

Іонізуюче випромінювання. Дозиметрія. Радіометр «Прип'ять»

Мета роботи: Дослідження параметрів радіаційної обстановки: розрахунок послаблення бета- та гама-випромінювання. Вивчити особливості іонізуючого випромінювання, його параметри, особливості поширення в біологічній тканині. Випромінювання і поглинання енергії. Рентгенівське гальмівне та характеристичне випромінювання. Рентгенодіагностика. Дозиметрія. Принципи побудови дозиметричних приладів.

I. Теоретична частина

- 1.1. Рентгенівське випромінювання.
- 1.2. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною
- 1.3. Дія фізичних факторів на біологічні об'єкти
- 1.4. Вплив електричного струму на живий організм
- 1.5. Модифікація радіобіологічних ефектів
- 1.6. Іонізуюче випромінювання в медицині
- 1.6.1. Дослідження параметрів радіаційної обстановки: послаблення гама-випромінювання

II. Паспорт радіометра РКС-20.03 "ПРИП'ЯТЬ"

- 2.1. Загальні вказівки
- 2.2. Комплект постачання
- 2.3. Основні технічні характеристики
- 2.4. Принцип побудови радіометра
- 2.5. Підготовка до роботи і порядок роботи з радіометром
- 2.6. Технічне обслуговування радіометра
- 2.7. Повірка радіометра

III. Практична частина

- 3.1. Радіометр «Прип'ять». Порядок вимірювання та визначення доз опромінювання
- 3.2. Структурна та принципальна схеми приладу
- 3.3. Технічні характеристики
- 3.4. Одиниці вимірювання
- 3.5. Регламент обслуговування та наладки
- 3.6. Протокол дослідження
- 3.7. Обробка результатів вимірювання

3.8. Розрахунок послаблення бета – та гама-випромінювання Висновки

I. Теоретична частина

1.1. Рентгенівське випромінювання

Рентгенівське випромінювання являє собою електромагнітні хвилі, займаючи спектральну область між ультрафіолетовим і гамма-випромінюванням у межах довжин хвиль від 10^{-7} до 10^{-14} м. Як джерело рентгенівського випромінювання використовується рентгенівська трубка - двохелектродний вакуумний прилад, у якому вилітаючі з напруженого катода і прискорені електричним полем електрони попадають на металевий анод (антикатод). При гальмуванні швидких електронів під дією електростатичного поля речовини анода, як впливає з теорії Максвелла, випромінюються електромагнітні хвилі - виникає гальмове рентгенівське випромінювання.

При гальмуванні електронів частина їх кінетичної енергії витрачається і на створення фотона рентгенівського випромінювання, а частина - на нагрівання анода. Співвідношення між енергією фотонів і тепловою енергією випадково. Тому спектр рентгенівського випромінювання суцільної (рис.1).

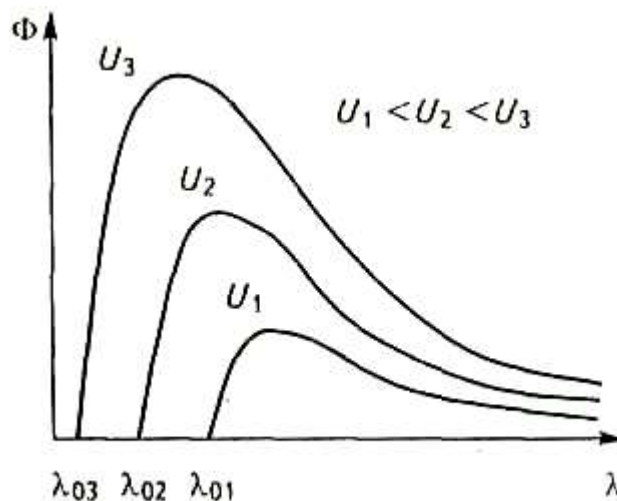


Рис.1. Спектр гальмового рентгенівського випромінювання (залежність потоку випромінювання Φ від довжини хвилі λ при різних напругах U на рентгенівській трубці)

Інтенсивність гальмового рентгенівського випромінювання розподілена по усім довжинам хвиль, аж до деякої короткохвильової границі λ_0 , на якій енергія eU бомбардує електронів цілком передається квантам рентгенівського випромінювання $h\nu_0$, тобто

$$eU = hv_0 = \frac{hc}{\lambda_0} \quad (1)$$

де U - різниця потенціалів прискорюючого електричного поля, прикладена до електродів рентгенівської трубки; ν_0 - частота випромінювання, що відповідає короткохвильовій границі.

Із формули (1) випливає, що довжина хвилі, що відповідає короткохвильовій границі спектра, дорівнює

$$\lambda_0 = \frac{hc}{eU} \quad (2)$$

З формули (2) видно, що, змінюючи напругу патрубку, можна змінювати положення короткохвильової границі X_0 в спектрі і, отже, спектральний склад випромінювання (рис 1).

Лінійчатий рентгенівський спектр, у якому з'являються різкі максимуми, виникає при передачі енергії прискорених електронів внутрішнім, близьким до атомного ядра електронам речовини анода. При цьому внутрішні електрони викидаються в область вільних станів, а на їхні місця переходять електрони з зовнішніх енергетичних рівнів, випромінюючи кванти електромагнітного випромінювання визначеної частоти (первинне рентгенівське випромінювання). Частоти цього випромінювання характерні для атомів кожного елемента і не залежать від того, у яке хімічне з'єднання входить даний атом, тому такий спектр ще називається характеристичним. У К- шари можуть перейти електрони з L-, M-, N-шарів, у L-шар - електрони з M-, N- шарів і т.д. Відповідно характеристичний рентгенівський спектр містить До-серію, L-серію і т.д. Кожна із серій складається із ліній а, б, в і так далі, що випромінюються електронами при переході з верхніх рівнів на один з нижніх. Наприклад, лінія K_α випромінюється при переході електрона з L-шару в К-шар; лінія K_β - з M-шару в До-шар; лінія L_γ - з M-шару в L-шар і т.д. Залежність частоти випромінювання ν (чи довжини хвилі X відповідно) для будь-якої лінії рентгенівського спектра від атомного номера елемента Z визначається законом Мозлі:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = Rc(Z-b)^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right) \quad (3)$$

де Z - порядковий номер елемента, з якого зроблений антикатод; b - постійна екранування; n и k - номери рівнів, між якими здійснюється перехід.

Інтенсивність пучка рентгенівських променів, що пройшли крізь пластинку товщиною x , визначається формулою:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (4)$$

де I - інтенсивність пучка, що падає на пластинку; μ - лінійний коефіцієнт поглинання, $[\mu] = \text{м}^{-1}$.

Лінійний коефіцієнт поглинання μ залежить від довжини хвилі рентгенівських променів і від густини речовини. Тому зручніше користатися масовим коефіцієнтом поглинання μ_m не залежним від щільності і зв'язаним з лінійним коефіцієнтом і, співвідношенням

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (5)$$

де ρ - щільність матеріалу.

Оскільки довжина хвилі рентгенівського випромінювання має порядок міжатомних відстаней у твердому тілі $\lambda \sim 10^{-10}$ м, то кристал є природними дифракційними ґратками для рентгенівського випромінювання. Умова дифракції рентгенівських променів на кристалі називається умовою Вульфа - Бреґга:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (6)$$

де d - відстань між сусідніми атомними площинами кристала, на яких спостерігається дифракція; θ - брегговский кут між атомною площиною і падаючим на неї (чи відбитим) рентгенівським променем; $n = 1, 2, 3, \dots$ - порядок дифракції.

Умова Вульфа-Бреґга лежить в основі рентгеноструктурного аналізу. Явище дифракції рентгенівських променів дозволяє з високою точністю визначати значення постійної Планка за допомогою формул (6) і (1).

Рентгенівське випромінювання знаходить широке застосування в медицині як у діагностичних, так і терапевтичних цілях .

1.2. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною

Іонізуюче випромінювання (далека область ультрафіолетового випромінювання, рентгенівське й γ -випромінювання) має достатню енергію для того, щоб викликати іонізацію атомів і молекул, і, як наслідок, здатна привести до найбільш небезпечним для біологічних структур наслідкам: ушкодженню й переродженню окремих структур і загибелі організму, а також генним мутаціям.

Ядерні випромінювання (α -, β - і γ -промені, протони, нейтрони), взаємодіючи з електронами чи атомів ядрами, здатні робити різноманітні впливи на речовини. Заряджені частки і гамма-кванти, взаємодіючи з електронами, можуть іонізувати атоми і збуджувати їх, а також руйнувати

молекули. Ці явища істотно впливають на хід багатьох хімічних реакцій і можуть стимулювати такі реакції, що не відбуваються в звичайних умовах.

Природне радіоактивне тло створюється космічним випромінюванням і випромінюванням радіоактивних ізотопів земної кори. Останнім часом з'явилися штучні джерела випромінювання в енергетиці, військово-промислового комплексу, а також у медицині (рентгенівські й γ -установки).

Рентгенівське випромінювання виникає при гальмуванні прискорених електронів у речовині γ -випромінювання - при переході атомних ядер зі збудженого стану в основне чи при анігіляції електронно - позитронної пари, а також при розпаді деяких часток. При взаємодії цих видів випромінювання з речовиною можливі наступні ефекти: фотоэффект, ефект Комптона й ефект утворення пари позитрон-електрон-позитрон.

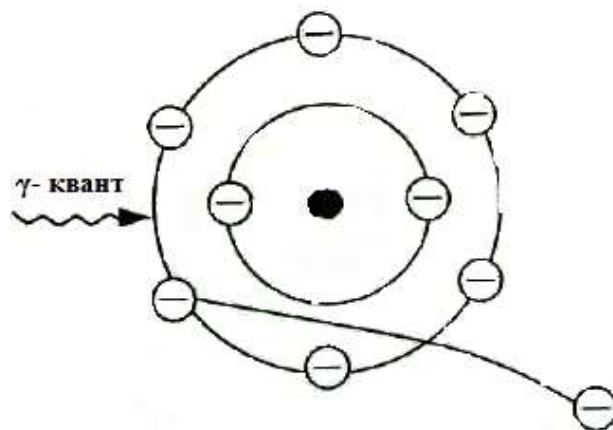


Рис. 2. Схема фотоэффекта.

При фотоэффекті квант рентгенівського чи γ -випромінювання вибиває електрон з електронної оболонки атома (рис. 2.). Для того щоб це відбулося, енергія падаючого фотона повинна перевищувати енергію зв'язку електронів в атомі W . Квант цілком передає енергію атому, витрачаючи її на роботу A виходу електрона і наповненню йому деякої кінетичній енергії $E_{кин}$:

$$E_{кин} = h\nu - A \quad (7)$$

Імовірність фотоэффекта збільшується з ростом заряду ядра і наближенням енергії кванта світла до енергії зв'язку електрона в атомі.

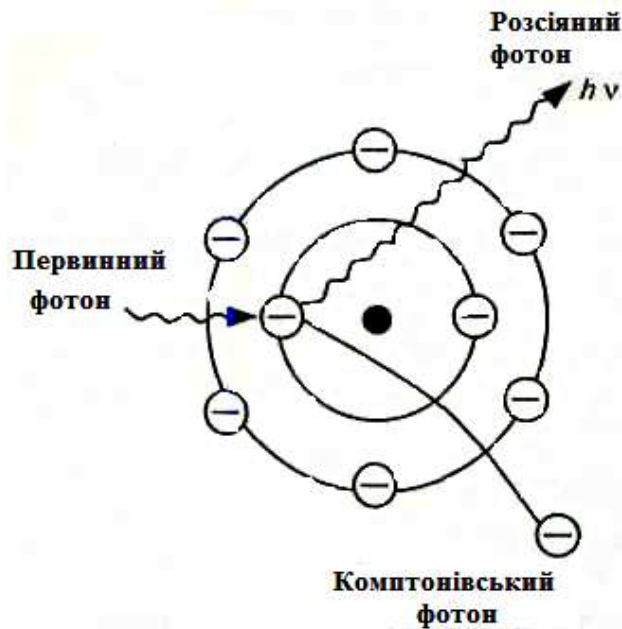


Рис. 3. Схема ефекту Комптона.

У випадку ефекту Комптона (рис. 3) квант, зіштовхуючись з атомом, витрачає частина своєї енергії на вибивання електрона і продовжує свій рух, але вже в іншому напрямку і володіючи меншою кількістю енергії. Такий фотон називається розсіяним, а вибитий електрон - комптоновським електроном, чи електроном віддачі. Розсіяний фотон здатний взаємодіяти з іншими атомами і викликати і нові ефекти Комптона чи фотоефект. Чим менше довжина хвилі падаючого фотона, тобто чим більше його енергія, тим більше імовірність ефекту Комптона і менше імовірність фотоефекта. У результаті декількох послідовних ефектів Комптона енергія розсіяних фотонів поступово зменшується в порівнянні з первинним фотоном і зростає імовірність фотоефекта.

Ефект утворення пара. Якщо енергія фотона перевищує 1,022 MeV, то взаємодія падаючого кванта з полем ядра може привести до перетворення кванта в двох часток: електрон і позитрон - ефект утворення пара (рис.4.):

Енергія, рівна 1,022 MeV витрачається на перетворення в масу спокою електрона і позитрона, а інша частина енергії кванта - на повідомлення кінетичної енергії часткам, що утворяться.

$$h\nu = E_{\text{кін},e^-} + E_{\text{кін},e^+} + 1,022\text{MeV} \quad (8)$$

де $E_{\text{кін},e^-}$ - кінетична енергія електрона; $E_{\text{кін},e^+}$ - кінетична енергія позитрона.

Можливий і зворотний ефект, коли електрон і позитрон анігілюють, у результаті чого з'являються два γ -кванта:

$$e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma \quad (9)$$

Енергія кожного з квантів, що утворяться, складає не менш 0,511 MeV.

Імовірність ефекту утворення пара залежить не тільки від енергії кванта, але і від заряду ядра z . Чим більше величина z , тим вище імовірність утворення пари. До складу біологічних систем в основному входять легкі ядра, тому

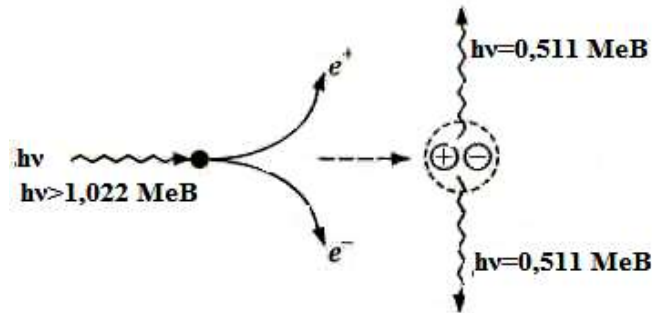
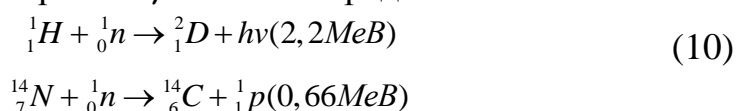


Рис. 4. Схема ефекту утворення електронно – позитронних пар. ефект утворення пара відбувається рідко в порівнянні з іншими ефектами (фотоелектом і ефектом Комптона).

У процесі фото-, Комптон-ефектів і утворення пари відбувається первинна іонізація атомів.

Вибиті електрони в процесі свого руху можуть віддавати свою енергію атомам і тим самим приводити до їх порушення й іонізації, у результаті чого породжуються вторинні електрони. Багаторазово взаємодіючи з атомами, електрон поступово втрачає свою енергію доти, поки вона не знизиться настільки, що електрон захватиться яким-небудь нейтральним атомом і утворить з ним негативний іон.

Крім рентгенівських і γ -променів, до іонізуючого випромінювання відносять також потоки α -частинок (ядер атомів гелію), β -частинок (електронів і позитронів), протонів, нейтронів і ін. Заряджені частки, взаємодіючи з електричними полями електронів, здатні перевести атоми в збуджений стан або іонізувати їх. Нейтрони, тому що вони не мають заряду, можуть викликати іонізацію атомів лише непрямым шляхом. Наприклад, поглинання нейтрона ядром атома (найчастіше водню, іноді азоту, вуглецю, кисню) приводить до збільшення кінетичної енергії останнього. Утворюючи так назване ядро віддачі, взаємодіючи з іншими атомами, може викликати їхню іонізацію. Іноді тільки частина енергії нейтрона йде на повідомлення ядру кінетичної енергії, а інша частина - на порушення ядра. Перехід ядра зі збудженого стану в основне супроводжується випромінювання γ -квантів. При низьких швидкостях нейтронів їхня взаємодія з речовиною може привести до ядерних реакцій, у результаті яких утворюються γ -кванти і заряджені частки:



У процесі проходження через речовину іонізуюче випромінювання утрачає свою енергію і передає її речовині. Середня енергія, передана речовині на одиниці довжини пробігу, називається лінійною передачею енергії. Відстань, що випромінюванню проходить у речовині, зберігаючи здатність до іонізації (середній лінійний пробіг), характеризує проникаючу здатність випромінювання. Відношення числа пара іонів N , утворених випромінюванням на довжині пробігу l (лінійна щільність іонізації i),

$$i = \frac{dN}{dl} \quad (11)$$

характеризує іонізуючу здатність випромінювання. Чим більше заряд і маса частки, тим вище її іонізуюча і менше проникаючі здібності. Ці величини також залежать від густини випромінюючої речовини і різні для α -, β -, γ -випромінювання.

1.3. Дози іонізуючих випромінювань

При вивченні ступені пошкодження тих чи інших біологічних об'єктів важливо мати кількісне представлення про фізичні характеристики випромінювання, його енергії.

Іонізуюче випромінювання, насамперед, характеризується своєю здатністю іонізувати середовище. Кількісно цю характеристику відбиває експозиційна доза $D_{екс}$. Експозиційна доза випромінювання являє собою енергетичну характеристику рентгенівського чи гамма-випромінювання, оцінювану по ефекті іонізації сухого атмосферного повітря:

$$D_{екс} = \frac{q}{m} \quad (12)$$

Одиницею експозиційної дози служить кулон па кілограм (Кл/кг) - це експозиційна доза рентгенівського чи у-випромінювання, при якій сума електричних зарядів q одного знака, утворених у масі $m = 1$ кг повітря, дорівнює 1 Кл. Найчастіше експозиційна доза вимірюється у несистемних одиницях рентгенах ($1 \text{ Р} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Кл/кг}$).

Потужність експозиційної дози випромінювання дорівнює

$$P_{\text{екс}} = \frac{dD_{\text{екс}}}{dt} \quad (13)$$

Одиницею потужності експозиційної дози є ампер на кілограм (А/ кг). Використовуються також несистемні одиниці: рентген у секунду (Р/с), $1 \text{ Р/с} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ А/кг}$; рентген у хвилину (Р/хв), $1 \text{ Р/хв} = 4,30 \times 10^{-6} \text{ А/кг}$; рентген у годину (Р/год), $1 \text{ Р/год} = 7,17 \times 10^{-8} \text{ А/кг}$.

Випромінювання може зробити яка-небудь дія на речовину тільки в тому випадку, якщо відбудеться поглинання цього випромінювання речовиною. Тому важливо знати не експозиційну, а поглинену дозу, рівну відношенню поглиненої енергії до маси речовини, що опромінюється:

$$D_{\text{погл}} = \frac{E_{\text{погл}}}{m} \quad (14)$$

Одиницею виміру поглиненої дози є грей - доза випромінювання, при якій опроміненій речовині масою 1 кг передається енергія випромінювання 1 Дж ($1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$) чи несистемна одиниця рад ($1 \text{ рад} = 10^2 \text{ Дж/кг}$).

Потужність поглиненої догм випромінювання дорівнює

$$P_{\text{погл}} = \frac{dD_{\text{погл}}}{dt} \quad (15)$$

і вимірюється в Гр/с чи рад/с.

Експериментальному виміру піддається експозиційна, а не поглинена доза, однак між ними існує залежність:

$$D_{\text{погл}} = kD_{\text{екс}} \quad (16)$$

де k - деякий коефіцієнт, що залежить як від самого випромінювання, так і тієї речовини, що опромінюється.

Дія іонізуючого випромінювання однакової енергії, по різного виду (наприклад, α -, β - і γ - випромінювання) ефект, тому що ці випромінювання розрізняються своєю іонізуючою і проникаючою здатністю. У радіобіології існують поняття еквівалентних доз. Еквівалентна доза оцінюється по біологічному впливі. Вона дорівнює добутку поглиненої дози $D_{\text{погл}}$ на коефіцієнт якості випромінювання K , що характеризує відносну біологічну активність розглянутого випромінювання:

$$D_{\text{екс}} = kD_{\text{погл}} \quad (17)$$

Коефіцієнт якості випромінювання показує, у скількох разів ефективність біологічної дії даного виду випромінювання більше, ніж рентгенівського чи γ -опромінення, при однаковій дозі. *K*-безрозмірний коефіцієнт.

Тому еквівалентна доза випромінювання має ту ж розмірність, що і поглинена доза опромінення називається зівертом (*Zв*), 1 *Zв* еквівалентний 1 *Гр*. Доза опромінення, що робить такий же біологічний ефект, як і доза в 1 *R* рентгенівського чи γ -опромінення, складає 1 *бер* (біологічний еквівалент рентгена). Коефіцієнт *K* експериментально визначений для кожного виду випромінювання (табл. 1). Іноді опромінення біологічного об'єкта проводиться джерелом, розташованим не зовні.

Таблиця 1

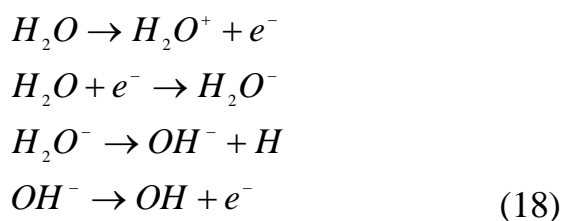
Вид випромінювання	Коефіцієнт якості випромінювання <i>K</i>
Рентгенівське γ - і β -випромінювання	1
Теплові нейтрони (~0,01 <i>MeV</i>)	3
Нейтрони (5 <i>MeV</i>)	7
Нейтрони (0,5 <i>MeV</i>), протони	10
α -випромінювання	20

Коефіцієнти якості різних видів випромінювання усередині, наприклад, при введенні в пухлинну тканину радіонуклідних голок (зазначений метод використовується в радіотерапії), радіоактивних ізотопів. У цьому випадку дози опромінення розраховуються за відомим значенням активності ізотопів і коефіцієнтам поглинання даної тканини.

1.4. Вплив іонізуючого випромінювання на організм

Іонізація і порушення структури молекул, викликані дією іонізуючої радіації, приводять до хімічних змін у них, тобто до радіаційних ушкоджень. Ступінь радіаційного ушкодження молекули обумовлена безпосереднім влученням у неї кванта, то говорять про пряму дію випромінювання; якщо ж взаємодією з радіаційними продуктами, то це – непряма дію випромінювання.

Ушкодження кліток викликаються в основному ушкодженнями молекул білків, нуклеїнових кислот, ліпідів, що знаходяться у водяній фазі. Тому що кількість молекул води набагато перевищує кількість розчинених у ній молекул, то радіаційні ушкодження біологічних молекул найчастіше викликаються їхньою взаємодією з продуктами радіолізу води, у ході якого утворюються сольватовані електрони і вільні радикали:



У нуклеїнових кислотах під дією іонізуючого випромінювання відбуваються зміни як в окремих нуклеотидах (наприклад, розмикання піримідинового чи імідазольного кілець, дезамінування аденіну, гуаніну і цитозину, окислювання спиртових груп і розриви вуглець-вуглецевих зв'язків у дезоксирибозі), так і в спіральній структурі (одне- і двухниткові розриви ланцюгів ДНК, зшивки між нуклеотидами однієї чи різних ланцюгів, зшивки ДНК - білок). Викликані зміни в молекулах нуклеїнових кислот приводять до виникнення генних (зміна нуклеотидного складу окремого гена) і хромосомних (зміна структури хромосом) мутацій.

Дія іонізуючого випромінювання на білки викликає ушкодження амінокислот, розриви водородних, дисульфідних, поліпептидних зв'язків і, як наслідок, втрату їхніх біологічних функцій. Ці порушення можуть бути викликані як безпосереднім влученням кванта випромінювання, так і взаємодією білка з вільними радикалами чи іншими продуктами радіолізу на сусідніх молекулах.

Ушкодження ліпідів в основному викликані перекисним окисленням ненасичених жирних кислот. Ініціаторами даної реакції є вільні радикали чи води самих ліпідів. Внаслідок ланцюгового характеру даної реакції уражається значне число ліпідних молекул у результаті влучення усього лише одного кванта. Радіаційні ушкодження ліпідних молекул приводять до утворення альдегідів, кетонів, спиртів, а також зшивок між молекулами.

У клітині існують спеціальні репараційні системи, що відновлюють ушкоджені молекули. Ці системи здатні відновлювати молекули після ушкодженні, викликаних різними факторами як фізичної (ультрафіолетове, γ -опромінення), так і хімічної (хімічні агенти) природи.

В даний час відомі репараційні системи для відновлення ДНК і мембран. Найбільш широко вивченими є системи, репаруючі одно- і двухниткові розриви ДНК. Ушкодження мембран усуваються шляхом заміни ушкоджених компонентів (ліпідів і білків). Відновлення компонентів мембрани відбувається й у процесі нормального функціонування клітки, але при опроміненні цей процес прискорюється. Репарація інших біологічних з'єднань, втом числі і білків, не так важлива, тому що такі молекули, якщо вони ушкоджені, можуть витіснятися з метаболізму і замінюватися іншими.

Репарація ушкоджень пояснює так називаний ефект фракціонування, що полягає в наступному. Допустимо, що однократне опромінення кліток

визначеною дозою викликає 50 %- ну їхню загибель (доза D_{50}). У той же час, якщо опромінення цією же дозою розділити на дві напівдози з проміжком часу між ними Δt , те загибель кліток буде складати менш 50 %, причому виживаність буде тим вище, чим більше проміжок Δt . Справа в тім, що при однократному опроміненні відбувається підсумовування і посилення радіо пошкоджень, а при фракційному опроміненні - після першої дози деякі з виниклих ушкоджень устигають відновитися. Тому сумарні ушкодження при однократному опроміненні вище, ніж при фракційному.

Репараційні системи не здатні усунути всі порушення. З іншого боку, іноді відбувається помилкова репарація молекул, що приводить до їх ушкоджень.

Дослідження процесів поразки багатоклітинного організму найбільше важко, тому що клітки різних тканин володіють різної радіочутливості. Згідно правила Бергоньє - Трібондо, радіочутливість кліток у тканині тим вище, чим більше їх проліферативна активність і менше ступінь диференціації. Тому в організмі людини в першу чергу уражаються столові клітки червоного кісткового мозку й епітелію кишечника.

Пошкодження клітки неоднакові в різні фази її клітинного циклу. Радіочутливість кліток максимальна наприкінці G_1 - фази (пре синтетичної) і на початку S-фази (синтетичної, або реплікативної), тому що виниклі в цей час ушкодження не встигають репаруватися.

Радіобіологічні ефекти можуть виявлятися як безпосередньо після опромінення, так і через деякий проміжок часу: місяці, роки і навіть покоління. Наприклад, у людини з віддаленими наслідками опромінення можуть виступати процеси утворення злоякісних пухлин, ослаблення імунітету, скорочення тривалості життя, народження дітей з патологіями.

1.5. Модифікація радіобіологічних ефектів

Існують речовини, що підсилюють (радіо сенсibiliзатори) і послабляють (радіопротектори) радіобіологічний ефект. Дія одних модифікаторів проявляється до опромінення, а других - після. Перші з них називаються модифікаторами профілактичної дії, а другі-терапевтичної.

Найбільш вивченими радіопротекторами є речовини, що володіють антиоксидантними властивостями, тобто активуючі вільні радикали. На практиці широко застосовуються в якості радіопротекторів сульфгідрильні з'єднання: цистеїн, цистеамін, глутатіон.

3 – амінопропіламіноетілфосфотіонова кислота, що є аналогом цистеаміна, застосовується в радіотерапії пухлин, тому що забезпечує захист тільки здорових кліток, але не пухлинних. Багато радіопротекторів підсилюють репараційні процеси в чи клітці продовжують такий стан клітки, у якому її репараційні системи найбільш активні й ефективні.

Дія радіо сенсibilізаторів заснована на їхнє здатності підсилувати активність малоактивних вільних радикалів, інгібувати ферменти, зокрема, що володіють репараційними властивостями, інактивувати нативні чи радіопротектори конкурувати з тими з них, що здатні перехопити вільний радикал, а також і на ряді інших механізмів.

У медичній практиці широко використовуються сенсibilізатори, що вибірково збільшують чутливість до опромінення тільки пухлинних кліток, наприклад, бутіонинсульфоксиміш, діетилмалеат (знижують зміст сульфгідрильних з'єднань), мізонідазол (знижує активність репараційних систем).

Ефективність модифікаторів (чи радіопротекторів радіо сенсibilізаторів) оцінюється по факторі зміни дози K :

$$K = \frac{D}{D_m}, \quad (19)$$

де D -доза випромінювання, що обумовлює деякий прояв визначеного біологічного ефекту; D_m -доза, що викликає такий же прояв біоефекта, але в присутності модифікатора. Для радіопротекторів $K < 1$; для радіо сенсibilізаторів $K > 1$. До залежить від самої дози, стану клітки і ряду інших факторів.

1.6. Іонізуюче випромінювання в медицині

Рентгенівське випромінювання широко застосовуються в медичній діагностиці для інтроскопії організму. Найбільш відомим з інтроскопічних методів є рентгенодіагностика, що підрозділяється на рентгеноскопію (зображення розглядається на люмінісцентнім екрані) і рентгенографію (зображення фіксується на фотоплівці). Для одержання більш яскравого зображення потрібно посилення інтенсивності рентгенівського опромінення, що негативно позначається на здоров'я нациста. Тому в рентгенології використовується цілий ряд технічних засобів для поліпшення якості зображення при малих інтенсивностях опромінення.

Для того щоб досліджуваний чи орган група органів була чітко па на рентгенограмі, необхідно, щоб його коефіцієнт поглинання рентгенівських променів відрізнявся від коефіцієнтів поглинання інших тканин. Для діагностичних цілей застосовується випромінювання $\lambda = (1...2)10^{-11}$ м, для якого масовий коефіцієнт ослаблення визначається але формулі:

$$\mu_m = k\lambda^3 Z^3, \quad (20)$$

де k - коефіцієнт пропорційності; Z - заряд ядра речовини поглинача.

Останнім часом одержав широке поширення метод комп'ютерної томографії, що дозволяє за допомогою просвічування багнистими рентгенівськими променями одержувати зображення не цілого обсягу тканини,

а тільки її багнистих шарів товщиною 3..5 мм. Цей метод володіє значно більшою високою чутливістю в порівнянні з традиційними рентгенодіагностичними методами, тому що дозволяє визначити розходження в поглинанні випромінювання тканиною до 0,1 %

Зображення внутрішніх органів можна одержувати також, використовуючи радіонуклідний метод діагностики. Відомо, що деякі хімічні елементи і з'єднання мають здатність вибірково накопичуватися в якому-небудь чи органі тканині. Якщо в це з'єднання (радіо фармпрепарат) уключити радіоактивний ізотоп і ввести пацієнту, то, дочекавшись розподілу препарату в організмі, можна за допомогою спеціальних приладів (наприклад сцинтиграфів) визначити випромінювання ізотопу в різних ділянках тіла. Природно, що в областях, де концентрація препарату більше, випромінювання буде сильніше.

Для дослідження, наприклад, щитовидної залози пацієнту вводять радіоактивні ізотоп ^{131}I йода; печінки - фарбу бенгал - роз, позначену ^{131}I ; кісткової тканини - фосфатний комплекс, мічений ^{99}Tc технецій.

Даний метод дозволяє визначити розміри й обриси органа, а по неоднорідностям розподілу введених радіо фармпрепаратів судити про ряд захворювань, наприклад цирозі печінки, гепатиті, остеопорозі, онкозахворювань, визначати наявність і розташування метастаз.

При розробці нових радіо фармпрепаратів прагнуть до того, щоб ізотоп володів як можна меншим періодом напіврозпаду щоб уникнути зайвого опромінення організму.

Радіоізотопи використовуються також для визначення незначних концентрацій у крові деяких речовин, наприклад гормонів, коли звичайні хімічні методи виявляються неефективними. Суть даного методу, що називається радіо імунологічним, у наступному. За допомогою спеціальних методів імунології для обумовленої речовини (антигену) одержують антитіла, здатні зв'язуватися саме з ним. Далі в пробірці змішують антитіла, антигени, позначені яким-небудь радіоактивним ізотопом, і кров пацієнта, приблизно утримуючі ці антигени (немічені). Антитіла й антигени, зв'язуючи один з одним, утворюють комплекси, що відокремлюють центрофугіруванням. Чим вище була концентрація антигену в крові, тим більше антитіл зв'яжеться з антигенами пацієнта і менше - з міченими антигенами. Якщо ж антиген у крові цілком був відсутній, то утворюються комплекси тільки з міченими антигенами. По радіоактивності осаду при відомому обсязі крові, узятій для аналізу, визначають концентрацію антигену в крові.

Радіоімунологічний метод дозволяє діагностувати на ранніх стадіях цілий ряд захворювань, стежити за нормальним протіканням вагітності і розвитком плоду, надає неоціненну допомогу в парних дослідженнях.

Рентгено- і γ терапію широко використовують для лікування онкологічних захворювань. В основі методу лежить той факт, що найбільшою

чутливістю до опромінення володіють активно поділяються клітки. Тому дія іонізуючого випромінювання викликає переважну загибель саме ракових кліток.

II. Радіометр РКС-20.03 "ПРИП'ЯТЬ"

2.1. Загальні вказівки

Вказівки з експлуатації радіометра бета-гама випромінювання РКС-20.03 " ПРИП'ЯТЬ " містять технічні характеристики, опис принципу дії конструкції, порядок роботи, технічне обслуговування і методику повірки. Працездатність визначається виміром гама-фону і перевіркою величини напруги живильника.

Радіометр є виробом електронної техніки з кінцевим значенням експлуатаційної надійності.

Після тривалого перебування радіометра при низькій температурі перед включенням його необхідно витримати при кімнатній температурі не менш 2 годин. При роботі з радіометром у складних погодних умовах (опади, пил) використовують тонкий прозорий поліетиленовий чохол.

2.2. Основні технічні характеристики

Радіометр призначений для контролю радіаційної обстановки в місцях проживання, перебування і роботи населення. За допомогою радіометра можна вимірювати: величину зовнішнього гама - фону; забруднення радіоактивними речовинами житлових і виробничих приміщень, будинків і споруджень, предметів побуту, одягу, прилягаючої території, поверхні ґрунту, транспортних засобів; зміст радіоактивних речовин у продуктах харчування.

Діапазон вимірів потужності експозиційної дози гамма-випромінювання від 0,01 до 20,00 мР/год і потужності еквівалентної дози гама-випромінювання від 0,1 до 200,0 мкЗв/год.

Діапазон вимірів щільності потоку бета-випромінювання від 10 до 20,00 $\cdot 10^3$ (част/хвсм²)

Діапазон вимірів питомої активності від 1×10^{-7} до 2×10^{-5} Ки/кг.

Межі основної відносної похибки, що допускається, $\pm 25\%$.

Енергетична залежність у діапазоні енергій реєструючого гамма випромінювання від 0,05 до 0,66 МеВ $\pm 25\%$, у діапазоні енергій від 0,66 до 3,0 МеВ (+40 -25%)

Межі, що допускається додаткової похибки ,викликаній зміною температури навколишнього середовища на 10°C від границь діапазону (20 \pm 5) °C, $\pm 10\%$.

Межі, що допускається додаткової похибки, викликаній напруги живлення від границь діапазону (8,0 \pm 0,8) в діапазоні від 4,7 до 12В, не більше 10%.

Час встановлення робочого режиму не більш 5с.

Час встановлення показань при вимірі:

потужності дози і щільності потоку 20 чи 200 с;
питомої активності -10 чи 100 хв.

Режими живлення:

від батареї "Корунд";

від зовнішнього джерела постійної напруги від 4,7 до 12В.

Примітка. Тип зовнішнього джерела, що рекомендується живлення - блок живлення мікрокалькулятора "Електроніка Д2-10М"

Струм споживання при напрузі живлення 8,0 В не більше 10мА.

Габаритні розміри радіометра 146×73×37мм.

Вага радіометра не більш 0,3кг.

Умови експлуатації:

температура навколишнього повітря від 10 до 35°С;

верхнє значення відносної вологості 75% при 30°С і більш низьких температурах без конденсації вологи.

Допускається робота радіометра протягом нетривалого часу (не більш 10хв) при температурі від мінус10 до плюс 40° і відносної вологості до 95% при температур

2.3. Принцип побудови радіометра

Радіометр відповідає ТУ88УРСР245.006-89, ДОСТ27451-87 і виконаний у виді портативного цифрового приладу в прямокутному корпусі з міцного пластику.

Як детектори бета - і гама-випромінювання в радіометрів використовуються вбудовані лічильники типу СБМ-20. з появою іонізуючих чи часток гама-квантів у газовому обсязі лічильників розвивається електричний розряд, що формує на виході електричної схеми імпульси напруги які за допомогою електронного лічильного пристрою перетворюються в цифрову інформацію і відображаються на чотирьох розряднім рідкокристалічним індикаторі.

Схема електрична принципова і креслення печатної плати приведені у додатках 2 і 3

Зовнішній вигляд і розташування органів керування приведені на рис.1.

1. ПИТАНИЕ.- Вимикач живлення радіометра.

2. КП. - Кнопка контролю живильного напруги .

3. РЕЖИМ $\gamma - \beta$ – Перемикач виду іонізуючого випромінювання: γ - гама випромінювання; β - бета випромінювання.

4. Н – Х .- Перемикач виду вимірюючої потужності дози гамма-випромінювання: Н- потужність-еквівалентної дози, мкЗв/год; Х-потужність експозиційної дози, мР/год.

5. $\phi - Am$ - Перемикач виду вимірюваної величини при вимірів бета-випромінювання:

ϕ - щільність потоку, част./хв×см²

Am- питома активність, Ки/кг.

6. ПРЕДЕЛ – Перемикач меж вимірів:

нижнє положення - чуттєвий піддіапазон;

верхнє положення - піддіапазон, на якому чутливість радіометра в 10разів нижче.

7. ВРЕМЯ 20,200с, 10, 100мин – Перемикач часу встановлення показань:

нижнє положення:20с - мінімальний час установлення показань при вимірі потужності дози \dot{Y} і щільності потоку ϕ ;

10хв – мінімальний час установлення показань при вимірі питомої активності Am; верхнє становище часу - становлення показань збільшується в10разів - 200с і 100хв.

8. Вимикач звукового сигналу.

Роз'єм для підключення зовнішнього джерела живлення-поз.9.Кришка-фільтр-поз.10(маркірування"Y",геометричний центр датчиків маркірований знаком "+"). Кришка відсіку живлення - поз.11.

2.4. Підготовка до роботи і порядок роботи з радіометром

Радіометр є приладом з цифровою індикацією.При вимірі необхідно зчитувати показання цифрового індикатора з урахуванням положень перемикачів виду вимірюючого іонізуючого випромінювання і діапазону. Максимальна ємність цифрового індикатора 1999.

Перед початком роботи з радіометром необхідно установити батарею чи підключити зовнішнє джерело – блок живлення " Електроника Д10М".

Для установки батареї "Корунд" зніміть кришку поз.11 відсіку живлення. До наявної у середині відсіку живлення колодці – роз'єму підключити батарею, установити її у відсік живлення і закрити кришку.

При роботі радіометра від зовнішнього джерела живлення напругою від 4,7 до12 В підключити джерело до радіометру через роз'єм поз.9.

Контроль живлення

Увімкніть радіометр, для чого перемикач поз.1 ПИТАНИЕ переведіть у положення ВКЛ. Поява цифр на індикаторі свідчить про наявність напруги живлення. Відсутність чи бліде світіння цифрового індикатора свідчить проте, що напруга батареї живлення знаходиться нижче мінімально допустимого значення і потрібно її заміна.

Для контролю величини напруги живлення натисніть кнопку КП поз.2. На цифровому індикаторі з'явиться чотирьохзначне число з комою після другої цифри, що вказує значення напруги у вольтах, а також символи "+ - "у лівій і "V" у правій частині індикатора.

Наприклад, на цифровому індикаторі з'явилося зображення +,-08,95V. Це означає, що напруга джерела живлення радіометра складає 8,95 В.

Номинальна напруга батареї "Корунд" складає 8В. Якщо при контролі живлення напруга батареї виявиться нижче 6В – рекомендується замінити батарею.

Вимір потужності дози гама – випромінювання

Потужність дози гама-випромінювання вимірюється при встановленій кришці-фільтрі Y поз.10. Радіометр вимірює потужність експозиційної дози в милірентгенах за годину (мР/год) чи потужність еквівалентної дози в мікрозівртах у годину (мкЗв/год). Вибір виду вимірюваної потужності дози здійснюється перемикачем Н-Х.

Перед виміром потужності експозиційної дози перемикачі на передній панелі радіометра установите в наступні положення:

РЕЖИМ-Y;

Н-Х-Х;

ПРЕДЕЛ – нижнє положення;

ЧАС-20 с (нижнє положення)

φ – Am – Am;

Вмикайте радіометр, для чого перемикач ПИТАНИЕ поз.1, переведіть у положення ВКЛ. При цьому на цифровому табло повинне з'явитися чотиризначне число з комою після першої цифри.

Не менш чим через 20 с рахуйте показання приладів мР/ч. Наприклад, на цифровому індикаторі з'явилося число 0,114. Це означає, що потужність експозиційної дози гамма-випромінювання складає 0,114мР/год, чи, що теж саме, -114мкР/год(мікrorентген за годину).

При вимірах малих рівнів потужності дози спостерігається значний розкид показань радіометра, викликаний статистичним характером радіоактивного розпаду. Для підвищення точності виміру необхідно при величині потужності експозиційної дози до 0,100мР/год перемикач ЧАС перевести у верхнє положення, через 200 с зробити зчитування трьох послідовних показань і визначити середнє значення.

При вимірі потужності еквівалентної дози перемикач Н-Х перевести в положення Н і зробити зчитування показань у мікрозівртах за годину.

Якщо на цифровому індикаторі спостерігається швидке збільшення показників з'явиться сигнал переповнення, те перемикач ПРЕДЕЛ необхідно перевести у верхнє положення і через 20-30с вирахувати показання.

Наприклад, на цифровому табло з'явилося число 17,52. Це означає, що потужність експозиційної дози гамма-випромінювання складає 17,52мР/ч.

Якщо при верхнім положенні перемикача ПРЕДЕЛ через 30-40с зберігається сигнал переповнення, виходить, потужність експозиційної дози перевищує 20мР/ч.

Для оперативного пошуку на місцевості ділянок підвищеного гамма-фона рекомендується використовувати звуковий індикатор, частота сигналів

котрого пропорційна і потужності дози гамма випромінювання. Вимикач при цьому переводиться в положення 8.

Вимір радіоактивного забруднення

При вимірі радіоактивного забруднення бета-частинками необхідно пам'ятати, що газорозрядні лічильники, які використовуються в радіометрі, фіксують, гама - і бета-випромінювання. Тому, для обліку впливу гама-фона необхідно спочатку провести вимірі з закритою кришкою-фільтром на відстані 1-2 см від контрольованої поверхні, а потім зробити вимір зі знятою кришкою натім ж відстані.

Перед виміром радіоактивного забруднення перемикачі напередній панелі радіометра установите в наступні положення:

РЕЖИМ-β;

Н-Х- будь-яке;

ПРЕДЕЛ- нижнє положення;

ЧАС-20с (нижнє положення);

φ – Am – φ ;

8 – за бажанням оператора.

Радіоактивне забруднення визначається шляхом виміру-радіометром щільності потоку бета-випромінювання при знятої кришці-фільтрі «У» поз.10.Для зняття кришки-фільтра необхідно змістити фіксатор у бік від кришки і перевернути радіометр кришкою вниз.

УВАГА! При знятій кришці - фільтрі необхідно уникати ушкодження захисної плівки, що закриває лічильники іонізуючого випромінювання від забруднення радіонуклідами.

Вимір радіоактивного забруднення на межі "нижнє положення" здійснюється в одиницях щільності потоку бета-випромінювання (частинок в хвилину на см²), на межі "верхнє положення" у тисячах часток у хвилину на квадратний сантиметр

Для одержання величини радіоактивного забруднення поверхні необхідно з показань радіометра зі знятої кришкою – фільтром поз.10 відняти значення показань радіометра з закритої кришкою-фільтром поз.10. Наприклад, на цифровому індикаторі при вимірі з закритою кришкою-фільтром з'явилося число 0171, а з відкритою кришкою-фільтром - 0327. Це означає, що забруднення поверхні бета-активними речовинами складає $327-171=156(\text{част./хв}\times\text{см}^2)$

При вимірі малих значень радіоактивного забруднення і гамма-фона (менш 100 част./хв.*см²)для підвищення точності вимірів необхідно перемикач ЧАС перевести у верхнє положення. Не менш, ніж через 200с, робити зчитування трьох послідовних показань і визначати середні значення. Зробити обчислення як зазначено вище .

Якщо на цифровому табло спостерігається швидке збільшення показань і через кілька секунд з'явиться сигнал переповнення індикуються одиниця старшого розряду, а інші три цифри гаснуть, то перемикач ПРЕДЕЛ необхідно перевести у верхнє положення і через 30-40 с виконати вимір .

Наприклад, 12,41. Це означає, що радіоактивне забруднення бета-частинками контрольованої поверхні складає 12,41-103 (част./хв×см²) Якщо через 20-30с після переключення перемикача ПРЕДЕЛ зберігається сигнал переповнення, значить радіоактивне забруднення перевищує 20-103 (част./хв×см²)

Вимір питомої активності

Питома активність бета-випромінюючих нуклідів, у продуктах харчування і інших проб зовнішнього середовища вимірюється в спеціально прикладеній до прибору кювет і при знятої кришці -фільтрі.

Одиниця вимірів питомої активності – кюри на кілограм (Ки/кг).

Для виміру питомої активності необхідний виконання наступних умов:

1)рівень гамма-фона, по можливості, не повинний перевищувати 0,025мР/год, для чого бажаний вимір проводить у закритих чистих приміщеннях з мінімальним рівнем фона;

2)при підвищених значеннях фона гамма-випромінювання місце розташування вимірюваної проби бажано екранувати (обкласти з усіх боків свинцевими чи цеглинами сталевими листами товщиною 20-40мм);

3)робоче місце повинне мати м'яке покриття (клеюнка, поліетилен), що допускає багаторазове вологе збирання .

Досліджувані харчові продукти підготовляються в тім виді, у якому вони підлягають споживанню, тобто ретельно очищеними, вимитими, і т.д. Пробу харчового продукту необхідно подрібнювати, наприклад, на терці або в м'ясорубці, чи нарізати дрібними часточками .

Перемикачі на панелі радіометра установити в наступне положення:

РЕЖИМ- β;

ПРЕДЕЛ – нижнє положення;

ЧАС-100хв (верхнє положення);

Н-Х- любе.

φ – Ам – Ам;

Встановити радіометр із вилучений кришкою-фільтром на заздалегідь підготовлену чисту кювету. Увімкніть радіометр і через 10.0 хв, зробіть зчитування трьох послідовних значень фона й визначте середнє значення.

Помістіть в кювету підготовлену пробу таким чином, щоб проба знаходилася нижче країв кювети на 3- 5 мм щоб уникнути забруднення радіометра пробой.

Не менш, ніж через 100 хв, зробіть зчитування трьох послідовних показань і визначте середнє значення. Для одержання величини питомої

активності і проби необхідно з отриманого значення відняти середнє значення фона. Отримана різниця є обмірюваним значення модельної активності проби.

Наприклад, середнє значення показань радіометра при вимірі проби склало 0450, а при вимірі фона 0320. Різниця складає: $0450 - 0320 = 130$. Отримане значення необхідно помножити на показник ступеня поддіапазона, на якому проводилися виміри, т.-е. на $1 \cdot 10^{-9}$. Отже, активність проби складає 130×10^{-9} Ки/кг чи $1,3 \times 10^{-7}$ Ки/кг.

Для оперативного контролю питомої активності потрібно перемикач ЧАС перевести в нижнє положення і виміри проводити через 10хв, при цьому трохи збільшиться погрішність виміру.

Для прискорення скидання показань між вимірами рекомендується перемикач $\phi - Am$ перевести в положення ϕ, a ЧАС – у нижнє положення. При цьому час скидання показань складає 30-40с.

Якщо на цифровому індикаторі з'явиться сигнал переповнення індидується одиниця старшого розряду, а інші три цифри згаснуть, тепер перемикач ПЕРЕДЕЛ необхідно перевести у верхнє положення, перемикач ЧАС -у нижнє положення. Через 10хв зробити зчитування трьох послідовних показань і визначити середнє значення. При цих же положеннях перемикачів необхідно зробити вимір фона, відняти його з отриманих показань радіометра при вимірі питомої активності проби і помножити на показник ступеня поддіапазона, рівний 1×10^{-6} . Наприклад, показання при вимірі проби 2,72, при вимірі фона 0,47. Тоді активність проби складає $(2,72 - 0,47) \times 10^{-6} = 2,25 \times 10^{-6}$ Ки/кг.

2.5. Технічне обслуговування радіометра

Технічне обслуговування проводиться з метою підтримки радіометра в постійній готовності до використання і забезпечення максимального терміну служби.

Для виключення впливу радіоактивних забруднень, що можуть впливати на показання радіометра в процесі вимірів, необхідно після закінчення роботи акуратно протерти корпус і захисну плівку під кришкою-фільтром тампоном, злегка змоченим в одеколоні. Кювету промити спочатку в мильному розчині, а потім у чистій воді.

При тривалих перервах у роботі з радіометром необхідно провести огляд відсіку живлення і батареї "Корунд". Для цього розкрити відсік живлення, витягти батарею, переконатися у відсутності слідів витоку електроліту (мокрих плям), а також окислювання (почорніння) чи сульфатації (сніжного нальоту) на контактах батареї перехідної колодки.

Перед початком вимірів призводити контроль напруги живлення.

2.6. Повірка радіометра

Розглянемо **методику первинної і періодичної повірки радіометра.**

Періодичну повірку здійснюють за бажанням споживачів територіальні органи Держстандарту. Рекомендується міжперевірочний інтервал 1 рік.

Операції повірки

При проведенні повірки повинні бути виконані наступні операції:

- 1) перевірка комплектності, маркування і зовнішнього вигляду ;
- 2) повірка пристрою контролю напруги живлення і працездатності органів керування;
- 3) контроль основної відносної похибки радіометра при вимірі потужності дози;
- 4) контроль основний відносної похибки радіометра при вимірі щільності потоку бета-випромінювання ;
- 5) контроль основної відносної погрішності радіометра при вимірі питомої активності бета-випромінюючих нуклідів .

При негативних результатах однієї з операцій повірки, повірка припиняється.

Засоби повірки

При проведенні повірки повинні застосовуватися зразкові засоби вимірів і допоміжне устаткування:

- 1) зразкові 2-го розряду джерела на твердій підкладці, що містять радіонукліди Sr-90+Y-90, площа активної зони 1 см²;
активність 80 Бк, 1СО-801;
активність 200 Бк, 1СО-212 ;
активність 2000 Бк, 1СО-213;
- 2) пристосування для повірки поставляється заводом-виготовлювачем по окремому замовленню ;
- 3) блок живлення "Електроніка Д2- 10 М" АГО.208.302 ТУ.

Умови повірки і підготовка до неї

При проведенні повірки повинні бути дотримані наступні умови:

- 1) температура навколишнього повітря (20±5) °С;
- 2) відносна вологість до 80 %;
- 3) напруга зовнішнього джерела живлення (8,0±0,8) В;
- 4) природний рівень гама - випромінювання не більш 25 мкР/год.

Радіометр, застосовувані при повірці зразкові засоби вимірів і блок живлення повинні бути підготовлені до роботи відповідно до їх експлуатаційної документації.

При проведенні повірки повинні дотримуватися вимоги радіаційної безпеки, викладені в правилах і нормах: ОСП-72/87 "Основні санітарні правила роботи з радіоактивними речовинами й іншими джерелами

іонізуючих випромінювань" , НРБ-76/87 та НРБУ-99 "Норми радіаційної безпеки".

Проведення повірки

При зовнішньому огляді повинне бути встановлена відповідність радіометра наступним вимогам:

- 1) комплектність повинна відповідати розділу 2 дійсного паспорта з експлуатації;
- 2) маркірування повинне бути чітким;
- 3) пломби ВТК (попередньої повірки) не повинні бути порушені;
- 4) радіометр не повинний мати механічних ушкоджень, що впливають на його працездатність.

Повірка працездатності органів керування і пристрої контролю живлення виробляється наступним чином :

- 1) включити перемикач ЖИВЛЕННЯ;
- 2) провести контроль комутації по прикладеній таблиці:

Таблиця комутації символів і цифрового табло радіометра

№ п/п	Найменування	Положення	Індикація символа чи номера коми
1	ПРЕДЕЛ РЕЖИМ Н - Х	«1»(нижнє положення) «У» «Х»	h1
2	ПРЕДЕЛ РЕЖИМ Н - Х	«2»(верхнє положення) «У» «Х»	h2
3	ПРЕДЕЛ РЕЖИМ Н - Х	«1»(нижнє положення) «У» «Н»	h2
4	ПРЕДЕЛ РЕЖИМ Н - Х	«2»(верхнє положення) «У» «Н»	h3
5	ПРЕДЕЛ РЕЖИМ	«1»(нижнє положення) «β»	-----
6	ПРЕДЕЛ РЕЖИМ	«2»(верхнє положення)«β»	h2
7	КП	Натиснута кнопка «КП»	h2 , + -, V

Контроль основної відносної похибки виміру потужності експозиційної дози гама-випромінювання проводиться в такий спосіб.

Відповідно до розділу 2.5 зробити вимір зовнішнього гама - фона в режимі виміру потужності експозиційної дози при положенні перемикача ЧАС "20 с" і визначити

середнє значення з трьох послідовних показань P_{ϕ} , мР/год.

Видалити кришка-фільтр "Y" і встановити радіометр на пристосування для перевірки зі зразковим джерелом ІСО-801.

Провести зчитування трьох послідовних показань радіометра не менш, ніж через 20 с після початку виміру і визначити середнє значення $P_{\gamma} + \phi$, мР/год.

Обчислити обмірюване значення потужності експозиційної дози P_{γ} в мР/год по формулі:

$$P_{\gamma} = P_{\gamma} + \phi - P_{\phi}. \quad (21)$$

Обчислити розрахункову потужність експозиційної дози від зразкового джерела ІСО-801 $P_{\gamma 0}$ мР/год;

$$P_{\gamma 0} = K \cdot \phi_0, \quad (22)$$

де: ϕ_0 - вихід бета-частинок зразкового джерела відповідно до свідчення про атестацію, с^{-1} ; K - градуірований коефіцієнт переходу, $K = 7 \cdot 10^{-3}$ мР/год* с .

Визначити основну відносну погрішність радіометра при вимірі потужності експозиційної дози, у відсотках, по формулі:

$$\delta_{\gamma} = (P_{\gamma} - P_{\gamma 0}) / P_{\gamma 0} \quad (23)$$

Основна відносна похибка радіометра при вимірі потужності експозиційної дози повинна знаходитися в межах $\pm 25\%$.

Контроль основної відносної похибки радіометра при вимірі щільності потоку бета випромінювання.

Зробити вимір зовнішнього опромінення в одиницях щільності потоку бета - випромінювання і визначити середнє значення з трьох послідовних показань.

Установити радіометр зі знятої кришкою-фільтром на пристосування для перевірки зі зразковим джерелом ІСО-801.

Не менш чим через 20с виконати зчитування трьох послідовних показань радіометра і визначити середнє значення.

Обчислити обмірюване значення щільності потоку бета-частинок від джерела, $\text{хв.}^{-1}\text{см}^2$, по формулі:

$$\phi_{\beta} = \phi_{\beta} + \phi + \phi_{\phi}, \quad (24)$$

Повторити операції із джерелами ІСО-212 і ІСО-213.

Розрахувати основну відносну похибку радіометра при вимірі щільності потоку бета-частинок кожного джерела, у відсотках, по формулі:

$$\delta_{\beta} = ((\phi_{\beta} - \phi_0) / \phi_0) \cdot 100\%, \quad (25)$$

де: ϕ_0 - щільність потоку бета-випромінювання зразкового джерела, $\text{хв.}^{-1}\text{см}^2$:

$$\phi_0 = \chi \cdot \Phi_0, \quad (26)$$

де χ - коефіцієнт, рівний $4,1 \text{ см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{хв}^{-1}$, Φ_0 - вихід бета-частинок зразкового джерела відповідно до свідчення про атестацію, с^{-1} .

Основна відносна погрішність радіометра при вимірі щільності потоку бета випромінювання повинна знаходитися в межах $\pm 25\%$.

Контроль основної відносної похибки радіометра при вимірі питомої активності робити в такий спосіб.

Установити перемикач піддіапазона у верхнє положення і через 10 хвилин після початку виміру провести зняття трьох послідовних показань зовнішнього фону в режимі виміру питомої активності, визначити середнє значення Q_f , Ки/кг.

Установити радіометр зі знятої кришкою-фільтром на пристосування, для перевірки зразковим джерелом ІСО-801.

Провести зняття трьох послідовних показань радіометра через 10 хвилин після початку виміру й визначити середнє значення Q , Ки/кг.

Розрахувати обмірювану активність джерела A , Бк по формулі:

$$A = P(Q - Q_f), \quad (27)$$

де: P - перехідний коефіцієнт $P = 1,4 \cdot 10^7$ Бк \cdot Ки $^{-1}$ кг.

Обчислити основну відносну похибку радіометра при вимірюванні питомої активності у процентах, по формулі:

$$\delta A = ((A - A_0)/A_0) \cdot 100\%, \quad (28)$$

де: A_0 - активність зразкового джерела відповідно до свідоцтва, Бк.

Основна відносна погрішність радіометра при вимірі питомої активності повинна знаходитися в межах $\pm 25\%$.

Оформлення результатів повірки

Позитивні результати повірки оформляються видачею свідоцтва про повірку, засвідченого нанесенням клейма повірителя.

При негативних результатах перевірки радіометр до випуску в обіг не допускається. Після ремонту радіометр повинний бути представлений на повторну повірку.

III. Практична частина

Радіометр «Прип'ять». Порядок вимірювання та визначення доз опромінювання



1. Перед початком роботи з радіометром необхідно установити батарею живлення "Корунд" чи підключити зовнішнє джерело – блок живлення "Електроника Д2-10М".

2. При роботі радіометра від зовнішнього джерела живлення напругою від 4,7 до 12 В підключити джерело до радіометру.

3. Контроль живлення

3.1. Увімкніть радіометр, для чого перемикач поз.1 ПИТАНИЕ переведіть у положення ВКЛ.

Поява цифр на індикаторі свідчить про наявність живильної напруги. Відсутність чи бліде світіння цифрового індикатора свідчить про те, що напруга батареї живлення знаходиться нижче мінімально допустимого значення і потрібно її заміна.

Для контролю величини напруги живлення натисніть кнопку КП поз.2. На цифровому індикаторі з'явиться чотирьохзначне число з комою після другої цифри, що вказує значення напруги у вольтах, а також символи "+ -" у лівій і "V" у правій частині індикатора.

Номінальна напруга батареї "Корунд" складає 8В. Якщо при контролі живлення напруга батареї виявиться нижче 6В – рекомендується замінити батарею.

4. Вимір потужності дози гама – випромінювання

4.1. Потужність дози гама-випромінювання вимірюється при встановленій кришці-фільтрі Y. Радіометр вимірює **потужність експозиційної дози** в милірентгенах за годину (мР/год) чи потужність еквівалентної дози в мікрозвертах у годину (мкЗв/год). Вибір виду вимірюваної потужності дози здійснюється перемикачем Н-Х.

4.2. Перед виміром потужності експозиційної дози перемикачі на передній панелі радіометра установите в наступні положення:

РЕЖИМ-Y; Н-Х-Х; ПРЕДЕЛ – нижнє положення;

ЧАС-20 с (нижнє положення); ϕ – Ам – Ам.

5. Вимір радіоактивного забруднення

5.1. При вимірі радіоактивного забруднення бета-частинками необхідно пам'ятати, що газорозрядні лічильники, які використовуються в радіометрі, фіксують, гама - і бета-випромінювання. Тому, для обліку впливу гамма-фона необхідно спочатку провести вимірі з закритої кришкою-фільтром на відстані 1-2 см від контрольованої поверхні, а потім зробити вимір зі знятою кришкою натім ж відстані.

5.2. Перед виміром радіоактивного забруднення перемикачі напередній панелі радіометра установите в наступні положення:

РЕЖИМ- β ; Н-Х- любе; ПРЕДЕЛ- нижнє положення;

ЧАС-20с (нижнє положення); ϕ – Ам – ϕ ;

8 – за бажанням оператора.



5.3.Радіоактивне забруднення визначається шляхом виміру-радіометром щільності потоку бета-випромінювання при знятої кришці-фільтрі «У».

5.4.Для одержання величини радіоактивного забруднення поверхні необхідно з показань радіометра зі знятої кришкою – фільтром поз.10 відняти значення показань радіометра з закритої кришкою-фільтром поз.10.

5.5.Якщо на цифровому табло спостерігається швидке збільшення показань і через кілька секунд з'явиться сигнал переповнення індикуюється одиниця старшого розряду, а інші три цифри гаснуть, то перемикач ПЕРЕДЕЛ необхідно перевести у верхнє положення і через 30-40 с виконати вимір .

6. Вимір питомої активності

6.1.Питома активність бета-випромінюючих нуклідів, у продуктах харчування і інших проб зовнішнього середовища вимірюється в спеціально прикладеній до прибору кювет і при знятої кришці -фільтрі.

Одиниця вимірів питомої активності – кюрі на кілограм (Ки/кг).

6.2.Для виміру питомої активності необхідний виконати умови:

1)рівень гамма-фона, по можливості, не повинний перевищувати $0,025\text{мР/год}$, для чого бажаний вимір проводить у закритих чистих приміщеннях з мінімальним рівнем фона;

2)при підвищених значеннях фона гамма-випромінювання місце розташування вимірюваної проби бажано екранувати (обкласти з усіх боків свинцевими чи цеглинами сталевими листами товщиною 20-40мм);

3)робоче місце повинне мати миюче покриття (клейонка, поліетилен), що допускає багаторазове вологе збирання .

6.3.Досліджувані харчові продукти підготовляються в тім виді, у якому вони підлягають споживанню, тобто ретельно очищеними, вимитими, і т.д. Пробу харчового продукту необхідно подрібнювати, наприклад, на терці або в м'ясорубці, чи нарізати дрібними часточками .

6.4.Перемикачі на передній панелі радіометра установити в слідуюче положення:

РЕЖИМ- β ; ПРЕДЕЛ – нижнє положення;

ЧАС-100хв (верхнє положення); Н-Х- любе; $\phi - Am - Am$.

6.5.Встановити радіометр із вилучений кришкою-фільтром на задалегідь підготовлену чисту кювету. Увімкніть радіометр і не менш ,ніж через 10.0 хв., зробіть зчитування трьох послідовних значень фона й визначте середнє значення.

6.6.Помістити в кювету підготовлену пробу таким чином, щоб проба знаходилася нижче країв кювети на.3- 5 мм щоб уникнути забруднення радіометра пробой.

6.7.Не менш, ніж через 100хв, зробіть зчитування трьох послідовних показань і визначите середнє значення. Для одержання величини питомої активності і проби необхідно з отриманого значення відняти середнє значення фона. Отримана різниця є обмірюваним значення модельної активності проби.

Для оперативного контролю питомої активності потрібно перемикач ЧАС перевести в нижнє положення і виміри проводити через 10хв, при цьому трохи збільшиться погрішність виміру.

Для прискорення скидання показань між вимірами рекомендується перемикач $\phi - Am$ перевести в положення ϕ, a ЧАС – у нижнє положення. При цьому час скидання показань складає 30-40с.

6.8. Якщо на цифровому індикаторі з'явиться сигнал переповнення індикуюється одиниця старшого розряду, а інші три цифри згаснуть , тепер перемикач ПРЕДЕЛ необхідно перевести у верхнє положення, перемикач ЧАС -у нижнє положення. Через 10хв зробити зчитування трьох послідовних показань і визначити середнє значення. При цих же положеннях перемикачів необхідно зробити вимір фона, відняти його з отриманих показань радіометра при вимірі питомої активності проби і помножити на показник ступеня поддиапазона, рівний $1 \cdot 10^{-6}$.

3.2. Структурна та принципіальна схеми приладу



Рис. 5. Структурна схема приладу

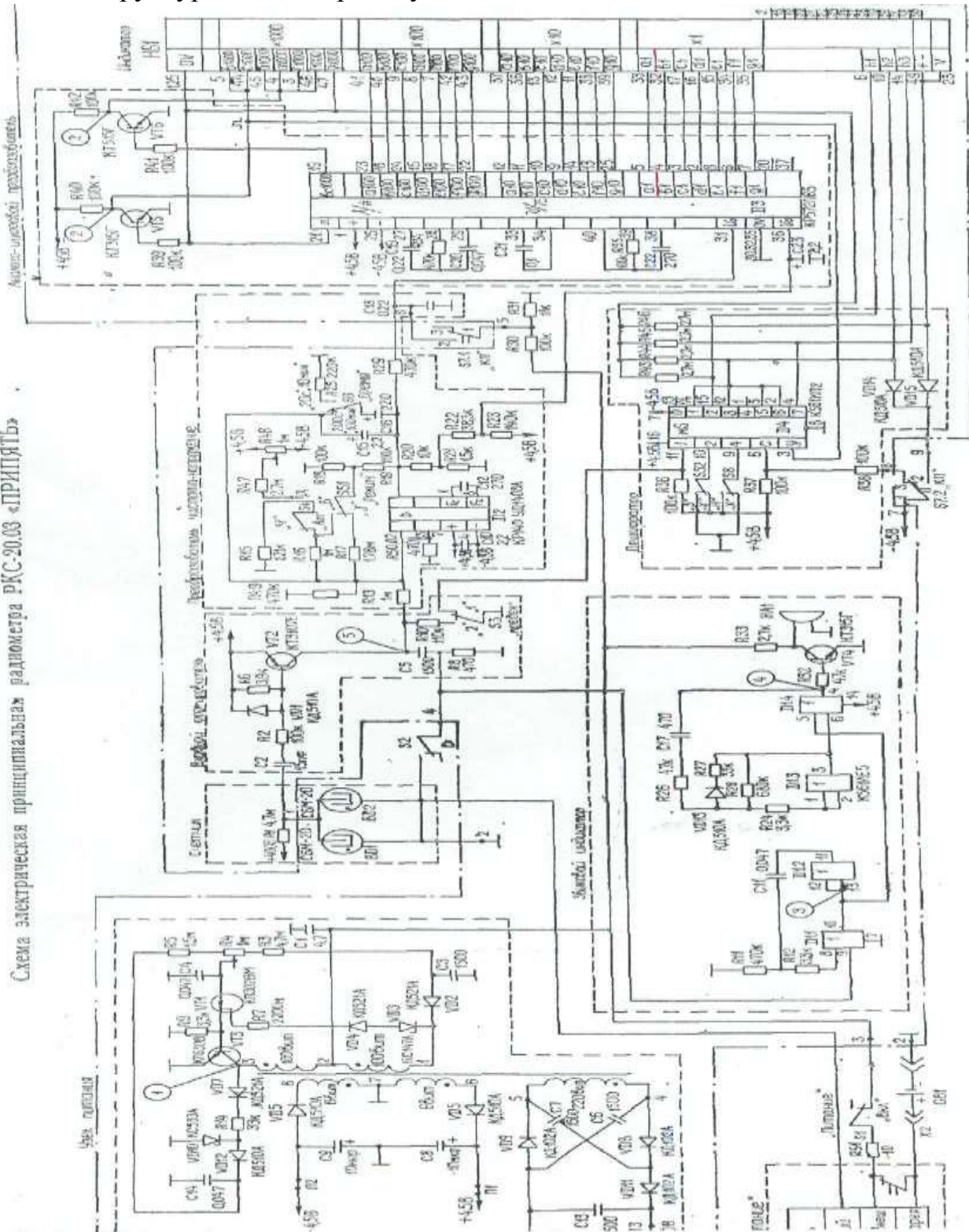


Рис. 6. Схема электрична принципова

3.3. Технічні характеристики

Радіометр призначений для контролю радіаційної обстановки в місцях проживання, перебування і роботи населення.

За допомогою радіометра можна вимірювати:

- величину зовнішнього гама - фону;
- забруднення радіоактивними речовинами житлових і виробничих приміщень, будинків і споруджень, предметів побуту, одягу, прилягаючої території, поверхні ґрунту, транспортних засобів;
- зміст радіоактивних речовин у продуктах харчування.

Таблиця 1. Основні технічні характеристики

Діапазони виміру	Значення
Потужність експозиційної дози гамма- і рентгенівського випромінювань	0,01...19,99 мР/г
Потужність еквівалентної дози гамма- і рентгенівського випромінювань	0,1...199,9 мкЗв/г
Щільність потоку бета-випромінювання	10...19999 час/см ² *хв
Межа припустимої основної відносної похибки (гама/бета)	±20%/±25%
Робоча температура навколишнього повітря	-20...+40 °С
Живлення	9,0 В
Маса	0,25 кг
Габаритні розміри	145x73x37 мм

За одиницю активності в Міжнародній системі одиниць (СІ) прийнятий **беккерель (Бк)**.

1Бк - активність такої радіоактивної речовини, в якій за 1с відбувається 1 розпад. 1Бк= 1 розпад /1с.

Позасистемна одиниця вимірювання активності **кюри (Ки)**.

1 Ки - активність такої радіоактивної речовини, в якій за 1с відбувається 3,7Ч10¹⁰ розпадів. 1 Ки = 3,7Ч10¹⁰ розпадів/с.

Одиниця Ки відповідає радіоактивності 1г радію.

1 Ки = 3,7Ч10¹⁰ Бк; 1 Бк = 2,7Ч10⁻¹¹Ки.

3.4. Регламент обслуговування

Технічне обслуговування проводиться з метою підтримки радіометра в стані постійної готовності до використання і забезпечення максимального терміну служби.

Для виключення впливу радіоактивних забруднень, що можуть впливати на показання радіометра в процесі вимірів, необхідно після закінчення роботи акуратно протерти корпус і захисну плівку під кришкою-фільтром тампоном, злегка змоченим в одеколоні. Кювету промити спочатку в мильному розчині, а потім у чистій воді.

3.5. Дози від бета випромінювання

3.5.1. Паралельний пучок

Потужність дози β -випромінювача пропорційна його активності і залежить від енергії β -спектра, форми і розмірів препарату і глибини занурення в середовище. Наприклад доза на одну β -частинку, що падає на см^2 даної області середовища при переході від одного з найм'якіших серед найбільш поширених випромінювачів – ^{35}S (максимальна енергія β -спектра 0,169 MeV) до найтвердішого – ^{144}Pr (максимальна енергія 3 MeV), змінюється від $1,5 \cdot 10^{-8}$ рад до $2,8 \cdot 10^{-8}$ рад в пучку електронів, що отримується за допомогою прискорювача, потужність дози може бути дуже висока. При напрузі 3000 кВ і силі струму 4 мА у пучку перерізом 100 см^2 можна отримати потужність дози 10^7 р/с.

При визначенні дози від джерела β -випромінювання враховують ряд особливостей, що пов'язані з природою β -частинок, перед усім – неперервність спектра β -випромінювання. У зв'язку з цим у розрахункові формули вводять не табличні значення максимальної енергії β -спектра, а її середнє значення:

$$E_{\text{ср}} = 0,4E_{\text{max}} \quad (29)$$

Враховуючи значні поглинання β -частинок у повітрі, не треба нехтувати послабленням потоку Φ для β -випромінювання до досягнення об'єкту, в якому треба визначити поглинену дозу. З розрахунку доз β -випромінювачів із достатньою точністю можна вважати товщину опроміненого об'єкта рівній товщині шару повного поглинання β -частинок R_{max} .

Для розрахунку дози β -випромінювання у будь-якій точці об'єкта опромінення необхідно знати густину потоку і спектр β -частинок у заданій точці чи усереднену по діючому в заданій точці β -спектру величину втрати енергії. Тоді поглинена доза (в рад) на глибині x :

$$D_{\beta}(x) = 1.6 \cdot 10^{-8} \Phi_{\beta}(x) \Delta E_{\beta}(x) t, \quad (30)$$

де Φ_β - густина потоку β -частинок на глибині x , $\Delta E_\beta(x)$ - втрата енергії, усереднена по діючому на глибині x спектру β -частинок.

Енергія β -випромінювання $E_{\text{погл}}$ з інтенсивністю J , що поглинена речовиною у шарі рівному максимальному пробігу β -частинок, визначається виразом:

$$E_{\text{погл}} = JSt = 0.4 E_{\text{max}} \Phi St \quad (31)$$

Оскільки маса m шару речовини з площею S , що повністю поглинула β -випромінювання у шарі R_{max} , дорівнює:

$$\Delta m = SR_{\text{max}} \quad (32)$$

Тоді поглинену дозу можна визначити як:

$$D_{\text{погл}} = \frac{It}{R_{\text{max}}} = 0.4 E_{\text{max}} \Phi t / R_{\text{max}} \quad (33)$$

Виразивши поглинену дозу в радах, отримаємо:

$$D_\beta = 1,6 \cdot 10^{-8} \frac{t \Phi_{\beta,0} \bar{E}_\beta}{R_\beta} = 1,6 \cdot 10^{-8} \frac{J_{\beta,0} t}{R_\beta} \quad (34)$$

Зауваження Порівняємо число β -частинок і γ -квантів з однаковою енергією необхідною для створення потужності дози в 1 рад за 1 сек. Нехай $E_\beta = E_\gamma = 1$ МеВ. Для м'якої біологічної тканини $\mu_e = 0,003$ см²/г, $R_\beta = 0,48$ г/см². Тоді

$$\Phi_\gamma = 6,25 \cdot 10^7 \frac{1}{1 \cdot 0,03 \cdot 1} = 2,3 \cdot 10^9 \text{ (}\gamma\text{-квантів/см}^2\text{ сек)}$$

$$\Phi_\beta = 6,25 \cdot 10^7 \frac{0,48}{0,4 \cdot 1 \cdot 1} = 9,0 \cdot 10^7 \text{ (}\beta\text{-частинок/см}^2\text{ сек)}$$

Таким чином, на відстані, що суттєво менше повного пробігу β -частинок у повітрі, доза від джерела бета-випромінювання в десятки разів більше, ніж від джерела гама-випромінювання однакової енергії і активності.

Таблиця 5. Максимальні пробіги бета-частинок у повітрі, воді, біологічній тканині та алюмінію

Енергія β частинок МеВ	Повітря, м	Вода, мм	Алюміній мм	Енергія β частинок, МеВ	Повітря, м	Вода, мм	Алюміній мм
1	2	3	4	5	6	7	8
0,01	0,00229	0,0027	0,00127	0,70	2,513	2,78	1,315
0,02	0,00773	0,0081	0,00422	0,75	2,746	3,04	1,437
0,03	0,0161	0,0017	0,0087	0,80	2,985	3,31	1,559
0,04	0,0265	0,029	0,0143	0,85	3,217	3,57	1,685
0,05	0,0394	0,0431	0,0212	0,90	3,449	3,84	1,807
0,06	0,0541	0,0591	0,0289	0,95	3,697	4,11	1,933

0,07	0,0708	0,0774	0,0378	1,0	3,936	4,38	2,059
0,08	0,0889	0,0974	0,0474	1,2	4,896	5,47	2,563
0,09	0,109	0,119	0,0578	1,4	5,868	6,56	3,07
0,1	0,130	0,143	0,0693	1,6	6,821	7,66	3,574
1	2	3	4	5	6	7	8
0,15	0,256	0,281	0,135	1,8	7,781	8,75	4,074
0,20	0,407	0,448	0,214	2,0	8,732	9,84	4,593
0,25	0,747	0,638	0,304	2,2	9,683	10,9	5,074
0,30	0,763	0,841	0,4	2,4	10,611	12	5,593
0,35	0,959	1,06	0,504	2,6	11,510	13,1	6,074
0,40	1,168	1,29	0,611	2,8	12,459	14,2	6,593
0,45	1,384	1,52	0,722	3,0	13,411	15,3	7,741
0,50	1,601	1,77	0,837	4,0	17,858	20,6	9,841
0,55	1,817	2,01	0,952	5,0	22,281	25,8	11,889
0,60	2,050	2,27	1,07	6,0	25,156	31	14,259
0,65	2,274	2,52	1,193	8,0	34,377	41,3	-

3.5.2. Дози точкового джерела

Потужність дози від точкового джерела β -випромінювання в повітрі на відстані r від джерела (для однієї лінії β -спектра) з урахуванням поглинання випромінювання в повітрі:

$$D_{\text{погл}} = \frac{At}{4\pi r^2} \times \sum \frac{n_i 0.4 E_{\text{max},i} e^{-\mu_i r}}{R_{\text{max},i}} \quad (35)$$

Підставивши в цю формулу активність джерела в мікрокюрі, максимальну енергію β -спектра E_{max} в МеВ, відстань r препарата до об'єкта випромінювання у см, час t год, коефіцієнт лінійного поглинання β -випромінювання у повітрі μ в см^{-1} і виражаючи дозу у рентгенах (точніше, в біологічних еквівалентах рентгена), отримаємо:

$$D = \frac{3,7 \cdot 10^7 \text{ A } 0,4 \cdot 10^6 \cdot 3600 \text{ t}}{4\pi r^2 \cdot 5,47 \cdot 10^{13}} \times \sum_{i=1}^n \frac{n_i E_{\text{max},i} e^{-\mu_i r}}{R_{\text{max},i}},$$

або: (36)

$$D_{\text{погл}} = 71 \frac{At}{r^2} \times \sum_i \frac{n_i E_{\text{max},i} e^{-\mu_i r}}{R_{\text{max},i}} \quad \text{фер}, \quad \text{бер}$$

Формула для поглиненої дози у радах у гомогенному середовищі на відстані $r < R_{\text{max}}$

$$D_{\beta} = \frac{3,7 \cdot 10^7 \text{ A } \sum_{i=1}^n n_i E_{\beta,i} e^{-\mu_{\beta,i} r} t}{4\pi r^2 R_{\beta,\text{max}}} = 4,7 \cdot 10^{-2} \frac{At}{r^2} \times \sum_i \frac{n_i E_{\beta,i} e^{-\mu_{\beta,i} r}}{R_{\text{max},i,\beta}} \text{ рад}, \quad (37)$$

де A – активність мКи, n_i - число бета-частинок з середньою енергією спектра $E_{\beta,i}$ на один акт розпаду $R_{\beta,i}$ – товщина шару повного поглинання бета-частинок з максимальною енергією спектру $E_{\max \beta,i}$ у речовині об'єкта випромінювання, $\mu_{\beta,i}$ - лінійний коефіцієнт послаблення потоку бета-частинок (в см^{-1}) з максимальною енергією спектру $E_{\max \beta,i}$ в середовищі між джерелом і опромінюваним об'єктом, який для повітря може бути розрахований по емпіричній формулі:

$$\mu_{\beta,i} = \frac{16\rho}{(E_{\beta,i}-0,036)^{1,4}} \quad (38)$$

Масовий коефіцієнт послаблення в алюмінії у залежності від максимальної енергії бета-частинок приблизно описується відношенням:

$$\begin{aligned} \mu' &= \frac{\mu}{\rho} = \frac{22}{E_{\max}^{4/3}} \text{ см}^2/\text{Г} \\ \mu' &= 22/0,6^{4/3} = 2,029 \text{ см}^2/\text{Г} \end{aligned}$$

Лінійний коефіцієнт послаблення:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{59,4}{E_{\max}^{4/3}} \text{ см}^{-1} \\ \mu &= 59,4 / 0,6^{4/3} = 117,16 \text{ см}^{-1} \end{aligned}$$

3.5.3. Доза від гальмівного випромінювання

Енергія квантів гальмівного випромінювання, що виникає при взаємодії бета-випромінювання з речовиною, приблизно рівна половині максимальної енергії гальмуючих бета-частинок, якщо $E_{\max} \leq 10 \text{ MeV}$, і одній третині максимальної енергії, якщо $10 \text{ MeV} \leq E_{\max} \leq 30 \text{ MeV}$.

Якщо точкове ізотропне джерело гальмівного випромінювання випускає $E_{\text{гал}} \text{ MeV}$ енергії на один розпад ядра, то потужність експозиційної дози гальмівного випромінювання:

$$P = \frac{A \cdot 3,7 \cdot 10^7 \cdot E_{\text{гальм}} \mu_e}{4\pi r^2 \cdot 7,1 \cdot 10^4}, \text{ р/с} \quad (39)$$

де A - активність джерела, в кюрі; $E_{\text{гальм}}$ - енергія гальмівного випромінювання $\text{MeV}/\text{розпад}$; μ_e - лінійний коефіцієнт дійсного поглинання в повітрі, узятий для ефективної енергії квантів гальмівної випромінювання, см^{-1} ; r - відстань від джерела до точки детектування, см ; $7,1 \cdot 10^4$ – енергетичний еквівалент рентгена.

Звіт з лабораторної роботи 4

Проведемо вимірювання бета- та гама-випромінювання в лабораторії.

Обробка результатів вимірювання

Одиниці вимірювання: част/хв $\times\text{см}^2$, мікрозіверт/ год

$$\begin{array}{ll}
\beta_1 = & \beta_6 = \\
\beta_2 = & \beta_7 = \\
\beta_3 = & \beta_8 = \\
\beta_4 = & \beta_9 = \\
\beta_5 = & \beta_{10} = \\
\beta_{\text{cp}} = & \\
\Delta\beta_1 = & \Delta\beta_6 = \\
\Delta\beta_2 = & \Delta\beta_7 = \\
\Delta\beta_3 = & \Delta\beta_8 = \\
\Delta\beta_4 = & \Delta\beta_9 = \\
\Delta\beta_5 = & \Delta\beta_{10} = \\
\Delta\beta_{\text{cp}} = &
\end{array}$$

$$\delta = (\Delta\beta_{\text{cp}} / \beta_{\text{cp}}) \times 100\% = \quad \%$$

Одиниці вимірювання мР/ГОД

$$\begin{array}{ll}
\gamma_1 = & \gamma_6 = \\
\gamma_2 = & \gamma_7 = \\
\gamma_3 = & \gamma_8 = \\
\gamma_4 = & \gamma_9 = \\
\gamma_5 = & \gamma_{10} = \\
\gamma_{\text{cp}} = & \\
\Delta\gamma_1 = & \Delta\gamma_6 = \\
\Delta\gamma_2 = & \Delta\gamma_7 = \\
\Delta\gamma_3 = & \Delta\gamma_8 = \\
\Delta\gamma_4 = & \Delta\gamma_9 = \\
\Delta\gamma_5 = & \Delta\gamma_{10} = \\
\Delta\gamma_{\text{cp}} = &
\end{array}$$

$$\delta = (\Delta\gamma_{\text{cp}} / \gamma_{\text{cp}}) \times 100\% =$$

Розрахунки дози від точкового джерела β -випромінювання:

1. Точкове джерело

$$D_{\beta} = \frac{3,7 \cdot 10^7 \text{ А} \sum_{i=1}^n n_i E_{\beta,i} e^{-\mu_{\beta,i} r} t}{4\pi r^2 R_{\beta,\text{max}}} = 4,7 \cdot 10^{-2} \frac{\text{А}t}{r^2} \times \sum_i \frac{n_i E_{\beta,i} e^{-\mu_{\beta,i} r}}{R_{\text{max},i,\beta}} \text{ рад}$$

Проведемо розрахунок дози D_{β} від часу (35) та від відстані r (36)

1.1 Залежність від часу

1) $A = \beta_{\text{сер}} = 0,0109$

$t = 1 \text{ с}; n = 10; E = 0,6; R = 1,5 \text{ мм}; r = 2 \text{ мм}; \mu_{\beta} = 1.$

$$D_{\beta} = 4,7 \times 10^{-2} \times (0,0109/4) \times \frac{10 \times 0,6}{1,5} \times e^{-2} = 6,97 \cdot 10^{-5} \text{ рад.}$$

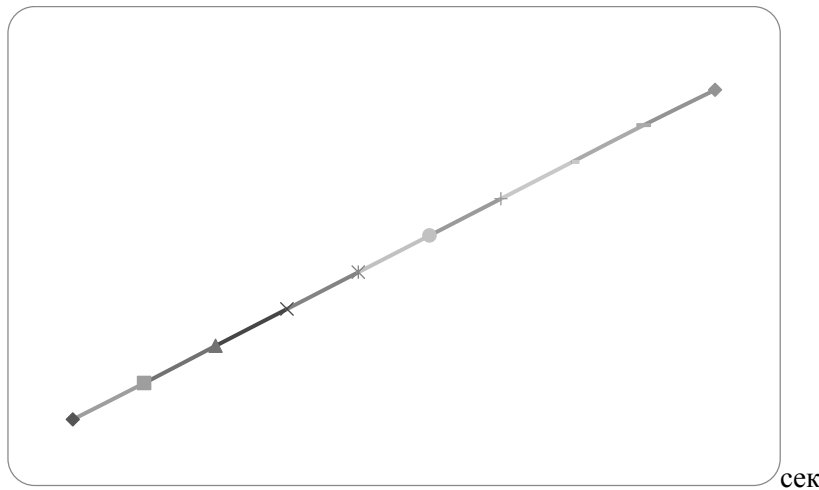
.
. .
.

10) $A = \beta_{\text{сер}} = 0,0109$

$t = 10 \text{ с}; n = 10; E = 0,6; R = 1,5 \text{ мм}; r = 2 \text{ мм}; \mu_{\beta} = 1.$

$$D_{\beta} = 4,7 \times 10^{-2} \times (0,0109 \times 10/4) \times \frac{10 \times 0,6}{1,5} \times e^{-2} = 6,97 \cdot 10^{-4} \text{ рад.}$$

Доза, Р



$D(t)$: по осі x – значення t в сек., по осі y – значення D_{β}

1.2 Залежність від відстані r

1) $A = \beta_{\text{сер}} = 0,0109$

$t = 1 \text{ с}; n = 10; E = 0,6; R = 1,5 \text{ мм}; r = 1 \text{ мм}; \mu_{\beta} = 1.$

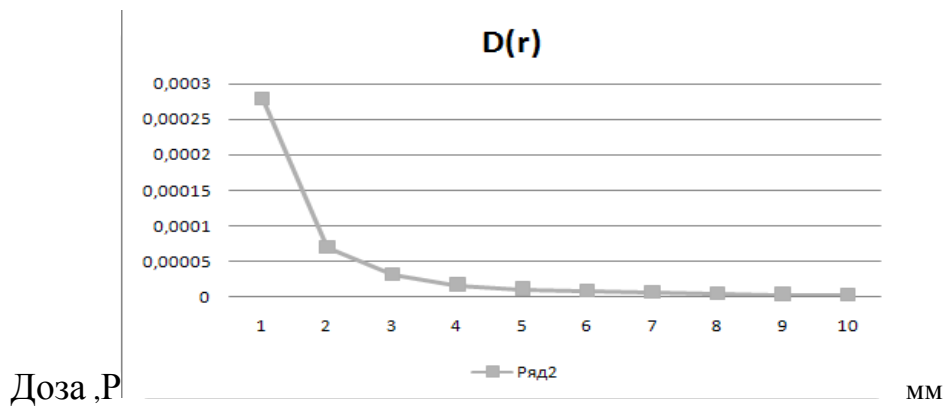
$$D_{\beta} = 4,7 \times 10^{-2} \times (0,0109/1) \times \frac{10 \times 0,6}{1,5} \times e^{-2} = 2,79 \cdot 10^{-4} \text{ рад.}$$

.
. .
.

10) $A = \beta_{\text{сер}} = 0,0109$

$t = 1 \text{ с}; n = 10; E = 0,6; R = 1,5 \text{ мм}; r = 10 \text{ мм}; \mu_{\beta} = 1.$

$$D_{\beta} = 4,7 \times 10^{-2} \times (0,0109/4) \times \frac{10 \times 0,6}{1,5} \times e^{-2} = 0,28 \cdot 10^{-5} \text{ рад.}$$



$D(r)$ - залежність дози D_{β} від відстані r , мм.

2. Розрахунок дози від гальмівного випромінювання

Визначимо дозу гальмівного випромінювання для значення для алюмінія при масовому коефіцієнті послаблення $\mu_e = 2,029 \text{ см}^2/\text{г}$. Згідно формули (30) визначимо дозу гальмівного випромінювання для алюмінія на відстані 2 см за час 1 с.

Отримаємо:

$$P = \frac{A \cdot 3,7 \cdot 10^7 \cdot E_{\text{гальм}} \cdot \mu_e}{4\pi r^2 \cdot 7,1 \cdot 10^4}$$

де A - активність джерела, в кюрі; $E_{\text{гальм}}$ - енергія гальмівного випромінювання МеВ/розпад; μ_e - лінійний коефіцієнт дійсного поглинання в повітрі, узятий для ефективної енергії квантів гальмівної випромінювання, см^{-1} ; r - відстань від джерела до точки детектування, см; $7,1 \cdot 10^4$ – енергетичний еквівалент рентгена.

$$P = \frac{0,0152 \times 3,7 \times 10^7 \times 0,6 \times 0,003}{4 \times 3,14 \times 4 \times 7,1 \times 10^4} = 2,7 \times 10^{-7} \text{ р/с}$$

Висновок: у результаті виконання лабораторної роботи було вивчено структуру та принцип роботи радіометра РКС-20.03 "ПРИП'ЯТЬ", оброблено результати вимірювання, розраховано абсолютну і відносну похибки.

Були обраховані значення β та γ випромінювання для точкового джерела та гальмівного випромінювання.

