона – гідратований електрон e^-_{hydr} . Він має високу реакційну здатність, як донор реагує з продуктами радіолізу та іншими речовинами, які легко відновлюються, зокрема з H_2O , O_2 та дисульфідними групами. Завдяки високій концентрації речовин усередині клітини, ймовірність появи в них гідратованих електронів є високою.

Пряма і непряма дія іонізуючих випромінювань



Близько 60% пошкоджень ДНК, спричинених рентгенівським випромінюванням, зумовлені впливом продуктів радіолізу води і активних форм кисню

Пряма і непряма дія іонізуючих випромінювань

Передача енергії іонізуючого випромінювання речовині відбувається за досить короткий час. Іонізація і збудження атомів та молекул опроміненої тканини є первинними фізичними процесами, які зумовлюють пусковий механізм біологічної дії іонізуючого випромінювання. При цьому відбувається розрив молекулярних зв'язків з утворенням вільних радикалів.

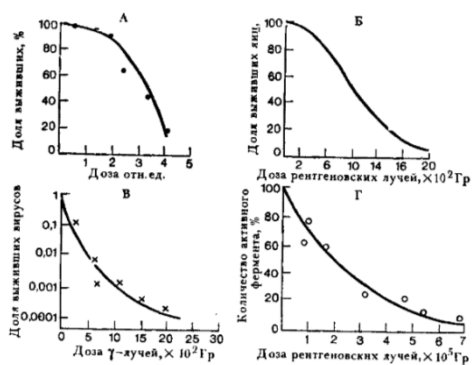
Вільні радикали – це електро нейтральні атоми або молекули з неспареним електроном на зовнішній оболонці. Вони реакційно здатні, оскільки мають можливість зв'язувати неспарений електрон з аналогічним електроном в іншому радикалі або взагалі видаляти електрон з атома. Іншими словами, вільні радикали можуть бути акцепторами (окислювачами) або донорами (відновниками) електронів.

Наступним етапом взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною є хімічний етап променевого ураження клітини.

Фази (етапи, стадії) розвитку радіобіологічних ефектів

Фаза	Тривалість фази	Характер процесу
Початкова фізична	$10^{-16} - 10^{-14}$ с	Поглинання енергії випромінювання. Іонізація та руйнування молекул (переважно води)
Фізико-хімічна	$10^{-10} - 10^{-6}$ с	Рекомбінація та взаємодія іонів із молекулами (переважно води). Утворення продуктів радіолізу та вільних радикалів
Хімічна	Декілька секунд	Взаємодія продуктів радіолізу й вільних радикалів із молекулами білка та інших органічних сполук. Розвиток біохімічних ушкоджень
Біологічна	Години, роки	Виникнення ушкоджень на різних рівнях. Формування біологічних наслідків опромінення

Криві “доза-ефект”



Зависимость биологического эффекта от дозы облучения: А — гибель инфузорий *Colpidium colpoda* через 2 часа после облучения (Кроутер, 1926), Б — гибель яиц аскарид после облучения в аэробных условиях (Браун, Хольтузен, 1929), В — инактивация вируса табачной мозаики γ -лучами (Ли, Смит, 1940), Г — инактивация сухой рибонуклеазы (Ли др., 1944)

Що таке D_{37} ?

Величина D_0 є показником радіочутливості клітин і визначається за кривою виживання як доза, за якої виживає ~37% клітин від початкової кількості. Іноді тому її називають D_{37} , що у випадку експоненціальних кривих одне й те саме

ГЛОСАРІЙ

Опромінення - передача енергії іонізуючого випромінювання клітинам живого організму

Експозиційна доза — це міра іонізуючої здатності рентгенівського або гамма-випромінювання, що визначається за величиною іонізації сухого повітря. Показує сумарний електричний заряд іонів одного знаку, що утворені в одиниці маси повітря.

Одиниця вимірювання експозиційної дози в системі SI - кулон на кілограм (Кл/кг). 1 Кл/кг — це експозиційна доза випромінювання, за якої в 1 кг сухого повітря за нормальних умов утворюються іони одного знаку загальним зарядом в 1 Кл

Позасистемна одиниця вимірювання експозиційної дози — Рентген (R(P), mR(mP), $\mu R(\mu P)$). Один рентген дорівнює $2,58 \times 10^{-4}$ кулонів заряду на кілограм повітря, що означає, що один рентген вибиває $1,6 \times 10^{15}$ електронів з кілограма повітря.

Поглиненна доза - відношення середньої енергії (dE), що передана іонізуючим випромінюванням речовині в елементарному об'ємі, до маси речовини в цьому об'ємі

Одиниця виміру поглиненої дози в системі SI — Грей(Гр), 1 Гр - поглиненна доза, при якій опроміненій речовині масою 1 кг передається енергія в 1 Дж.

Позасистемна одиниця виміру величини поглиненої дози - рад (rad – radiation absorbed dose). 1 рад відповідає поглиненій енергії іонізуючого випромінювання, що дорівнює 100 ерг/г. Таким чином, 1 рад = 0,01 Дж/кг, і, відповідно, 1 Гр = 100 рад.

ГЛОСАРІЙ

Еквівалентна доза — добуток поглиненої дози іонізуючого випромінювання на середній коефіцієнт ефективності іонізуючого випромінювання, що враховує ефект різного іонізуючого випромінювання для фіксованого типу біологічної тканини

Одиниця вимірювання еквівалентної дози іонізаційного випромінювання в системі SI - Зіверт(Зв). Вказує на кількість енергії, поглиненої 1 кг біологічної тканини, що викликає такий же біологічний ефект, як і поглинена доза 1 Грей рентгенівського або гамма-випромінювання.

Позасистемна одиницю виміру еквівалентної дози — бер (біологічний еквівалент рентгена). 1 бер відповідає опроміненню живого організму, при якому спостерігається такий ефект, що й при опроміненні рентгенівським чи γ -випромінюванням в дозі 1 рад (P).

Ефективна доза - сума значень еквівалентних доз опромінення окремих органів і тканин, помножених на відповідні вагові коефіцієнти.

Потужність дози — кількість енергії випромінювання, що поглинається речовиною за одиницю часу. В залежності від потужності дози розрізняють два основних види опромінення — гостре і пролонговане.

Лінійна передача енергії — кількість енергії, яку іонізуюча частинка витрачає на іонізацію та збудження атомів у речовині при проходженні певного шляху.

ГЛОСАРІЙ

Відносна біологічна ефективність, ВБЕ – відношення дози еталонного випромінювання, яке викликає певний біологічний ефект, до дози досліджуваного випромінювання, що викликає такийсамий ефект. Як еталонне випромінювання використовують рентгенівське випромінювання з енергією 180–250 кеВ або γ -випромінювання ^{60}Co або ^{137}Cs .

Пряма дія радіації - такі зміни молекул речовини, що виникають у результаті безпосереднього поглинання цими молекулами (енергії випромінювання).

Непряма (опосередкована) дія випромінювання - розуміють зміни молекул речовини, що продуктами радіаційного розпаду в оточуючому середовищі (наприклад, продуктами радіолізом води або інших розчинених речовин).

Фази (етапи, стадії) розвитку радіобіологічних ефектів:

- **Фізична (10^{-16} – 10^{-14} с)** – поглинання енергії випромінювання, іонізація молекул, радіоліз молекул (переважно молекул води)
- **Фізико-хімічна (10^{-10} - 10^{-6} с)-** формування продуктів радіолізу молекул та вільних радикалів
- **Хімічна (кілька секунд)** – взаємодія продуктів радіолізу з макромолекулами та іншими органічними молекулами, формування біохімічних ушкоджень
- **Біологічна (години, доби, роки)** – формування біологічних ефектів