

# Дозиметрія та радіометрія

Конспект для підготовки до складання  
лабораторних робіт № 8 та № 9

# ВСТУП

# Перелік літератури

- І.М. Каденко, В.А. Плюйко «Фізика атомного ядра та частинок»
- В.Ф. Козлов «Справочник по радиационной безопасности»
- Б.П. Голубев «Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений»
- Радиация. «Дозы. Эффекты. Риск» М., 1988

# Документи, на яких базується радіаційна безпека в Україні

№ 1

Норми радіаційної безпеки України «НРБУ-97»

<http://zakon3.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97>

№ 2

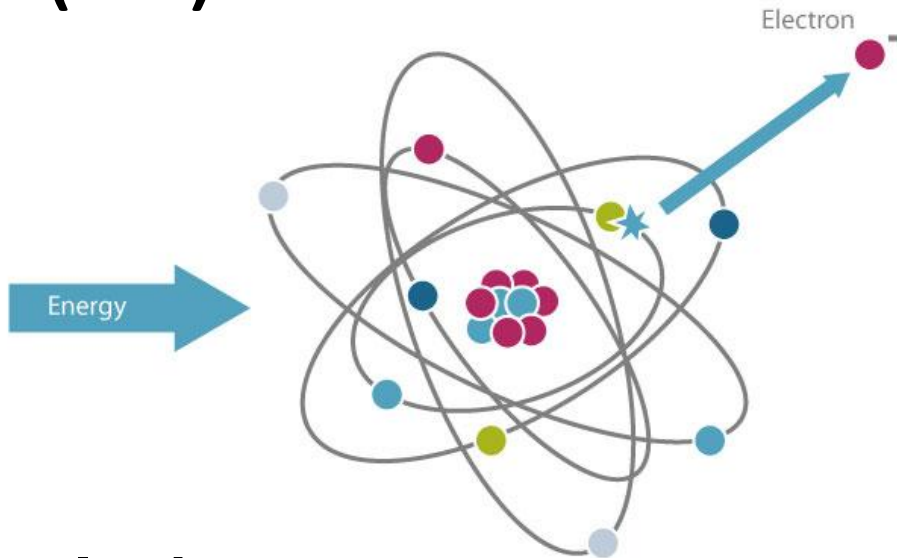
ОСНОВНІ САНІТАРНІ ПРАВИЛА  
забезпечення радіаційної безпеки України

<http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0552-05>

# Головні ефективні дози, які треба запам'ятати на все ЖИТТЯ

- Середня ефективна доза від фону для людини – **1 міліЗіверт**
- Летальна доза – **5 Зіверт**

# Іонізуюче випромінювання (ІВ)



- **Іонізуюче випромінювання (ІВ)** – це випромінювання, взаємодія якого із середовищем призводить до утворення іонів та електронів

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Альфа-випромінювання

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Бета-випромінювання

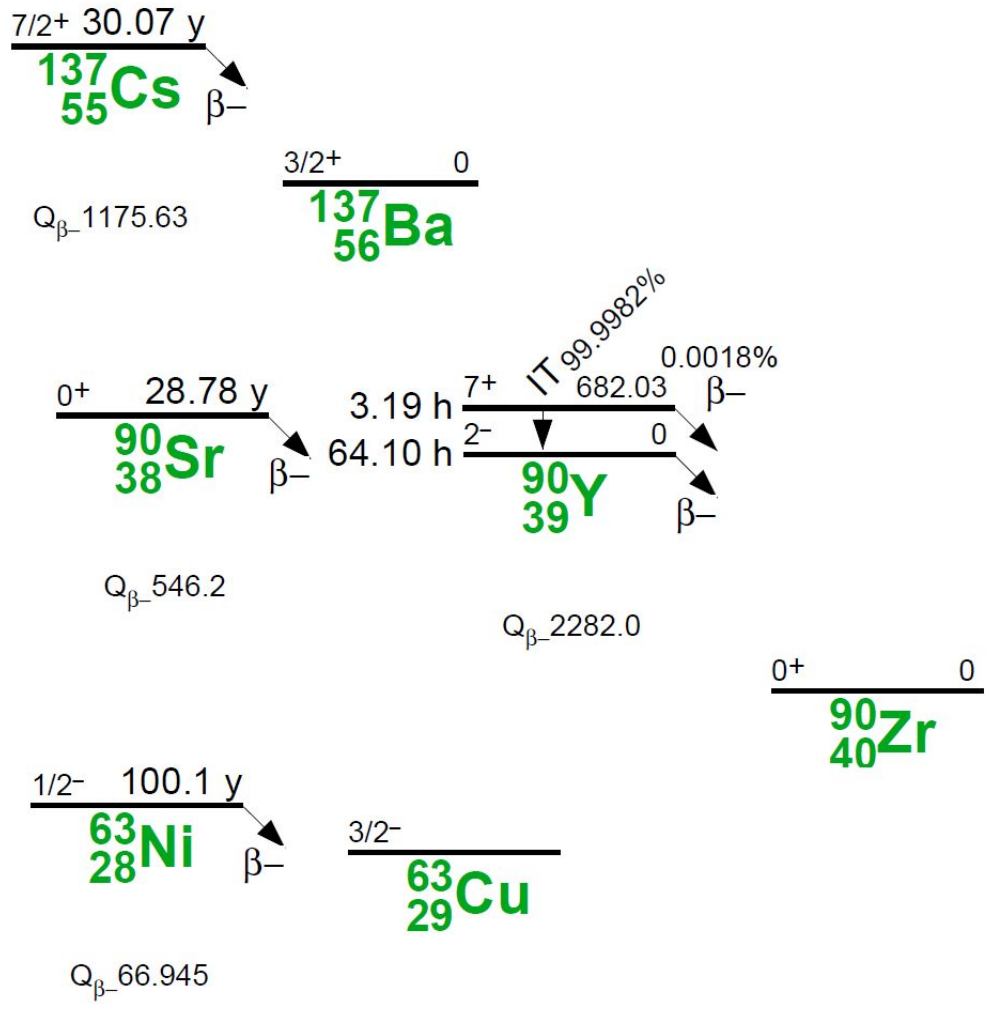
- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення



# Бета-випромінювання

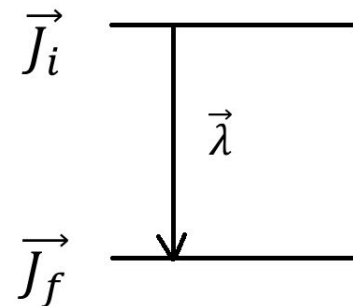
- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

- безпосередньо іонізуюче випромінювання – іонізуюче складається із заряджених частинок, які мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад,  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- непрямо іонізуюче випромінювання – іонізуюче створювати пряму іонізуюче випромінювання та (або) перетворення ядерні



# Гамма-випромінювання

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^{-}$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення
- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^{-}$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення



# Класи приладів для вимірювання ІВ

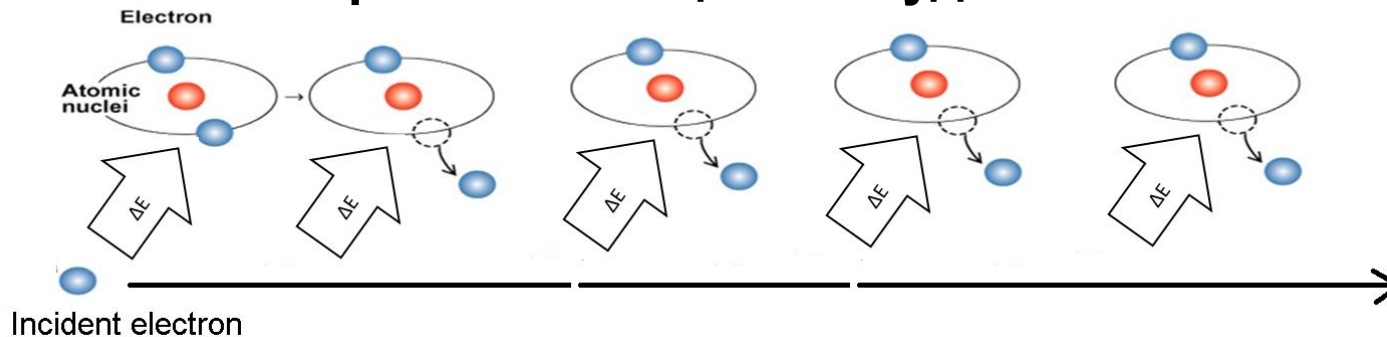
1. Радіометри – вимірюють кількість частинок та активність
2. Дозиметри - вимірюють поглинуту, еквівалентну, експозиційну дози та їх потужності
3. Спектрометри – вимірюють спектр джерела

# Проходження заряджених частинок крізь речовину

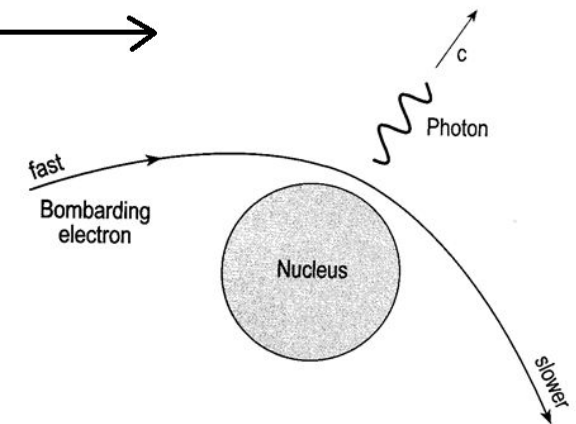
# Особливості проходження заряджених частинок крізь речовину

- Усі заряджені частинки, рухаючись у речовині, втрачають свою енергію. Ці втрати відбуваються за рахунок двох основних процесів:

## 1. Втрат на іонізацію та збудження атомів середовища



## 2. Гальмівне випромінювання (лише для легких частинок)



# Втрати на іонізацію – середня енергія, що іде на утворення пари іон-електрон

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Особливості проходження заряджених частинок крізь речовину

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення



# Особливості проходження заряджених частинок крізь речовину

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

**випромінювання – іонізуюч**  
**випромінювання, що**  
**складається із заряджених**  
**частинок, котрі мають**  
**достатню енергію для іоніза**  
**при зіткненні (наприклад,**  
 **$e^{-}$ ,  $p^{+}$ ,  $\alpha$ )**

• **Непрямо іонізуюче**  
**випромінювання – іонізуюч**  
**випромінювання, яке може**  
**створювати прямо іонізуюче**  
**випромінювання та (або)**  
**виклимати ядерні**  
**перетворення**

Values of electron energy loss by collision and by bremsstrahlung emission have been calculated for 59 target elements, 55 chemical compounds, and soft tissue. The Bethe formula, Sternheimer theoretical density-effect correction, and Koef-Motz cross-section expressions were used. Results have been tabulated for the energy losses, and for the ranges and bremsstrahlung yields derived from them, in 55 energy steps over the energy range 10 keV to 100 MeV.

• <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0092640X72800020>

TABLE II.

LOSS OF ENERGY

AIR

TABLE II.

LOSS OF ENERGY

ENERGY MEV	BY IONIZATION	BY RADIATION MEV*CM2/G	TOTAL
1.0E-02	1.9688E 01	4.9742E-03	1.9693E 01
1.5E-02	1.4401E 01	4.8978E-03	1.4406E 01
<b>Ni-63</b>	2.0E-02	1.1538E 01	1.1543E 01
2.5E-02	9.7253E 00	4.8144E-03	9.7301E 00
3.0E-02	8.4681E 00	4.7946E-03	8.4729E 00
3.5E-02	7.5419E 00	4.7849E-03	7.5467E 00
4.0E-02	6.8296E 00	4.7865E-03	6.8344E 00
4.5E-02	6.2639E 00	4.7949E-03	6.2687E 00
5.0E-02	5.8032E 00	4.8135E-03	5.8080E 00
5.5E-02	5.4205E 00	4.8389E-03	5.4254E 00
6.0E-02	5.0974E 00	4.8696E-03	5.1023E 00
6.5E-02	4.8208E 00	4.9072E-03	4.8257E 00
7.0E-02	4.5813E 00	4.9497E-03	4.5862E 00
7.5E-02	4.3718E 00	4.9914E-03	4.3768E 00
8.0E-02	4.1870E 00	5.0337E-03	4.1921E 00
8.5E-02	4.0228E 00	5.0780E-03	4.0279E 00
9.0E-02	3.8759E 00	5.1345E-03	3.8811E 00
9.5E-02	3.7437E 00	5.1864E-03	3.7489E 00
1.0E-01	3.6242E 00	5.2421E-03	3.6294E 00
1.5E-01	2.8542E 00	5.7969E-03	2.8600E 00
<b>Sr-90</b>	2.0E-01	6.4029E-03	2.4703E 00
2.5E-01	2.2314E 00	7.0578E-03	2.2384E 00
3.0E-01	2.0793E 00	7.7423E-03	2.0871E 00
3.5E-01	1.9739E 00	8.4469E-03	1.9824E 00
4.0E-01	1.8978E 00	9.1763E-03	1.9070E 00
4.5E-01	1.8412E 00	9.8809E-03	1.8510E 00

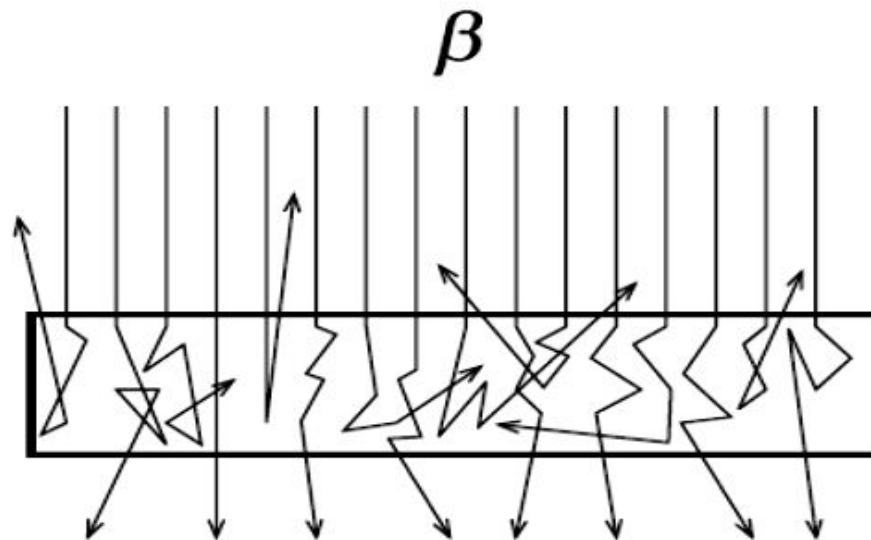
**Cs-137**

ENERGY MEV	BY IONIZATION	BY RADIATION MEV*CM2/G	TOTAL
5.0E-01	1.7982E 00	1.0572E-02	1.8087E 00
5.5E-01	1.7650E 00	1.1262E-02	1.7762E 00
6.0E-01	1.7391E 00	1.1958E-02	1.7510E 00
6.5E-01	1.7167E 00	1.2621E-02	1.7313E 00
7.0E-01	1.7026E 00	1.3284E-02	1.7159E 00
<b>Y-90</b>	7.5E-01	1.6899E 00	1.7039E 00
8.0E-01	1.6799E 00	1.4678E-02	1.6945E 00
8.5E-01	1.6720E 00	1.5385E-02	1.6874E 00
9.0E-01	1.6658E 00	1.6096E-02	1.6819E 00
9.5E-01	1.6611E 00	1.6829E-02	1.6780E 00
1.0E 00	1.6576E 00	1.7583E-02	1.6752E 00
2.0E 00	1.6814E 00	3.2631E-02	1.7140E 00
3.0E 00	1.7370E 00	4.6165E-02	1.7831E 00
4.0E 00	1.7671E 00	6.3191E-02	1.8503E 00
5.0E 00	1.8300E 00	8.1218E-02	1.9112E 00
6.0E 00	1.8669E 00	9.9854E-02	1.9667E 00
7.0E 00	1.8991E 00	1.1887E-01	2.0179E 00
8.0E 00	1.9276E 00	1.3834E-01	2.0659E 00
9.0E 00	1.9530E 00	1.5832E-01	2.1113E 00
1.0E 01	1.9761E 00	1.7831E-01	2.1544E 00
2.0E 01	2.1261E 00	3.9583E-01	2.5220E 00
3.0E 01	2.2007E 00	6.2611E-01	2.8268E 00
4.0E 01	2.2486E 00	8.6355E-01	3.1122E 00
5.0E 01	2.2838E 00	1.1054E 00	3.3892E 00
6.0E 01	2.3116E 00	1.4487E 00	3.7604E 00
7.0E 01	2.3346E 00	1.6592E 00	4.0338E 00

# Пробіг заряджених частинок в речовині

- Якісно проходження моноенергетичних електронів в речовині можна описати, як:
  - Потрапивши в речовину, електрон спочатку рухається переважно прямолінійно, відчуваючи незначні відхилення від початкового напрямку руху.
  - Втрати енергії для електронів із  $E < 10 \text{ MeV}$  переважно іонізаційні.
  - При поступовій втраті енергії електронами, їх розсіяння зростає. При достатньо великій кількості актів розсіяння, електронний пучок вже не має переважного напрямку руху і переміщення електронів можна розглядати як дифузію.
  - При великій товщині поглинача, відбувається зменшення енергії електронів до нуля.

# Розсіяння електронів у речовині

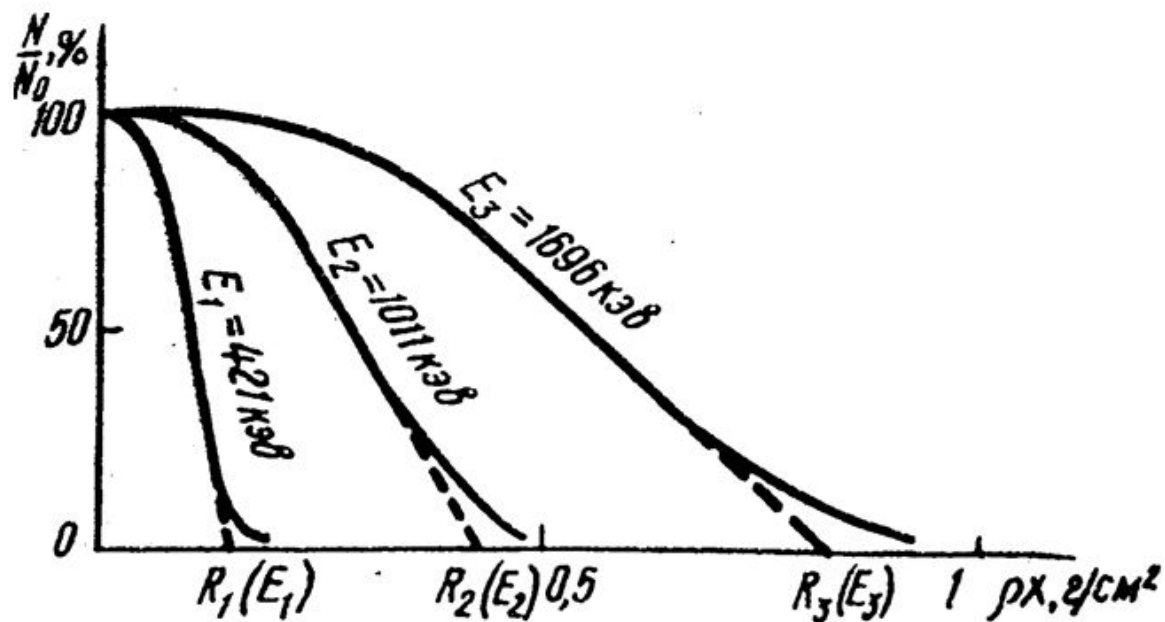


Схематическое представление рассеяния параллельного пучка электронов в веществе

# Пробіг заряджених частинок в речовині

- Максимальна товщина шару поглинача, при якій жоден із налітаючих електронів не вилетить з цього шару, можна розглядати як **«пробіг»** електронів.
- Проте, вимірювання цієї товщини є експериментально складним. Тому, користуються поняттям **«екстрапольований пробіг»**
- Для його визначення знімають графік залежності числа електронів, що пройшли поглинач від (масової) товщини поглинача.
- На графіку прямолінійну ділянку продовжують до перетину із віссю  $x$  і ця точка є значенням екстрапольованого пробігу.

# Екстрапольований пробіг електронів



5. Зависимость относительной интенсивности прошедшего через вещество потока моноэнергетических электронов от массовой толщины поглотителя.

# Пробіг заряджених частинок в речовині - алюмінії

- Емпіричні формули для розрахунку екстрапольованого пробігу для бета-частинок з неперервним спектром **в алюмінії**:

$[R]_{\text{cm}}$	$[E] \text{ [MeV]}$
$R = 7 \cdot 10^{-3} E^{5/3}$	$E \leq 200 \text{ keV}$
$R = 1.5 \cdot 10^{-2} E^{3/2}$	$30 \text{ keV} \leq E \leq 150 \text{ keV}$
$R = 0.407 E^{3/8}$	$150 \text{ keV} \leq E \leq 800 \text{ keV}$
$R = 0.542 E^{3/4}$	$800 \text{ keV} \leq E \leq 1 \text{ MeV}$
$R = 0.571 E - 0.161$	$E \geq 1 \text{ MeV}$

# Розрахунок пробігу частинок у речовині по відомому пробігу в алюмінії

$$\left( \frac{\Gamma}{\text{CM}^2} \right)_{\text{Al}} = \left( \frac{\Gamma}{\text{CM}^2} \right)_{\text{M}} \frac{\left( \frac{\Gamma}{\text{CM}^2} \right)_{\text{M}}}{\left( \frac{\Gamma}{\text{CM}^2} \right)_{\text{Al}}}$$

$$\left( \text{CM} \right)_{\text{Al}} = \frac{1}{\left( \frac{\Gamma}{\text{CM}^2} \right)_{\text{Al}}} \left( \frac{\Gamma}{\text{CM}^2} \right)_{\text{M}} \frac{\left( \frac{\Gamma}{\text{CM}^2} \right)_{\text{M}}}{\left( \frac{\Gamma}{\text{CM}^2} \right)_{\text{Al}}}$$



# Пробіг заряджених частинок в хімічній сполуці

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

Приклад: визначити екстрапольований пробіг бета-частинок джерела Sr-90+Y-90 в м'якій тканині

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Порівняння пробігу із табличними даними (в таблиці наведено повний пробіг)

## ENERGY LOSS OF ELECTRONS

TABLE II. SOFT TISSUE

ENERGY MEV	LOSS OF ENERGY			RANGE G/CM2	BREMSSTRAHLUNG YIELD
	BY IONIZATION	BY RADIATION MEV*CM2/G	TOTAL		
4.0E-01	2.1257E 00	9.0689E-03	2.1348E 00	1.2874E-01	2.2500E-03
4.5E-01	2.0578E 00	9.7561E-03	2.0676E 00	1.5254E-01	2.4982E-03
5.0E-01	2.0057E 00	1.0445E-02	2.0161E 00	1.7702E-01	2.7434E-03
5.5E-01	1.9649E 00	1.1126E-02	1.9760E 00	2.0208E-01	2.9854E-03
6.0E-01	1.9325E 00	1.1814E-02	1.9443E 00	2.2759E-01	3.2244E-03
6.5E-01	1.9065E 00	1.2469E-02	1.9190E 00	2.5348E-01	3.4600E-03
7.0E-01	1.8855E 00	1.3131E-02	1.8987E 00	2.7967E-01	3.6919E-03
7.5E-01	1.8685E 00	1.3818E-02	1.8823E 00	3.0612E-01	3.9210E-03
8.0E-01	1.8545E 00	1.4517E-02	1.8690E 00	3.3278E-01	4.1481E-03
8.5E-01	1.8430E 00	1.5205E-02	1.8582E 00	3.5961E-01	4.3732E-03
9.0E-01	1.8336E 00	1.5922E-02	1.8495E 00	3.8658E-01	4.5967E-03
9.5E-01	1.8258E 00	1.6633E-02	1.8425E 00	4.1367E-01	4.8188E-03
1.0E 00	1.8195E 00	1.7356E-02	1.8369E 00	4.4085E-01	5.0398E-03
2.0E 00	1.8067E 00	3.2354E-02	1.8391E 00	9.8493E-01	9.2804E-03
3.0E 00	1.8390E 00	4.5821E-02	1.8848E 00	1.5221E 00	1.3171E-02
4.0E 00	1.8704E 00	6.2710E-02	1.9331E 00	2.0460E 00	1.6972E-02
5.0E 00	1.8972E 00	8.0619E-02	1.9778E 00	2.5575E 00	2.0898E-02
6.0E 00	1.9199E 00	9.9164E-02	2.0190E 00	3.0579E 00	2.4904E-02
7.0E 00	1.9392E 00	1.1809E-01	2.0573E 00	3.5486E 00	2.8955E-02
8.0E 00	1.9560E 00	1.3748E-01	2.0935E 00	4.0305E 00	3.3027E-02

# Дія ІВ на тканини

- Знання про віддалену дію ІВ базується на вивченні 90 000 виживших після бомбардування Хіросіми та Нагасакі, що отримали ефективну дозу  $\approx 0.2$  Зв
- При передачі енергії речовині відбуваються:
  - 1) хімічні зміни** - миттєво,
  - 2) молекулярні зміни** - за дуже короткий період часу, а очевидним
  - 3) біологічний вплив** може стати через години або десятиліття

# Дія ІВ на тканини

- **Хімічні зміни** внаслідок радіаційного пошкодження пов'язані з руйнування молекул – розрив ковалентного зв'язку (атоми мають спільні електрони)



- Далі іде створення вільних радикалів при іонізації молекул води - іон води розщеплюється



# Дія ІВ на тканини

## Молекулярні зміни

- Вільний радикал ОН - високоактивна хімічно сполука, яка здійснює різноманітні зміни у органічних молекулах. Найважливіше, що відбувається **руйнування макромолекул ДНК**

## Біологічний вплив

- Субклітинний рівень - руйнування мембран, хромосом
- Клітинний рівень – смерть клітини або трансформація у злоякісну клітину

# Детерміновані та стохастичні ефекти

## Вплив високих доз

### Порогові

- Детерміновані –
  - Ймовірність виникнення ефекту зростає зі збільшенням дози
  - **Тяжкість ефекту тим більша, чим більша доза**
  - Гостра променева хвороба

## Вплив низьких доз

### Безпорогові

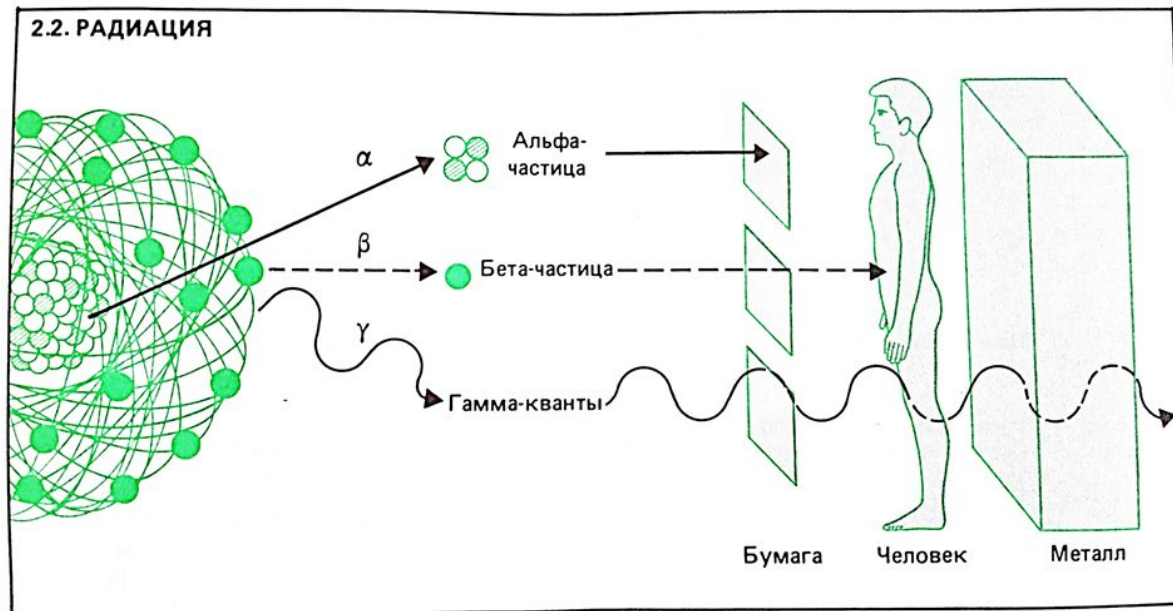
- Стохастичні :
  - Ймовірність виникнення ефекту зростає зі збільшенням дози
  - **Тяжкість ефекту не залежить від дози**
  - Злоякісні новоутворення

**ДОЗИ**



# Дози опромінення

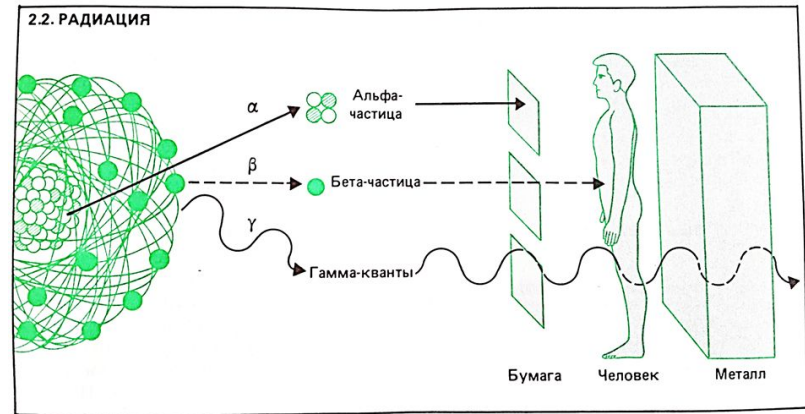
- При проходженні крізь речовину, різні види випромінювання передають речовині різну кількість енергії та характеризуються різною проникаючою здатністю. Тому різне випромінювання має неоднакову дію на тканини живих організмів.



Три вида излучений и их проникающая способность.

# Дози опромінення

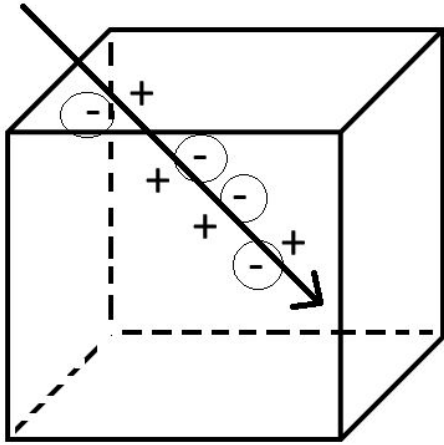
- Альфа-випромінювання затримується матеріалом товщиною з аркуш паперу, тому воно не здатне проникнути через шкіру. Альфа-випромінювання стає небезпечним, коли його джерело потрапляє всередину організму людини: з їжею, або повітрям.
- Бета-частинки проходять в організм на глибину 1-2 см і можуть створити значне радіаційне ураження шкіри.



Три вида излучений и их проникающая способность.

- Проникаюча здатність гамма-квантів найбільша – їх можна затримати лише товста плита зі свинця або бетону.

# Іонізація, як створення зап'ялв

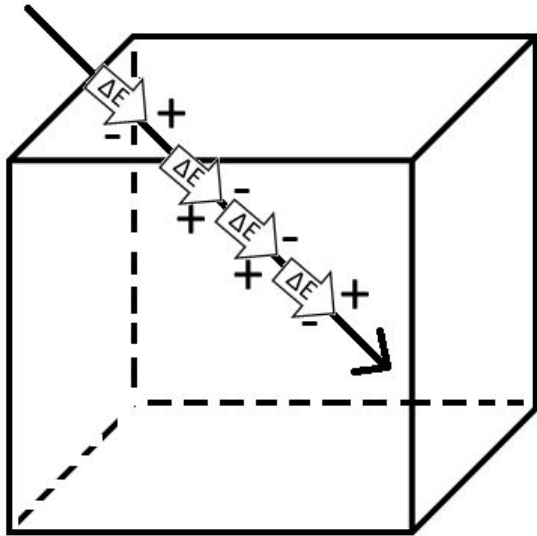


- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

1Р = 1 заряд СГС / (0,001293 г) Рентген - это экспозиционная доза рентгеновского и гамма-излучения, создающая в 1 куб.см воздуха при температуре 0°C и давлении 760 мм рт.ст. суммарный заряд ионов одного знака в одну электростатическую единицу количества электричества.

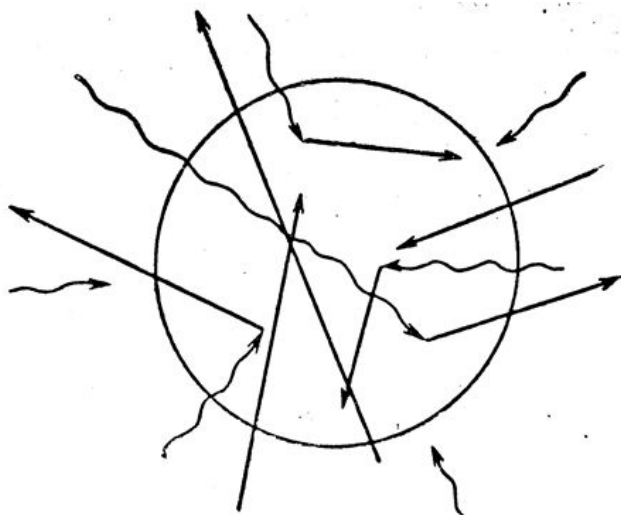
# Іонізація, як передача енергії



- При проходженні через речовину, іонізуюче випромінювання втрачає свою енергію. Можна порахувати, яка енергія була передача речовині при утворенні зарядів

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Іонізація, як передача енергії



- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

- При взаємодії квантів з речовиною, вивільнюються електрони, що мають різні напрямки руху. Частина електронів, що народилися в об'ємі, у ньому поглинуться повністю, а частина вийде з об'єму. Але в об'єм можуть потрапити електрони із сусідніх ділянок середи, у яких також відбувається взаємодія випромінення з речовиною. Можна говорити про випромінення, що входить у об'єм та виходить із нього.

# Керма

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Поглинута доза, як міра ураження живих тканин

- Ураження, що виникає в живому організмі, буде тим більше, чим більшу енергію випромінювання передає тканинам.

# Еквівалентна та ефективна доза

- Еквівалентна і ефективна доза визначаються на основі поглинутої дози
- Вони використовуються в радіаційній безпеці при оцінці шкідливого біологічного впливу ІВ на людину в «малих» дозах, що не перевищують 250 міліЗіверт на рік (п'ять лімітів доз). Їх не використовують для оцінки наслідків аварійного опромінення на людину.



# Еквівалентна доза

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Ефективна доза

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Ефективна доза

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Таблиці радіаційних та тканинних зважуючих факторів

Таблиця 3.2 Значення радіаційних зважуючих факторів ( $w_R$ )

Вид випромінювання	$w_R$	$w$
Фотони, всі енергії		1
Електрони і мюони, всі енергії		1
Протони з енергією > 2 MeV		5
Нейтрони з енергією < 10 keV		5
з енергією 10-100 keV	0	1
з енергією від 100 keV до 2 MeV	0	2
з енергією 2-20 MeV	0	1
з енергією > 20 MeV		5
Альфа-опромінення, важкі ядра віддачі	0	2

Таблиця 3.5 Значення тканинних зважуючих факторів ( $w_T$ )

Тканина або орган	$w_T$
Гонади	0.20
Кістковий мозок (червоний)	0.12
Товста кишка	0.12
Легені	0.12
Шлунок	0.12
Сечовий міхур	0.05
Молочна залоза	0.05
Печінка	0.05
Стравохід	0.05
Щитовидна залоза	0.05
Шкіра	0.01
Поверхня кістки	0.01
Інші органи	0.05

# Схематичне представлення тканинних зважуючих факторів

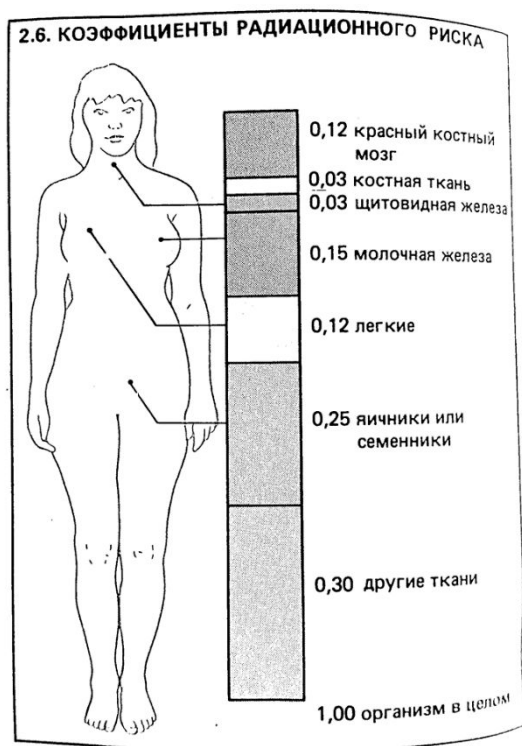


Table 2.3 Organ- and tissue-specific radiation risk factors and tissue weighting factors,  $w_T$

Organ or tissue	Risk factor (% per Sv)	Weighting factor ( $w_T$ )
Gonads		0.20
Stomach	1.10	0.12
Colon	0.85	0.12
Lung	0.85	0.12
Red bone marrow	0.50	0.12
Bladder	0.30	0.05
Oesophagus	0.30	0.05
Breast	0.20	0.05
Liver	0.15	0.05
Thyroid	0.08	0.05
Ovaries	0.10	-
Bone surface	0.05	0.01
Skin	0.02	0.01
Remainder	0.50	0.05
Total	5.0	1

- Тканинні зважуючі фактори визначаються, як ймовірність виникнення раку із летальним наслідком
- Встановлено, що при рівномірному опроміненні тіла дозою в 1 Зв смерть від раку відбудеться у 5% осіб. При опроміненні дозою в 1 міліЗіверт – смерть настане відповідно у 0,005% . Це означає, що :  
**опромінення тіла людини рівномірно дозою в 1 мЗв дає 1 смерть на 20 000 осіб**

# Перерахунок експозиційної дози в поглинуту для гамма- випромінювання

1 Зіверт  $\approx$  100 рентген

# Потужність дози

- Потужність дози – відношення дози до інтервалу часу, за який ця доза була отримана

Потужність поглинутої дози	$\Delta D / \Delta t$ , [Грей/сек]
Потужність еквівалентної дози	$\Delta H / \Delta t$ , [Зіверт/сек]
Потужність експозиційної дози	$\Delta X / \Delta t$ , [Кулон/кілограм/сек]
Потужність керми	$\Delta K / \Delta t$ , [Грей/сек]

- **Переведення одиниць**

Рад → Грей	1 грей = 100 рад
Кулон/кілограм → Рентген	1 Р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг
Зіверт → Рентген (для гамма)	1 Зіверт $\approx$ 100 рентген

# Потік частинок - густина потоку частинок

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення
- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення



# АКТИВНІСТЬ

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Одиниці активності

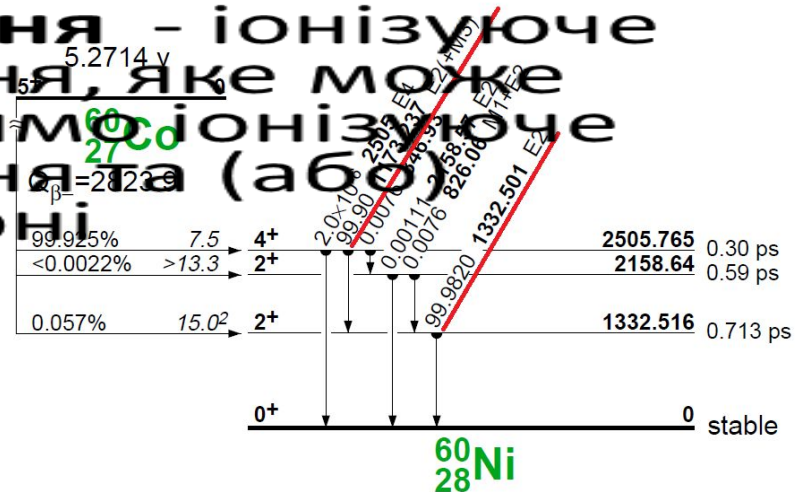
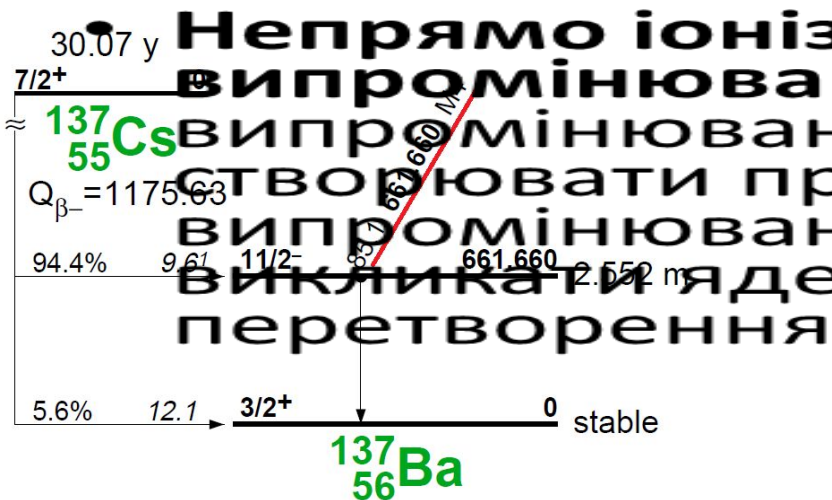
- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Похідні величини від активності

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Квантових вихід

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання – іонізуюче випромінювання**, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )



# Закон радіоактивного розпаду

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Стала розпаду

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Період напіврозпаду та час ЖИТТЯ

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Зв'язок активності та маси радіоактивного препарату

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення



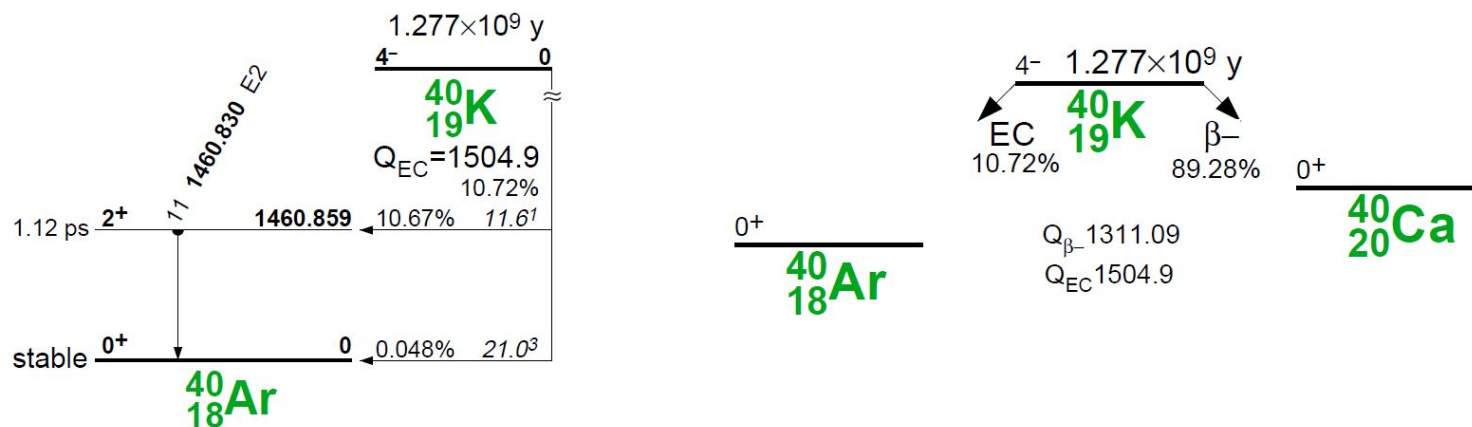
Задача: визначити активність К-40 в організмі людини, якщо вага калію становить 0,19 % та поглинуту дозу від К-40 за рік

- [https://projects.ncsu.edu/ncsu/chemistry/msf/pdf/IsotopicMass\\_NaturalAbundance.pdf](https://projects.ncsu.edu/ncsu/chemistry/msf/pdf/IsotopicMass_NaturalAbundance.pdf)

Z	Name	Symbol	Mass of Atom (u)	% Abundance
19	Potassium	<sup>39</sup> K	38.963707	93.2581
		<sup>40</sup> K	39.963999	0.0117
		<sup>41</sup> K	40.961826	6.7302

$$\begin{aligned}
 m &= 0.0019 \text{ [кг]} \cdot 0.0117\% \cdot 70 \text{ [кг]} = 0.00019 \cdot 0.0117 \cdot 70 = 0.000154 \text{ [кг]} \\
 N &= \frac{m}{M} \cdot N_A = \frac{0.000154 \text{ [кг]}}{40 \text{ [г/моль]} \cdot 10^{-3} \text{ [кг/г]}} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} \text{ [моль}^{-1}] = 2.35 \cdot 10^{20} \\
 A &= \lambda N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N = \frac{0.693}{1.277 \cdot 10^9 \text{ [с]}} \cdot 2.35 \cdot 10^{20} = 4.14 \cdot 10^7 \text{ [розпадів/с]} \approx 4 \text{ [Бк]}
 \end{aligned}$$

Задача: визначити активність К-40 в організмі людини, якщо вага калію становить 0,19 % та поглинуту дозу від К-40 за рік



створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Задача: визначити поглинуту дозу від К-40 за рік

$$D = \frac{N \cdot E}{m_{\text{людини}}} = \frac{A \cdot t \cdot (n_{\gamma} E_{\gamma} + n_{e^{-}} \bar{E}_{e^{-}})}{m_{\text{людини}}} = \left| \bar{E}_{e^{-}} \approx \frac{E_{\text{max}}}{3} \right| =$$

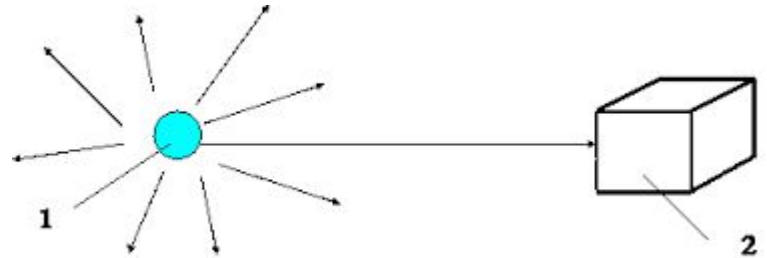
$$= \frac{1}{70} \text{ Бк} \cdot 10^3 \cdot 1536 \cdot 10^3 \cdot \left( 0.1067 \cdot 1.460 \text{ MeV} + 0.8928 \cdot \frac{1.311 \text{ MeV}}{3} \right) \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{\text{MeV}} \cdot \frac{1}{1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}} =$$

$$= \frac{1.66}{70} \text{ Грей} \cdot 1536 \cdot 10^3 \cdot (0.1067 \cdot 1.460 + 0.8928 \cdot \frac{1.311}{3}) \cdot 10^{-3} = \dots \cdot 10^{-3} \text{ Грей}$$

$$\text{Грей} \cdot 10^{-3} \text{ мДЗ} = \dots$$

# Розрахунок дозових характеристик від точкового гамма- джерела

# Гамма-постійна



- Візьмемо гамма-джерело (1) активністю 1 Бк і на відстані 1 м виміряємо потужність поглинутої дози (2). Це значення потужності буде називатися **«гамма-постійна для даного джерела»**
- **Гамма-постійна радіонукліда**– це потужність поглинутої дози в повітрі, що створюється гамма-випромінюванням точкового ізотропного джерела активністю 1 Бк на відстані 1 м від нього.
- Залежить від характеристик радіонукліду: від схеми розпаду, кількості та енергії квантів, що випромінюються при розпаді.

# Гамма-постійна

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Теоретичний розрахунок гамма-постійної за даними джерела

$$\Gamma_{Ci} = \frac{D \cdot r^2}{A} = 12750 \sum_{i=1}^m E_{\gamma_i} n_{\gamma_i} \mu_{en, \gamma_i}$$

$$[\Gamma_{Ci}] = \left[ \frac{\text{аттоГрей} \cdot \text{м}^2}{\text{с} \cdot \text{Бк}} \right]$$

$$\mu_{en, \gamma_i} = \left[ \frac{\text{М}^2}{\text{КГ}} \right]$$

$E_{\gamma_i}$  — енергія — квантів — [MeV]

$n_{\gamma_i}$  — квантовий — вихід —  $\left[ \frac{\text{фотон}}{\text{розпад}} \right]$

$\mu_{en, \gamma_i}$  — коеф. — поглинання — енергії

атто =  $10^{-18}$

$$\Gamma = \frac{X \cdot r^2}{A} = 194,5 \sum_{i=1}^m E_{\gamma_i} n_{\gamma_i} \mu_{en, \gamma_i}$$

$$[\Gamma] = \left[ \frac{\text{Р} \cdot \text{см}^2}{\text{година} \cdot \text{мКюрі}} \right]$$

$$\mu_{en, \gamma_i} = \left[ \frac{\text{см}^2}{\text{Г}} \right]$$

випромінювання – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад,  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )

- **Непрямо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад,  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення



Купує купує купує купує купує купує  
випромінювання – іонізуюче  
випромінювання, що  
складається із заряджених  
частинок, котрі мають  
достатню енергію для іонізації  
при зіткненні (наприклад,  
 $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )

- **Непрямо іонізуюче  
випромінювання** – іонізуюче  
випромінювання, яке може  
створювати прямо іонізуюче  
випромінювання та (або)  
викликати ядерні  
перетворення

- **Безпосередньо іонізуюче  
випромінювання** – іонізуюче  
випромінювання, що  
складається із заряджених  
частинок, котрі мають  
достатню енергію для іонізації  
при зіткненні (наприклад,  
 $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче  
випромінювання** - іонізуюче  
випромінювання, яке може  
створювати прямо іонізуюче  
випромінювання та (або)  
викликати ядерні  
перетворення

# Розподіл енергії при взаємодії гамма-квантів з речовиною

Тип взаємодії	Частина енергії, що передається електрону	Частина енергії, що передається фотонному випромінюванню
Фотоефект	Утворюється фотоелектрон	Утворені електрони з попереднього стовпчика при взаємодії частину енергії втрачають за рахунок гальмівного випромінювання
Комптон-ефект	Частина енергії у передається розсіяному електрону	Частина енергії у передається розсіяному гамма-кванту
Утворення пар	Утворюється електрон + позитрон	При анігіляції, позитрон перетворюється у пару анігіляційних квантів

Благодаря взаимодействию гамма-квантов с веществом происходит передача энергии электронам, что приводит к торможению электронов и излучению рентгеновского излучения (тормозное излучение).

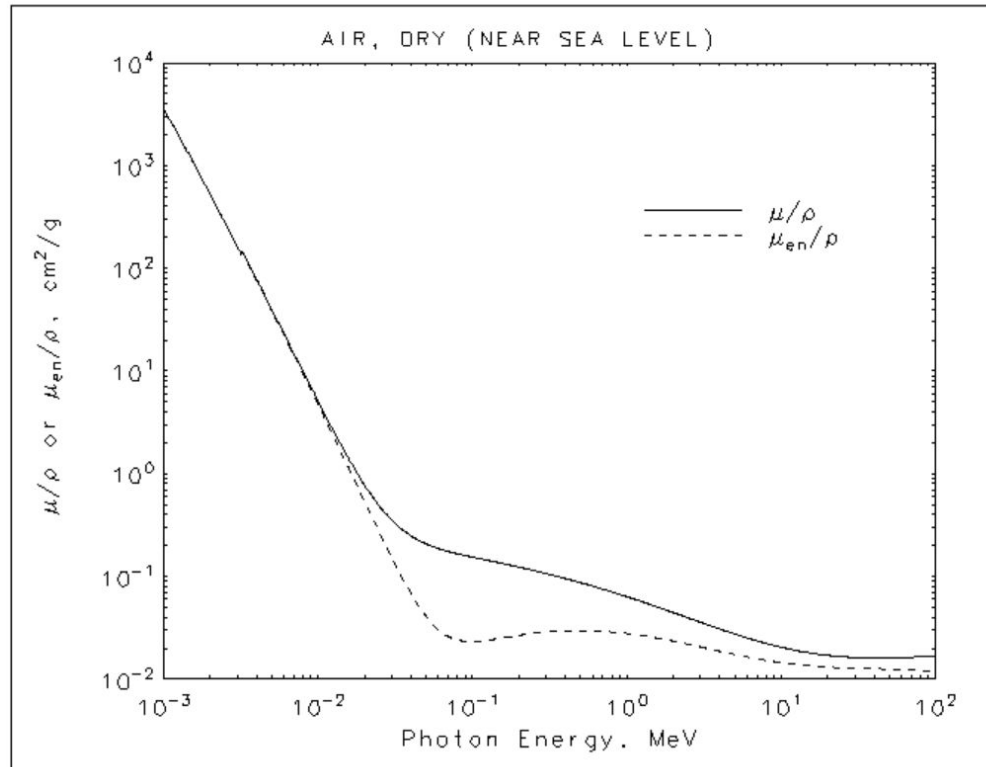
Взаимодействие гамма-квантов с веществом приводит к образованию пар электрон-позитрон.

# Значення коефіцієнтів поглинання енергії та коефіцієнтів ослаблення гамма-квантів

- <https://www.nist.gov/pml/x-ray-mass-attenuation-coefficients>

Air, Dry (Near Sea Level)

Energy (MeV)	$\mu/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)	$\mu_{en}/\rho$ (cm <sup>2</sup> /g)
2.00000E-01	1.233E-01	2.672E-02
3.00000E-01	1.067E-01	2.872E-02
4.00000E-01	9.549E-02	2.949E-02
5.00000E-01	8.712E-02	2.966E-02
6.00000E-01	8.055E-02	2.953E-02
8.00000E-01	7.074E-02	2.882E-02
1.00000E+00	6.358E-02	2.789E-02
1.25000E+00	5.687E-02	2.666E-02
1.50000E+00	5.175E-02	2.547E-02
2.00000E+00	4.447E-02	2.345E-02
3.00000E+00	3.581E-02	2.057E-02
4.00000E+00	3.079E-02	1.870E-02
5.00000E+00	2.751E-02	1.740E-02
6.00000E+00	2.522E-02	1.647E-02
8.00000E+00	2.225E-02	1.525E-02
1.00000E+01	2.045E-02	1.450E-02
1.50000E+01	1.810E-02	1.353E-02
2.00000E+01	1.705E-02	1.311E-02



# Приклад розрахунку диференційної та повного гамма-постійної

$$\Gamma_{Ci}(Co^{60}) = 12750 \sum_{i=1}^m E_{\gamma_i} n_{\gamma_i} \mu_{en,\gamma_i} =$$

$$12750(1.173 \cdot 0.999 + 1.33325 \cdot 0.9998) \cdot 0.02666 \cdot 10^{-1} \left( \frac{cm^2}{g} \rightarrow \frac{M^2}{kg} \right) =$$

$$= 85.1 \left[ \frac{\text{аттоГрей} \cdot M^2}{c \cdot Bk} \right]$$

$$\Gamma_{Ci}(Co^{60}) = 194.5 \sum_{i=1}^m E_{\gamma_i} n_{\gamma_i} \mu_{en,\gamma_i} =$$

$$194.5(1.173 \cdot 0.999 + 1.33325 \cdot 0.9998) \cdot 0.02666 = 12.982 \left[ \frac{P \cdot cm^2}{\text{година} \cdot mKjuri} \right]$$

Таблиця приведена з [Б.П. Голубев «Дозиметрия и защита».

Таблица П.23. Значения периода полураспада, гамма-постоянных для некоторых радиоизотопов

Изотоп	T <sub>1/2</sub>	Г, Р-см <sup>2</sup> г·см <sup>2</sup>	Г <sub>См<sup>2</sup></sub> ·с·Бк
<sup>15</sup> N	7,11 с	14,65	96,48
<sup>21</sup> Na	2,602 года	11,85	78,02
<sup>21</sup> Na	15,005 ч	18,13	119,4
<sup>41</sup> Ar	1,83 ч	6,544	43,09
<sup>13</sup> K	12,36 ч	1,352	8,902
<sup>51</sup> Cr	27,703 сут	0,2587	1,70
<sup>52</sup> Mn	5,67 сут	17,97	118,3
<sup>55</sup> Mn	312,3 сут	4,614	30,38
<sup>55</sup> Mn	2,578 ч	8,468	55,76
<sup>59</sup> Fe	45,1 сут	6,177	40,67
<sup>57</sup> Co	270,9 сут	0,563	3,64
<sup>59</sup> Co	5,272 года	12,85	84,63
<sup>65</sup> Cu	12,71 ч	1,127	7,422
<sup>65</sup> Zn	244,1 сут	3,056	20,12
<sup>66</sup> Kr	10,71 года	1,29	8,49
<sup>40</sup> Zr + <sup>41m</sup> Nb	64,05 сут (3,61 сут)	4,125	27,16
<sup>41</sup> Nb	34,97 сут	4,269	28,11
<sup>103</sup> Ru + <sup>103m</sup> Rh	39,35 сут (56,116 мкс)	2,829	18,63
<sup>106</sup> Ru + <sup>106m</sup> Rh	3,68 сут (29,9 с)	1,150	7,576
<sup>147m</sup> Ag + <sup>147</sup> Ag	250,4 сут (24,7 сут)	15,39	101,4
<sup>131</sup> I	8,04 сут	2,156	14,20
<sup>131</sup> I	20,8 ч	3,36	22,06
<sup>131</sup> I	6,6 ч	8,44	55,32

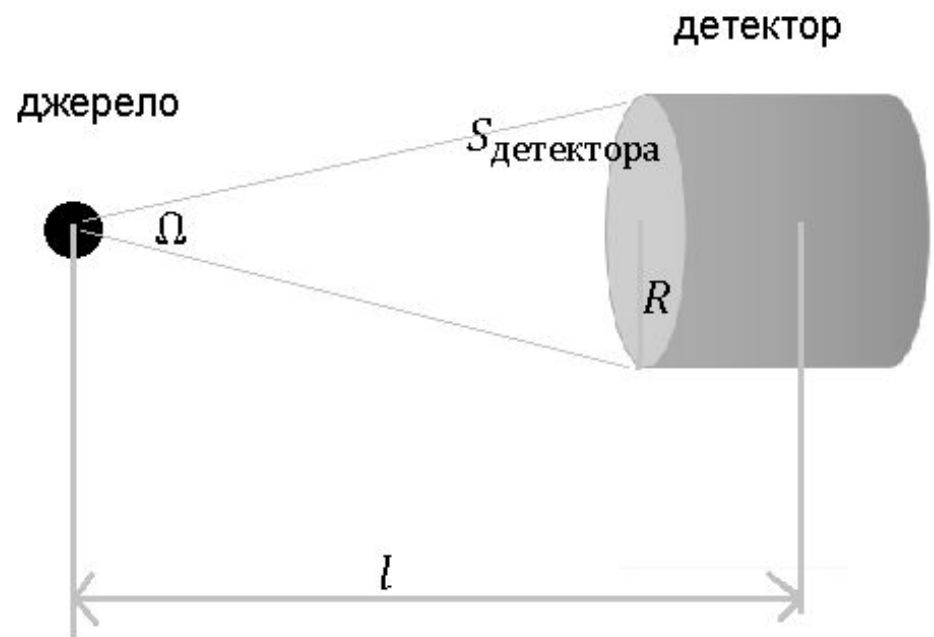
# Розрахунок поглинутої дози за відомою активністю

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Приклад

# Розрахунок активності гамма-джерела на основі спектрометричних вимірювань

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні ( $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** – випромінювання, що створює іонізацію при випромінюванні вторинних частинок внаслідок виклику ядерних перетворень



# Розрахунок активності гамма-джерела на основі спектрометричних вимірювань

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення



# Розрахунок активності гамма-джерела на основі спектрометричних вимірювань

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Розрахунок поглинутої та дози за відомою активністю

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Розрахунок експозиційної дози за відомою активністю

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Розрахунок дозових та радіометричних характеристик від точкового бета-джерела

# Розрахунок активності та густини потоку від бета - джерела на основі радіометричних вимірювань

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Розрахунок потужності поглинутої дози від бета - джерела на основі радіометричних вимірювань

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Розрахунок потужності поглинутої дози від бета - джерела на основі радіометричних вимірювань

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення



# Розрахунок характеристик бета - джерела на основі радіометричних вимірювань. Приклад Sr-90+Y-90:

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення



# Розрахунок поверхневої та об'ємної активності зразків.

## Приклад

- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Ліміти доз, встановлені в НРБҮ-97

**Категорія А** – особи з числа персоналу, які постійно чи тимчасово працюють безпосередньо з джерелами іонізуючих випромінювань.

**Категорія Б** - особи з числа персоналу, які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами іонізуючих випромінювань, але у зв'язку з розташуванням робочих місць в приміщеннях та на промислових майданчиках об'єктів з радіаційно-ядерними технологіями можуть отримувати додаткове опромінювання.

**Категорія В** - все населення.

Примітка:

\* - потужність дози опромінювання протягом календарного року не регламентується. Щодо жінок дітородного віку (до 45 років), які відносяться до категорії А, доза за будь-які два послідовні місяці не повинна перевищувати 1,5 мЗв, а для вагітних жінок діють обмеження пункту 4.2.3.

\*\* - для вагітних жінок, які відносяться до персоналу категорії Б, та осіб з населення (категорія В), всі основні та похідні регламенти встановлюються на рівні в 2 рази меншому ніж відповідні значення.

\*\*\* - в середньому за будь-які послідовні 5 років, але не більше 50 мЗв за окремий рік.

Таблиця 5.1 Ліміти дози сумарного внутрішнього і зовнішнього опромінювання (мЗв·рік<sup>-1</sup>)

Ліміт дози	Категорія опромінюваних осіб		
	А*	Б**	В**
Річна ефективна доза	20***	2	1
Річна еквівалентна доза в :			
- кришталику ока	150	15	15
- шкірі	500	50	50
- кистях та стопах	500	50	-

# Ліміт дози?

- Ліміт дози – це максимальне значення дози, яку безпечно може отримати людина

Все населення	Персонал, що працює з ДІВ
<b>1 мЗв/рік</b>	<b>20 мЗв/рік</b>
100 мР/рік = 0,1 Р/рік	2000 мР/рік = 2 Р/рік
0,12 мкЗв/годину = 12 мкР/годину	≈ 11 мкЗв/годину = 1100 мкР/годину

# Приклад: потужність дози при рівномірному опроміненні

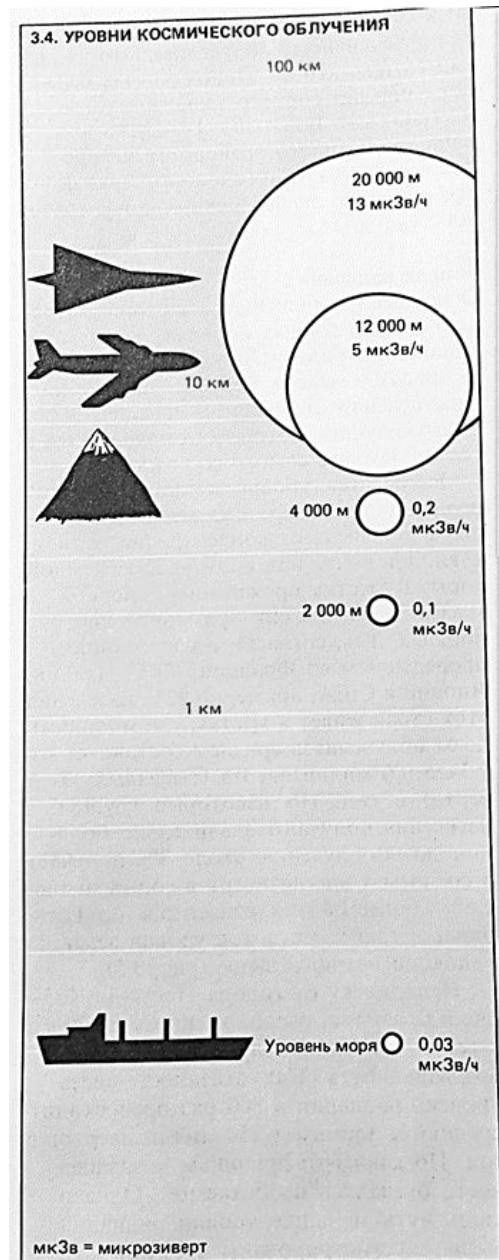
- **Безпосередньо іонізуюче випромінювання** – іонізуюче випромінювання, що складається із заряджених частинок, котрі мають достатню енергію для іонізації при зіткненні (наприклад  $e^-$ ,  $p$ ,  $\alpha$ )
- **Непрямо іонізуюче випромінювання** - іонізуюче випромінювання, яке може створювати прямо іонізуюче випромінювання та (або) викликати ядерні перетворення

# Основні джерела фонового опромінення

Космічне опромінення **2 мкЗв/рік**

Природні радіонукліди,  
що містяться у  
навколишньому  
середовищі **230 мкЗв/рік  
+ 800 (Rn-222) мкЗв/рік  
+170 (Rn-220) мкЗв/рік**

Опромінення від  
радіонуклідів, що  
містяться у тілі людини  
К-40 **180 мкЗв/рік**



Возрастание с высотой мощности эквивалентной дозы облучения за счет космических лучей (изменение высоты представлено в логарифмическом масштабе).

# Летальна доза

