

Радіаційна медицина

Канд. мед. наук Кулініч Г.В.

Предмет радіаційної медицини та її зв'язок з іншими медичними дисциплінами. Історія розвитку радіаційної медицини. Природний радіаційний фон. Штучні джерела іонізуючої радіації.

Біологічна дія іонізуючого випромінювання.

Радіочутливість різних тканин організму.

Видатні досягнення науки в галузі ядерної фізики зробили революцію не тільки в уявленнях вчених-натуралістів про будову атомів, а й розширили можливості дослідження явищ природи. З розвитком ядерної фізики пов'язана поява нових методів наукового пізнання світоустрою:

- метод радіоактивних індикаторів, що дозволяє проводити вивчення закономірностей міграції та обміну речовин на субклітинному, клітинному, організменном, біогеосистемном та екологічному рівнях, виконувати поглиблені дослідження фізіологічних і біохімічних процесів в умовах норми і патології;
- методи дозиметрії, радіометрії, радіобіологічні і радіомедичні дослідження дозволяють простежити реакції організму на променеву дію в залежності від дози, шляхів надходження, виду випромінювання, локалізації радіонуклідів, тривалості впливу та фізіологічного стану організму.

Основи радіаційної медицини та радіаційної безпеки повинні знати лікарі будь-яких спеціальностей, так як вони можуть істотно вплинути на рівні опромінення населення та ризики віддалених наслідків впливу іонізуючих випромінювань, а також об'єктивно оцінити і зменшити розмір наслідків радіаційних аварій.

3

Історії

радіаційної

медицини

Трохи більше ста років тому, в січні 1896, Вільгельм Конрад Рентген, випускник Цюрихського політехнічного інституту 1866 року, продемонстрував в Вюрцбурзі фотографію кісток руки, зроблену тут же, на засіданні вченої зборів. Дивовижні властивості "нового роду променів", здатних проникати через непрозорі для світла перепони і іонізувати повітря, як виявилось згодом, і визначають характер їх біологічної дії.

Рентген не був першим, є абсолютно достовірні відомості про те, що "х-промені" спостерігали і перші знімки з їх допомогою були зроблені раніше, наприклад Вільямом Круксом або нашим співвітчизником Іваном Пулюєм. Втім, з катодними трубками в той час експериментувало чимале число вчених у багатьох країнах світу. Однак, саме Рентген в трьох послідовних роботах, які вийшли друком з грудня 1895 по березень 1897 року, вичерпно описав все властивості "х-променів": фотографічна дія, іонізацію повітря при їхньому проходженні, відсутність відображення їх від поверхні. Рентген відкрив закони поглинання нових променів, дав оцінку їх проникаючу здатність, запропонував конструкцію трубки з увігнутим катодом і платиновим електродом, яка з невеликими вдосконаленнями утримується в практиці до наших днів.

Гідно подиву те, що Рентген не закріпила своє авторство патентом. Це дозволило великому американцю Томасу Алва Едісона вже в 1896 році оформити патент на модель флюороскопа - установки для масового рентгенівського обстеження. Саме Едісон першим відзначив, що тривала робота з катодними трубками супроводжується різью в очах, головними болями, запальними змінами шкірних покривів.



William Crookes 1911

Уильям Крукс



**Іван Павлович
Пүлүй**



**Вильгельм Конрад
Рентген**

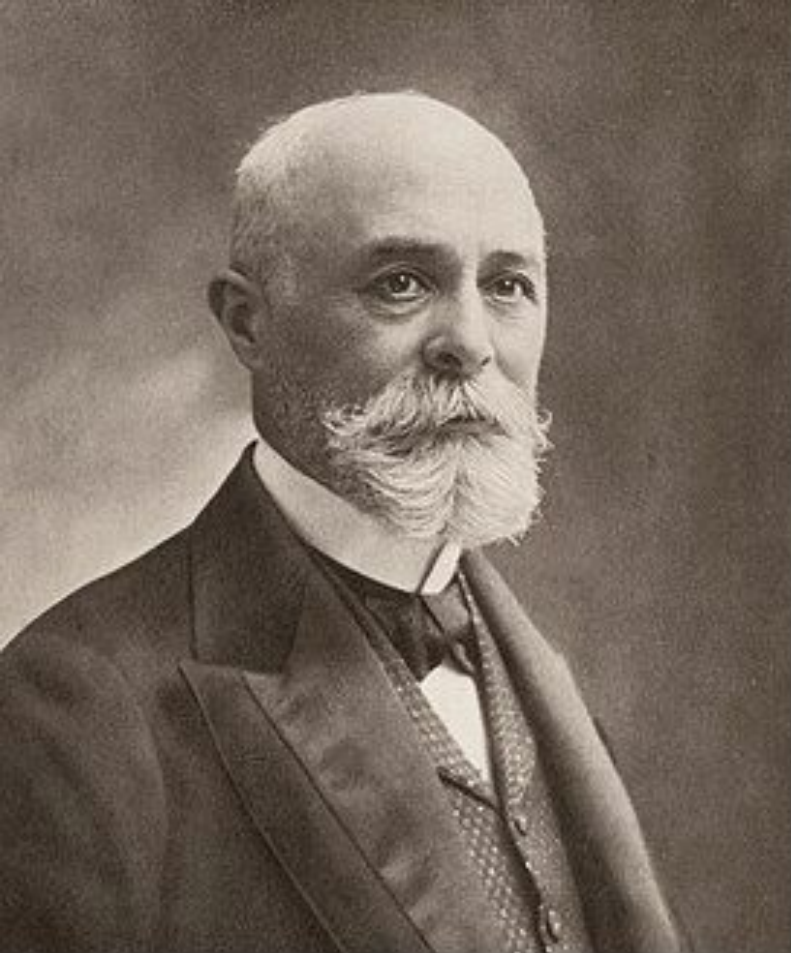


Рентгенівські апарати дивно швидко увійшли в практику і незабаром багато рентгенологи стали спостерігати у себе подібні симптоми, хоча більшість з них відносилося до цих проявів досить неуважно. Використання проникаючої радіації в діагностичних цілях обіцяло, на перших порах, тільки блага. В кінці 1896 року практикуючий лікар Бушар вперше зазначив можливість діагностики туберкульозу за допомогою проміння Рентгена. Тоді ж англійці почали експлуатувати першу польову рентгенівську станцію в Єгипті, де тоді йшли активні бойові дії, для виявлення уламків в тілі поранених. У тому ж році була зроблена і перша спроба променевого лікування пухлин. Коли фізик Е.Груббе з Чикаго познайомився з повідомленням про роботи Рентгена, він також став займатися "х-променями". Поява характерних опіків на шкірі кистей (вони розглядалися тоді як професійний ознака) змусило його звернутися до лікаря Джіллману. Саме Джіллман і здійснив спробу лікування новими променями раку жіночої грудної залози і, незважаючи на те, що перша спроба принесла вельми сумнівний ефект це вже була променева терапія.



П'єр Кюрі зі співробітниками емпіричним шляхом прийшли до висновку про лікувальну дію радію на деякі форми раку, що стало пусковим моментом до розвитку кюрітерапії, як тоді називався новий метод лікування. Тоді ж були отримані дані і про летальний дії Х-променів і променів радію на тварин. Минуло зовсім небагато часу, і в 1897 році австрійський лікар Фройнд з переконливістю продемонстрував переваги нового виду терапії. Він лікував п'ятирічну дівчинку з величезним родимкою на спині. Ефект "освітлення" рентгенівськими променями виявився вражаючим - покрите волоссям величезна пляма стало зникати, однак незабаром в зоні опромінення виникли великі повільно загоюються опіки.

Варто звернути увагу на сам термін "освітлення", який зобов'язаний своїм походженням лікарям, які займаються світлолікуванням. Не тільки лікарям, а й фізикам кінця XIX століття здавалося, що промені рентгена діють абсолютно так само як ультрафіолетова радіація Сонця. У фізичному сенсі і те, і інше - суть дійсно електромагнітне випромінювання, кардинальні відмінності в біологічній дії залежать від енергії квантів: для ультрафіолету ця енергія становить 3-12 MeV (ев); для променів Рентгена - 1200-120.000 еВ; для гама-квантів - 1.200.000 - 5.000.000 еВ. Але розуміння цього прийшло через кілька десятиліть.



**Антуан Анри
Беккерель**

В описуваний період джерела були малопотужними, рентгенологічні методи застосовувалися майже виключно при шкірних захворюваннях, а одиницею виміру була шкірна еритемна доза, яка визначалася "на око" як викликала через вісім діб опік шкіри. Говорячи сучасною мовою, це доза приблизно рівна шести (!) Грея, доза, яка при опроміненні всього тіла здатна привести практично в 100% випадків до загибелі людини.

Кінець XIX і початок XX століття виявляють дивний приклад того як відкриття в кількох областях знання перевернули наші багатовікові уявлення про будову речовини і докорінно змінили спосіб життя людини. Спробуємо коротко зупинитися на найосновніших іменах, відкриттях і датах в цікавій для нас області людських знань.

1896 - Анрі Беккерель встановив, що уран випускає невидимі промені, які здатні розряджати наелектризовані тіла.

Це явище було названо радіоактивністю.

1898 рік - П'єр і Марія Кюрі, виявили, що деякі солі урану виявляють істотно більшу активність, ніж сам уран. Стало ясно, що в них є якесь інше речовина, яке має набагато більш високою радіоактивністю. У нелюдських умовах, вручну, їм вдалося виділити з уранової смолки, що містить мільйонні частки нового елемента, чисті полоній і радій. Як виявилось, ці речовини робили навколишній повітря провідником електрики, змушували світитися екран покритий сірчистим цинком, а також виділяли теплоту.

1898 рік - Аткинсон опублікував результати дослідження в якому вперше виявив гормезисний вплив іонізуючих випромінювань на рослини. "Report upon some Preliminary Experiments with Roentgen Rays on Plants".

1898 рік - Ернест Резерфорд, пропускаючи промені, що випускаються радієм через магнітне поле, відкрив альфа- і бета-випромінювання, а дещо пізніше і гамма-випромінювання. Перше - затримувалося двома листочками паперу, друге пластиною свинцю товщиною два міліметри, останнє - виявлялося навіть після проходження метрового шару заліза або плити свинцю.

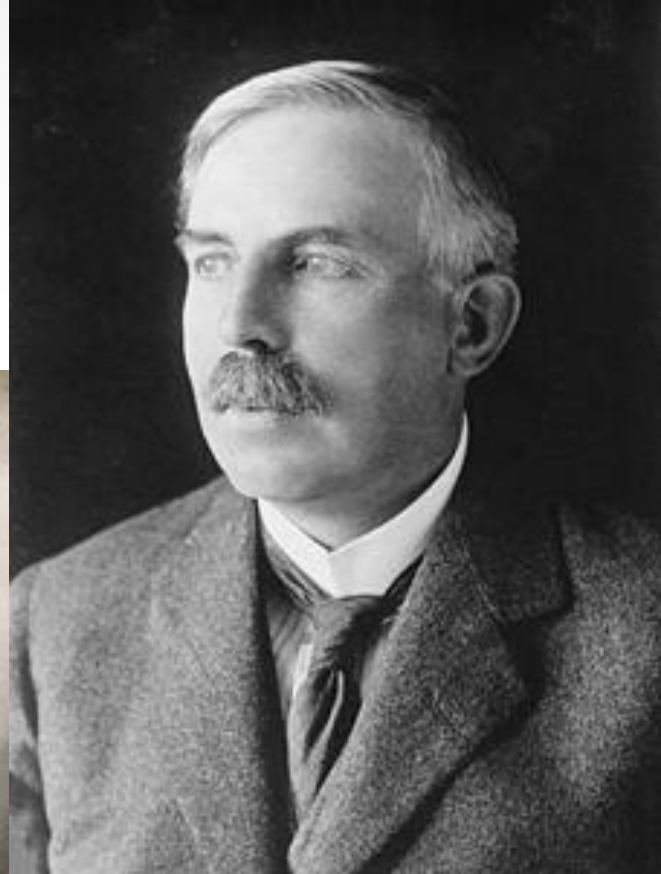
Якщо рентгенових промені, що містять "м'яку" (довгохвильову) компоненту, діяли поверхнево, то "жорстка" (високоенергетична) радіація, як це з'ясувалося практично відразу, вражає і тканини на глибині. Немає нічого дивного в тому, що в перших же роботах, які побачили світ після відкриття радію і появи його в лабораторіях (один грам цього металу коштував десятки тисяч золотих рублів), було описано нищівну силу випромінювання на кров і органи кровотворення.



П'єр Кюрі



Марія Склодовська-Кюрі



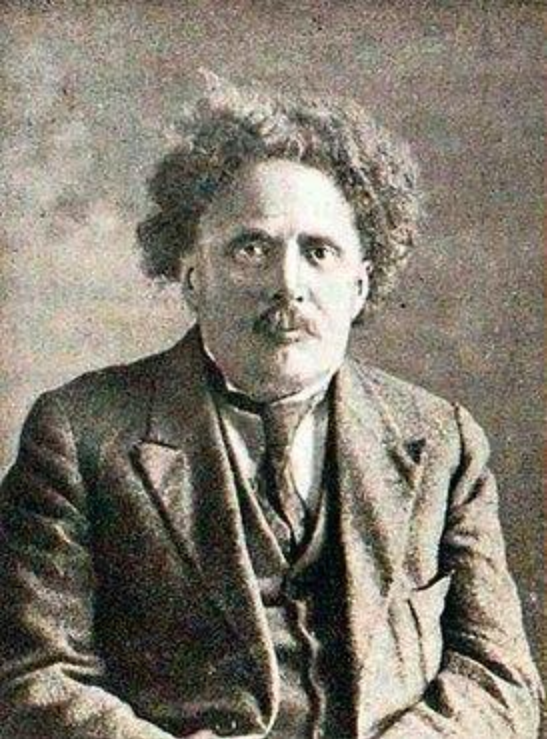
Ернест Резерфорд



1900 рік - Іван Рамазович Тарханов довів, що рентгенівські промені пригнічують нормальну роботу центральної нервової системи. Через кілька років променеву терапію стали застосовувати в клініці "нервових захворювань".

1902 рік - Фрібе описав перший випадок професійного раку шкіри у рентгенотехніка, руки якого піддавалися багаторазового впливу іонізуючої радіації при роботі з рентгенівськими трубками.

**Тархнишвілі Іван
Рамазович**



1903 рік - Юхим Семенович Лондон, випускник медичного факультету Варшавського університету і лікар-хірург з Петербурга Семен Вікторович Гольдберг застосовують "беккерелеви" промені для лікування хворих з "шкірними пухлинами". Інтенсивні експерименти по визначенню чутливості нормальних тканин і ракових клітин до опромінення дозволяють Гольдбергу написати і блискуче захистити докторську дисертацію на тему "До вчення про фізичній дії беккерелеви променів".

Юхим Семенович Лондон



Альберс-Шенберг

Альберс-Шенберг описав підвищену чутливість статевих залоз до дії рентгенівського випромінювання. Американець Ніколас Сенн опромінював селезінку у хворих на лейкоз і домагався деякого поліпшення їх стану.



Ніколас Сенн



Георг Пертеса



PROFESSEUR J. BERGONIÉ
Professeur de Physique Biologique et Électricité Médicale
à l'Université de Bordeaux.
Membre correspondant de l'Académie de Médecine.

Жан Бергонье

Хірург з Лейпцига Хайнекен підтвердив деякі результати, отримані Гольдберг, зазначивши особливо згубний вплив радіації на лімфою дніе тканини.

1904 рік - Георг Пертеса описує грубі зміни хромосомного апарату і затримку розвитку аскарид при опроміненні їх рентгенівськими променями в значних дозах.

Так, роботи кількох ентузіастів учених стали основою для розвитку радіобіології, радіаційної гематології та радіаційної імунології.

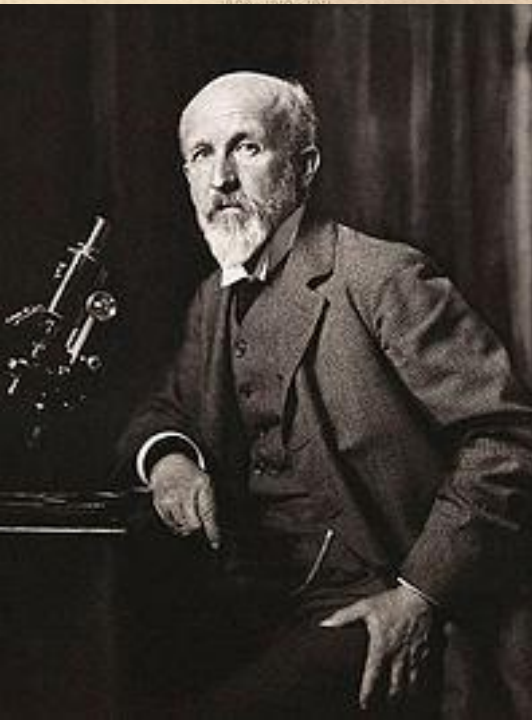
1906 рік - французькі вчені Бергонье і Трибондо, аналізуючи значний масив емпіричних даних, - накопичений на той час радіобіологією, сформулювали положення згідно з яким чутливість клітин до впливу іонізуючої радіації прямо пропорційна їх проліферативної здатності в даний момент часу.



LA SOCIÉTÉ DE RADIOLOGIE MÉDICALE DE FRANCE

Антуан Беклер

1908 рік - Антуан Беклер, практикуючий лікар, який займався опроміненням пухлин гіпофіза і постійно спостерігав важкі шкірні ушкодження, запропонував метод багатопільної опромінення. Тоді ж були здійснені і перші успішні спроби введення в пухлину малих за розмірами джерел іонізуючої радіації для виборчого впливу на пухлинні клітини. Обидва методи успішно застосовуються в сучасній медицині.



1910 рік - Гертвіг, на засіданні Пруської Академії наук повідомив, що опромінення сперми або ікри, жаб призводить до каліцтва та загибелі личинок.

Виявлені аномалії розвитку, за отриманими ним даними, завжди супроводжувалися порушеннями хромосомного набору.

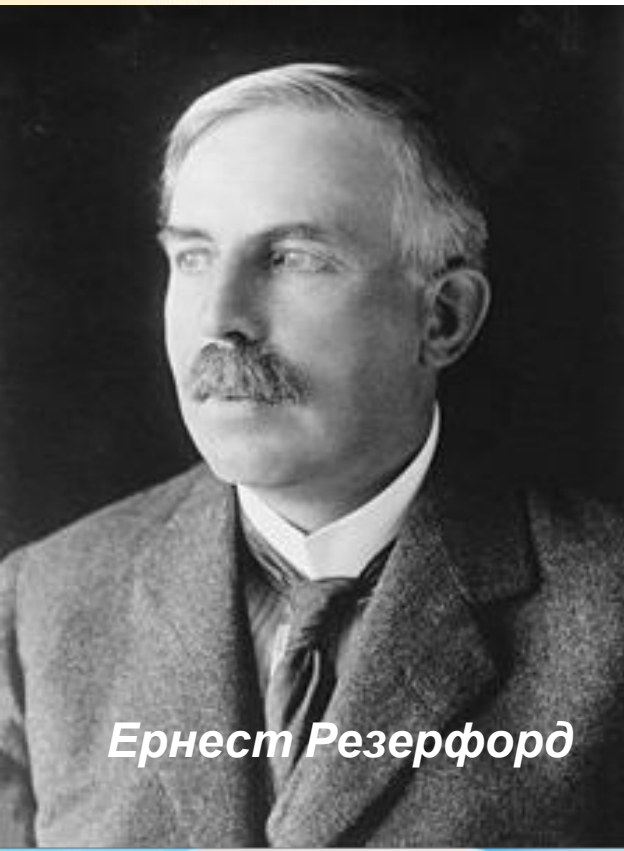
Оскар Гертвіг

1911 рік - Резерфорд розробляє планетарну модель будови атома і створює теорію розпаду радіоактивних речовин.

1912 рік - Гесс, піднявшись на повітряній кулі з електроскопом на значну висоту довів наявність космічної радіації за що в 1936 році був удостоєний Нобелівської премії.

1918 рік - Резерфорд встановив, що при опроміненні альфа-частками атомів азоту утворюються атоми кисню. Таким чином була відкрита можливість здійснення штучних ядерних

перетворень. Клод Реге з співробітниками на Міжнародному конгресі радіологів переконливо довели переваги фракціонування дози при рентгенотерапії на противагу загальноприйнятій тоді думку про необхідність повідомлення максимально можливої дози в найкоротший



Ернест Резерфорд



Виктор Франц Гесс

1924 рік - Лакассань вивчав ракові клітини, взяті у хворих, отримували радіотерапію. Відомий французький вчений вперше зазначив, що хромосомний набір пухлинних клітин після променевої терапії виявляється сильно пошкодженим. Ставало зрозуміло, що іонізуюча радіація впливає на пухлину шляхом руйнування спадкового апарату клітин її складових.



Александр Лакассань



Георгий Адамович Надсон

1925 рік - Надсон і Філіппов описали появу "секторних мутантів" незвичайного виду при опроміненні колоній грибка, вирощуваних на штучних середовищах. Виявлені вченими зміни успадковувалися у багатьох поколіннях. Незважаючи на те, що стаття була опублікована, в науковому виданні, отримані дані піддалися сумніву і не зустріли розуміння у колег.



Герман Джозеф Мёллер

1925 рік - Надсон і Філіппов описали появу "секторних мутантів" незвичайного виду при опроміненні колоній грибка, вирощуваних на штучних середовищах. Виявлені вченими зміни успадковувалися у багатьох поколіннях. Незважаючи на те, що стаття була опублікована, в науковому виданні, отримані дані піддалися сумніву і не зустріли розуміння у колег.

1927 рік - Герман Меллер, професор з Техасу, на генетичному конгресі в Берліні заявив про те, що рентгенівське випромінювання в суворій залежності від дози підвищує частоту пошкоджень в статевій хромосомі дрозофіл на порядки більше, ніж "фоновий" рівень радіації.

Колосальний фактичний матеріал (Меллер працював в цій галузі з 1909 року) незаперечно доводив здатність іонізуючої радіації викликати генетичні зміни або мутацію статевих клітин. У

1946 році Герман Меллер був удостоєний Нобелівської премії.

1928 рік - створена МКРЗ - Міжнародна комісія з радіаційного захисту (спочатку - щодо захисту від рентгенівського випромінювання і радію).

1929 рік - Рісі в Німеччині доводить існування радіолізу, що дозволяє зробити перший крок на шляху розуміння механізму впливу іонізуючої радіації на живі організми.



Фредерик Жолио-Кюрі

1930 рік - Жоліо-Кюрі виявив невідомий вид випромінювання, який виникав при бомбардуванні ядер берилію і деяких інших елементів. Він прийшов до висновку, що це випромінювання є елементарні частинки, що не мають заряду і володіють високою проникаючою здатністю.

1932 рік - Чедвік підтвердив, що берилієвих промені не що інше як нейтральні частинки, що мають масу, практично рівній масі протона. Він назвав ці частинки нейтронами.

У тому ж році Андерсон відкрив існування нової частинки позитрона, маса якого дорівнює масі електрона, але зарядженого позитивно.



Джеймс Чедвик



Американський фізик Е.Лоуренс запропонував використовувати прискорення елементарних частинок для додання їм високих енергій. Через рік їм був побудований і запущений перший циклотрон.

1934 рік - Жоліо-Кюрі відкрив можливість отримання штучних радіонуклідів шляхом опромінення нейтронами стабільних ізотопів. Тоді ж, Енріко Фермі підтвердив це повідомлення, використовуючи для проведення реакцій набагато ефективніші повільні нейтрони.

Ернест Орландо

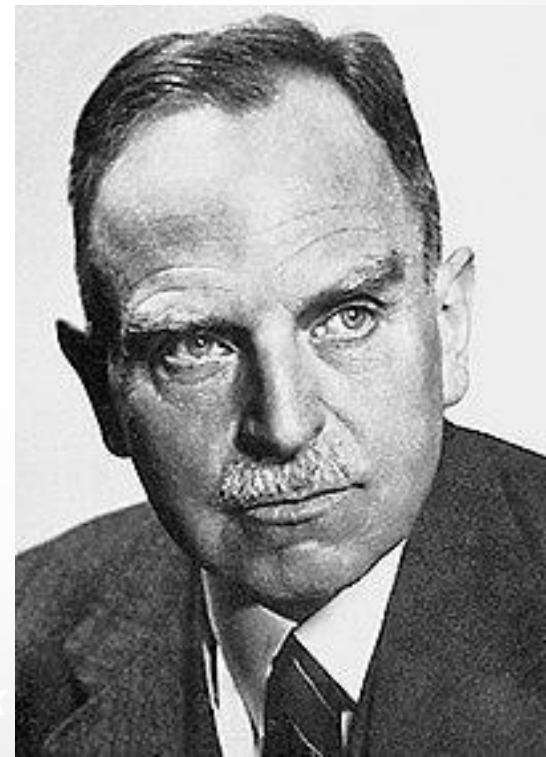
Лоуренс

1936 рік - Маршак, американський радіобіолог, висловлює думку про те, що іонізуюча радіація переважно вражає молекулу ДНК. Сам досвід настільки елегантний і простий, що його варто описати. Альфред Маршак опромінював еритроцити, в яких, як відомо, відсутня ядро, і клітини в яких ядерного матеріалу дуже багато. Виявилось, що еритроцити в істотно меншій мірі поглинають проникаючу радіацію. Зараз, нам здається, що все абсолютно зрозуміло - саме ДНК захоплює значну частку енергії, а отже і пошкоджується. Сам експериментатор, однак, з обережністю зауважив, що "відчуває це". Дивно, але факт - досвід не був оцінений сучасниками, і значення його з'ясувалося значно пізніше.



Фриц Штрассман

1939 рік - Ган і Штрассман в Німеччині опублікували результати досліджень по опроміненню нейтронами урану. Виявилося, що при цьому відбувається його розпад. Пізніше було встановлено, що при розподілі ядра урану виділяється і кілька вільних нейтронів. У цьому випадку реакція розпаду може прийняти лавиноподібний характер.



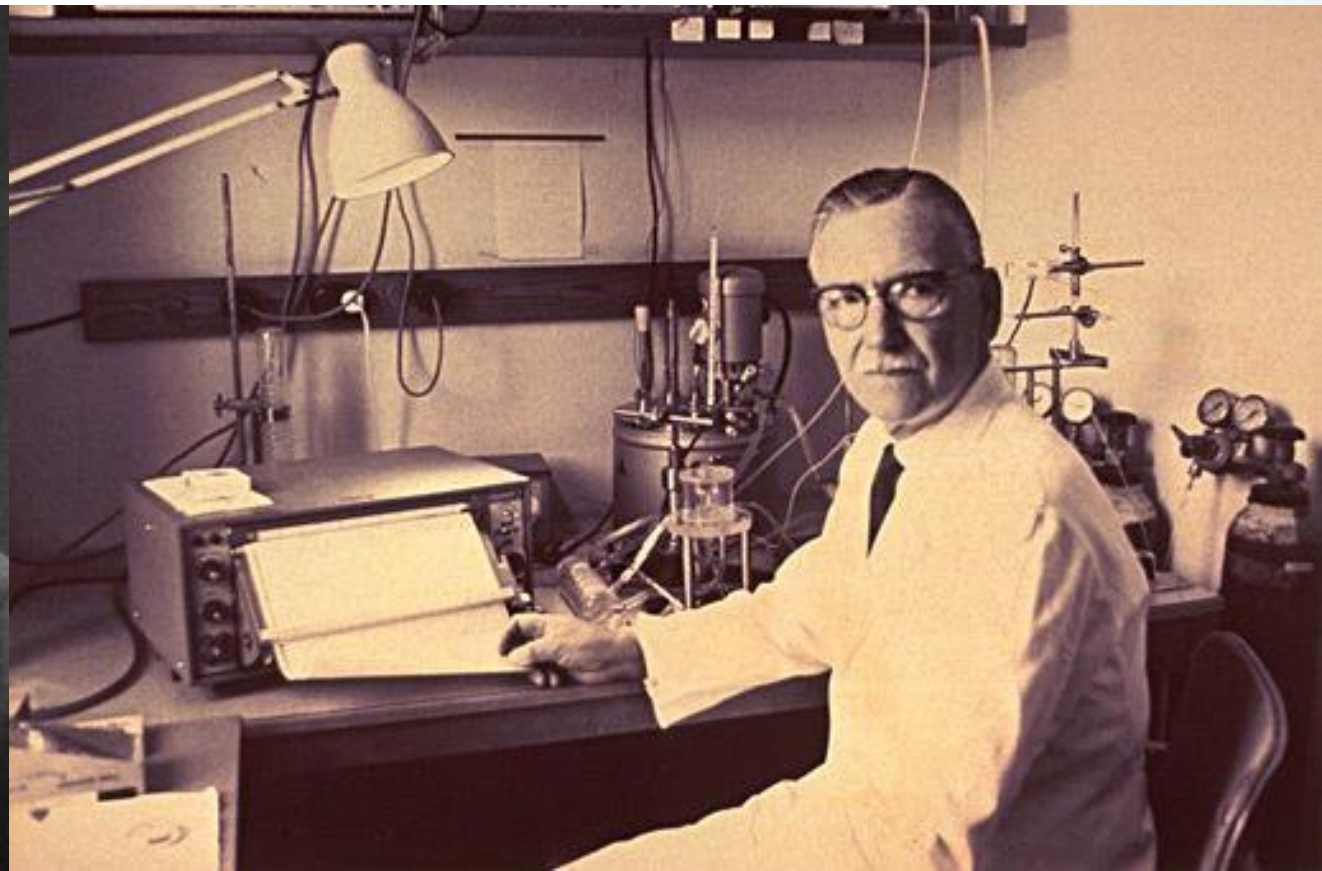
Отто Ганн

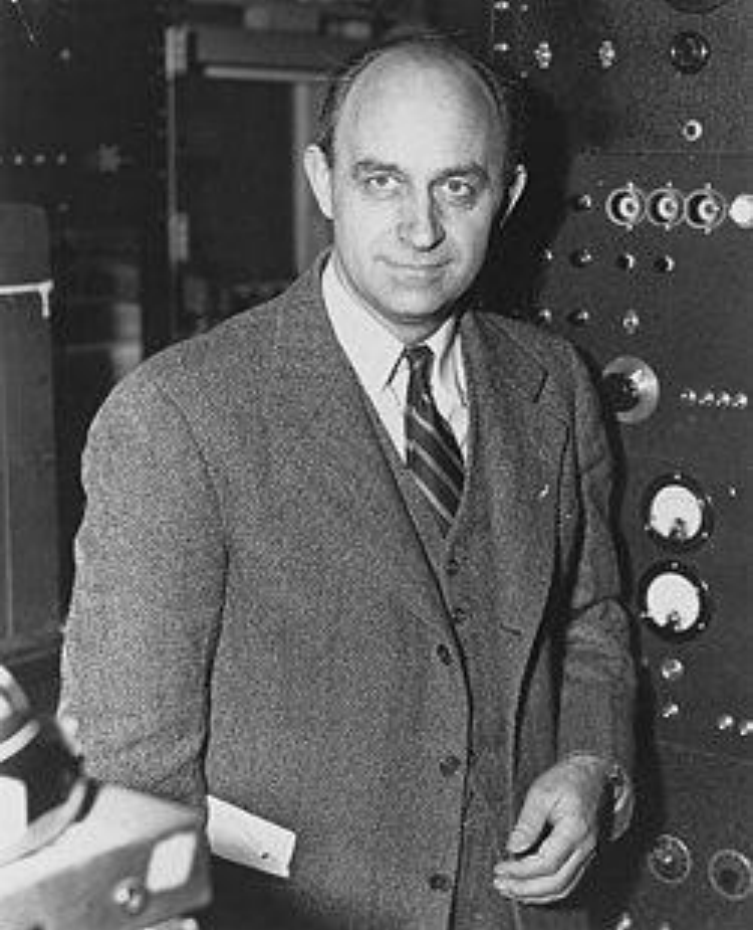
1942 рік - Ейлер і Хевеши в Швеції провели стали класичними досліді з вивчення швидкості включення міченого фосфору в ДНК. Виявилося, що значні дози проникаючого випромінювання різко гальмують цей процес в живій клетке.- Незважаючи на те, що Мітчелл в Великобританії підтвердив ці дані, повідомлення залишилися маловідомими. Справа в тому, що ДНК., Хімічно досить добре вивченою, все ще не надавали значення як носію спадкових властивостей.

Ульф Сванте фон Эйлер



Дьёрдь де Хевеши





У тому ж році Енріко Фермі, який емігрував з фашистської Італії в США, використовуючи колосальні фінансові кошти, які відпускаються американцями, запустив в Чикаго перший атомний реактор. "Манхетгенській проект" завершився створенням атомної бомби, яка була випробувана в липні 1945 р.

За два десятки років до цих подій академік Вернадський писав: "Недалеко час, коли людина одержить у свої руки атомну енергію, таке джерело сили, який дасть йому можливість будувати своє життя, як він захоче ... "

Енріко Фермі

Колишній галантерейник, що став президентом Сполучених Штатів, санкціонував застосування ядерної зброї, і в серпні 1945 року були практично стерті з лиця землі два мирних японських міста. Уранова та плутонієва бомби потужністю 12500 і 20000 тонн тринітротолуолу в частки секунди знищили десятки тисяч жителів Хіросіми і Нагасакі і прирекли вижили на десятиліття випробувань.



1949 рік - СРСР справляє перше випробування ядерної зброї. Колектив учених під керівництвом академіка Курчатова за чотири роки робить те, на що за розрахунками американських аналітиків повинно було піти не менше 20 років.

1952 рік - Уотсон і Крик відкривають будову ДНК – знамениту "Подвійну спіраль" за що кілька років тому були удостоєні Нобелівської премії.

Ігорь Васильевич Курчатов

Сахаров Андрій Дмитрович

1953 - СРСР справляє перше випробування термоядерної зброї. "Батьком" водневої бомби стає академік Сахаров.

1954 рік - Курчатов і очолюваний ним колектив запускають першу в світі атомну електростанцію.

1955 рік - при Організації Об'єднаних Націй був утворений Науковий Комітет з Дії Атомної Радіації (НКДАР) і по теперішній час є найбільш авторитетним органом, координуючим вивчення ефектів проникаючої радіації.



**Наслідками опромінення
людей і стала займатися
радіаційна медицина - наука, яка
вивчає медичні аспекти дії
іонізуючого випромінювання, як
фактора, що ушкоджує, на
організм людини: патогенез
радіаційних ушкоджень, їх
діагностику, лікування і
профілактику.**

Наслідки дії радіації на живу речовину вивчають такі науки:

- **біологія** - наука про реакцію різних форм життя (вірусів, грибів, бактерій, ін. мікроорганізмів, рослин, тварин) на іонізуюче випромінювання і радіонукліди природного і штучного походження в онто- і філогенезі;

- **радіаційна медицина** - наука про наслідки впливу радіації на організм людини і про відповідні патофізіологічних, біохімічних, генетичних, клінічних ефектах, опосередкованих віково-статевими, професійними, погодно-кліматичними та іншими факторами;

- **радіаційна гігієна** - розділ охорони здоров'я, який регулює законодавчі та нормативно-правові питання радіаційної безпеки працюючих членів суспільства і населення в цілому.

Мета і завдання радіаційної медицини:

Мета радіаційної медицини - вивчити наслідки впливу радіації на організм людини, дати наукове обґрунтування заходів радіаційної безпеки.

Завдання радіаційної медицини:

- узагальнювати результати тривалих спостережень вітчизняних і зарубіжних авторів за метаболізмом і біологічною дією інкорпорованих радіонуклідів на людину;
- аналізувати особливості ранніх і пізніх реакцій людини на вплив радіонуклідів в залежності від фізичних властивостей і хімічної форми сполучень, що вводяться, шляхи надходження в організм, особливостей метаболізму;
- виконувати порівняльний аналіз даних про вплив радіонуклідів на тривалість життя, різні тканини і системи організму, залози внутрішньої секреції, в тому числі на гонади, а також на плід і організм, що розвивається;
- проводити аналіз пухлинних і непухлинних форм віддалених патологій, вивчати питання екстраполяції експериментальних даних на людину;
- медичне обґрунтування нормування випромінювання.

Розвиток радіаційної медицини як науки важливий для:

- безпечного застосування джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ) в медицині;
- вирішення найважливіших завдань захисту і прогнозу радіаційної небезпеки;
- розширення уявлень про навколишнє середовище;
- для розвитку фундаментальних наук.

НКДАР ООН

- 1955 р при Організації Об'єднаних Націй був утворений Науковий комітет з дії атомної радіації (UNSCEAR) і по теперішній час є найбільш авторитетним органом, координуючим вивчення ефектів іонізуючої радіації на людину і впливу її на навколишнє середовище.
- За даними НКДАР ООН:
 - 2000 - 1,9 млрд досліджень в рік,
 - Колективна ефективна доза (КЕД) - $2,3 \cdot 10^6$ люд.-Зв,
 - 2010 - 3,1 млрд досліджень,
 - КЕД - $4,0 \cdot 10^6$ чол.-Зв.
- 2017 Глобальне опитування UNSCEAR про вплив медичного опромінення

ДЖЕРЕЛА ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

- **ДВ - будь-який об'єкт, який містить радіоактивну речовину, а також технічне пристосування, яке створює або за певних умов може створювати іонізуюче випромінювання.**
- **За своїм походженням ДВ ділять на природні та промислові.**
- **Радіонуклідні і нерадіонуклідні (генеруючі)**
- **Відкриті та закриті**

ШТУЧНІ ДЖЕРЕЛА ІВ

ДЖЕРЕЛА ІВ

1. **Медичні рентгенівські апарати**
 - проведення флюороскопії
 - проведення рентгенографії
 - проведення ікс-терапії
2. **Немедичні ікс і гамма-апаратирентгенівські апарати**
 - гаммадефектоскопія
3. **Мегавольтні установки різного призначення і з певними конструктивними особливостями**

ШТУЧНІ ДЖЕРЕЛА ІВ

ДЖЕРЕЛА ІВ

4. Відкриті радіоактивні джерела

- радіонукліди для діагностичних досліджень
- терапевтичні радіонукліди

5. Закриті радіоактивні джерела

- гамма-терапевтичні установки

ВИМОГИ ЩОДО ЛІЦЕНЗУВАННЯ КОЖНОГО ДЖЕРЕЛА:

- НК ДАР
- МАГАТЕ
- МК РЗ

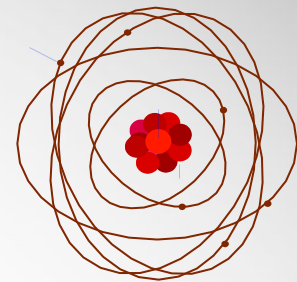
ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЕННЯ

- Іонізуючими називаються випромінювання, взаємодія яких з речовиною призводить до утворення пар іонів різних знаків.
- Іонізуючі випромінювання ділять на електромагнітні і корпускулярні, які мають різні фізичні властивості.

ПРИРОДНІ ТА ШТУЧНІ ДЖЕРЕЛА ВІПРОМІЮВАННЯ



ТИПИ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ



Іонізуюче випромінювання (ІВ) - це випромінювання, яке викликає іонізацію атомів і молекул при взаємодії з будь-якими матеріалами (тканинами, органами).

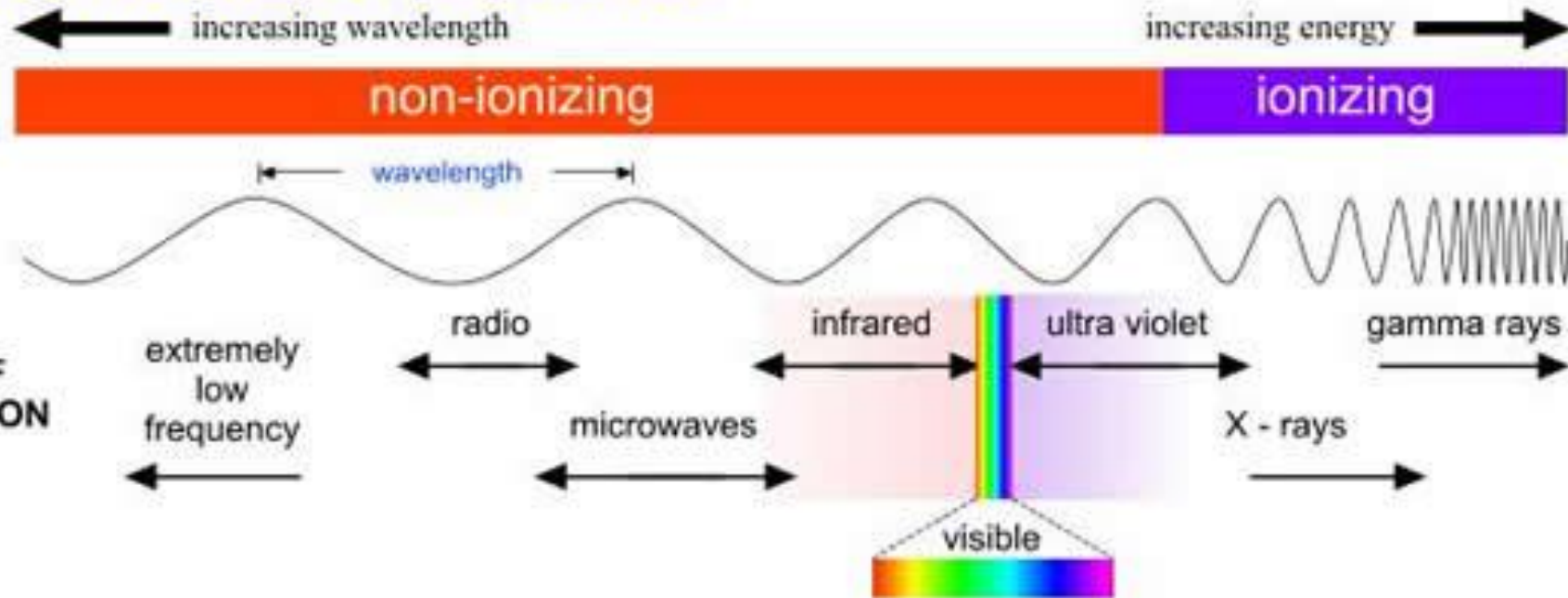
Типи ІВ:

електромагнітні випромінювання високої енергії (гамма і рентгенівські промені)

і корпускулярні - атомні частки (альфа- і бета-частинки, електрони, позитрони, протони, нейтрони та інші заряджені і нейтральні елементарні частинки)
Енергія іонізуючого випромінювання вимірюється в електрон-вольтах (eV)

СПЕКТР ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



TYPE OF RADIATION

SOURCES



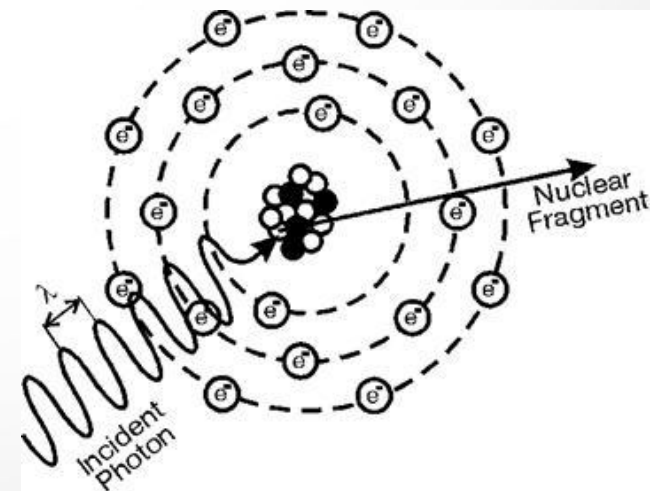
ФОТОН

Фотони - це дискретні частини (кванти) електромагнітної енергії, які мають хвильову природу, не мають маси спокою і електричного заряду.

Фотони з енергією до 2 кеВ є фотонами оптичного діапазону електромагнітного випромінювання (світла),

і при більшій енергії вони здатні іонізувати атоми навколишнього середовища. Отже, вони відносяться до іонізуючої радіації.

Якщо енергія фотонів становить 10 МеВ, їх взаємодія з ядром атома приводить до емісії нейтрона, протона або альфа-частинки.



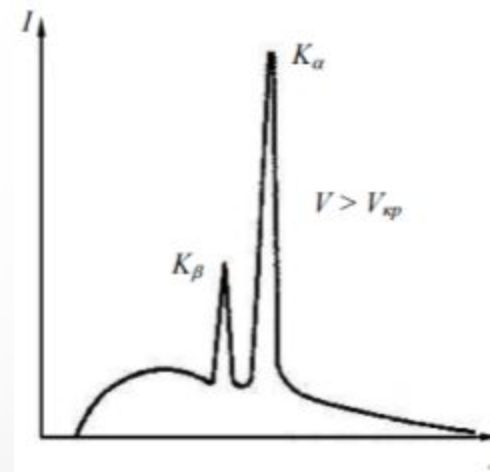
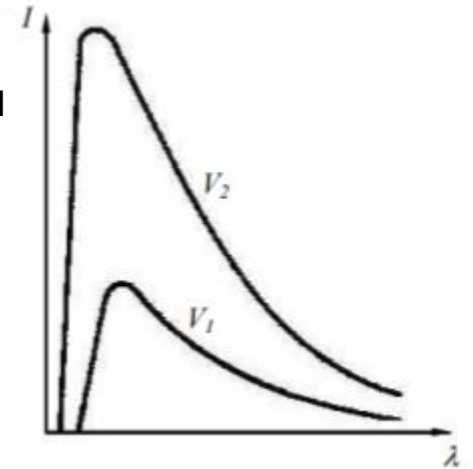
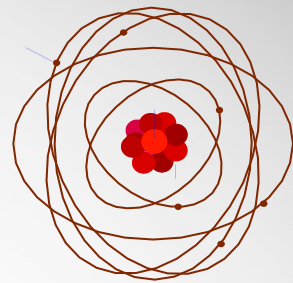
РЕНТГЕНІВСЬКЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Рентгенівські промені виникають при взаємодії пучка електронів з атомами будь-якої речовини. В області атомів електрони уповільнюються, а їх енергія виділяється у вигляді квантового випромінювання.

Енергія квантів має безперервні значення в діапазон від мінімального (ультрафіолетові промені) до максимального,

Отже, уповільнення рентгенівських променів має безперервний енергетичний спектр.

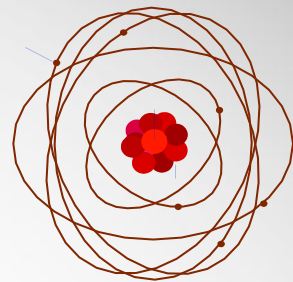
Частина падаючих електронів виводить орбітальні електрони назовні. електрон проходить від зовнішньої оболонки до внутрішньої електронної оболонці атома, випускаючи частина енергії у вигляді рентгенівського фотона. Для кожного елемента такі фотони мають характерні значення енергії, і їх називають характеристичними рентгенівськими променями.



ГАММА

ВИПРОМІНЮВАННЯ

Промені (фотони) в залежності від походження називаються рентгенівськими або гамма-променями.



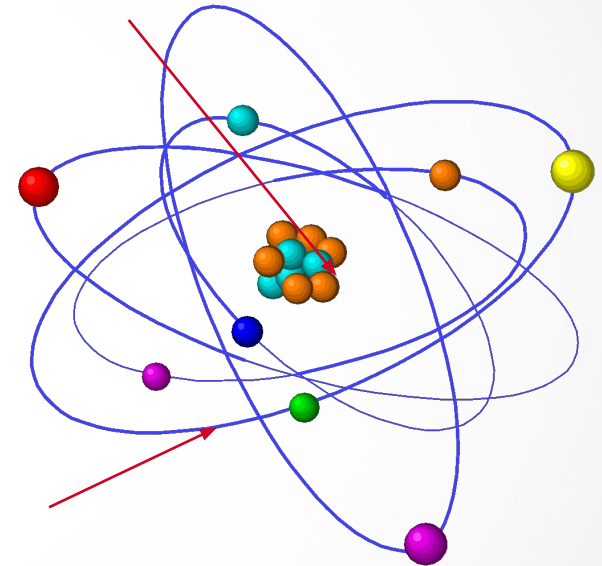
Гамма-випромінювання має хвильову природу

Гамма-випромінювання (γ) - це фотони радіоактивного джерела, які випускаються при радіоактивному розпаді нестабільних нуклідів.

Фотони гамма-випромінювання мають досить високу енергію від десятків кеВ до декількох МеВ.

АТОМНА СТРУКТУРА

- атомна структура
- протони і нейтрони складають нуклони
- протони мають позитивний електричний заряд ($+1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл) і масу $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
- нейтрони без заряду (нейтральні), маса $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
- Кількість нуклонів - це кількість хімічних елементів
- Екстрануклеарная структура
- електрони - легкі частинки з електричним зарядом — $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл,
- $m = 9 \cdot 10^{-31}$ кг
- Атом зазвичай електрично нейтральний



КОРПУСКУЛЯРНЕ ВИПРОМІНЕННЯ

Електрон (e^-) - це елементарна частинка атома з зарядом -1 . Електрони також можуть бути джерелом ІК. Це відбувається в процесі радіоактивного розпаду шляхом ділення ядерної клітини протоном і електроном.

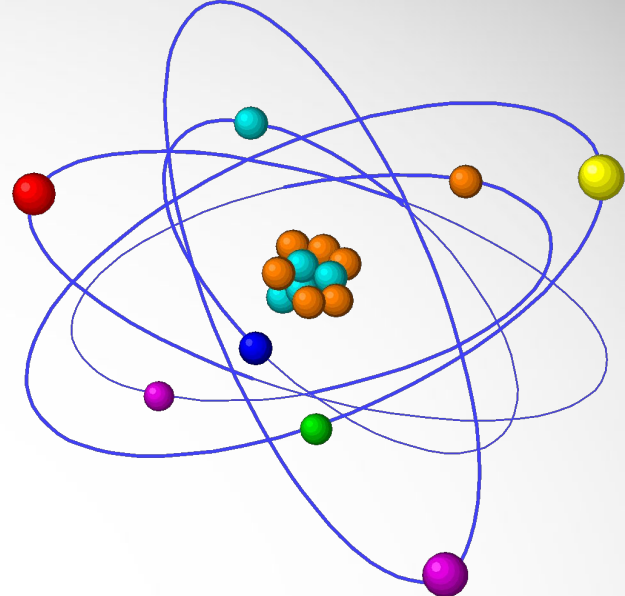
Такі електрони називаються бета-частинками β

□ Позитрон (e^+) - це елементарна частинка антиматерії з зарядом $+1$ і масою спокою 511 кеВ ($9 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$). Ядра деяких нестабільних нуклідів розпадаються з випромінюванням позитрона (так званий бета-розпад позитрона), який з'являється в ядрі в результаті розпаду протона на нейтрони і позитронів.

Протон (p) - ядерна частинка з зарядом $+1$, маса спокою 938 МеВ ($1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$).

Нейтрон (n) - це ядерна частинка з нульовим зарядом, маса спокою 940 МеВ ($1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$).

Альфа-частинка (α) є складовою частку, яка складається з 2-х нейтронів і 2-х протонів, що еквівалентно ядру гелію, має заряд $+2$ (4 атомних одиниці маси).



МЕХАНІЗМ ІОНІЗАЦІЇ

Пряма іонізація. Заряджені частинки іонізують атоми матерії безпосередньо при взаємодії з ними.

Непряма іонізація. При проходженні нейтронів або фотонів через речовину іонізація атомів відбувається в основному під дією вторинних частинок (орбітальних електронів або ядерних частинок).

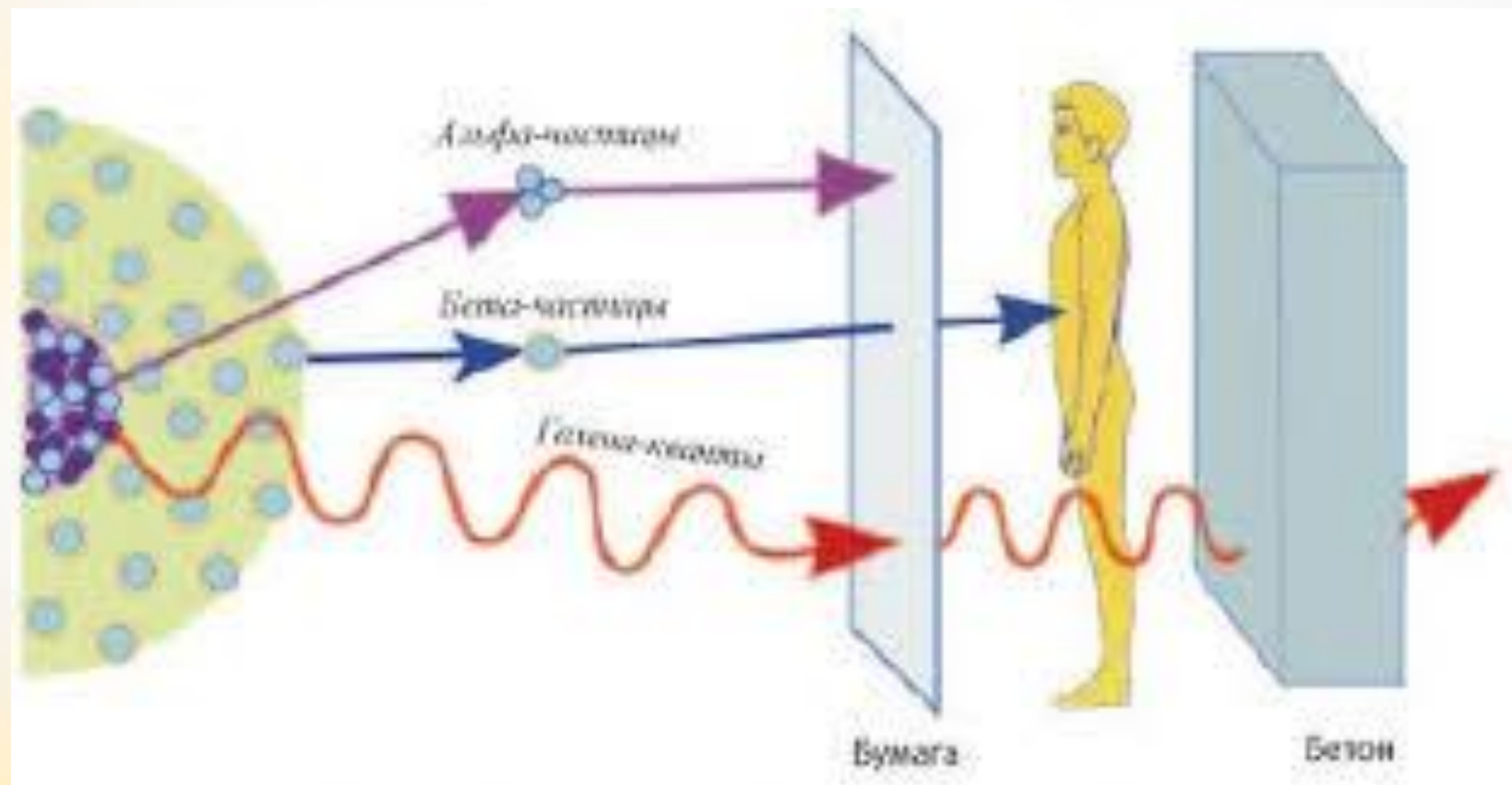
Ці вторинні частки вибиваються з атома при першому взаємодії незарядженого ІК.

ВЛАСТИВОСТІ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Властивості ІВ:

- ініціація хімічних реакцій**
- світіння деяких матеріалів**
- фотохімічні дію (засвітка плівки)**
- біологічну дію.**

ПРОНИКАЮЧА ЗДАТНІСТЬ



Типи взаємодії ІВ з матерією

Ослаблення і поглинання струменя ІВ.

Інтенсивність струменя **ІВ** падає пропорційно квадрату збільшення відстані від його джерела
(закон обернених квадратів)

$$D2 = D1 * L1^2 / L2^2$$

де

D1 – інтенсивність струменя випромінення на відстані джерела L1;

D2 – інтенсивність струменя випромінення на відстані джерела L2

(чинник радіологічного захисту)

Ослаблення і поглинання струменя ІВ.

Типи взаємодії ІВ з матерією

Процес втрати енергії в речовини – **експоненційний закон**:

на кожній одиниці товщини однорідної речовини
поглинається
одна і та же частка випромінення



Збільшення щільності маси речовини



Збільшує здатність ослаблювати струмінь випромінення
- лінійний коефіцієнт ослаблення
- шар напівослаблення



Ослаблення і поглинання струменя ІВ.

Типи взаємодії ІВ з матерією

- Лінійний коефіцієнт ослаблення – показник ступеня відносного ослаблення струменя випромінювання шаром даної речовини завтовшки 1 см
- Шар напівослаблення - абсолютне значення товщини шару речовин, яка забезпечує ослаблення струменя вдвічі.

Свинцевий еквівалент (у міліметрах товщини свинцю)

- товщина шару свинця, що ослаблює струмінь випромінювання такою самою мірою, як і даний шар матеріалу.



Ослаблення і поглинання струменя ІВ.

Типи взаємодії ІВ з матерією

5 типів взаємодії фотонів з атомами речовини

- 1) Когерентне (томпсонівське), класичене розсіювання
- 2) Комптонівське розсіювання
- 3) Фотоелектричний ефект
- 4) Утворення пари
- 5) Фотодезінтеграція

II. Ослаблення і поглинання струменя ІВ. Типи взаємодії ІВ з матерією

Лінійне передавання енергії



Густоіонізувальне

- Частинки з більшою масою та електричним зарядом мають шанси частіше взаємодіяти з атомами на одиницю довжини пробігу в середовищі

- Протони
- Нейтрони
- Альфа-частини (більше заряду)

Слабоіонізувальне

- Випромінення з малим зарядом і малою масою спричиняють іонізацію середовища низької густини

- Електрони
- Позитрони
- Гамма-випромінення
- Ікс-випромінення (менше заряду)



ДОЗИМЕТРІЯ



дозиметрія

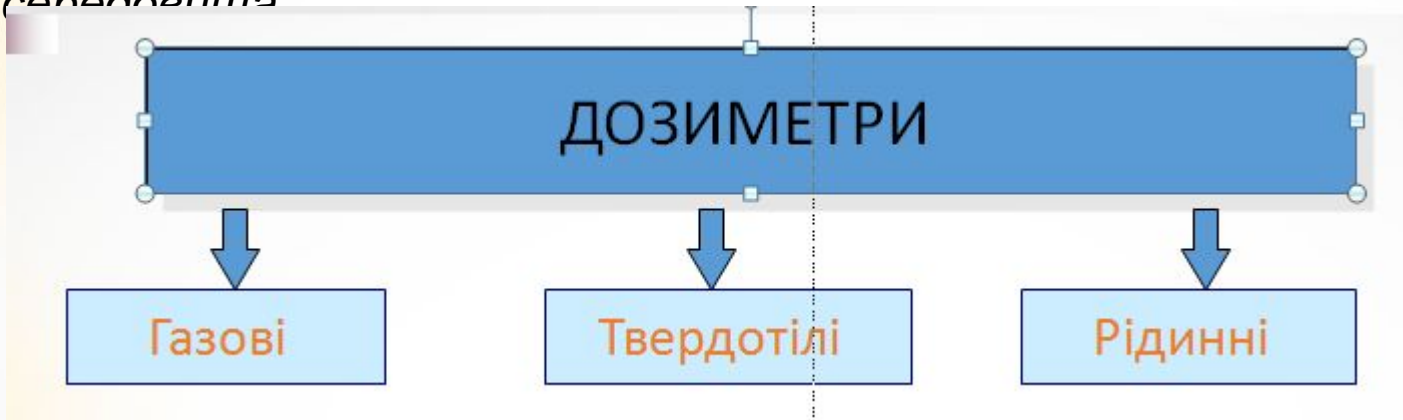
Дозиметрія є розділом фізики, який розглядає завдання визначення кількості і розподілу поглиненої енергії H в різних середовищах.

Основою дозиметрії є поняття дози.

Доза - це енергія, яка передається на одиницю маси речовини іонізуючим випромінюванням.

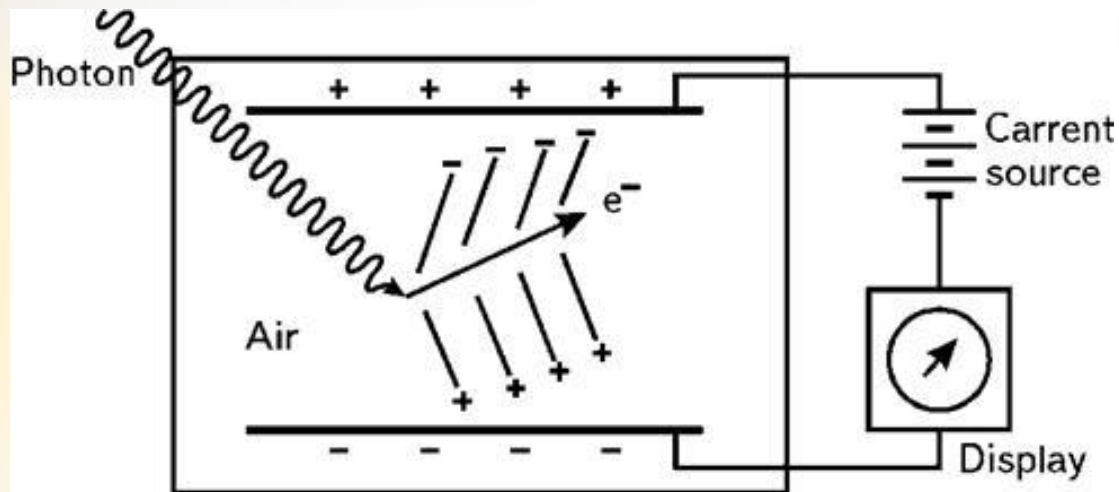
РАДІАЦІЙНІ ДЕТЕКТОРИ І МЕТОДИ ДОЗИМЕТРІЇ

Визначення дози опромінення проводиться на основі вимірювання величини певних ефектів взаємодії ІК з атомами середовища



*Типи детекторів випромінювання і методи дозиметрії:
іонізаційні,
сцинтиляційні,
напівпровідникові,
термолюмінесцентні (ТЛ),
плівкові (фото),
хімічні,*

Принципова схема конструкції і дії іонізуючого дозиметра



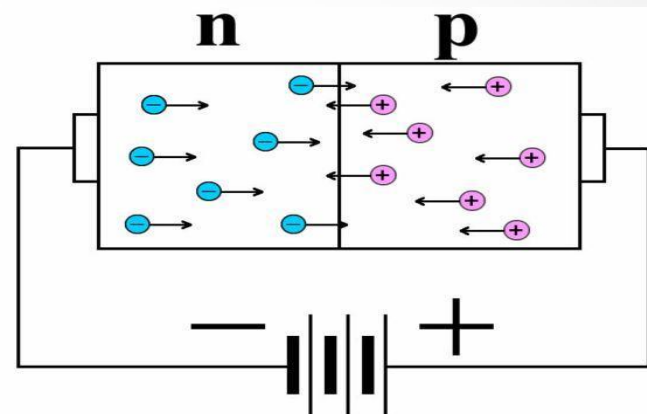
Випромінювання проходить через камеру. Це викликає іонізацію газу

Метод іонізації заснований на вимірюванні рівня іонізації газу в камері між двома електродами. Струм пропорційний дозі опромінення.



НАПІВПРОВІДНИКОВИЙ ДОЗИМЕТР

- Метод напівпровідникової дозиметрії заснований на вимірюванні електропровідності, індукованої в напівпровіднику під дією іонізуючого випромінювання.
- Найпростішим напівпровідниковим детектором є діод на основі р-n переходу. Іонізуюче випромінювання стикається з напівпровідником. Електронно-діркові пари утворюються.
- Перехід р-n стає провідним, і струм збільшується зі збільшенням числа іонів

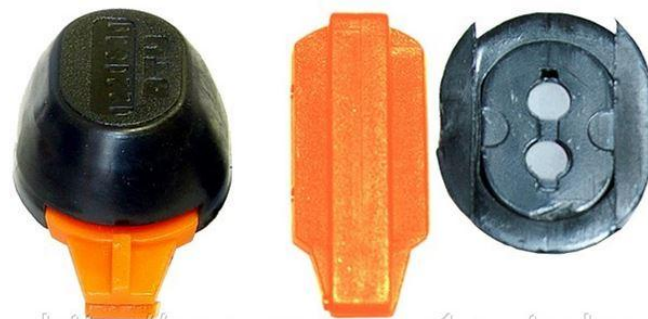
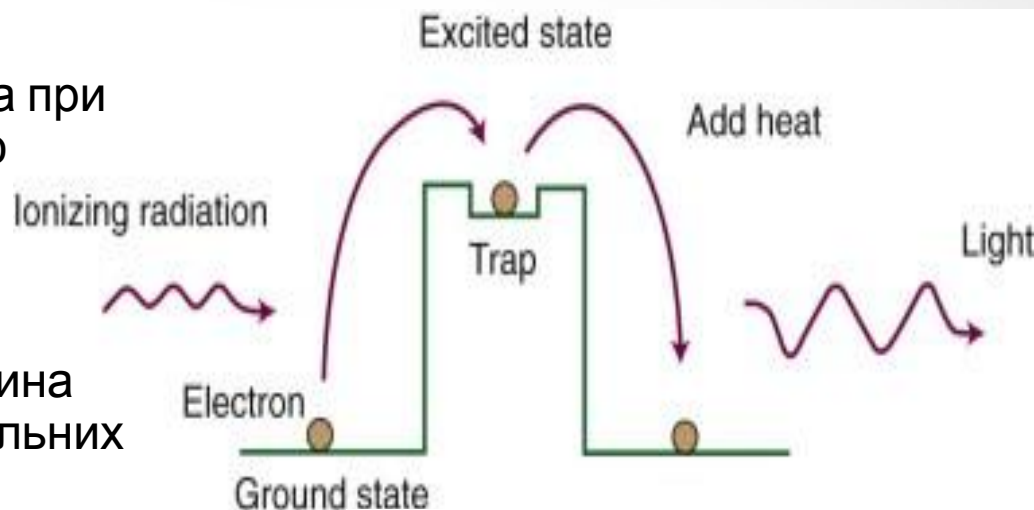


ОЦІНКА дози І ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ напівпровідникових ДОЗИМЕТРА



термолюмінесцентні МЕТОД

- Метод термолюмінесценції заснований на виділенні світла при нагріванні твердою речовиною (люмінофором), попередньо збудженому іонізуючим випромінюванням.
- Люмінофори утримували частину поглиненої енергії в метастабільних станах (пастці).
- Захоплені електрони залишаються в метастабільних станів до тих пір, поки вони не перейдуть в збуджений стан з виділенням енергії у вигляді світла.
- Кількість світловипромінюючих енергії пропорційно поглиненої дози іонізуючого випромінювання.

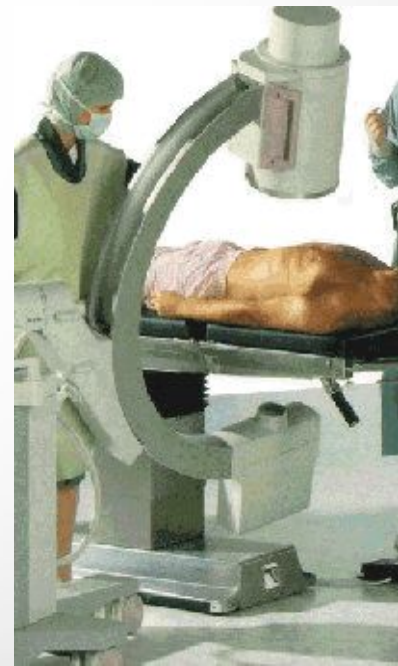


<http://npp-gamma1.satu.kz>

ДОЗА

- Доза (експозиційна доза) - сумарний заряд частинок, що утворилися в одінічному об'ємі повітря, внаслідок его іонізації
- Величина «Експозиції» вказує на здатність іонізуючого випромінювання виробляти певний ефект в повітрі.
- Одиниця СІ - кулон на кілограм [Кл / кг]
- Колишня спеціальна одиниця Рентген [Р]
- $1 \text{ Р} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ Кл / кг}$

$$X = dQ/dm$$



ПОТУЖНІСТЬ дози

- Потужність дози - це доза, вироблена за одиницю часу.
- Одиниця СІ Кл / кг в секунду або Р / с.
- У радіаційного захисту зазвичай вказувати ці значення швидкості «на годину» (наприклад, Р / ч).
- Значення потужності дози застосовуються для оцінки стану апарату і фону.

Поглинена доза, D

- Поглинена доза D - це поглинена енергія на одиницю маси.
- $D = E / m$. (E - це енергія поглинена речовиною з масою m)
- Одиниця СІ: Грей [Гр].
- $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж} / \text{кг}$.
- Позасистемна одиниця «радий» (рад)
- Співвідношення величин одиниць дози: $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$ і $1 \text{ рад} = 10 \text{ мГр} = 1 \text{ сГр}$.

СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ поглинанням та експозиційною дозою

- Можна розрахувати поглинену дозу в матеріалі, якщо відома величина експозиційної дози
- $D [\text{Гр}] = f * X [\text{С} / \text{кг}]$
- f-фактор - коефіцієнт відношення екс. дози і поглиненої дози, що залежить від енергії фотонів і щільності опроміненого середовища.
- $f (\text{повітря}) = 0,869$
- $f (\text{кістка}) = 3,60$
- $f (\text{м'яз}) = 0,94$

Еквівалентна доза: Н

- еквівалентна доза Н (відображає біологічний ефект на одиницю дози) - це поглинена доза D, помножена на зважувальний коефіцієнт випромінювання Q_R , який виражає біологічну ефективність даного типу випромінювання.

$$H = D \times Q_R$$

- одиниця СІ - зіверт (Зв).
- Позасистемна одиниця «БЕР»
- $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}$

Радіаційний зважений коефіцієнт, Q_R

- Для більшості випромінювань, що використовуються в медицині (рентгенівські промені, γ , e^-) $Q_R = 1$,
- тому поглинена доза і еквівалентна доза чисельно рівні

Вид излучения и диапазон энергий		W_R
Фотоны (рентгеновские и гамма-лучи) все энергии		1
Электроны, все энергии		1
Нейтроны		
	< 10 кэВ	5
	10-100 кэВ	10
	>100 кэВ до 2 МэВ	20
	2-20 МэВ	10
	>20 МэВ	5
Протоны	>20 МэВ	5
Альфа-частицы, фрагменты деления		20

Модуль IV

МКРЗ 60 (1991)

- Виняток становлять:
- альфа-частинки ($Q_R = 20$)
- нейтрони ($Q_R = 5-20$).

ЕФЕКТИВНА ДОЗА

**- це міра ризику
виникнення
віддалених
наслідків
опромінення
всього тіла
людини та
окремих його
органів з
урахуванням їх
радіочутливості**



ефективна доза

Ефективна доза - сума добутків еквівалентних доз (HT) в окремих органах і тканинах помножена на тканинні вагові коефіцієнти (wT).

$$E = \sum w_T \cdot H_T$$

Ефективна доза дозволяє визначити ймовірний сумарний ризик від впливу різних ділянок тіла при різних поглинених дозах в періоди часу, навіть значно віддалені один від одного.

Значення ефективних доз підсумовуються для однієї людини протягом всього його життя, і ця загальна величина приймається як індекс накопиченого ризику

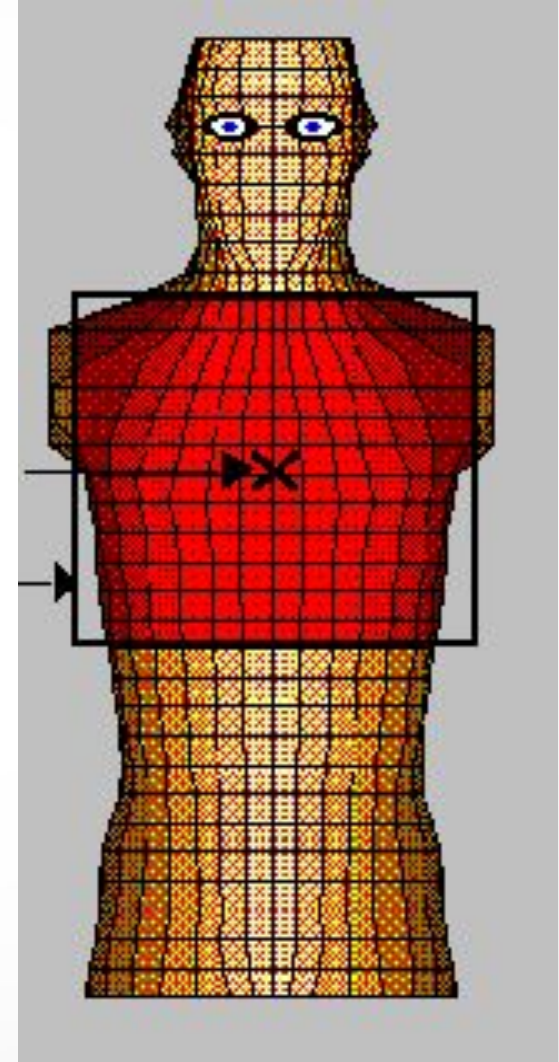
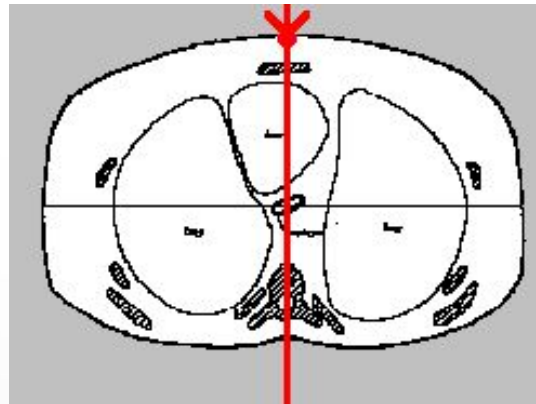
Тканинні зважені коефіцієнти, w_T

МКРЗ 103

Орган / тканина	w_T	Орган / тканина	w_T
Червоний кістковий мозок	0.12	легені	0.12
Сечовий міхур	0.04	стравохід	0.04
поверхня кістки	0.01	Слинні залози	0.01
мозок	0.01	шкіра	0.01
Мол. залоза	0.12	шлунок	0.12
Пряма кишка	0.12	Щитовидна залоза	0.04
гонади	0.08	решта органи	0.12
печінка	0.05		

Тканинні зважені коефіцієнти, w_T визначають частину ризику стохастичного ефекту від опромінення цього органу або тканини до загального ризику при нерівномірному опроміненні організму. Значення w_T для тканин і органів визначені з експериментів і з теоретичних розрахунків.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНИХ ДОЗ З ВИКОРИСТАННЯМ антропоморфні та МАТЕМАТИЧНИХ фантомів



Типові ефективні дози від діагностичних медичних процедур

Діагн. процедура	Типова ефект. доза (мЗв)	Еквів-т рентгенограм. ОГК	Еквів. фоновий період
ОГК (ЗП)	0.02	1	3 дн
Череп	0.07	3.5	11 дн
ГОП	0.7	35	4 міс
ПОП	1.3	65	7 міс
Т / Б суглоб	0.3	15	7 нед
Таз	0.7	35	4 міс
черевна	1.0	50	6 міс
урографія	2.5	125	14 міс

Типові ефективні дози від діагностичних медичних процедур

Діагн. процедура	Типова ефект. доза (мЗв)	Еквів-т рентгенограм. ОГК	Еквів. фоновий період
рентгеноскопія шлунка	1.5	75	6 міс
рентгеноскопія ШКТ	3	150	16 міс
колоноскопія	7	350	3.2 p
КТ голови	2.3	115	1 p
КТ ОГК	8	400	3.6 p
КТ черевної або малого таза	10	500	4.5 p

Колективна ефективна доза

КОЛЕКТИВНА ЕФЕКТИВНА ДОЗА (КЕД) - сума всіх ефективних доз, одержаних опроміненими особами в популяції:

Концепція колективної ефективної дози може використовуватися для оцінки загального впливу процесу або випадкового викиду іонізуючого випромінювання на здоров'я піддалося впливу населення

Колективна ефективна доза розраховується як сума всіх індивідуальних ефективних доз за період часу (рік)

$$S = \sum E.$$

В системі СІ люд зіверт (люд.-Зв).

Таким чином, в даний час ми маємо такі дози опромінення:

- експозиція / доза
- поглинена доза
- еквівалентна доза
- ефективна доза
- колективна ефективна доза.

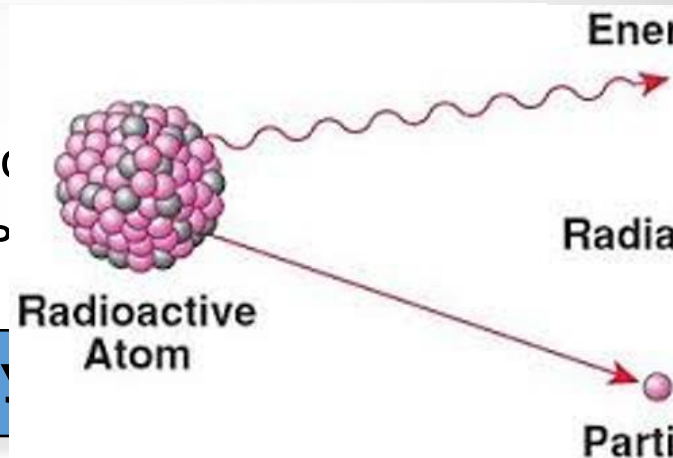
Для визначення значень цих доз використовуються наступні одиниці:

- кулон на кілограм (Кл / кг) і рентген (Р) для впливу
- радий і грей (Гр) для поглиненої дози
- Зиверт (Зв) для еквівалентної дози і ефективної дози
- Людина-Зиверт (Зв-чел) для колективної дози.

РАДІОАКТИВНІСТЬ

Радіоактивність – здібність атомів повільно розпадатись з випромінюванням енергії та перетворюватись на інші хімічних елементів

ТИПИ РАДІОАКТИВНОГО РОЗПАДУ



- альфа-розпад – ядро випромінює α -частинку

- бета-розпад - електронний (${}_{-1}^0\beta$)
- позитронний (${}_{+1}^0\beta$)

к-захват – поглинання ${}_{-1}^0e$

з к-оболонки $\rightarrow$ утворюється нейтрон $\rightarrow$
випромінювання кванта енергії – фотона ікс-променів

РАДІОАКТИВНІСТЬ

У 1896 р Беккерель відкрив явище випромінювання урану, аналогічне рентгенівському, відкритого роком раніше В.К.Рентгеном.

У 1934 році дочка М. Склодовської-Кюрі Ірен Джолі-Кюрі разом зі своїм чоловіком Ф. Джолі-Кюрі відкрила можливість отримання радіоактивних елементів штучно-штучної радіоактивності.

В даний час нам відомо понад 2000 радіоактивних ізотопів (радіонуклідів), з яких близько 300 мають природне походження.

ПРИРОДНЯ

(близько 300)

- $^{232}_{90}\text{Th}$
- $^{235}_{92}\text{U}$
- $^{238}_{92}\text{U}$
- $^{226}_{88}\text{Ra}$
- $^{222}_{86}\text{Rn}$
- $^{40}_{19}\text{K}$
- $^{14}_6\text{C}$

ШТУЧНА

(близько 2000)

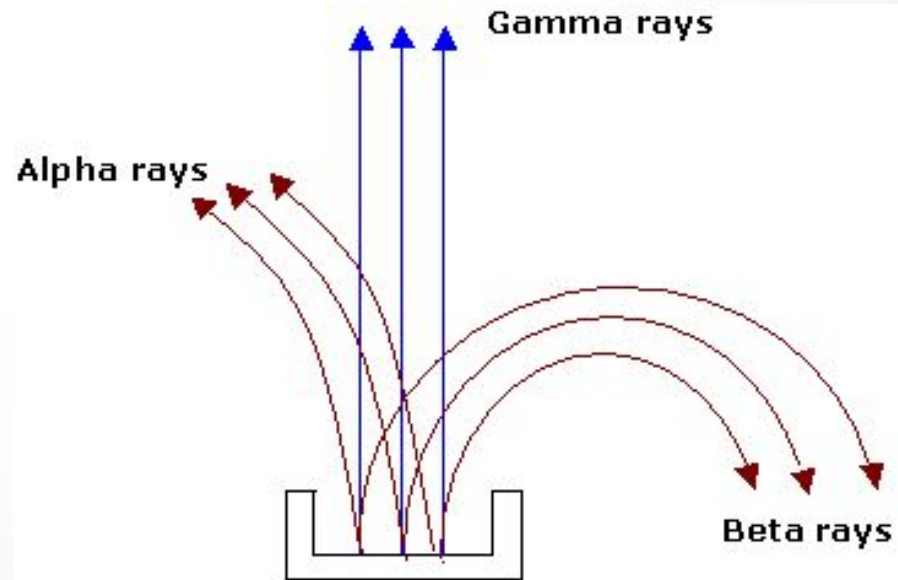
Природний
радіаційний фон

ЕМІСІЯ

Ядра атомів радіоактивних елементів нестабільні по енергії, від чого вони розпадаються з випромінюванням енергії у вигляді гамма-квантів і випромінюванням елементарних альфа- або бета-частинок (електронів або позитронів).

*Кожному радіоізоотопів
властивий певний тип розпаду,
який відбувається за
характерною схемою.*

*Наприклад.
З-60 - гамма,
 $E = 1,17 \text{ MeV}$,
період напіврозпаду - 5,27 з*



IV. РАДІОАКТИВНІСТЬ

РАДІОНУКЛІДИ

Надкоротковічні

Коротковічні

Довговічні

^{131}J ; ^{125}J ; $^{99\text{m}}\text{Tc}$; ^{201}Tl ; ^{32}P ; ^{198}Au ; ^{18}F

Діагностика

^{60}Co ; ^{137}Cs ; ^{192}Ir

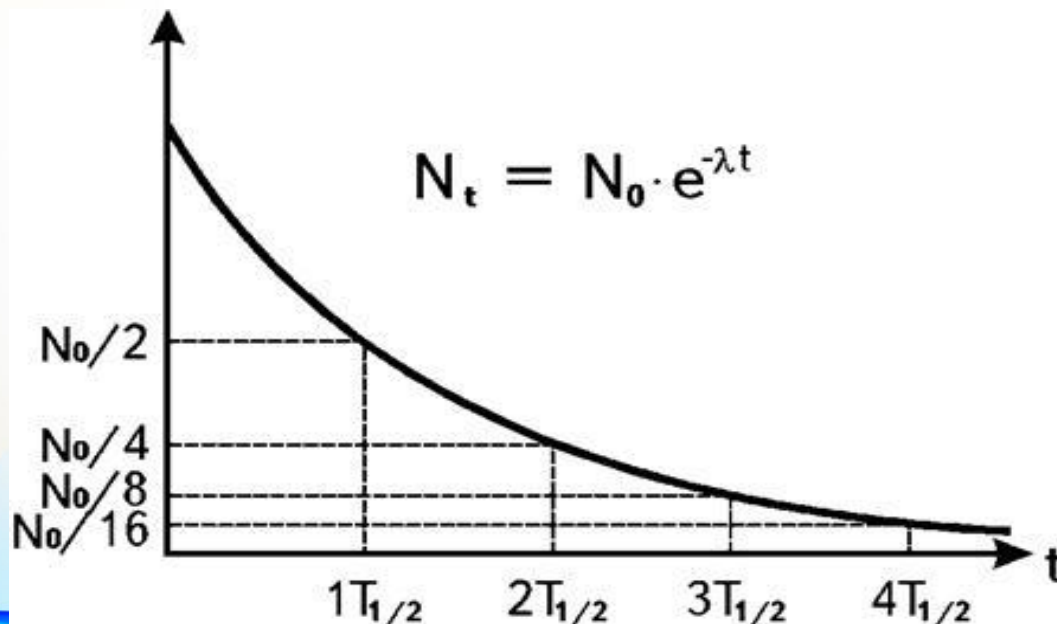
Радіотерапія

Закон радіоактивного розпаду

Кожен радіонуклід має характерну швидкість розпаду ядер, мірою якої є період напіврозпаду ($T_{1/2}$) і константа розпаду (λ).

Період напіврозпаду ($T_{1/2}$) - час розпаду половини початкової кількості ядер.

Постійна розпаду (λ) - відносна частина ядер радіонукліда, який розпадається на кожну одиницю часу. Співвідношення цих критеріїв математично виражається такими рівняннями: $T_{1/2} = 0,693 / \lambda$, $\lambda = 0,693 / T_{1/2}$



АПАРАТУРА ДЛЯ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ

- Дозиметри - для визначення дози та її потужності.
- Радіометри - для вимірювання активності препаратів, забруднення поверхонь об'єктів, індикатор.
- Спектрометри - одно- і багатоканальні, спектрометри випромінювань людини.

радіометрія

Оскільки абсолютна кількість розпадів ядер з часом зменшується пропорційно зменшенню кількості радіонукліда від його безперервного розпаду, для вимірювання кількості радіонукліда приймається значення, яке називається активністю.

Активність-абсолютна кількість розпадів ядер в даному речовині за одиницю часу.

Одиниці активності Беккерель (Бк) і Кюрі (Кі).

1 Беккерель-кількість радіонукліда, в якому 1 ядро розпадається в секунду (1 розпад / с).

1 Кюрі-це кількість радіонукліда, в якому $3,7 \times 10^{10}$ ядер розпадаються протягом секунди ($1 \text{ Бк} = 3,7 \times 10^{10} \text{ р / с}$).

У медичній практиці використовують похідні одиниці: $\text{кБк} = 10^3 \text{ Бк}$; $\text{мКи} = 10^{-3} \text{ Кі}$; $\text{мкКи} = 10^{-6} \text{ Кі}$.

радіометри

Для вимірювання кількості радіонуклідів застосовують радіометри. Завданням радіометра є вимірювання кількості розпадів його ядер в одиницю часу. В якості детектора в радіометрі має бути пристрій, здатний генерувати сигнал на його виході за ознакою потрапляння в його обсяг фотона або частки. Такі пристрої звуться лічильників випромінювання.

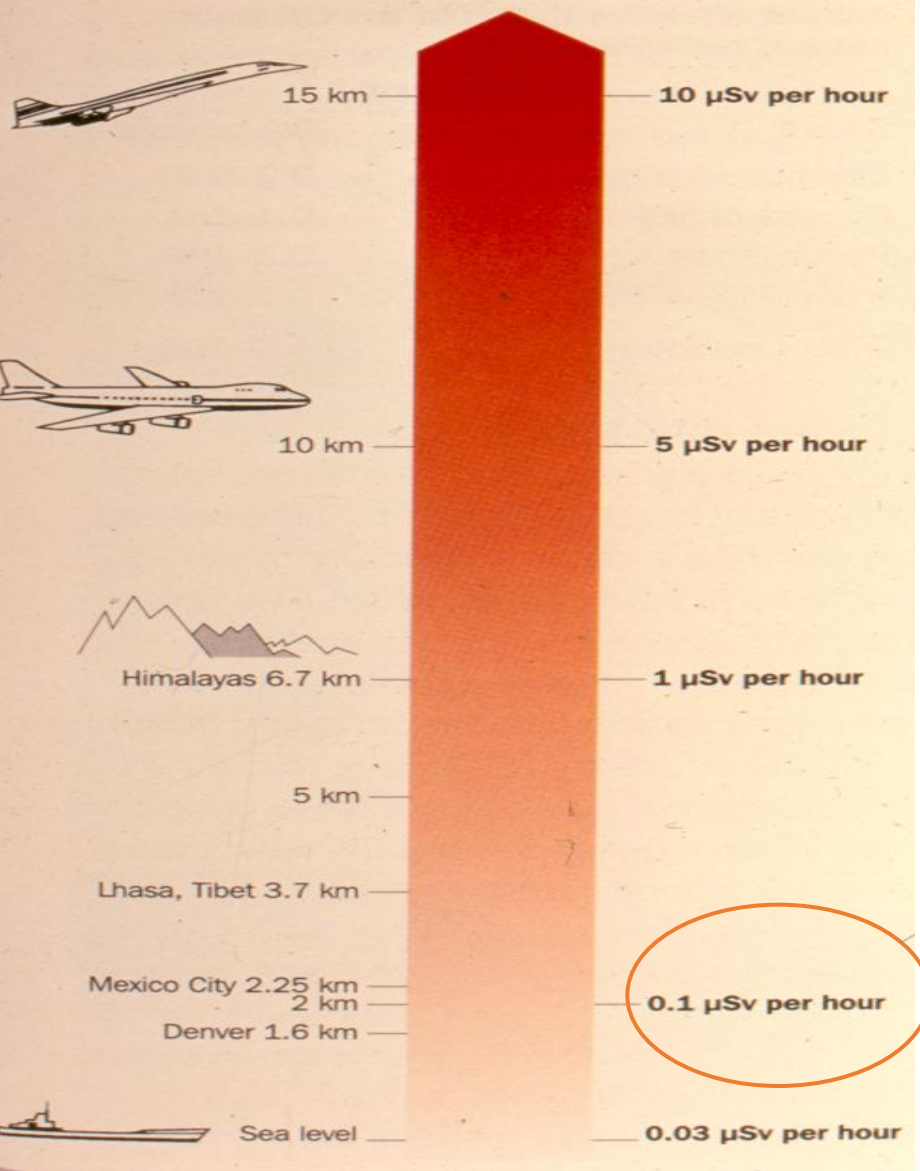
На їх виході створюється електричний імпульс, за ознакою потрапляння в нього фотона або частки.

Найпоширеніші лічильники

Випромінювання сцинтиляційні лічильники.



Air flight
and cosmic
radiation



Природний радіаційний

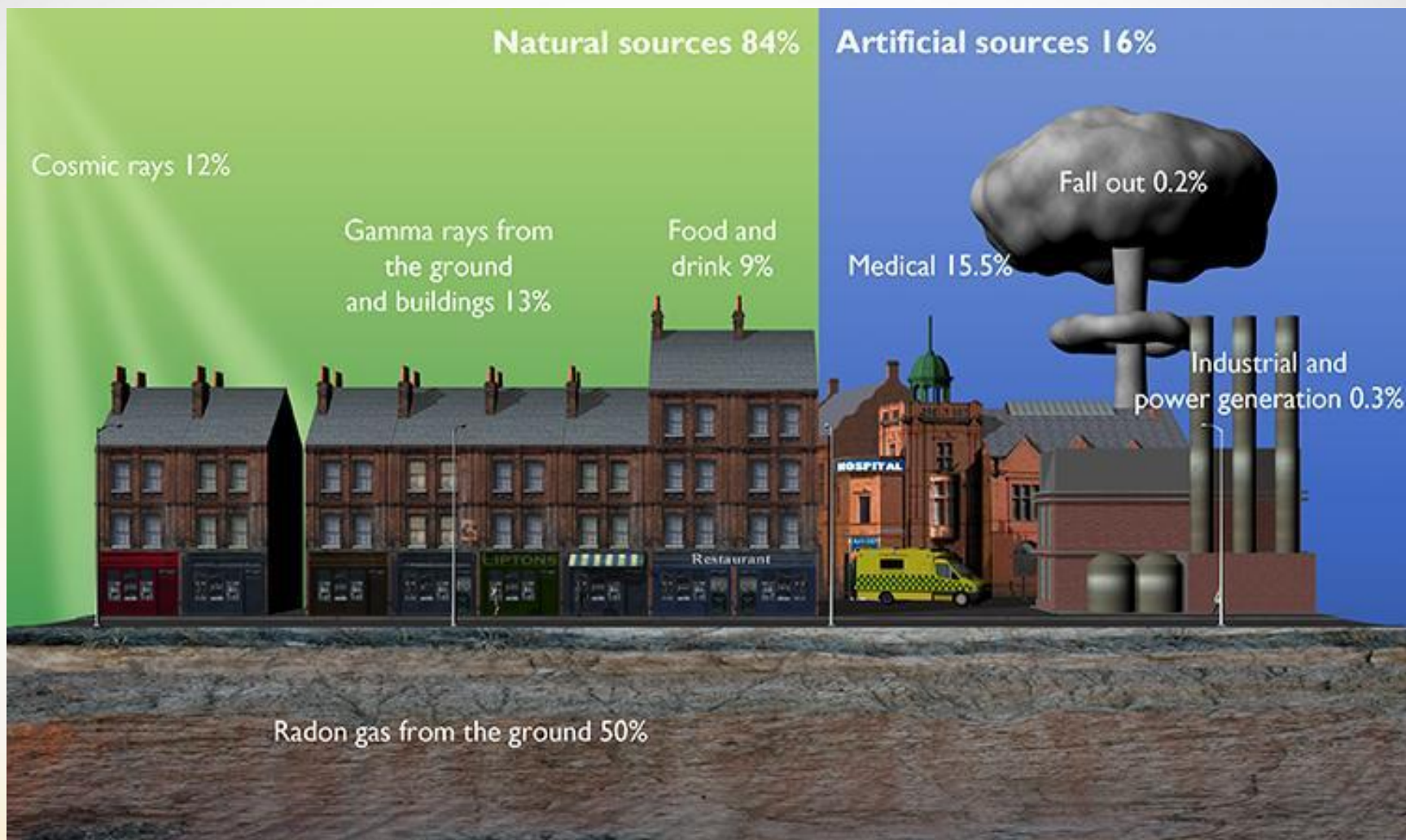
фон
Кожна людина на Землі
піддається постійному іонізуючого
випромінювання від природних
джерел ІК: космічних променів, їжі,
води, будинку, радону, будівельних
матеріалів

і природних радіонуклідів, що
містяться в організмі К-40, Ра-226,
Ра-228.

Це природний радіаційний фон

Випромінювання з природних джерел - зазвичай 1-3 мЗв / рік, високий фон, 3-13 мЗв / рік

Природні і штучні джерела



Основний внесок в фонове вплив вносить радон

Медичне опромінення є основним джерелом штучного опромінення населення.

ПРИРОДНИЙ РАДІАЦІЙНИЙ ФОН

- Космічні промені
- Випромінення земної кори і природних радіонуклідів

- Уран-235, уран-238; торій-232;
- продукти їх розпаду – ^{226}Ra ; ^{224}Ra -радій; ^{87}Rb -рубідій
(в середньому 0,5 мЗв/рік)

- В бетоні; цеглі; пісок; цемент; щебінь -
радіоактивність підвищена
- ^{226}Ra – ^{222}Rn ; - $T_{1/2}$ 3,7 доби –
- інгаляційне випромінення

Середні КЕД на душу населення від природних і антропогенних джерел впливу (мЗв / рік)
відповідно до UNCEAR

природні джерела 2.4

космічні промені 0,4;

гамма-випромінювання земної кори 0,5;

інгаляції (в основному радону) 1,2;

внутрішнє опромінення (в основному К-40) 0,3;

антропогенні джерела 0.13

Медичне опромінення 1.2

атмосферні ядерні випробування 0,005

Чорнобильська аварія 0002

ядерна енергетика 0,0002



БІОЛОГІЧНА ДІЯ ІВ

- Радіочутливість
- Радіорезистентність

БІОЛОГІЧНА ДІЯ ІВ

- Пряма
(радіоліз та утворення гіперперекису водню H_2O_2)
- Непряма
(дія на структурні елементи клітини)

↓

Апоптоз клітини

↓

Відновлення (повне або неповне)



V. ОСНОВИ РАДІОБІОЛОГІЇ

ВАРІАНТИ ЗАГІБЕЛІ КЛІТИН

- Стадія клітинного циклу
 - досинтетичний
 - синтетичний
 - післясинтетичний (G-2)

ЗАКОН БЕРГОНЬЄ-ТРИБОНДО (1906 Р)

- Чим більша репродуктивна активність клітин, тим більше біологічний ефект ІВ



V. ОСНОВИ РАДІОБІОЛОГІЇ

БІОЛОГІЧНІ ЕФЕКТИ ІВ

- Репродуктивна загибель клітин
- Повне пригнічення мітозу
- Хромосомні аберації
- Інтерфазна загибель
- Апоптоз

ДЕТЕРМІНОВАНІ ЕФЕКТИ ІВ

або соматичні (нестохастичні) ефекти – мають поріг виникнення, а ступінь їхньої тяжкості зростає з дозою (після дії високих доз опромінення, що перевищують толерантну дозу для опроміненої тканини)

Порогова доза -

це значення дози, за якої виникає певний ефект, що найменше у 1-5 % опромінених

СТОХАСТИЧНІ ЕФЕКТИ ІВ

Це генні мутації, які у статевих клітинах (яйцеклітинах чи сперматозоїдах) проявляються тератогенним ефектом

(синдром Дауна, Хорея Гентінгтона);

канцерогенний ефект радіації; радіоіндукованої пухлини (саркоми, радіоіндукований рак щитоподібної залози, лейкози)

РАДІАЦІЙНИЙ ЗАХИСТ



ЧИ ПОТРІБНА НАМ ЗАХИСТ ВІД РАДІАЦІЇ?

радіація



Де зупинитися, де безпечний ліміт? Які наслідки радіації?

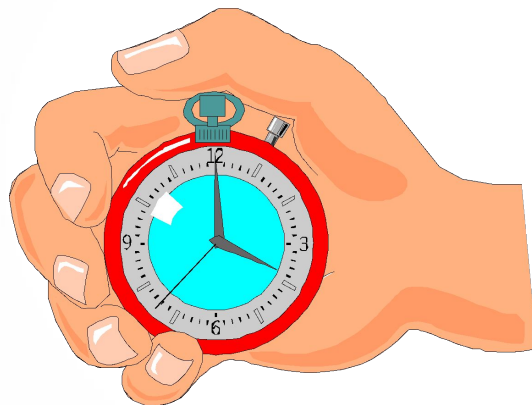
Фізичні методи радіаційного захисту

Всі фактори радіологічного захисту можна узагальнити в три категорії по:

- часу,
- віддалі
- екранування

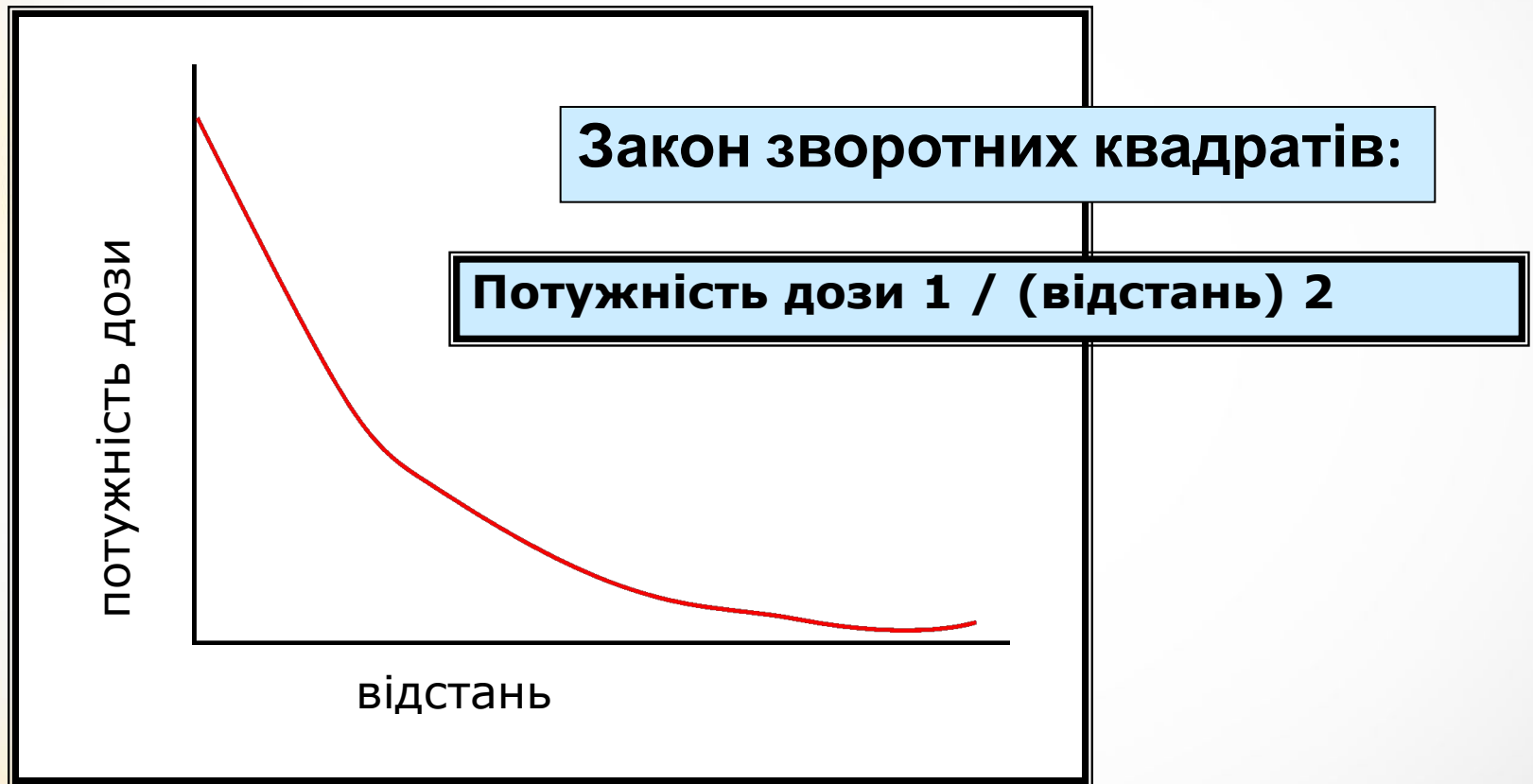
час

Доза пропорційна часу опромінення

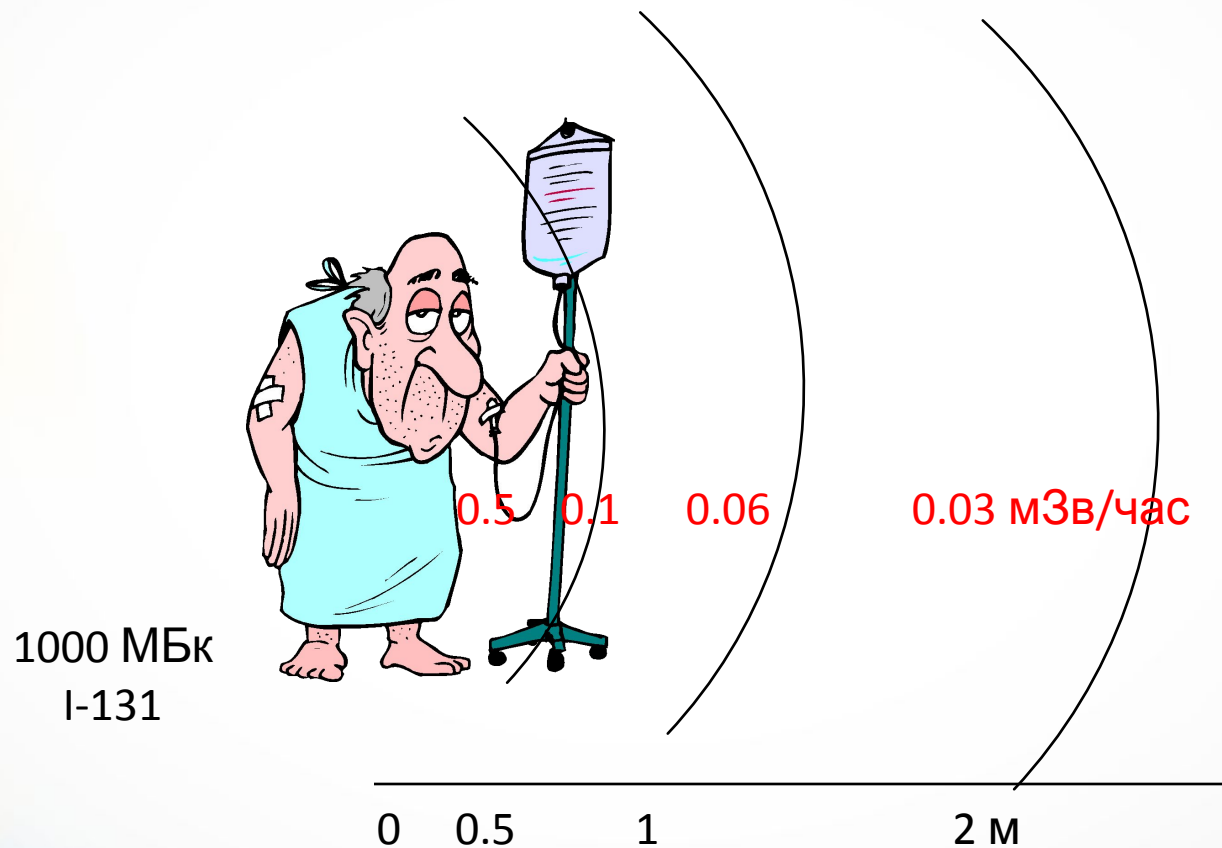


Доза = Потужність дози x Час

відстань



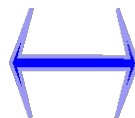
Пацієнт після введення йоду-131



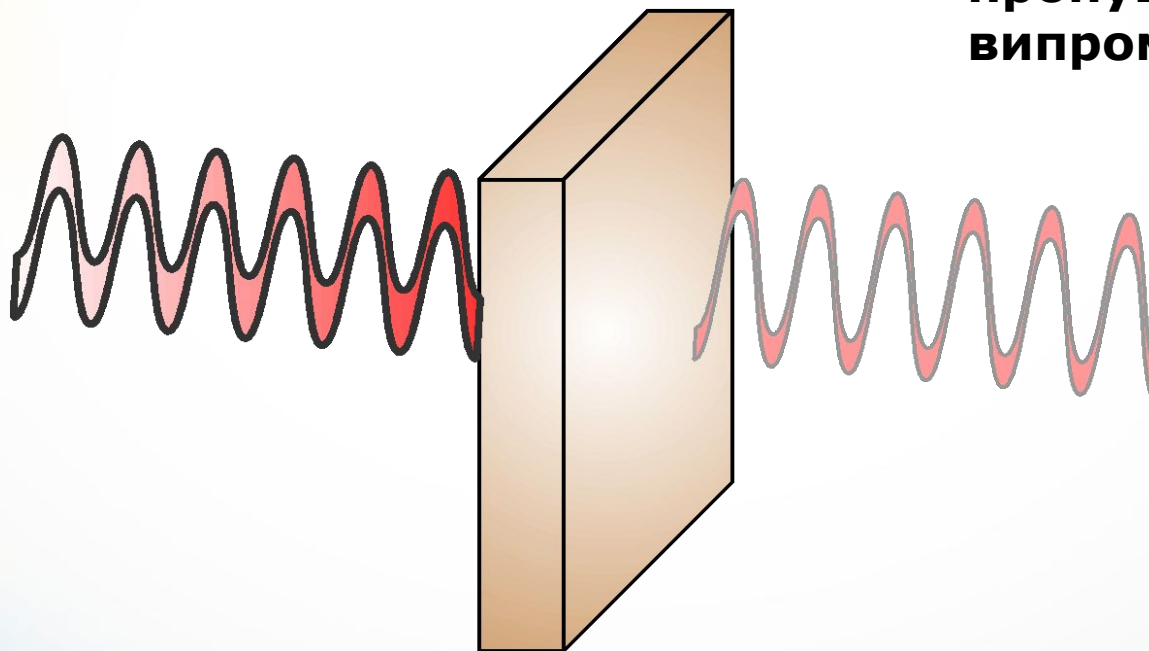
екранування

**Падіння
випромінювання**

товщина бар'єра



**пропущене
випромінювання**



3 ТИПУ ОПРОМІНЕННЯ

- Згідно BSS 115 ризики МАГАТЕ поділяються на:

- Медичне опромінення - опромінення пацієнтів як частина їх діагностики або лікування
- Професійне опромінення - опромінення персоналу (медичний, технічний, сервісний, що працює з IR)
- Громадське опромінення, включаючи всі інші дії (екологічні, космічні і т.д.)



медичне опромінення

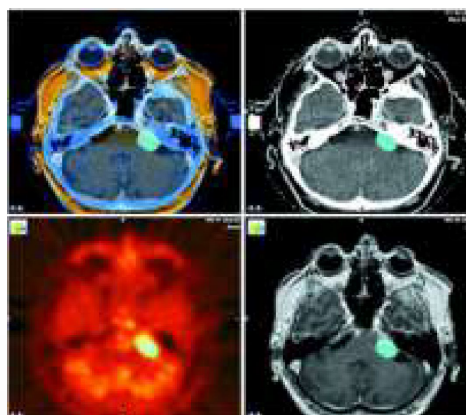
- Опромінення людей в рамках їх діагностики або лікування
- Впливу (крім професійних), понесені свідомо і добровільно особами, такими як сім'я і близькі друзі, що допомагають в лікарні або будинку для підтримки і комфорту пацієнтів
- Впливу, понесені добровольцями в рамках програми біомедичних досліджень

МЕДИЧНЕ ОПРОМІНЕННЯ

діагностичний
радіологія
3.6 млрд иссл *



ядерна медицина
35 млн



Лучевая терапия
5,5 млн



В даний час спостерігається глобальне зростання
використання радіації

*дані НКДАР

Принципы радиационной защиты в медицине

1. Обґрунтування практики
2. Оптимізація захисту за рахунок підтримки мінімально можливого впливу (ALARA)
3. Межі доз для професійного опромінення

дози ПЕРСОНАЛУ

Професійне опромінення будь-якого працівника має контролюватися таким чином, щоб не перевищувались наступні граничні дози:

ефективна доза 20 мЗв на рік в середньому за п'ять років поспіль

Середні дози персоналу в діагностичній радіології

Рентгенографія □ 0.1 -1.0 мЗв / г.

КТ □ 0.1 -1.0 mSv / yr

Найвищі дози (до 2-20 мЗв) -

Інтервенційна радіологія і ядерна медицина



РАДІАЦІЙНА МЕДИЦИНА

— наука, що вивчає особливості дії іонізуючого випромінювання на *організм людини*, принципи лікування променевих ушкоджень та профілактики.





РОЗДІЛ

1.

Фізика іонізуювальних
випроміненнь.

Радіаційні вимірювання.
Джерела випромінення.





I. Види і властивості іонізуювальних випромінень

Іонізувальне випромінення (ІВ) –
випромінення, яке при взаємодії з
середовищем
спричиняє іонізацію атомів:
Молекул

Енергія ІВ вимірюється в
електрон-вольтах (eV; ev)

I. Види і властивості іонізувальних випромінень

Фотони – кванти електромагнітної енергії,
не мають маси спокою та електричного заряду

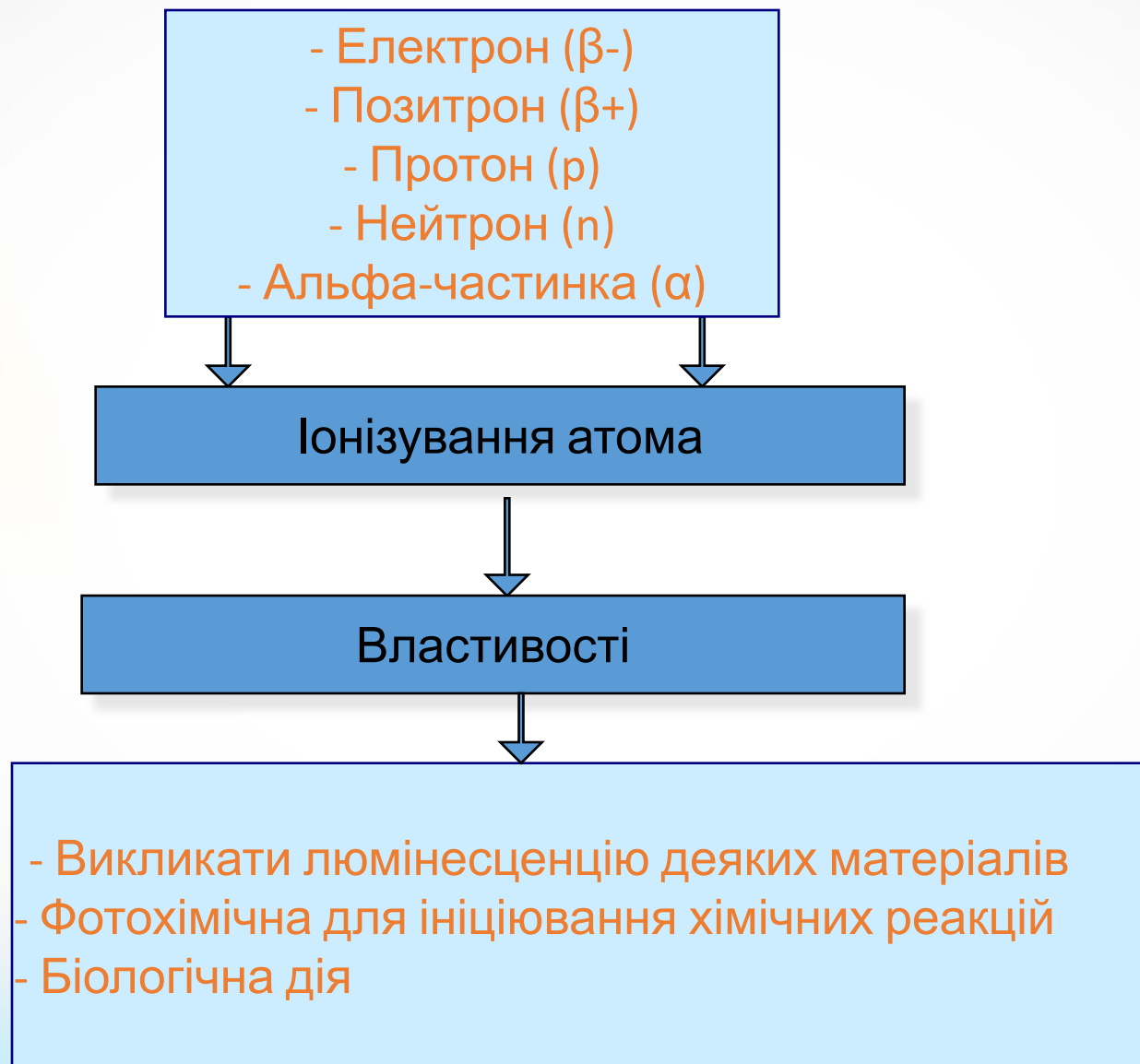
-ікс-промені

(виникають при взаємодії
струменя електронів
з атомами
будь-якої речовини)

-гамма-промені

(фотони ядерного походження,
які виникають у наслідок
радіоактивного розпаду ядер
нестабільних
хімічних елементів)

I. Види і властивості іонізуючих випромінень



III. Дозиметрія

Дозиметрія – галузь фізики з проблем визначення кількості та розподілу поглинутого ІВ у середовищі

ДОЗА

– енергія, що передається одиниці маси речовини струменем випромінювання

Біологічний ефект

Локальне

Тотальне

III. Дозиметрія

РАДІАЦІЙНІ ДОЗИ

- ЕКСПОЗИЦІНА ДОЗА (Р; К/кг)
(вимірюється у повітрі)
потужність Р/с; Р/хв; Р/год
- ПОГЛИНУТА (АБСОРБОВАНА) ДОЗА (РАД; Гр)
(кількість енергії випромінення, поглинута в одиниці маси речовини)

$$D = E / M,$$

де

D – поглинута доза;

E – поглинута кількість енергії;

M – маса опроміненої речовини.

$$D = f * x,$$

де

f – Ф-фактор;

x – експозиційна доза.

Ф-фактор залежить від енергії випромінення та щільності опромінюваного середовища (кістки поглинають дозу більшу, ніж м'язи).

III. Дозиметрія

РАДІАЦІЙНІ ДОЗИ

- ЕКВІВАЛЕНТНА ДОЗА (міра очікуваного ефекту внаслідок різної ЛПЕ у різних видів випромінювання (біологічні ризики))

$$H = D * Q_7,$$

де

D – поглинута доза;

Q_7 – фактор якості випромінювання

Q_7 - кількісна характеристика кожного типу випромінювання зі густотою іонізації

- ЕФЕКТИВНА ДОЗА - це сума добутків еквівалентних доз W_t в окремих органах і тканинах помножена на тканинні зважувальні фактори (W_t)

$$E = \sum (H_t * W_t)$$

(експериментальна величина)

III. Дозиметрія

РАДІАЦІЙНІ ДОЗИ

- КОЛЕКТИВНА ЕФЕКТИВНА ДОЗА - сума всіх ефективних доз, одержаних опроміненими особами в популяції:

$$E_p = \sum E,$$

ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ ДОЗ:

- для ЕКСПОЗИЦІЙНОЇ ДОЗИ - Кулон на кілограм (К/кг) і рентген (Р)
 - для ПОГЛИНУТОЇ ДОЗИ - рад (rad) і Грей (Гр)
 - для ЕФЕКТИВНОЇ ДОЗИ – зіверт (Зв)
 - для КОЛЕКТИВНОЇ ДОЗИ - людино-зіверт (люд/Зв)
- СПІВВІДНОШЕННЯ: 1 Р ~ 1 бер ~ 1 рад ~ 1 сГр

РАДІОМЕТРІЯ

ОДИНИЦЯ АКТИВНОСТІ є Беккерель та Кюрі

- 1 беккерель – 1 ядро за 1 сек

- 1 кюрі – $3,7 * 10^{10}$ ядер за 1 сек

ПРИЛАДИ

- Радіометри
- Лічильники випромінення
- Сцинтиляційні

IV. ПРИРОДНИЙ РАДІАЦІЙНИЙ ФОН

- Космічні промені
 - 0,4 мЗв/рік
- Гамма-випромінення земної кори
 - 0,5 мЗв/рік
- Інгаляційне (переважно радон)
 - 1,2 мЗв/рік
- Внутрішнє опромінення
 - 0,3 мЗв/рік
- Разом
 - 2,4 мЗв/рік



РОЗДІЛ 2.

Основи радіобіології. Принципи контролю радіаційної безпеки



VI. РЕГЛАМЕНТУВАННЯ ОПРОМІНЕННЯ ЛЮДИНИ

СУЧАСНІ НОРМИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

вимагають не перевищення основної межі ефективної дози, яка становить в середньому 20 мЗв/рік за будь які 5 років поспіль, але не більше ніж 50 мЗв/рік

(МАГАТЕ, МКРЗ; НКДАР ООН

ALARA - As Low as Reasonably Achievable -

Дози повинні бути настільки низькими, наскільки це розумно досяжно

(НРБУ-97; ОСПУ-2001)





**РАДІАЦІЯ –
ЦЕ ПЛАМІНЬ ЗІРОК,
ТО Ж
СТАВИМОСЯ ДО НЕЇ
З БЛАГОГОВІННЯМ,
ЩОБ ВОНА ГРІЛА ЛЮДЕЙ,
А НЕ СПОПЕЛЯЛА**

Знак радіаційної небезпеки

Небезпечно. Радіоактивні речовини або іонізуюче випромінювання.

На дверях приміщень, дверцятах шаф і в інших місцях, де знаходяться і застосовуються радіоактивні речовини або є іонізуюче випромінювання допускається застосовувати знак радіаційної небезпеки по ГОСТ 17925.

Хвилі радіаційного випромінювання, череп з кістками, тікає чоловічок зі стрілкою, і все це в червонному трикутнику з чорної рамкою – такий новий символ радіаційної небезпеки, затверджений 15 лютого 2008 р.

Міжнародним агентством з атомної енергії (ІАЕА) та Міжнародної організацією зі стандартизації ISO).



ALARA

ALARA

As low as reasonably achievable

**(настільки мала наскільки розумно
досяж|**



Класифікація джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ)



ЗАКРИТЕ ДЖЕРЕЛО

Джерело випромінювання, конструкція якого виключає надходження радіонуклідів, що містяться в ньому в навколишнє середовище в умовах застосування та закінчення терміну використання, на який він розрахований

Рo-210, використовують для видалення статичної електрики з обладнання



ЗАКРИТЕ ДЖЕРЕЛО

За характером дії:

**1) джерела випромінювання
безперервного**

дії: γ -установки різного

призначення, нейтронні, β - і γ -

випромінювачі

Апарат РОКУС-М
для дистанційної гамма-терапії,
(Опромінення глибоко розташованих
пухлин - джерело випромінювання ^{60}Co)



ЗАКРИТЕ ДЖЕРЕЛО

**2) пристрої, що генерують
іонізуюче випромінювання
періодично:
рентгенівські апарати і
прискорювачі заряджених
частинок**



ВІДКРИТЕ ДЖЕРЕЛО

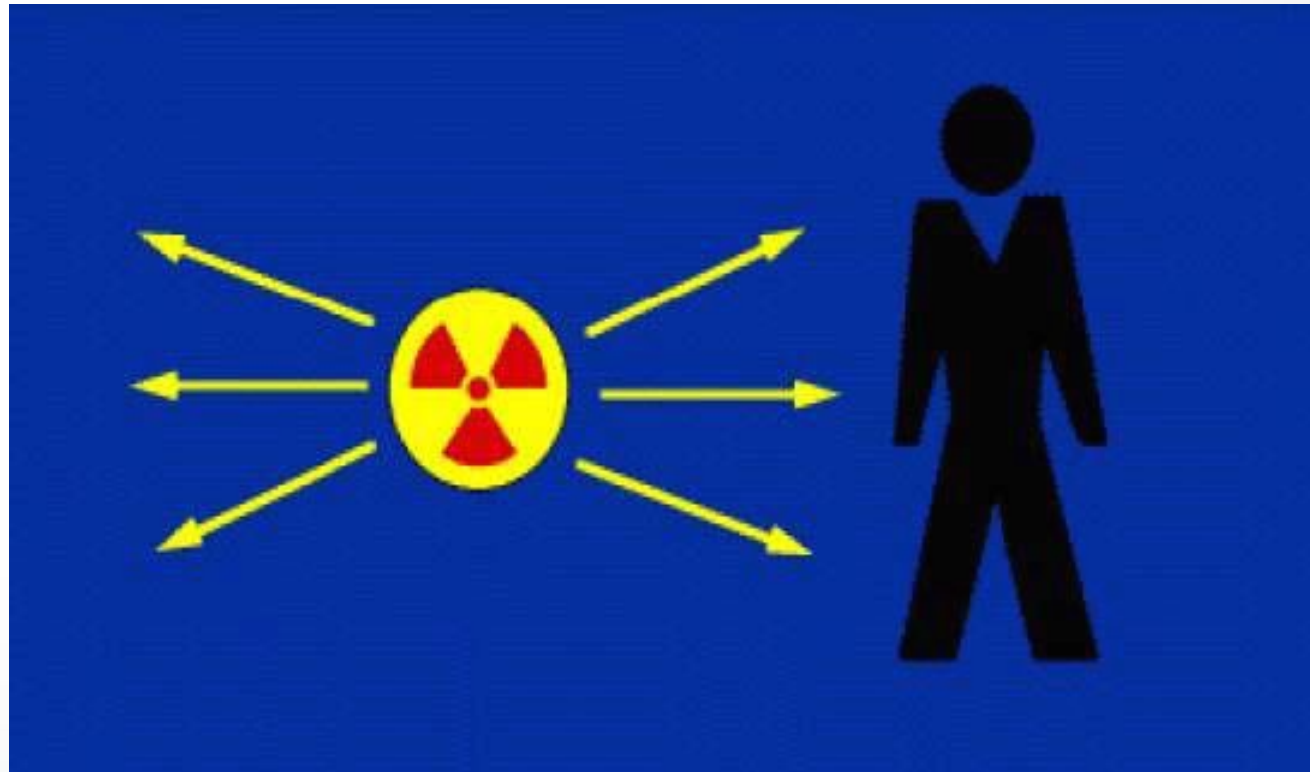
Джерело випромінювання, при використанні якого можливе надходження містяться в ньому радіоактивних речовин в навколишнє середовище і потрапляння радіонуклідів всередину організму, тобто людина піддається не тільки зовнішнім, але і внутрішнього опромінення.



Забезпечення радіаційної безпеки при роботі з ДІВ

Фактори, що визначають дозу опромінення одержану людиною :

- час
- відстань
- кількість (потужність)
- наявність екранів



ЧОТИРИ ОСНОВНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ

**1. «Захист кількістю» - зменшення
потужності джерел до мінімальних
(технологічно допустимих) величин**

МЕТОД ЗАХИСТУ

2. «Захист часом»

скорочення часу роботи з джерелами

Exposure rate = 10mGy/h X Time = Total dose



1 hour = 10 mGy



2 hours = 20 mGy

МЕТОД ЗАХИСТУ

3. «Захист відстанню»

$$D_i = D_1 \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2}$$



150 mSv/h

d=50cm

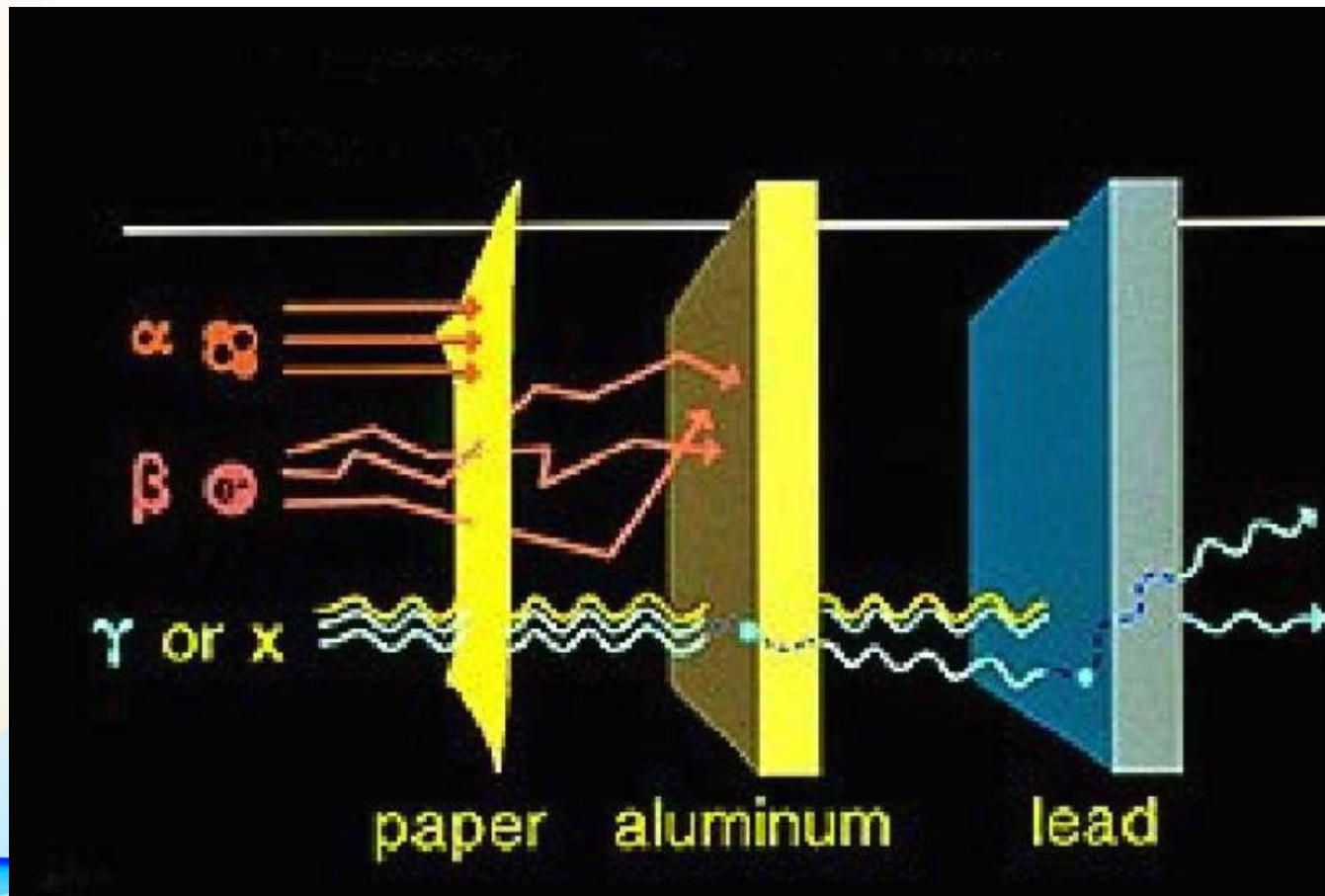


0.06 mSv/h

МЕТОД ЗАХИСТУ

4. «Защита экраном»

экранирование источников излучения
материалами, поглощающими ИИ



Екрани в залежності від виду випромінювання:

Екрани в залежності від виду випромінювання:

рентгенівське і
γ-випромінювання -
важкі метали (свинець)
екрани:

просвинцьовано скло, гума;
сталь; бетон; барітобетон та ін.
з еквівалентним збільшенням
товщини екрану віконниці



РЕНТГЕНІВСЬКЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Екрани зі свинцю і
просвинцьованої
гуми:

- ☐ стаціонарні
- ☐ пересувні
- ☐ індивідуальні



ГАММА ВИПРОМІНЮВАННЯ

- Жилет "Гамма-1"

захист шлунково-кишкового тракту,
гонад, хребта і кісток таза.

Маса жилета - $12,0 \pm 0,35$ кг.

Кратність ослаблення γ -випромінювання - 2

- Накидка "Пильнік"

захист від радіоактивного пилу,
розчинів кислот і лугів.

Забезпечує захист жилета "Гамма-1", тулуба і рук працюючого від
радіоактивних речовин і агресивних
середовищ.

Маса накидки - 0,6 кг.



НЕЙТРОННЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Швидкі нейтрони -
максимальний уповільнюючий
ефект у елементів з малим
атомним номером (матеріали,
містять велику
кількість атомів водню -
вода, парафін, бетон і
ін.);

- теплові нейтрони -
кадмій і бор (Cd - кілька
десятих мм);
- + додатковий захист
від γ -випромінювання - свинець.



β-потік

Матеріали з малим атомним номером (невеликий вихід гальмівного випромінювання) - органічне скло, пластмаса, алюміній

Бокс захисний з рукавичками з оргскла 6БП1-0С, 7БП1-0С захист оператора від альфа- і бета-випромінювання, приміщень від забруднення радіоактивними аерозолями.



Пероральне надходження і адсорбція



ЗАХИСНИЙ ОДЯГ ТА МИТТЯ РУК



Захисний одяг

- повсякденного призначення - халати, комбінезони, костюми, спецвзуття, протипилові респіратори;
- короткочасного використання - ізолюючі шлангові і автономні костюми, пневмокостюми, протигази ...



До роботи з ДІВ допускаються особи не молодше 18 років, які не мають медичних протипоказань.

- **Перед допуском до роботи з ДІВ персонал повинен пройти навчання, інструктаж і перевірку знань правил безпеки ведення робіт і діючих в організації інструкцій.**

- **Перевірка знань правил РБ в організації проводиться комісією до початку робіт і періодично, не рідше 1 разу на рік, керівного складу - не рідше 1 разу на 3 роки.**

- **Інструктаж з радіаційної безпеки проводиться з періодичністю не рідше 2 разів на рік.**

- **Особи, які не задовольняють**

Для жінок у віці до 45 років, які працюють з іноземними інвестиціями, вводяться додаткові обмеження:

- еквівалентна доза на поверхні нижньої частини області живота не повинна перевищувати 1 мЗв / місяць,**
- надходження радіонуклідів в організм за рік не повинно бути більш 1/20 межі річного надходження для персоналу.**

У цих умовах еквівалентна доза опромінення плода за 2

місяці невиявленої вагітності не перевищить 1 мЗв. Адміністрація підприємства зобов'язана перевести вагітну жінку на роботу, не пов'язану з джерелами II, з дня її інформацією про факт вагітності на період вагітності і грудного вигодовування дитини.

РАДІАЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ

- отримання інформації про радіаційну обстановку в організації, в навколишньому середовищі і про рівні опромінення людей. Включає в себе дозиметричний і радіометричний контроль.



Індивідуальний контроль доз опромінення персоналу включає:

- Радіометричний контроль забрудненості шкірних покривів і індивідуальних засобів захисту**
- Контроль характеру, динаміки і рівня надходження радіоактивних речовин в організм з використанням методів прямої і / або непрямої радіометрії**



Облік доз персоналу: ДОЗ-1

- Контроль доз зовнішнього опромінення з використанням індивідуальних дозиметрів або розрахунковим шляхом
- Результати індивідуального контролю доз опромінення персоналу повинні зберігатися протягом 50 років



Регламентация опромінення від ДІВ, які використовуються в медицині

Медичне опромінення

Діагностичне



Терапевтичне



Профілактичне



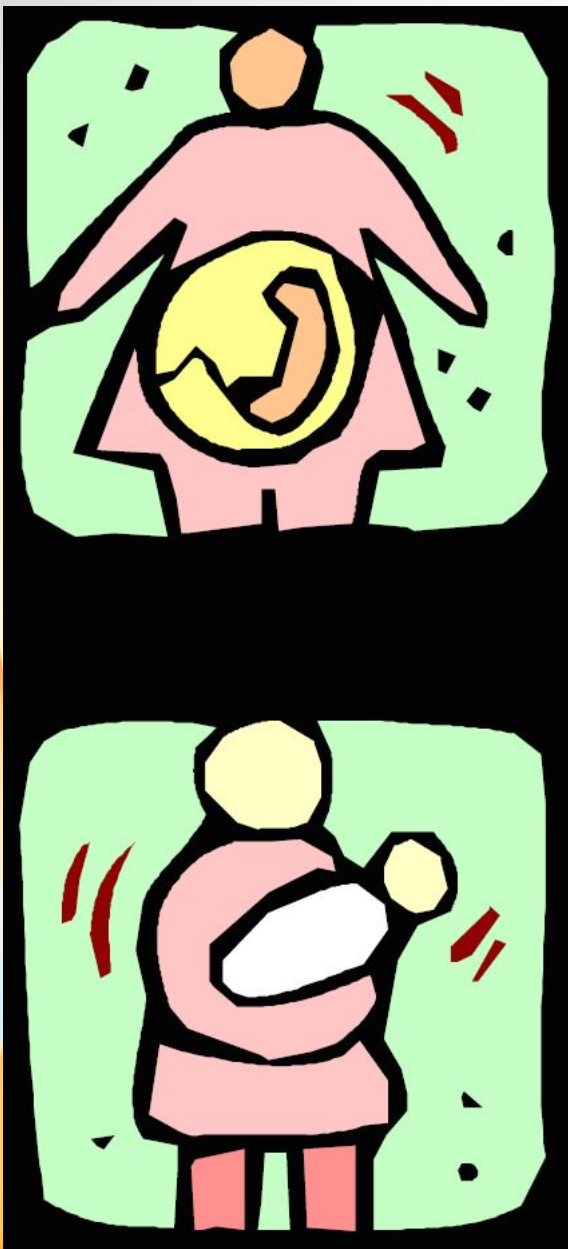
Науково-дослідне



Особливості медичного опромінення:

- 1. Високий вклад у колективну дозу обробки**
- 2. Дія на все населення, в т.ч. діти, жінки детородного віку - випуск критичних груп пацієнтів**
- 3. Висока потужність дози облучень (сопоставимо с аварийним облученням)**
- 4. Водіння на ослаблений (більший) організм**
- 5. Облучення одних і тех же органів**
- 6. Незалежність дози облучень від кваліфікації лікарів та технічних засобів (R-апарати)**

Важливо: безумовне переклад польських польотів для використання під можливим часом



1. Правило 10 днів
2. Дослідження за клінічним показанням, у присутності леч. врача, во вторую половину беременности
3. Средства индивидуального захисту
4. Доза, отримана плода, не повинна перевищить 1 мЗв за 2 місяці не виявленої беременности
5. Якщо > 100 мЗв – попереджувати пацієнтку про можливі наслідки і рекомендував переривання беременности

Особливості дитячого організму

1. Клетки знаходяться в стадіях ділення
2. Більша очікувана продовження життя
3. Малі розміри тіла та органів, близьке розташування органів
4. Більша частина костного мозку зосереджена в черепі і в кістках



Пути оптимізації медичного діагностичного облучення дітей

- **Створення спеціалізованих центрів**
- **Дослідження за строгим клінічним показниками**
- **Ісключення необоснованих досліджень**
- **Примінення альтернативних методів дослідження, сучасного обладнання і оптимальних режимів дослідження**
- **Індивідуальні засоби захисту**