



**МЕТОДИЧНА
ЛІТЕРАТУРА**

Міністерство освіти і науки України

**Харківський
національний
університет
імені В. Н. Каразіна**

Л. В. Січевська

**РАДІАЦІЙНА
БІОФІЗИКА
В ТЕСТАХ І ЗАДАЧАХ**

**Збірник завдань
для самостійної роботи студентів**

Харків – 2007

УДК 577.34
ББК 28.071
С 41

Рекомендовано вченою радою радіофізичного факультету
(протокол №9 від 20 жовтня 2006р.)

Рецензенти:

доктор медичних наук, професор, зав. кафедри променевої терапії та радіаційної медицини Української медичної стоматологічної академії Почерняєва Вікторія Федорівна.

доктор медичних наук, професор, зав. лабораторією патологіології та експериментальної терапії радіаційних пошкоджень Інституту медичної радіології ім. С.П. Григор'єва Симонова-Пушкарь Лариса Іванівна.

В авторській редакції

Січевська Л.В. Радіаційна біофізика в тестах і задачах: Збірник завдань для самостійної роботи студентів - Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2007.-55 с.

Збірник завдань містить тестові завдання, задачі, контрольні запитання відповідно до тем лекційного курсу «Радіаційна біофізика». Наведено приклади розв'язання задач та довідковий матеріал. Збірник завдань дає студентам змогу самостійного контролю знань з радіаційної біофізики.

Для студентів, які вивчають курс радіаційної біофізики.

УДК 577.34
ББК 28.071

©ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2007
©Січевська Л.В., 2007
©Макет обкладинки Дончик І.М.,2007

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ

Загальні положення радіаційної біофізики

1. До іонізуючих видів випромінювання належать:
 - a) ультразвукове випромінювання;
 - b) електромагнітне випромінювання видимого діапазону;
 - c) електромагнітне випромінювання дальнього ультрафіолетового діапазону;
 - d) короткохвильове ($\lambda \leq 2 \cdot 10^{-10}$ м) електромагнітне випромінювання;
 - e) потоки нейтронів, протонів, α -частинок.Вкажіть всі правильні відповіді.
2. Фотоелектричний ефект - це:
 - a) механізм поглинання енергії корпускулярного випромінювання;
 - b) механізм видалення вільних електронів із атому;
 - c) механізм поглинання енергії електромагнітного іонізуючого випромінювання з енергією кванта від 10 кеВ;
 - d) механізм поглинання енергії електромагнітного іонізуючого випромінювання з енергією кванта до 100 кеВ;
 - e) вкажіть свій варіант відповіді.
3. Ефект Комптона – це:
 - a) механізм видалення зв'язаних електронів із атому;
 - b) механізм поглинання енергії корпускулярного випромінювання;
 - c) механізм поглинання енергії гамма- та рентгенівського випромінювання з енергією кванта від 100 кеВ до 10 МеВ;
 - d) механізм поглинання енергії гамма- та рентгенівського випромінювання з енергією кванта до 1 МеВ;
 - e) немає правильної відповіді.
4. Ефект утворення електрон-позитронних пар – це:
 - a) спосіб розщеплення атомів;
 - b) спосіб перетворення енергії іонізуючого випромінювання;
 - c) механізм поглинання енергії гамма- та рентгенівського випромінювання з енергією кванта не менше 1,022 МеВ;
 - d) механізм поглинання енергії електромагнітного

іонізуючого випромінювання з енергією кванта не більш 1,022 MeB;

е) вкажіть свій варіант відповіді.

5. Ефект Брега виникає при взаємодії з біологічними об'єктами:

- а) гамма-випромінювання;
- б) рентгенівського випромінювання;
- в) нейтронного випромінювання;
- г) прискорених заряджених частинок;
- д) усих, вказаних вище, видів іонізуючого випромінювання.

6. Закон радіоактивного розпаду має вигляд:

- а) $N = N_0^2 \exp(-\lambda t)$;
- б) $N = N_0^2(-\lambda t)$;
- в) $N = N\lambda t$;
- г) $N = T_{1/2} \exp(-\lambda t)$;
- д) $N = N_0 \exp(-\lambda t)$.

7. Період напіврозпаду $T_{1/2}$ пов'язаний зі сталою радіоактивного розпаду λ наступним чином:

- а) $T_{1/2} = \exp(\lambda)$;
- б) $T_{1/2} = \ln \lambda$;
- в) $T_{1/2} = \exp(-\lambda)$;
- г) $T_{1/2} = \frac{\lambda}{\ln 2}$;
- д) $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$.

8. Активність ізотопу визначається за формулою:

- а) $A = A_0 \exp(-\lambda t)$;
- б) $A = \lambda A_0$;
- в) $A = \lambda N_0$;
- г) $A = \lambda A_0 \exp(-t)$;

е) $A = N_0 \exp(-\lambda t)$

9. Інтенсивність пучка рентгенівського випромінювання, який пройшов крізь пластину товщиною x , визначається за формулою:

- а) $I(\mu) = I_0 \exp(\mu x)$;
- б) $I(x) = \exp(-\mu x)$;
- в) $I(x) = I_0 \exp(-\mu x)$;
- г) $I(x) = I_0 \sqrt{\mu x}$;
- д) $I(\mu) = \mu I_0 x$.

10. Одиниця вимірювання поглинутої дози іонізуючого випромінювання:

- а) грей;
- б) рентген;
- в) зіверт;
- г) бер;
- д) рад.

11. Одиниця вимірювання радіоактивності речовини:

- а) зіверт;
- б) рентген;
- в) кюрі;
- г) бекерель;
- д) ньютон.

12. Одиниця вимірювання експозиційної дози:

- а) грей;
- б) рентген;
- в) зіверт;
- г) бер;
- д) рад.

Лінійна втрата енергії. Відносна біологічна ефективність.

1. Лінійна щільність іонізації випромінювання залежить від:

- а) виду випромінювання;
- б) тривалості опромінення;
- в) виду випромінювання та тривалості опромінення;

d) величини диференційної втрати енергії на одиницю довжини шляху частинки;

e) тривалості опромінення та фізичних особливостей об'єкта, що опромінюється.

2. Коефіцієнт відносної біологічної ефективності визначається як співвідношення:

a) біологічних ефектів (наприклад, виживаності) двох любих видів випромінювання, застосованих в однаковій дозі;

b) біологічних ефектів гамма-випромінювання та досліджуваного випромінювання, застосованих в однаковій дозі;

c) біологічних ефектів рентгенівського та досліджуваного випромінювання, застосованих в однаковій дозі;

d) чисельності тварин, що загинули за умов дії випромінювання в дозі D_{37} до загальної чисельності опроміненої популяції;

e) чисельності тварин, що вижили за умов дії випромінювання в дозі D_{37} до загальної чисельності опроміненої популяції.

3. Лінійна втрата енергії іонізуючого випромінювання визначається як:

a) величина диференційної втрати енергії на одиницю довжини шляху;

b) енергія, що передана речовині за одиницю часу;

c) енергія, яка необхідна для утворення 10 пар іонів;

d) енергія, яка необхідна для утворення 100 пар іонів;

e) вкажіть свій варіант відповіді.

4. Для отримання порівнюваного біологічного ефекту за умов опромінення різними видами випромінювання необхідно:

a) досягти однакової величини лінійної щільності іонізації;

b) застосувати однакові дози опромінення;

c) застосувати різні дози опромінення;

d) передати однакову кількість енергії біологічному об'єкту;

e) неможливо отримати порівнюваний біологічний ефект.

Вкажіть всі правильні відповіді.

5. Величина відносної біологічної ефективності залежить від:

a) величини лінійної втрати енергії іонізуючого

випромінювання;

b) температурних умов опромінення;

c) інтенсивності утворення вільних радикалів в оточуючому середовищі;

d) величини ЛВЕ, виду випромінювання, особливостей біологічного об'єкта;

e) немає правильної відповіді.

Радіаційно-хімічні перетворення молекул води.

1. Радіаційно-хімічне перетворення молекул води здійснюється з утворенням первинних продуктів радіолізу:

a) $H\cdot$, $OH\cdot$, H_2O_2 ;

b) $e_{гдр}^-$, $HO\cdot_2$, H_2O ;

c) $H\cdot$, $OH\cdot$, $e_{гдр}^-$;

d) H_2O_2 , H_2O , H_2 ;

e) вкажіть свій варіант відповіді.

2. Радіаційно-хімічний вихід продуктів радіолізу - це:

a) константа швидкості радіаційно-хімічних реакцій;

b) показник величини радіаційних пошкоджень біологічних об'єктів;

c) показник кількісного виходу продуктів радіолізу води;

d) кількість продуктів радіолізу, що утворюється при поглинанні 100 еВ енергії іонізуючого випромінювання;

e) кількість продуктів радіолізу, що утворюється при поглинанні 1000 еВ енергії іонізуючого випромінювання.

3. Реакційна здатність вільних радикалів залежить від:

a) величини їх радіаційно-хімічного виходу;

b) біологічних властивостей макромолекул;

c) часу життя радикалів;

d) присутності вільнорадикальних форм в середовищі;

e) присутності органічних радикалів в середовищі.

Вкажіть всі правильні відповіді.

4. Утворення і накопичення продуктів радіолізу води зумовлює ефект:

a) пригнічення радіаційно-індукованих перетворень в біологічних об'єктах;

b) відновлення радіаційних пошкоджень;

- c) пригнічення окислювальних процесів, індукованих радіацією;
 - d) прямої дії радіації;
 - e) непрямой дії радіації.
5. Рекомбінація вільних радикалів відбувається з утворенням:
- a) H_2O_2 , H_2O , H_2 ;
 - b) $\text{HO}\cdot_2$, $\text{O}\cdot_2$;
 - c) $\text{H}\cdot$, $\text{OH}\cdot$, H_2O_2 ;
 - d) $\text{O}\cdot_2$, $\text{H}\cdot$, $\text{OH}\cdot$;
 - e) $\text{HO}\cdot_2$, H_2O , O_2 .
6. Непряма дія іонізуючого випромінювання – це процес:
- a) підсилення радіобіологічного ефекту;
 - b) попередження радіаційного пошкодження біологічних об'єктів;
 - c) пошкодження біологічних об'єктів продуктами радіолізу води;
 - d) пошкодження біологічних об'єктів органічними радикалами;
 - e) вкажіть свій варіант відповіді.

Кисневий ефект.

1. Явище кисневого ефекту спостерігається в умовах:
- a) гіпоксії;
 - b) оксигенації;
 - c) азотного середовища;
 - d) атмосферного повітря;
 - e) вакууму.
- Вкажіть всі правильні відповіді.
2. В умовах оксигенації при дії іонізуючого випромінювання в середовищі утворюються:
- a) гідратований електрон;
 - b) гідроперекисний радикал;
 - c) супероксиданіонний радикал;
 - d) молекулярний кисень;
 - e) вкажіть свій варіант відповіді.
3. Коефіцієнт кисневого підсилення визначається як співвідношення:

- a) радіаційно-хімічних виходів в умовах оксигенації та аноксії;
- b) втрати кількості енергії іонізуючого випромінювання в умовах оксигенації та аноксії;
- c) значень доз опромінення 37%-виживаності у відсутності та в присутності кисню;
- d) кількостей біологічних об'єктів, що вижили після опромінення в умовах оксигенації та аноксії;
- e) значень лінійної втрати енергії в умовах оксигенації та аноксії.

Вкажіть всі правильні відповіді.

4. Збільшення концентрації кисню в середовищі при опроміненні культури клітин викликає:
- a) підсилення радіобіологічного ефекту;
 - b) пригнічення радіобіологічного ефекту;
 - c) зростання кількості клітин, що вижили після опромінення;
 - d) збільшення ефективності радіаційно-хімічного перетворення молекул води;
 - e) зменшення дози іонізуючого випромінювання D_{37} , порівняно з опроміненням в умовах атмосферного кисню;
- Вкажіть всі правильні відповіді.
5. В анаеробних умовах опромінення утворюються продукти радіолізу:
- a) водневий радикал;
 - b) гідроксильний радикал;
 - c) гідроперекисний радикал;
 - d) гідратований електрон;
 - e) вкажіть свій варіант відповіді.

Теоретичні аспекти радіаційної біофізики.

1. Пряма дія іонізуючого випромінювання на біомакромолекули відбувається за умов:
- a) переносу енергії від збуджених молекул води на макромолекули;
 - b) утворення тільки збуджених станів в водяному оточенні біомакромолекул;
 - c) утворення тільки іонізованих станів в водяному оточенні біомакромолекул;

- d) утворення збуджених та іонізованих станів безпосередньо в біомакромолекулі;
 e) вкажіть свій варіант відповіді.
2. В чому різниця між прямою і непрямую дією радіації:
 a) немає суттєвих відмінностей в механізмі дії;
 b) за умов прямої дії радіації утворюються тільки збуджені стани, а за умов непрямої – тільки іонізовані;
 c) за умов прямої дії радіації утворюються збуджені і іонізовані стани, а за умов непрямої не утворюються;
 d) за умов непрямої дії радіації утворюються збуджені і іонізовані стани, а за умов прямої не утворюються;
 e) вкажіть свій варіант відповіді.
3. Розмір чутливого об'єму мішені оберненопропорційний величині дози:
 a) D_0 , для всіх типів мішеней;
 b) D_{30} , у випадку одноударних мішеней;
 c) D_q , у випадку багатоударних мішеней;
 d) D_{50} , для всіх типів мішеней;
 e) вкажіть свій варіант відповіді.
4. Чисельність непошкоджених клітин (для одноударних мішеней) зменшується в e раз за умов опромінення в дозі:
 a) D_{30} ;
 b) D_{10} ;
 c) D_q ;
 d) D_{50} ;
 e) вкажіть свій варіант відповіді.
5. Визначте відмінність між одноударною та багатоударною залежностями виживаності біологічних об'єктів:
 a) одноударна – зміна чисельності популяції з часом після опромінення в дозі D_0 , багатоударна – зміна чисельності популяції з часом після опромінення в дозі D_{37} ;
 b) одноударна – експоненційна залежність зменшення чисельності популяції з часом після опромінення в дозі D_0 , багатоударна – експоненційна залежність зменшення чисельності популяції з часом після опромінення в дозі D_{37} ;
 c) одноударна – дозова залежність виживаності біологічних

- об'єктів з одноударними мішенями, багатоударна - дозова залежність виживаності біологічних об'єктів з n -ударними мішенями;
 d) одноударна – дозова залежність виживаності біологічних об'єктів за умов одноразового опромінення, багатоударна - дозова залежність виживаності біологічних об'єктів за умов багаторазового опромінення;
 e) вкажіть свій варіант відповіді.
6. Доля біологічних об'єктів, що вижили за умов багатоударності (n -попадань) їх мішені описується таким виразом:
 a) $S = e^{-DV} \sum_{k=0}^n \frac{(DV)^k}{k!}$
 b) $S = e^{-DV} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{DV^k}{k!}$
 c) $S = 1 - e^{-DV} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(DV)^k}{k!}$
 d) $S = \sum_{k=0}^{n-1} e^{-k} \frac{(DV)^k}{k!}$
 e) вкажіть свій варіант відповіді.
7. Для визначення розмірів мішені необхідно експериментально встановити:
 a) величину дози D_0 для багатоударних мішеней;
 b) величину дози D_{37} для одноударних мішеней;
 c) кількість клітин, що загинули при опроміненні в дозі D_{37} ;
 d) кількість клітин, що загинули при опроміненні в дозі D_0 ;
 e) вкажіть свій варіант відповіді.
8. Доля біологічних об'єктів, що вижили за умов одноударності (1-попадання) їх мішені описується таким виразом:
 a) $\frac{N}{N_0} = e^{-iD}$
 b) $S = e^{-DV} \frac{(DV)^k}{k!}$;

c) $S = e^{-VD}$;

d) $S = 1 - e^{-VD}$;

e) $S = DV \cdot e^{-\frac{D}{D_{37}}}$.

Вкажіть всі правильні відповіді.

Радіаційне пошкодження макромолекул.

1. Пошкодження макромолекул за умов непрямої дії іонізуючого випромінювання здійснюється за рахунок:
 - a) утворення збуджених та іонізованих станів в макромолекулі;
 - b) утворення вільнорадикальних форм молекул води в оточенні макромолекул;
 - c) утворення органічних радикалів;
 - d) накопичення потенційно летальних пошкоджень;
 - e) вкажіть свій варіант відповіді.
2. Типи пошкоджень молекул ДНК за умов непрямої дії радіації:
 - a) зміни амінокислотного складу;
 - b) одониткові розриви, двониткові розриви, утворення лужнолабільних ділянок, пошкодження основ;
 - c) зменшення кількості SH-груп;
 - d) утворення дисульфідних містків, зміни амінокислотного складу;
 - e) одониткові розриви, двониткові розриви.
3. Вклад молекул зв'язаної води в радіаційне пошкодження молекул ДНК:
 - a) молекули води утворюють гідратну оболонку, яка виконує захисні функції;
 - b) молекули води нейтралізують іонізовані та збуджені стани, що утворилися безпосередньо в макромолекулах;
 - c) із молекул зв'язаної води утворюються вільнорадикальні форми, які пошкоджують макромолекули;
 - d) не беруть участі у формуванні радіаційної відповіді;
 - e) вкажіть свій варіант відповіді.
4. Типи пошкодження білків за умов непрямої дії радіації:
 - a) руйнування цукрово-фосфатного остова;

b) пошкодження основ;

c) двониткові розриви;

d) білки стійкі до дії іонізуючого випромінювання;

e) вкажіть свій варіант відповіді.

5. Вклад молекул зв'язаної води в радіаційне пошкодження молекул білка:
 - a) молекули води утворюють гідратну оболонку, яка виконує захисні функції;
 - b) молекули води нейтралізують іонізовані та збуджені стани, що утворилися безпосередньо в макромолекулах;
 - c) із молекул зв'язаної води утворюються вільнорадикальні форми, які пошкоджують макромолекули;
 - d) не беруть участі в формуванні радіаційної відповіді;
 - e) вкажіть свій варіант відповіді.

Радіаційна загибель клітин.

1. Радіаційна загибель клітин, що настає на стадії поділу:
 - a) репродуктивна загибель;
 - b) програмована загибель;
 - c) інтерфазна загибель;
 - d) насильницька загибель;
 - e) безпричинна загибель.
2. Радіаційна загибель клітин, що настає поза стадією мітозу:
 - a) репродуктивна загибель;
 - b) програмована загибель;
 - c) інтерфазна загибель;
 - d) насильницька загибель;
 - e) безпричинна загибель.
3. Інтерфазна загибель клітин настає за умов радіаційного пошкодження:
 - a) мембран клітинних органел;
 - b) плазматичної мембрани;
 - c) мембрани клітинного ядра;
 - d) клітинної ДНК;
 - e) білків плазматичної мембрани клітини.
4. Репродуктивна загибель клітин настає за умов радіаційного пошкодження:

- a) клітинної мембрани;
- b) клітинної ДНК;
- c) саркоплазматичного ретикулуму клітини;
- d) мембран клітинних органел;
- e) вкажіть свій варіант відповіді.

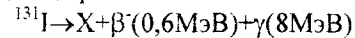
ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Під дією яких частинок - нейтронів чи α -частинок – ядерні реакції здійснюються більш ефективно? Поясніть відповідь.
2. Жоліо-Кюрі опромінювали Al_{13}^{27} α -частинками, в результаті чого вилучався нейтрон і утворилося штучно радіоактивне ядро, яке розпадається через β^- -розпад. Запишіть цю реакцію.
3. Жоліо-Кюрі опромінювали Mg_{12}^{24} α -частинками, в результаті чого вилучався нейтрон і утворилося штучно радіоактивне ядро, яке розпадається через β^- -розпад. Запишіть цю реакцію.
4. Визначте, що (і в скільки разів) триваліше: три періоди напіврозпаду чи дві середніх тривалості життя радіоактивних ядер.
5. Вважаючи постійну радіоактивного розпаду відомою та використовуючи закон радіоактивного розпаду, виведіть вираз для періоду напіврозпаду радіоактивних ядер.
6. Користуючись таблицею Менделєєва і враховуючи особливості різних видів радіоактивного розпаду, визначте в який елемент перетворюється U_{92}^{238} після трьох α -розпадів та двох β^- -розпадів.
7. Користуючись таблицею Менделєєва і враховуючи особливості різних видів радіоактивного розпаду, визначте в який елемент перетворюється U_{92}^{238} після шести α -розпадів та трьох β^- -розпадів.
8. Визначте зарядове число Z та масове число A частки, позначеної X , в символічному записі реакцій:
 - 1) $Na_{11}^{23} + He_2^4 \rightarrow O_8^{17} + X$
 - 2) $Be_4^9 + He_2^4 \rightarrow C_6^{12} + X$
 - 3) $Li_3^6 + X \rightarrow H_1^3 + He_2^4$
9. Радіоактивний розпад натрію-24 до магнію-24 відбувається відповідно до рівняння

$${}^{24}_{11}\text{Na} \rightarrow {}^{24}_{12}\text{Mg} + \beta^- + \gamma (i, 36\text{MeV})$$

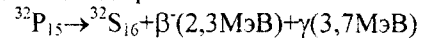
з випромінюванням β -частинок. Атомна маса ізотопу натрію дорівнює 24,3136 а.о.м., а маса знов утвореного ізотопу магнію дорівнює 24,3051 а.о.м. Відомо, що первинна активність джерела становила $10\mu\text{Ки}$, з періодом напіврозпаду 15 годин. Знайти початкову кількість атомів ізотопу натрію в джерелі та кількість виділеної ім енергії в процесі розпаду.

10. Радіоактивний розпад атомів йоду -131 відбувається по типу β -розпаду відповідно до рівняння



з утворенням деякої речовини X. Знайти атомну масу знов утвореного ізотопу X. Через який час кількість атомів йоду в джерелі зменшиться вдвоє, якщо відомо, що $\tau = 11,62$ сут?

11. Радіоактивний розпад атомів фосфору-32 відбувається по типу β -розпаду відповідно до рівняння



з утворенням ізотопів сірки з атомною масою 32,064 а.о.м. Знайти атомну масу ізотопу фосфору і визначити його час життя. Відомо, що період напіврозпаду даного ізотопу дорівнює 14,3 суток.

12. Розрахувати загальний масовий коефіцієнт поглинання свинцю фотонів з енергією 10МэВ, якщо відомо, що загальний атомний коефіцієнт поглинання є сумою коефіцієнтів кожного процесу поглинання: $\tau_{(\text{фотоефект})} = 0,168 \cdot 10^{-28}$, $\sigma_{(\text{комптон})} = 4,193 \cdot 10^{-28}$, $\kappa_{(\text{утворення пар})} = 12,4 \cdot 10^{-28}$, щільність свинцю $11,35 \text{ кг/м}^3$.

13. Розрахувати комптонівський масовий коефіцієнт поглинання в воді фотону з енергією 1,25 МеВ. Враховуючи, що при заданій енергії фотону масовий коефіцієнт поглинання для водню $0,1129 \text{ см}^2/\text{гр.}$, для кисню $0,0570 \text{ см}^2/\text{гр.}$

14. Вікова мрія алхіміків здійснилася (отримувати золото із дешевих та розповсюджених хімічних елементів), коли ртуть шляхом бомбардування нейтронами була перетворена в золото. Запишіть схему реакції та поясніть раціональність такого способу видобутку золота.

15. В початковий момент активність деякого радіоізоотопу становить 10,8 Бк. Якою буде його активність через час, що

дорівнює половині періоду напіврозпаду.

16. Скільки β -частинок випромінюється за одну годину 1,0 мкг ^{24}Na , період напіврозпаду якого становить 15 годин.

17. Радіоізоотоп молібден-99 в момент часу t_0 має активність $5 \cdot 10^9$ Бк, стала радіоактивного розпаду становить 0,01039 1/час. Якою буде активність джерела через 24 години.

18. Активність деякого радіоізоотопу зменшується в 2,5 рази за 7 суток. Знайти його період напіврозпаду.

19. Яка доля радіоактивних ядер кобальту розпадеться за місяць, коли їх період напіврозпаду становить 71,3 сут?

20. Через який час розпадеться 35% радіоактивних ядер кальцію, якщо період напіврозпаду радіонукліда становить 152 сут?

21. Препарат урану-238 масою 1,0 г випромінює $1,24 \cdot 10^4$ альфа-частинок за секунду. Знайти період напіврозпаду урану-238.

22. В кров людини ввели деяку кількість розчину, що містить радіоактивний ^{24}Na з активністю $A = 2,0 \cdot 10^3$ Бк. Активність 1 см^3 крові через 5 годин виявилась $0,267 \text{ Бк/см}^3$. Період напіврозпаду даного ізотопу дорівнює 15 годин. Знайти об'єм крові людини.

23. В клітинах біологічного об'єкта міститься $5 \cdot 10^7$ моль радіоактивного кобальту-60. Скільки ядер розпадеться за один рік, якщо період напіврозпаду становить 5,3 роки.

24. Джерело ^{99}Tc прибуло до лабораторії о 10 ранку в понеділок. Попередник даного елементу ^{99}Mo має сталу радіоактивного розпаду $\alpha = 0,01039 \text{ год}^{-1}$. Активність попередника $A = 5,0 \cdot 10^9$ Бк. Якою буде активність попередника та дочірнього елементу в четвер о 10 ранку.

25. Нуклід ^{131}I , який потрапляє в організм людини під час радіонуклідного обстеження має активність 2,5 мКи. Знайти активність цього радіонукліду через 12 днів, середню тривалість його життя та сталу розпаду.

26. Знайти активність ізотопу ^{50}V , який потрапив в організм людини в загальній кількості 870 мкг.

27. Активність ^{90}Sr , який щоденно потрапляє з їжею в організм людини, становить 0,94 Бк. Яка доза накопичується в кістковій тканині за один рік, якщо врахувати, що радіоактивний розпад ^{90}Sr до стабільного продукту ^{90}Zr здійснюється в результаті двох β -розпадів з енергіями $E_1=0,546$ Мев, $E_2=2,27$ Мев та випромінюванням γ -квантів з енергією $E_\gamma=1,734$ Мев, при цьому в організмі поглинається 40% енергії β -розпаду та 10% енергії γ -квантів. Частка, що припадає на кісткову тканину, від повної поглиненої дози дорівнює 0,7.
28. В організм людини потрапило 10 мг ^{55}Fe , період напіврозпаду $T_{1/2}=4$ роки. В результаті одного розпаду виділяється 0,22 МеВ енергії. Знайдіть величину поглиненої дози від радіоактивного розпаду ^{55}Fe протягом 10 років.
29. Знайти максимальну кількість радіонукліду ^{90}Sr , при попаданні якого в організм, не буде перевищена доза 1 мГр/рік. Період напіврозпаду $T_{1/2}(^{90}\text{Sr})=28$ років.
30. Через органи дихання в організм людини потрапило 100 мкг ізотопу ^{239}Pu , період напіврозпаду $T_{1/2}(^{239}\text{Pu})=2,4 \cdot 10^4$ років. Знайти величину поглиненої дози організмом людини протягом 10 років в результаті розпаду ^{239}Pu .

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

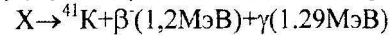
1. Предмет і задачі радіаційної біофізики. Актуальність проблем радіаційної біофізики.
2. Закономірності біологічної дії іонізуючого випромінювання.
3. Поняття радіоактивності. Види радіоактивного розпаду.
4. Закон радіоактивного розпаду.
5. Одиниці виміру радіоактивності. Радіоактивні ряди.
6. Природна та штучна радіоактивність: причини виникнення.
7. Поняття штучної радіоактивності. Типи ядерних перетворень.
8. Особливості α -розпаду.
9. Особливості β -розпаду.
10. Види іонізуючого випромінювання.
11. Іонізуюче електромагнітне випромінювання, його особливості.
12. Корпускулярне випромінювання та його особливості.
13. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною.
14. Побічно іонізуюче випромінювання, його особливості.
15. Порівняльна характеристика рідко та щільно іонізуючого випромінювання.
16. Закон поглинання іонізуючого випромінювання.
17. Фізичні механізми поглинання енергії гама і рентгенівського випромінювання.
18. Фізичні механізми поглинання нейтронного випромінювання.
19. Фізичні механізми поглинання енергії прискорених часток.
20. Пік Брега. Практичне застосування даного явища.
21. Ефекти, які виникають при взаємодії корпускулярного та електромагнітного іонізуючого випромінювання з речовиною.
22. Поняття дози, потужності дози. Одиниці виміру доз.
23. Просторовий розподіл іонів. Лінійна передача енергії.
24. Відносна біологічна ефективність різних видів випромінювання.
25. Залежність відносної біологічної ефективності від лінійної передачі енергії.
26. Непряма дія радіації. Радіаційно-хімічні перетворення молекул води.
27. Окислювально-відновлювальні властивості радикалів води.
28. Порівняльна характеристика продуктів радіолізу води. Радіаційно-хімічний вихід.
29. Пряма та непряма дія іонізуючого випромінювання на

- біологічні об'єкти.
30. Основні положення теорії мішені.
 31. Модель одного попадання. Аналіз "одноударних" кривих.
 32. Модель багатьох попадань. Аналіз "багатоударних" кривих
 33. Структурно-метаболична теорія А.М. Кузіна: особливості та її основні положення.
 34. Пряма дія радіації на макромолекули. Оцінка параметрів макромолекул.
 35. Пошкодження молекул ДНК продуктами радіолізу води.
 36. Основні типи реакцій радикалів води з біомакромолекулами.
 37. Внутрішньомолекулярна та міжмолекулярна міграція енергії.
 38. Явище кисневого ефекту.
 39. Коефіцієнт кисневого підсилення. Залежність кисневого ефекту від концентрації кисню в середовищі.
 40. Види радіаційної загибелі клітин та їх особливості.
 41. Репродуктивна загибель клітин. Механізми радіаційного ушкодження клітинної ДНК.
 42. Інтерфазна загибель клітин. Роль плазматичних мембран.
 43. Пошкодження плазматичних мембран продуктами радіолізу води.
 44. Особливості моделювання радіобіологічних ефектів.
 45. Особливості моделі стану Капосса і Політа.
 46. Окремі випадки розв'язання системи рівнянь моделі Капосса і Політа.
 47. Дія випромінювання на організм. Основні джерела опромінення людини.
 48. Особливості дії малих доз радіації. Явище гормезиса.
 49. Проблема радіаційного канцерогенезу та його особливості.
 50. Система клітинного оновлення.
 51. Радіочутливість. Радіорезистентність.
 52. Радіочутливість тканин та органів.
 53. Радіочутливість організму ссавців.
 54. Особливості дії на організм інкорпорованих радіонуклідів.
 55. Шляхи надходження та розподіл радіонуклідів в організмі.
 56. Критичні органи за умов загального опромінення організму та інкорпорованими радіонуклідами.
 57. Соматичні наслідки дії іонізуючого випромінювання. Виникнення злоякісних пухлин.
 58. Проблема захисту організму від випромінювання.
 59. Модифікація радіаційної відповіді: радіосенсибілізатори.
 60. Радіопротектори: особливості та основні фізико-хімічні властивості.
 61. Сульфгідрильна та гіпоксична гіпотеза дії радіопротекторів.
 62. Концепція ендogenous фону радіорезистентності.
 63. Радіорезистентність пухлинних клітин.
 64. Променева терапія пухлин.
 65. Методи керування радіочутливістю тканин.
 66. Захист нормальних тканин в умовах променевої терапії.
 67. Застосування в променевій терапії важких ядерних частинок.
 68. Екологічні наслідки аварії на Чорнобильській АЕС.
 69. Ізогпний склад викиду на ЧАЕС. Стан екосистеми в зоні аварії ЧАЕС.
 70. Проблеми радіаційного захисту навколишнього середовища.
 71. Радіонуклідне забруднення навколишнього середовища: джерела та наслідки.

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ.

Приклад 1.

Радіоактивний розпад атомів радіоактивної речовини X відбувається по типу β -розпаду в відповідності до рівняння



з утворенням ізобару калію-41 з масою 40,9784 а.о.м. Знайти атомну масу елемента-попередника.

РОЗВ'ЯЗАННЯ

Встановимо співвідношення між 1MeV енергії та масою речовини в а.о.м.: для того, щоб змінити масу атому на 1 а.о.м. необхідно затратити енергію в 931,482 MeV, тобто

$$1 \text{ MeV} \approx 1,074 \cdot 10^{-3} \text{ а.о.м.}$$

$$1 \text{ а.о.м.} \approx 931,482 \text{ MeV}$$

Оскільки в даній умові йдеться мова про процес розпаду, то маса попередника буде більшою за масу знов утвореного радіонукліду. Відповідно, необхідно скласти всі доданки в правій частині рівняння в перерахунку на а.о.м.:

$$X = 40,9784 + 1,2 \cdot 1,074 \cdot 10^{-3} + 1,29 \cdot 1,074 \cdot 10^{-3} = 40,98018$$

Приклад 2.

Визначити в скільки разів початкова кількість ядер радіоактивного ізотопу зменшиться за три роки, коли за рік вона зменшилася в 4 рази.

РОЗВ'ЯЗАННЯ

Згідно з законом радіоактивного розпаду маємо:

$$N_1 = N_0 \exp(-\lambda t_1) - \text{кількість ядер, що залишилися через}$$

рік;

$$N_2 = N_0 \exp(-\lambda t_2) - \text{кількість ядер, що залишилися через}$$

3 роки.

Зменшення кількості ядер в 4 рази за рік можна представити як:

$$\frac{N_0}{N_1} = \exp(\lambda t_1) = 4, \quad \text{звідси} \quad \text{знаходимо} \quad \text{сталу}$$

$$\text{радіоактивного розпаду: } \lambda = \frac{\ln 4}{t_1}.$$

Зменшення кількості ядер за 3 роки можна представити як:

$$\frac{N_0}{N_2} = \exp(\lambda t_2) = \exp\left(\frac{\ln 4 \cdot t_2}{t_1}\right).$$

Здійснивши всі підстановки і виконавши дії дізнаємося, що за три роки кількість ядер зменшилася в 64 рази.

Приклад 3.

Встановити, який відсоток від початкової кількості ядер радіоактивного ізотопу не розпадеться через час t , що дорівнює двом середнім часам життя (τ) радіоактивного ядра.

РОЗВ'ЯЗАННЯ

Величина середнього часу життя радіонукліду обернено пропорційна сталій радіоактивного розпаду: $\tau = \frac{1}{\lambda}$, відповідно

$$\text{час } t = 2\tau = \frac{2}{\lambda}.$$

Згідно з законом радіоактивного розпаду кількість радіонуклідів, які не розпадутся через час t буде представлена:

$$\frac{N}{N_0} = \exp(-\lambda t) = \exp\left(-\lambda \cdot \frac{2}{\lambda}\right) = 0,135$$

Через час t в зразку залишиться 13,5% ядер, які не розпалися.

Приклад 4.

Вивести формулу для швидкості (активності) радіоактивного розпаду через період напіврозпаду та початкову кількість N_0 радіоактивних атомів.

РОЗВ'ЯЗАННЯ

Зміна кількості радіоактивних ядер в джерелі з часом визначається як $dN = -\lambda N dt$. Звідси, швидкість радіоактивного

розпаду можна представити: $\left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N = A$, що й буде визначати активність радіоактивного джерела. Враховуючи закон радіоактивного розпаду $N = N_0 \exp(-\lambda t)$ та співвідношення, яке поєднує сталу радіоактивного розпаду та період напіврозпаду ядер: $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$, маємо необхідний нам результат:

$$A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N_0 \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t\right)$$

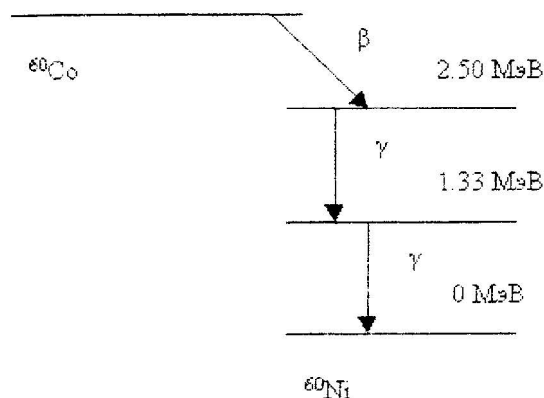
Приклад 5.

Індивідуальна доза опромінення, яка отримана під впливом радіоактивного джерела ^{60}Co протягом 10 с, складає 100 Гр. Скільки фотонів гамма-опромінення попало при цьому в організм, якщо кожний фотон втрачає в тканинах тіла близько 40% своєї енергії.

РОЗВ'ЯЗАННЯ

При розпаді ^{60}Co утворюється 2 гамма-кванти з енергією 1,33 та 1,17 Мев (див. схему).

Схема розпаду радіоактивного кобальту



Кожна така пара фотонів виділяє в тканинах організму людини $(1,33+1,17) \cdot 0,4 = 1 \text{ Мев} = 1,3 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$.

Для людини вагою 75 кг поглинута доза від однієї пари фотонів складає $\frac{1,3 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}}{75 \text{ кг}} = 2,13 \cdot 10^{-15} \text{ Гр}$

При опроміненні в дозі 100 Гр число фотонів, що потрапили до організму людини становитиме:

$$2 \cdot \frac{100}{2,13 \cdot 10^{-15}} = 9,4 \cdot 10^{16}$$

Приклад 6.

В організм людини потрапило 10 мг ^{55}Fe . Знайти значення поглинутої дози за 10-річний період. Період напіврозпаду $^{55}\text{Fe} = 2,9$ роки, $Q = 0,22 \text{ Мев}$.

РОЗВ'ЯЗАННЯ

Яка кількість ізотопів розпалася за 10 років?

$$N = N_0 \cdot \exp\left(-\frac{0,693 \cdot t}{T_{1/2}}\right) = N_0 \cdot \exp(-0,239 \cdot t) = 0,926$$

Із 10 мг ізотопу за 10 років розпалася

$$N_0 - N = 10 - 0,926 = 9,074 \text{ мг}$$

Кількість ядер, що розпалися:

$$N_0 - N = \frac{m}{M} \cdot N_A = \frac{9,074 \cdot 10^{-3}}{55} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} = 0,99 \cdot 10^{20}$$

Кількість енергії, що виділилася при цьому

$$Q = 0,22 \cdot 0,99 \cdot 10^{20} = 2,19 \cdot 10^{19} \text{ Мев} = 3,5 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Для людини вагою 75 кг поглинена доза від розпаду 9,074 мг ^{55}Fe становитиме:

$$\frac{3,5 \cdot 10^6 \text{ Дж}}{75 \text{ кг}} = 0,047 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 0,047 \cdot 10^6 \text{ Гр}$$

ДОВІДКОВИЙ МАТЕРІАЛ

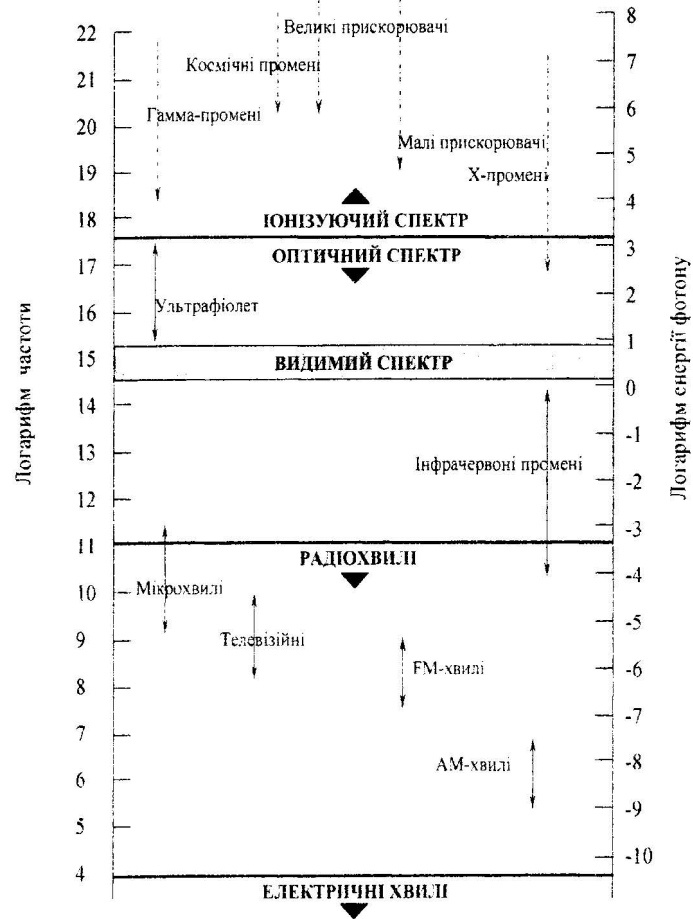


Рис. 1 Спектр електромагнітних хвиль

Таблиця 1.

Радіоактивні елементи, які використовують як гамма-джерела

Ізотоп	Період напіврозпаду	Максимальна енергія випромінювання, МеВ
Кобальт (^{60}Co)	5,3 року	1,17 - 1,33
Селен (^{75}Se)	127 діб	0,07—0,4
Кадмій (^{109}Cd)	470 діб	0,086 - 0,336
Телур (^{127}Te)	90 діб	0,0885
Цезій (^{134}Cs)	2,3 року	0,202—1,367
Цезій (^{137}Cs)	30 років	0,662
Європій (^{154}Eu)	8,5 року	0,399—1,4
Тулій (^{170}Tm)	129 діб	0,08
Тантал (^{182}Ta)	115 діб	0,462—1,23
Іридій (^{192}Ir)	75 діб	0,137—0,651

Таблиця 2.

Радіоактивні елементи, які застосовують як β - випромінювачі

Ізотоп	Період напіврозпаду	Максимальна енергія випромінювання, МеВ
Фосфор (^{32}P)	14,5 доби	1,71
Стронцій (^{90}Sr)	28 років	0,61
Ітрій (Y)	64,3 год	2,26
Рутеній (Ru)	360 діб	0,039
Родій (Rh)	30 діб	2,0
Золото (Au)	2,69 доби	0,96
Талій (Tl)	4,26 року	0,765
Йод (^{131}I)	8 діб	0,250

Таблиця 3.

Характеристика радіонуклідів, які використовуються в біофізиці

Ізотоп	Період напіврозпаду	Максимальна енергія випромінювання, МеВ
Вуглець (^{14}C)	5730 років	0,156
Натрій (^{22}Na)	2,6 роки	0,545
Фосфор (^{33}P)	24 діб	0,246
Сірка (^{35}S)	88 діб	0,167
Хлор (^{36}Cl)	$3,1 \cdot 10^5$ років	0,714
Калій (^{40}K)	$1,26 \cdot 10^9$ років	1,33
Ванадій (^{50}V)	$6,0 \cdot 10^{15}$ років	0,78
Залізо (^{55}Fe)	4 роки	0,22

Таблиця 4.

Коефіцієнти перетворення деяких фізичних величин

Енергія перетворення маси	с^2	931,48 МеВ/а.о.м. або $8,99 \cdot 10^{16}$ Дж/кг
Джоуль	Дж	10^7 ерг
Електронвольт	eВ	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж або $1,6 \cdot 10^{-12}$ ерг

Таблиця 5. Основні фізичні величини, які використовуються в радіаційній біофізиці, та їх одиниці.

Фізична величина	Одиниця, її назва, позначення (міжнародне, українське)		Співвідношення між одиницями	
	Позасистемна	СІ	Позасистемною і СІ	СІ
Активність нукліда в радіоактивному джерелі	Кюрі (Сі, Кі)	Бекерель (Вб, Бк)	$1 \text{ Кі} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$	$1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Кі}$
Експозиційна, доза випромінювання	Рентген (R, Р)	Кулон на кілограм (C/kg, Кл/кг)	$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$	$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$
Потужність експозиційної дози випромінювання	Рентген за секунду (R/s, Р/с)	Ампер на кілограм (A/kg, А/кг)	$1 \text{ Р/с} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ А/кг}$	$1 \text{ А/кг} = 3876 \text{ Р/с}$
Поглинута доза випромінювання	Рад (rad, рад)	Грей (Gy, Гр)	$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$	$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$
Потужність поглинутої дози випромінювання	Рад за секунду (rad/s, рад/с)	Грей за секунду (Gy/s, Гр/с)	$1 \text{ рад/с} = 0,01 \text{ Гр/с}$	$1 \text{ Гр/с} = 100 \text{ рад/с}$
Інтегральна доза випромінювання	Рад-грам (rad-g, рад-г)	Джоуль (J, Дж)	$1 \text{ рад-г} = 10^{-5} \text{ Дж}$	$1 \text{ Дж} = 10^5 \text{ рад-г}$
Еквівалентна доза випромінювання	Бер (rem, бер)	Зіверт (Sv, Зв)	$1 \text{ бер} = 0,01 \text{ Зв}$	$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}$
Потужність еквівалентної дози випромінювання	Бер за секунду (rem/s, бер/с)	Зіверт за секунду (Sv/s, Зв/с)	$1 \text{ бер/с} = 0,01 \text{ Зв/с}$	$1 \text{ Зв/с} = 100 \text{ бер/с}$