



ННЦ «ІНСТИТУТ БІОЛОГІЇ»
Київського національного університету імені Тараса
Шевченка

РАДІОБІОЛОГІЯ

д.б.н., професор кафедри
біофізики

Мартинюк Віктор Семенович



Київ
2014

© В.С. Мартинюк



РАДІОБІОЛОГІЯ



Кафедра Біофізики

ЛЕКЦІЯ 2.

1.1. Види іонізуючого випромінювання. Природні і штучні джерела іонізуючого випромінювання. Природна радіоактивність, радіоактивні ізотопи та їх перетворення. Космічні промені.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Іонізуюче випромінювання в широкому розумінні це випромінювання, яке призводить до іонізації атомів і молекул.

Іонізуюче випромінювання в вузькому розумінні це потік елементарних частинок або високоенергетичних квантів електромагнітного випромінювання, що утворюється при радіоактивному розпаді хімічних елементів, ядерних перетвореннях, гальмуванні заряджених частинок в речовині або при релятивістському прискоренні у природних або штучних прискорювачах. Проходження іонізуючого випромінювання через речовину призводить до іонізації і збудження атомів або молекул середовища.



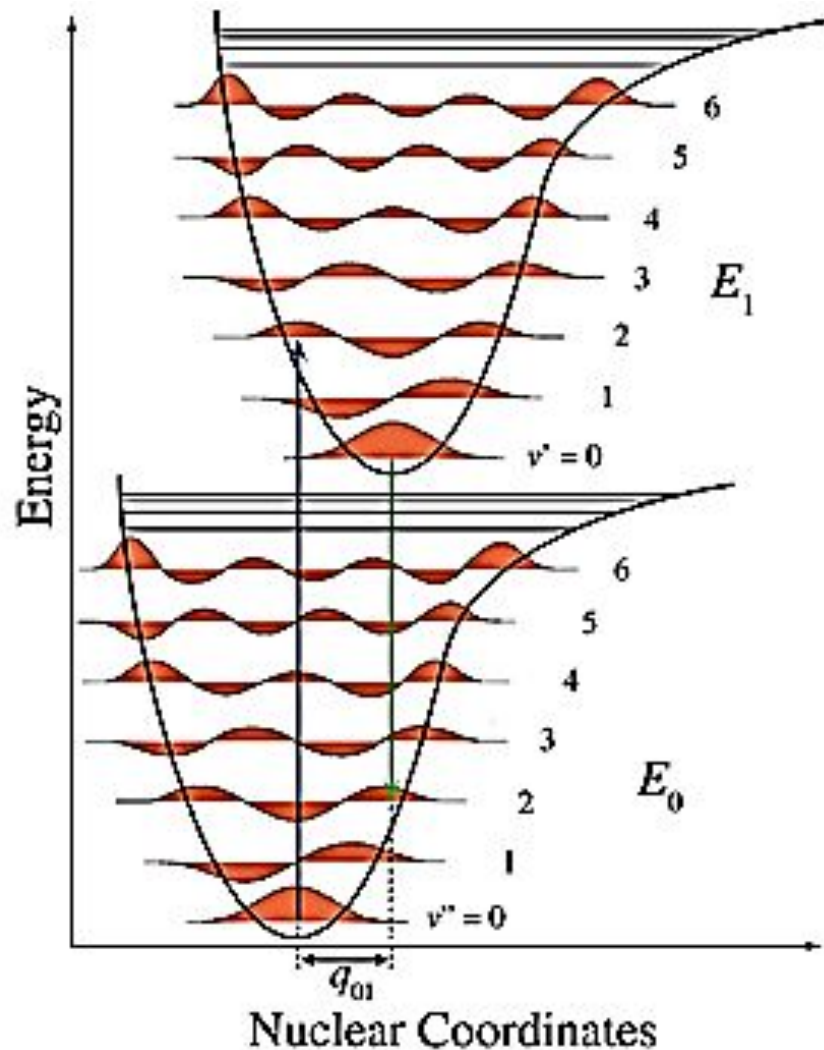
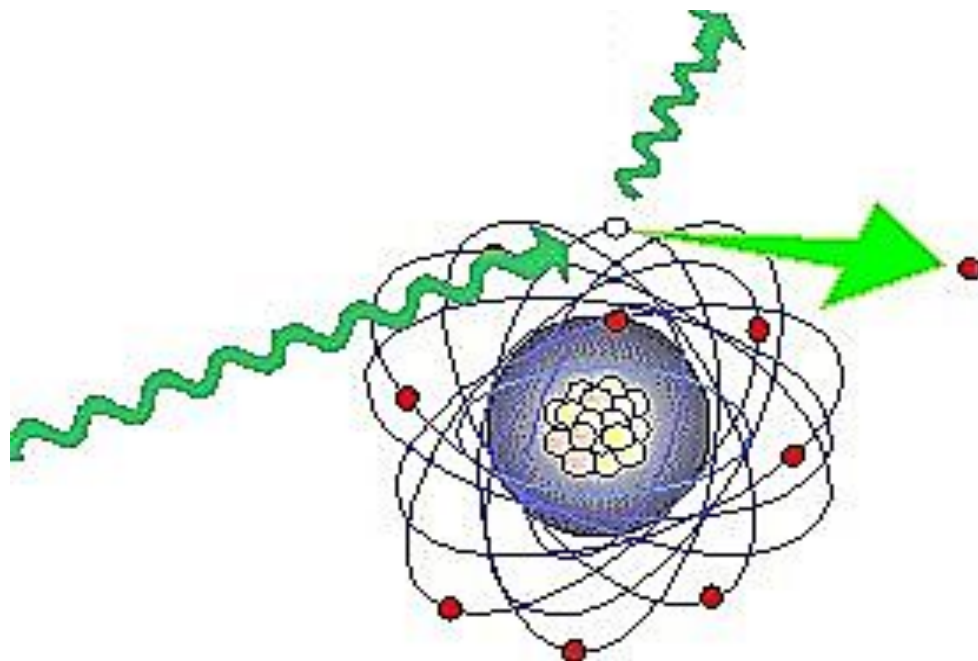
РАДІОБІОЛОГІЯ



Проходження іонізуючого випромінювання через речовину призводить до іонізації і збудження атомів або молекул середовища.

Іонізація – це утворення електрично заряджених частинок - електронів, протонів та іонів атомів і молекул середовища.

Іонізація може здійснюватися шляхом відриву від атомів, що складають молекули, одного або декількох електронів з утворенням іону або за рахунок переходу електрона (електронів) від однієї частинки до іншої з набуттям ними зарядів.





РАДІОБІОЛОГІЯ



Кафедра Біофізики

ВИДИ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Іонізуючі випромінювання поділяють на *фотонні* і *корпускулярні*.

Фотонне іонізуюче випромінювання - це всі види електромагнітного випромінювання, що виникають при зміні енергетичного стану атомних ядер, електронів атомів або анігіляції часток - ультрафіолетове і характеристичне рентгенівське випромінювання; випромінювання, що виникають при радіоактивному розпаді та інших ядерних реакціях і при гальмуванні заряджених частинок в електричному або магнітному полі.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Кафедра Біофізики

Гамма-випромінювання – це гамма-промені, що мають енергію вище 124 000 електрон-вольт (eV) і довжину хвилі менше 0,01 нм = 0,1 Å.

Основні джерела гамма-випромінювання: космос, ядерні реакції, радіоактивний розпад, синхротронне випромінювання.

Різкої нижньої межі для гамма-випромінювання не існує, проте зазвичай вважається, що гамма-кванти випромінюються ядром, а рентгенівські кванти - електронною оболонкою атома (це лише термінологічне розходження, що не зачіпає фізичних властивостей випромінювання). На шкалі електромагнітних хвиль гамма-випромінювання межує з рентгенівським випромінюванням, займаючи діапазон більш високих частот і енергій. В області 1-100 кеВ гамма-випромінювання і рентгенівське випромінювання розрізняються тільки по джерелу.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Рентгенівське випромінювання – електромагнітні хвилі, енергія фотонів яких лежить на шкалі електромагнітних хвиль між ультрафіолетовим випромінюванням і гамма-випромінюванням, що відповідає довжинам хвиль від 10^{-2} до 10^2 Å (від 10^{-12} до 10^{-8} м).

Рентгенівські кванти випромінюються в основному при переходах електронів в електронній оболонці важких атомів на нижчі електронні орбіталі. Вакансії на нижчих орбіталях створюються електронним ударом, який призводить до збудження електронів і їх переходу на вищі рівні.

Рентгенівське випромінювання, створене таким чином, має лінійчатий спектр з частотами, характерними для даного атома.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Рентгенівське випромінювання умовно поділяють на:

м'яке рентгенівське випромінювання, яке має довжину хвилі від 10 нм з енергією 124 еВ до 0,1 нм = 1 Å з енергією 12400 еВ. Джерелами м'якого рентгенівського випромінювання є електронно-променеві трубки, «теплове» випромінювання плазми.

жорстке рентгенівське випромінювання, яке має довжину хвилі від 0,1 нм = 1 Å з енергією 12400 еВ до 0,01 нм = 0,1 Å з енергією 124 000 еВ.

Джерела жорсткого випромінювання є деякі ядерні реакції, електронно-променеві трубки.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Гамма- і рентгенівські промені, на відміну від α - і β -променів, не містять заряджених частинок і тому не відхиляються електричними і магнітними полями, вони характеризуються більшою проникаючою здатністю при рівних енергіях і інших рівних умовах.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Кафедра Біофізики

Основними процесами, що відбуваються при проходженні рентгенівського та гамма-випромінювання через речовину є:

- 1. фотоефект;*
- 2. Комптон-ефект;*
- 3. Ефект утворення пар;*
- 4. Ядерний фотоефект.*



РАДІОБІОЛОГІЯ



ВИДИ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Іонізуючі випромінювання поділяють на *фотонні* і корпускулярні.

Корпускулярне іонізуюче випромінювання – це потоки *альфа-* і *бета-частинок*, *протонів*, *прискорених іонів* і *електронів*, *нейтронів* та інших.

Корпускулярне випромінювання потоку заряджених частинок відноситься до класу безпосередньо іонізуючого випромінювання.

Корпускулярне випромінювання потоку незаряджених частинок називають вторинним іонізуючим випромінюванням.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Основними видами корпускулярного випромінювання є:

- 1. альфа-випромінювання;***
- 2. бета-випромінювання;***
- 3. нейтронне випромінювання;***
- 4. протонне та іонне випромінювання;***
- 5. космічне випромінювання (включає всі попередні).***



РАДІОБІОЛОГІЯ



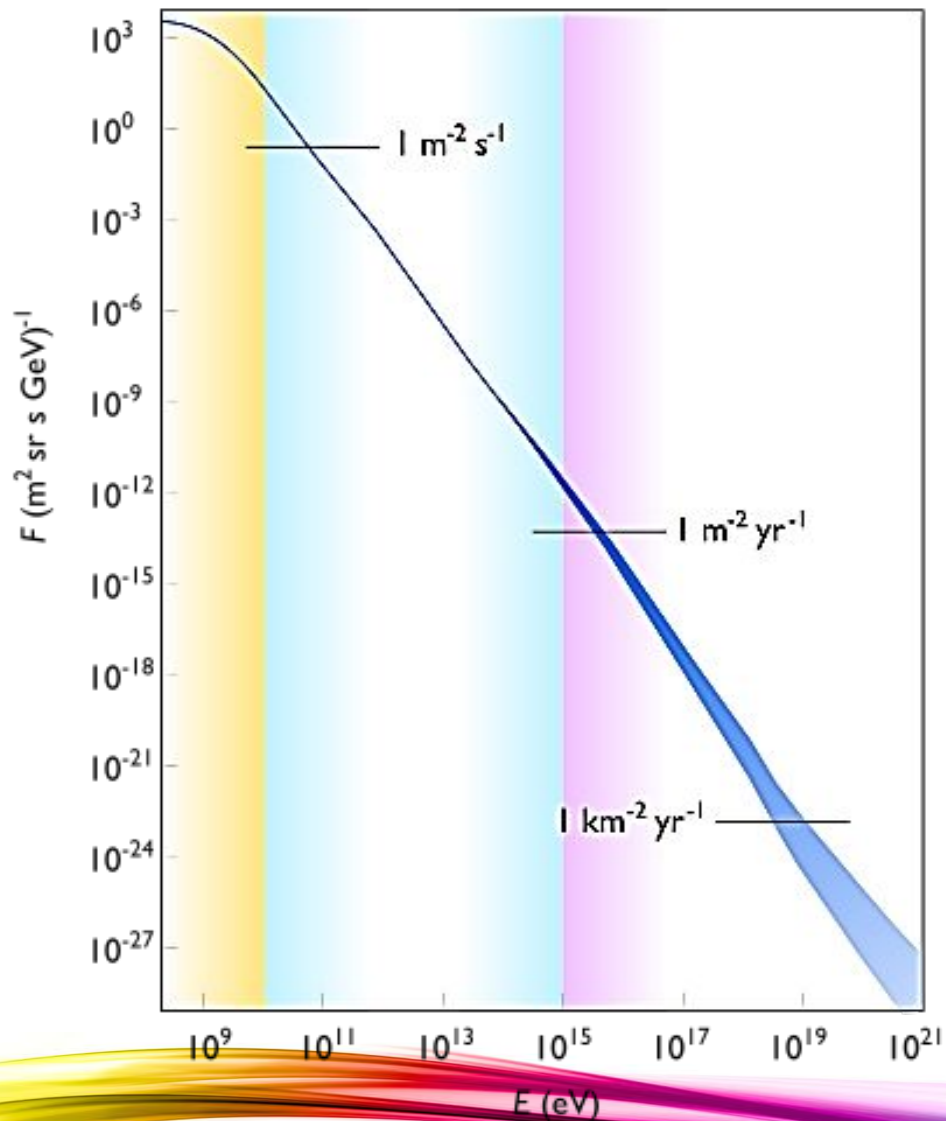
Кафедра Біофізики

Космічне випромінювання (космічні промені) – це природне випромінювання, що приходить на Землю з космосу.

Космічні промені переважно складаються з:

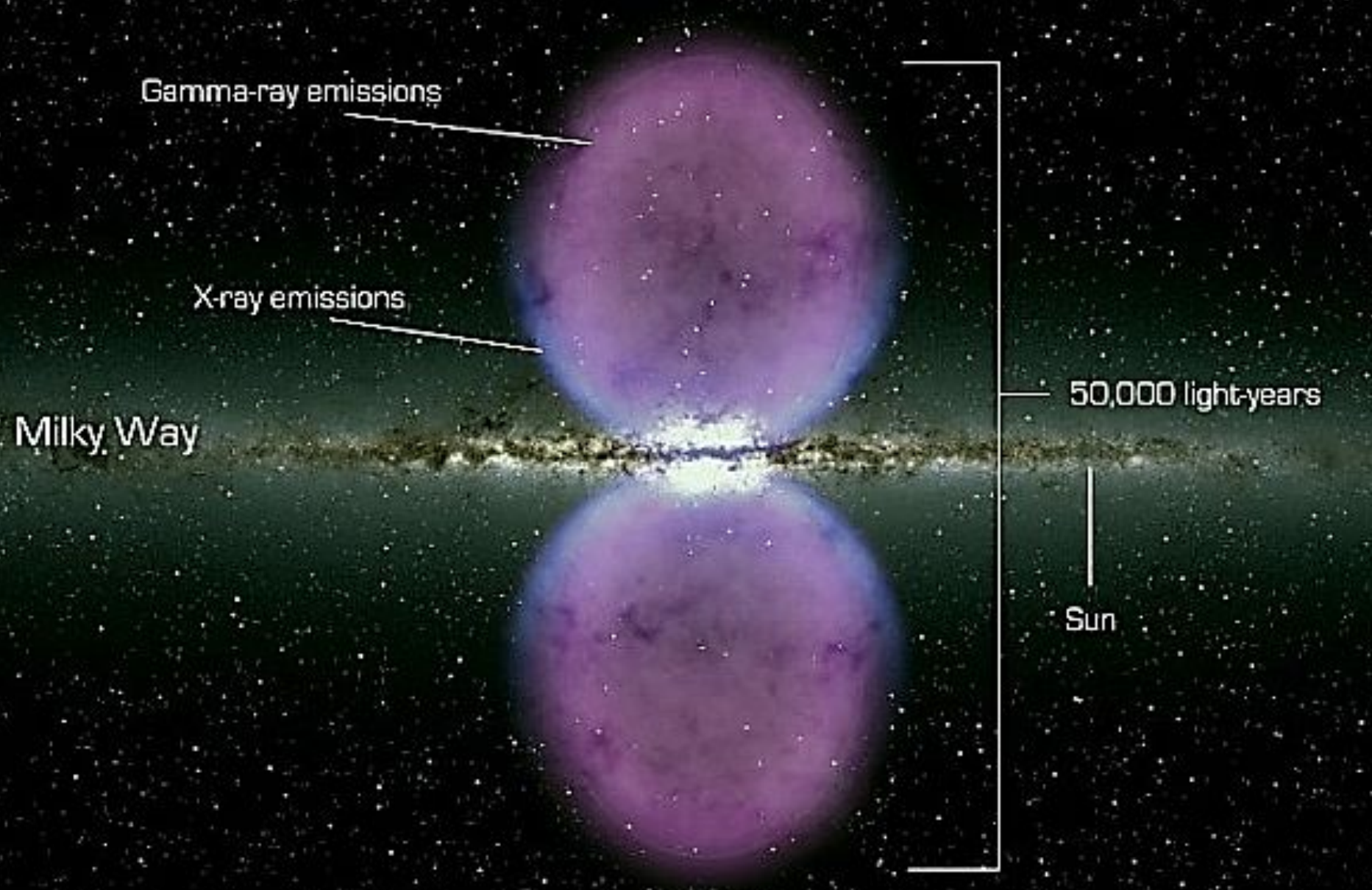
- 1. протонів ~92%**
- 2. ядер гелію ~7%**
- 3. більш важкі елементи, такі як Li, Be, B, Fe та ін. складають менше 1 %.**

Проникаючи вглиб атмосфери, космічне випромінювання взаємодіє з ядрами атомів, що входять до складу атмосфери, і утворює потоки вторинних частинок (мезони, гамма-кванти, нейтрони та ін.)



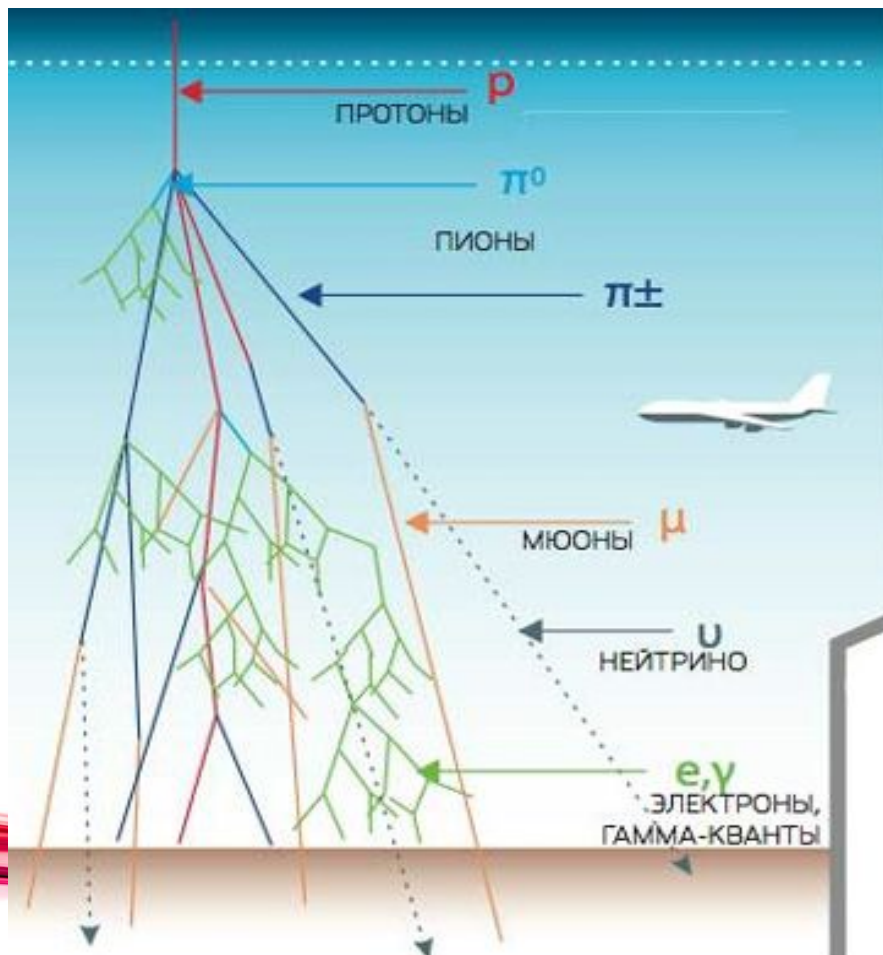
Енергетичний спектр космічних променів

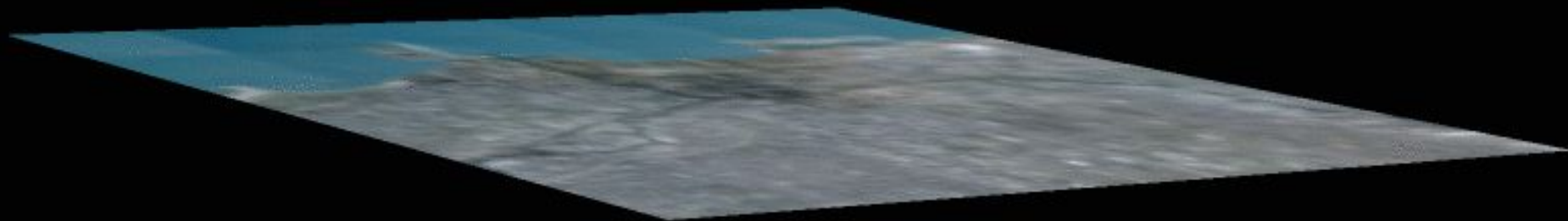
РАДІОБІОЛОГІЯ

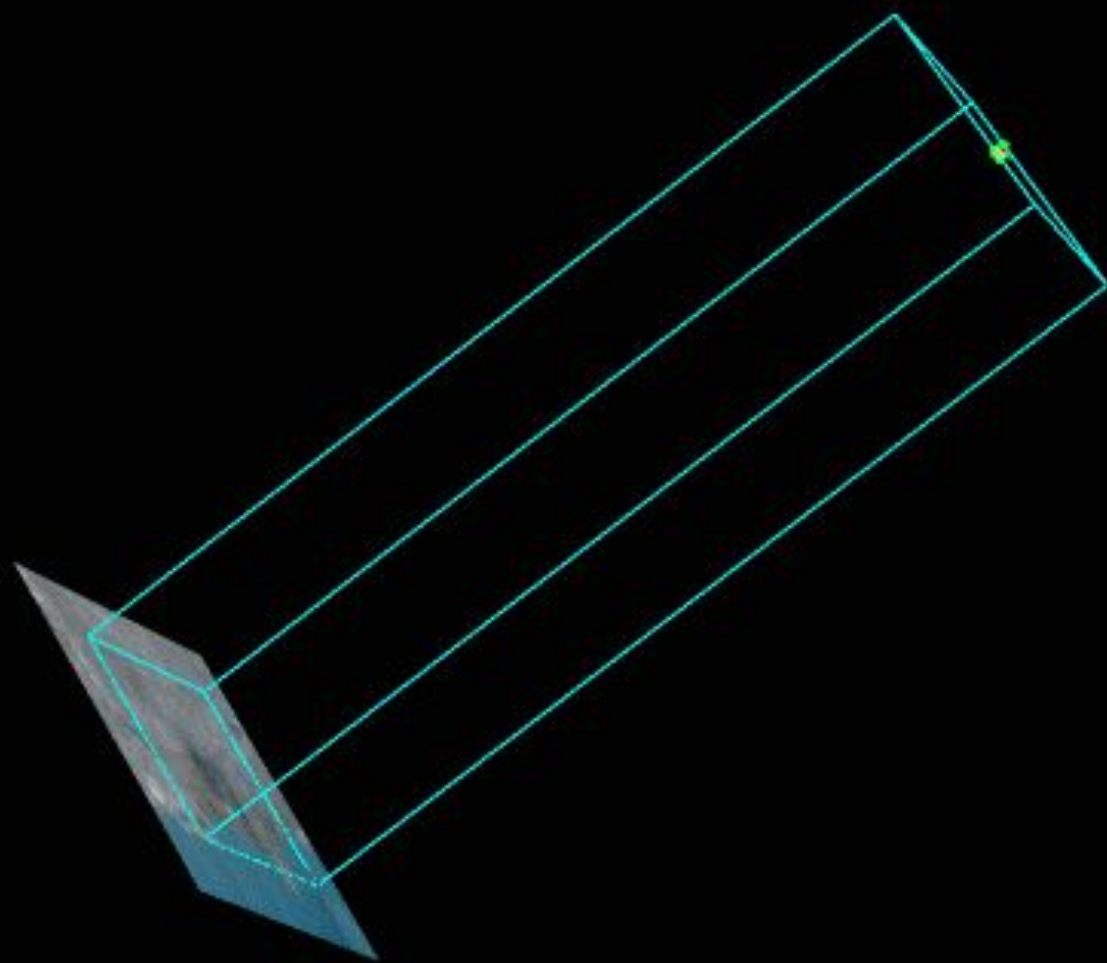


РАДІОБІОЛОГІЯ

Космічне випромінювання взаємодіє з ядрами атомів, що входять до складу атмосфери, і утворює потоки вторинних частинок (мезони, гамма-кванти, нейтрони та ін.), що отримали назву *широких атмосферних злив*.









РАДІОБІОЛОГІЯ



Кафедра Біофізики

Природні і штучні джерела іонізуючої радіації

Джерело іонізуючого випромінювання - це природний або штучний об'єкт, що містить радіоактивний матеріал (радіонуклід) або є природним об'єктом або технічним пристроєм, що генерує іонізуюче випромінювання.

Природні джерела – земні породи Землі що містять радіоактивні ізотопи, Сонце, космічні об'єкти.

Штучні джерела – технічні пристрої, прискорювачі, штучні радіоактивні елементи.



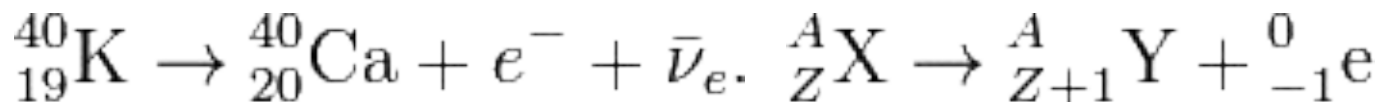
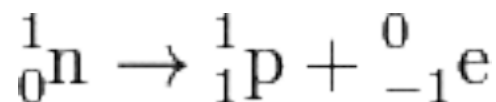
РАДІОБІОЛОГІЯ



Природна радіоактивність. Радіоактивні ізотопи.

Радіоактивність – це явище спонтанного перетворення нестійкого ізотопу хімічного елементу в інший ізотоп (зазвичай іншого елемента) шляхом радіоактивного розпаду, що супроводжується випромінюванням гамма-квантів, елементарних частинок або ядерних фрагментів.

Бета-розпад супроводжується випромінюванням електронів або/і позитронів:



Після бета-розпаду атомний номер елементу зміщується на одну позицію в таблиці Менделєєва.

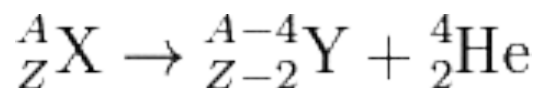
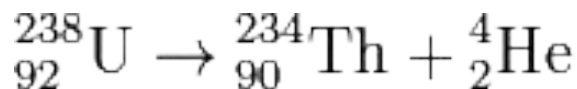


РАДІОБІОЛОГІЯ



Альфа-розпадом називають спонтанний розпад атомного ядра на ядро-продукт і α -частинку (ядро атома гелію).

α -розпад є властивістю важких ядер з масовим числом $A \geq 200$.



Після альфа-розпаду атомний номер елемента зміщується вліво на дві позиції в таблиці Менделєєва.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Гамма-розпад - це випромінювання гамма-квантів ядрами в збудженому стані, при якому вони мають велику порівняно з незбудженим станом енергію.

У збуджений стан ядра можуть переходити при ядерних реакціях або при радіоактивних розпадах інших ядер.

Більшість збуджених станів ядер мають дуже нетривалий час життя - менше наносекунди.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Закон радіоактивного розпаду:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N,$$

визначає число розпадів за інтервал часу t в речовині пропорційно числу N наявних у зразку радіоактивних атомів даного типу.

λ – це постійна розпаду, яка характеризує ймовірність радіоактивного розпаду за одиницю часу і має розмірність s^{-1} .

Закон вказує на незалежність розпаду радіоактивних ядер один від одного і від часу: ймовірність розпаду даного ядра в кожную наступну одиницю часу не залежить від часу, що пройшов з початку експерименту.



РАДІОБІОЛОГІЯ



З закону радіоактивного розпаду можна описати, використовуючи час життя:

$$N(t) = N_0 \exp(-t/\tau) ,$$

τ – час життя, тобто це проміжок часу, протягом якого система розпадається з ймовірністю $1 - 1/e$, де $e = 2,71828...$ - число Ейлера.

τ – час життя пов'язаний з періодом напіврозпаду $T_{1/2}$, що визначається як:

$$\tau = T_{1/2} / \ln 2 = T_{1/2} / 0,693 \dots .$$

Період напіврозпаду $T_{1/2}$ визначає час, протягом якого число частинок, що незмінились, в середньому зменшується вдвічі.

$$\frac{N(t)}{N_0} \approx p(t) = 2^{-t/T_{1/2}} \quad T_{1/2} = \tau \ln 2 = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad \lambda = 1/\tau .$$



РАДІОБІОЛОГІЯ

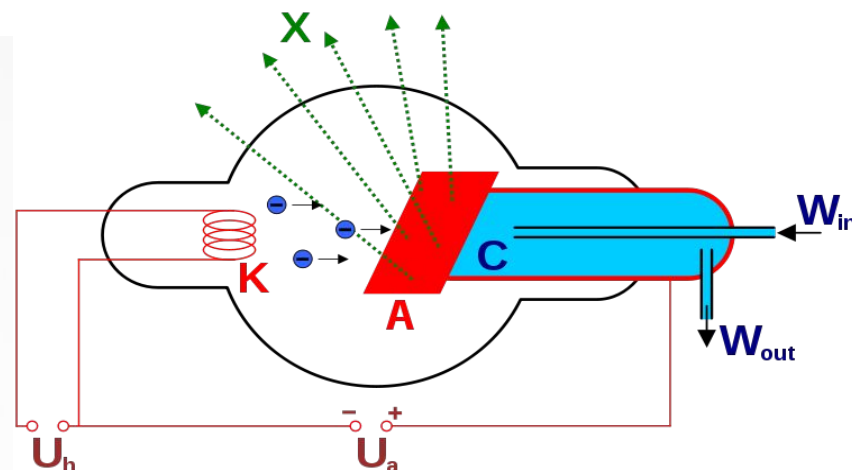
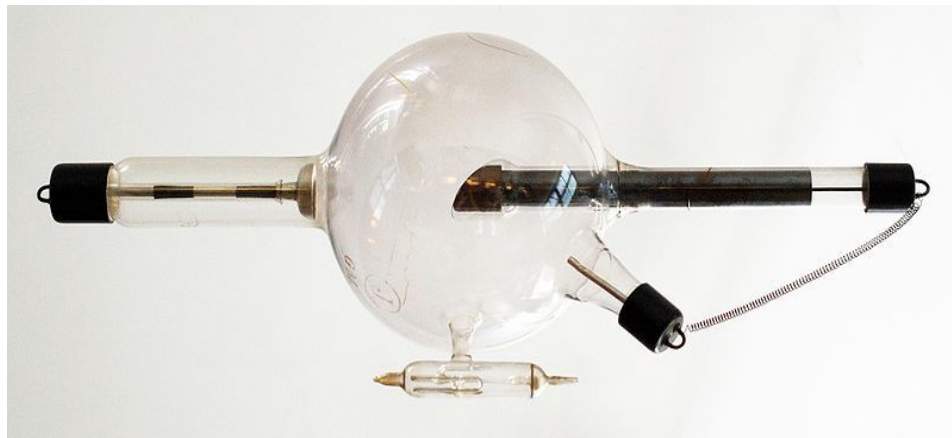


**1.2. Методи генерації іонізуючого випромінювання.
Рентгенівська трубка, фізичні принципи генерації
рентгенівських променів.**

**Системи генерації іонізуючого випромінювання на
основі радіоактивних ізотопів.**

**Генерація іонізуючого випромінювання в
прискорювачах.**

Джерела іонізуючого випромінювання

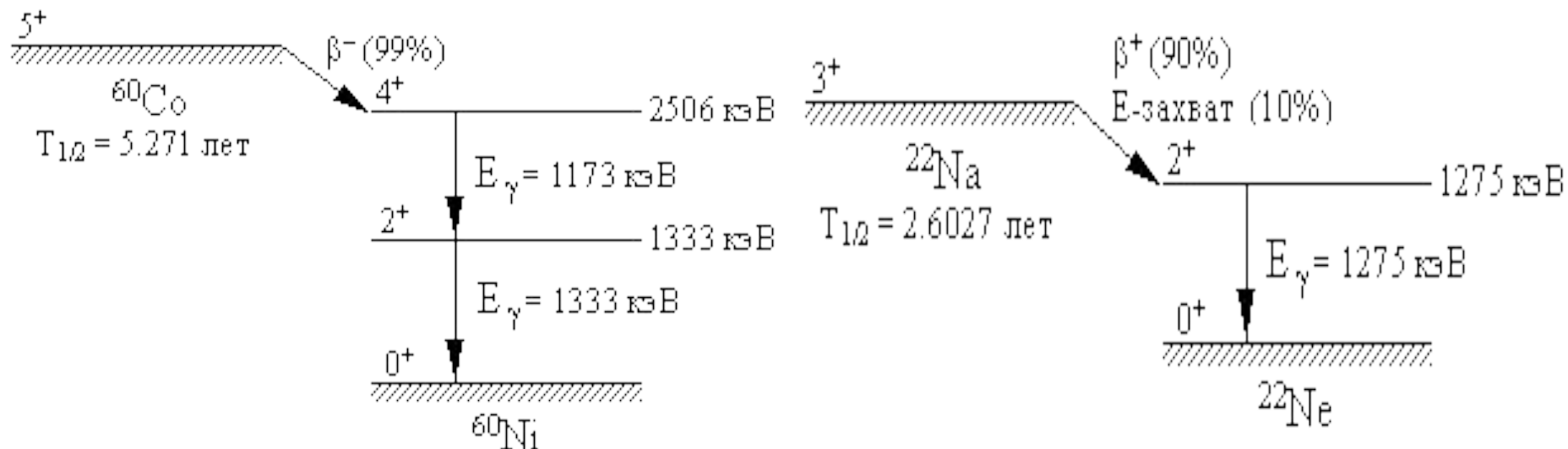


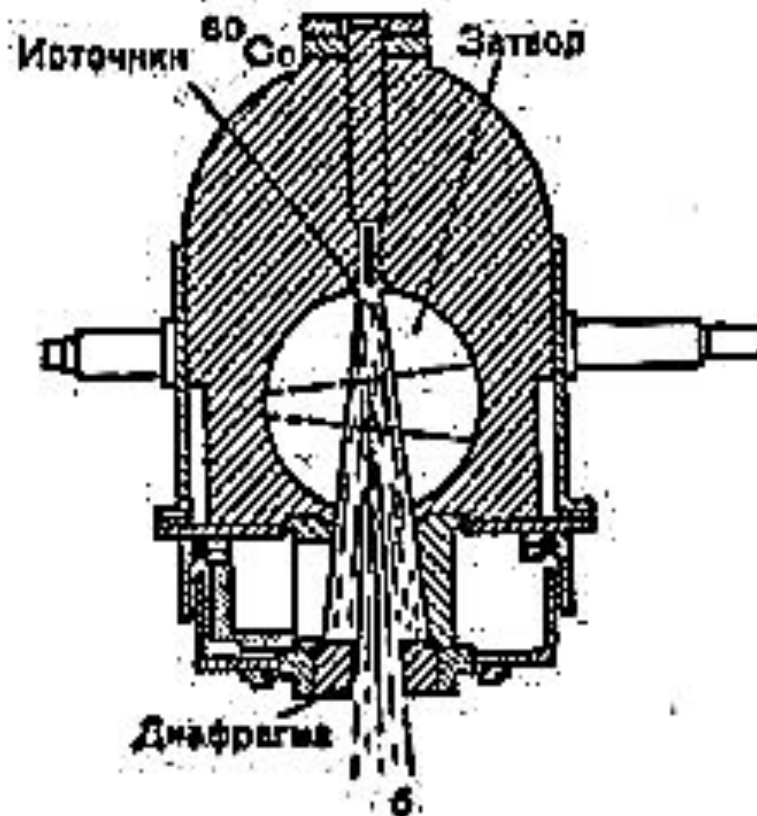
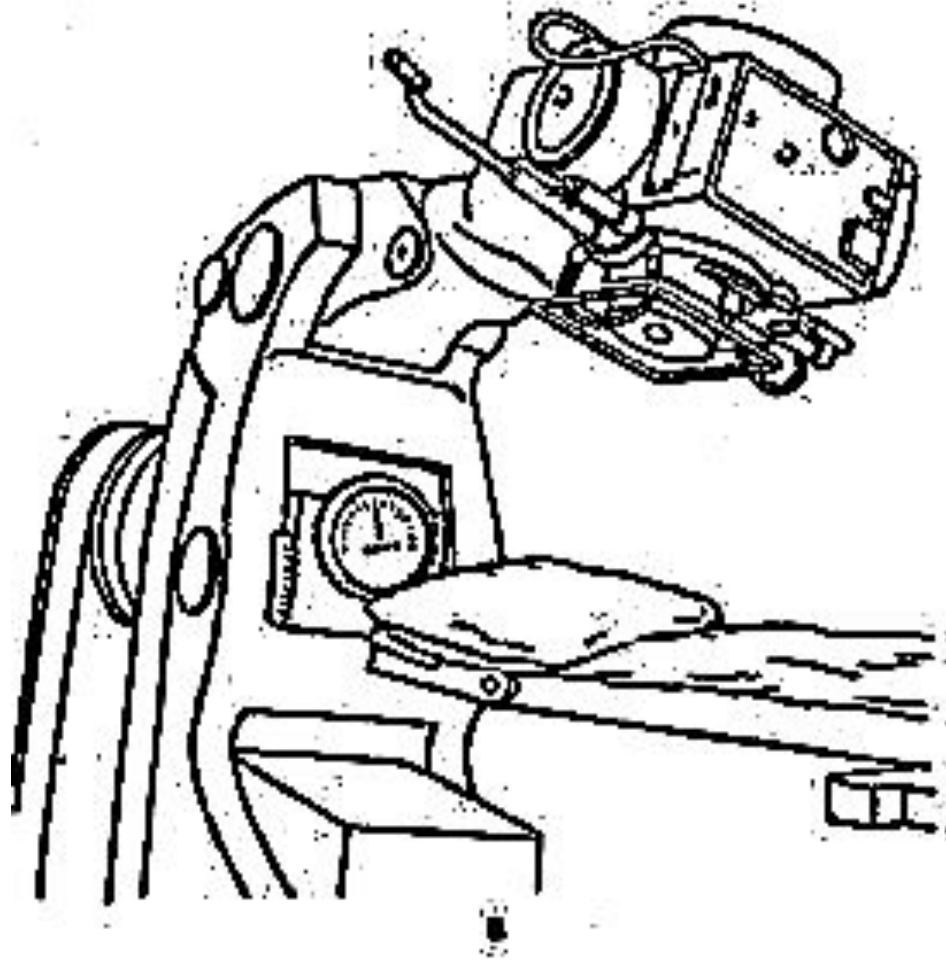
Рентгенівська трубка Крукса.

Примітки: X - рентгенівські промені, K - катод, A - анод (іноді званий антикатоді), C - тепловідвід, U_h – електрична напруга напруження катода, U_a - прискорююча напруга, W_{in} і W_{out} – відповідно вхід і вихід водяного охолодження.

Джерела іонізуючого випромінювання

Джерела гамма-випромінювання. Кобальтові «гармати». Зазвичай в якості радіоактивних джерел гамма-квантів використовуються бета-активні ізотопи. На рис. 2 як приклад показані схеми розпаду ^{60}Co і ^{22}Na .





Зальний вид кобальтової «гармати» і схема радіаційної головки



РАДІОБІОЛОГІЯ



Кафедра Біофізики

1.3. Методи вимірювання іонізуючого випромінювання.

Правила роботи з іонізуючими випромінюваннями і радіоактивними ізотопами (*самостійне вивчення матеріалу !!!*).



Методи вимірювання іонізуючого випромінювання

До основних радіометричних параметрів, які вимірюються за допомогою лабораторних методів, відносять (Гродзинський, 2000):

1. кількість альфа- і бета-частинок випромінених, перенесених або поглинутих опромінюваним об'єктом;
2. потік іонізуючих частинок або випромінювання;
3. щільність потоку іонізуючих частинок та випромінювання;
4. міграція іонізуючих частинок або випромінювання;
5. енергія іонізуючого випромінювання.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Кафедра Біофізики

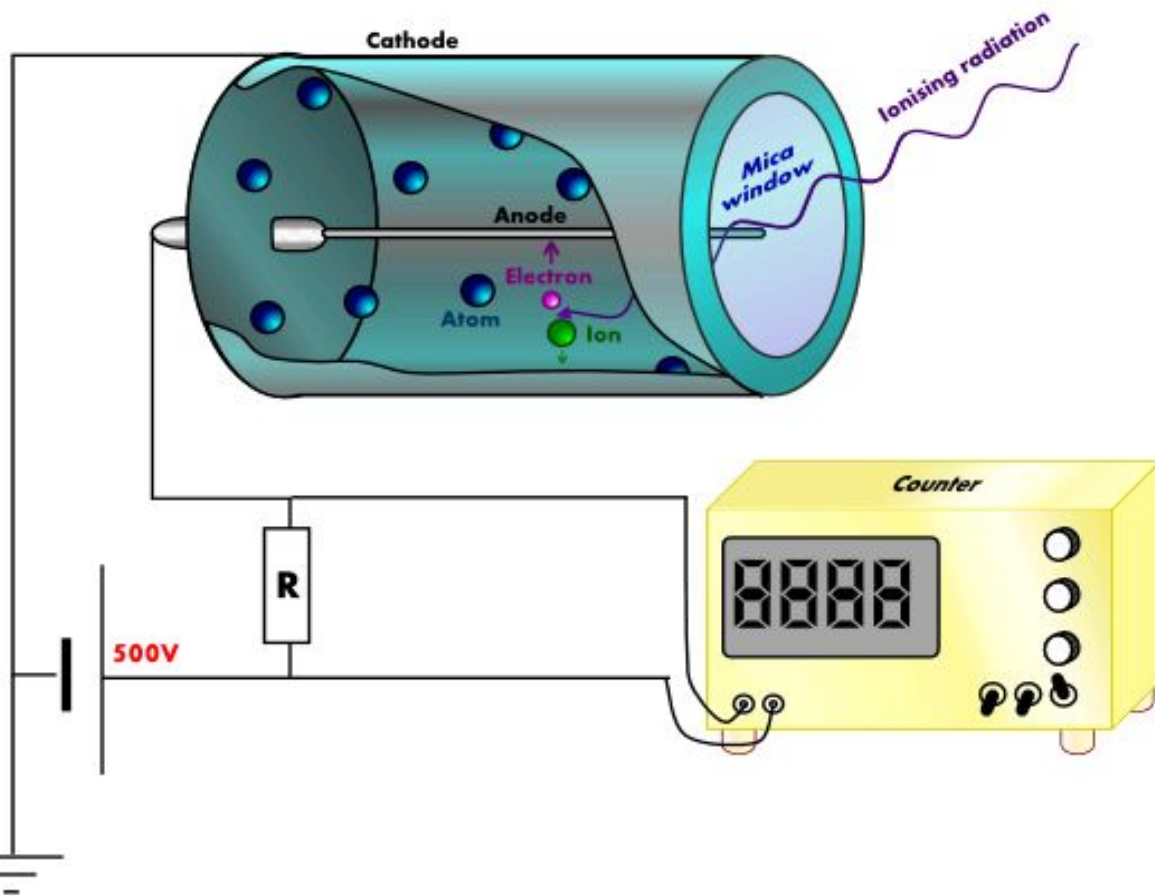
Радіаційно-хімічні і радіоспектроскопічні методи.

Дія іонізуючого випромінювання на хімічні сполуки супроводжується зміною їхнього складу. Кількість молекул, що зазнали відповідних перетворень, залежить від дози їхнього опромінення. На цьому принципі ґрунтується дія хімічних дозиметрів. Для визначення особливостей радіаційно-хімічних реакцій речовини застосовуються різні методи досліджень, з яких найчастіше використовують спектроскопію, а також методи реєстрації флуоресценції й хемілюмінесценції.

Методи спектроскопії і люмінесценції дають можливість виявлення первинних хімічних форм, що виникають унаслідок поглинання енергії іонізуючого випромінювання, а також допомагають вивчати природу походження певних станів молекул і атомів, реєструвати проміжні продукти радіаційно-хімічних перетворень речовин із дуже коротким періодом існування.

Іонізаційний метод ґрунтується на здатності радіоактивних частинок рухатися з великою швидкістю, спричиняючи іонізацію газів.

Іонізаційні дозиметри являють собою герметичні камери, заповнені певним газом, з двома підведеними електродами, до яких під'єднано високу напругу. Як тільки у камері з'являються носії електричного заряду (іони), виникає імпульс струму, силу якого реєструють за допомогою високочутливого гальванометра.



Лічильник Гейгера



РАДІОБІОЛОГІЯ



Кафедра Біофізики

Сцинтиляційний метод.

Є високочутливим щодо реєстрації іонізуючого випромінювання метод, що ґрунтується на використанні сцинтиляторів – органічних чи неорганічних речовин у вигляді хімічних розчинів або кристалів, наприклад йодиду натрію, нафталіну, антрацену.

У сцинтиляторах під дією іонізуючого випромінювання виникають світлові спалахи, які реєструються за допомогою фотоелектронного множника. Енергія світлових спалахів залежить від енергетичних характеристик випромінювання, що дозволяє вивчати спектральні характеристики іонізуючого випромінювання.

Цей ефект застосовують у сцинтилятивних дозиметрах.

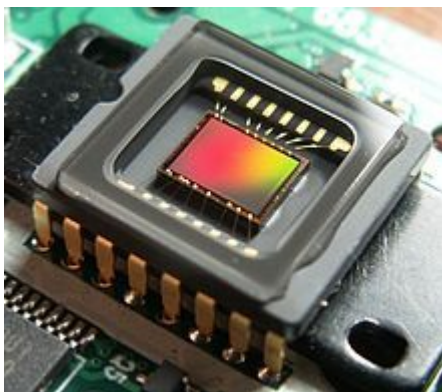


РАДІОБІОЛОГІЯ



Напівпровідниковий метод здійснюється за допомогою приладів, в яких за детектор іонізуючого випромінювання служить напівпровідник, електропровідність якого змінюється під впливом радіації.

Більшість напівпровідників реагують лише на нейтронне випромінювання, тому їх переважно використовують у радіометрії нейтронів.



Фотодіодний метод з використанням ПЗЗ-матриць (ПЗЗ - прилад з зарядовим зв'язком, CCD, «Charge-Coupled Device»).



РАДІОБІОЛОГІЯ



Авторадіографічний метод полягає в аналізі інформації за допомогою фотографічних зображень, одержаних у результаті дії іонізуючого випромінювання від об'єктів дослідження на різні фоточутливі матеріали.

Цей метод використовують для визначення просторової локалізації джерел високої радіоактивності в межах досліджуваного об'єкта.

В якості фоточутливих матеріалів часто використовують рентгенівську або фотополімерну плівку, різні фотопластинки і особливі ядерні емульсії.



РАДІОБІОЛОГІЯ



Біологічний метод.

Деякі види рослин і тварин є надзвичайно чутливими до дії іонізуючого випромінювання і разом з тим вони не реагують на багаторазове повторення їхнього опромінення.

Реакцію таких біологічних об'єктів на опромінення використовують як оригінальні радіобіологічні дозиметри.

A silhouette of a person stands in the center of the frame, facing forward. Behind them, numerous bright green laser beams radiate outwards in all directions, creating a starburst effect against a dark background. The beams are sharp and vibrant, contrasting sharply with the dark surroundings.

Дякую за увагу