МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА
ФАКУЛЬТЕТ ХІМІЇ ТА ФАРМАЦІЇ

Т. О. Кіосе, Л. А. Раскола

РАДІОХІМІЯ З ОСНОВАМИ РАДІОЕКОЛОГІЇ. РАДІАЦІЙНИЙ ВПЛИВ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ′ЄКТИ

ПРАКТИКУМ
до практичних робіт для студентів
факультету хімії та фармації

ОДЕСА
ОНУ
2022

УДК 544.58(075.8)
К419

Рекомендовано науково-методичною радою
ОНУ імені І. І. Мечникова.
Протокол № 6 від 09.12.2021 р.

Рецензенти:

В. О. Гельмбольдт – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри фармацевтичної хімії Одеського національного медичного університету;

О. В. Перлова – кандидат хімічних наук, доцент кафедри фізичної та колоїдної хімії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

Кіосе Т. О.

К419 Радіохімія з основами радіоекології. Радіаційний вплив на біологічні об′єкти: практикум для студентів факультету хімії та фармації / Т. О. Кіосе, Л. А. Раскола – *Одеса: Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова*, 2022. – 141 с.

ISBN 978-617-689-528-2

Практикум призначений для організації аудиторної і самостійної роботи на практичних заняттях з курсів «Радіохімія з основами радіоекології» та «Радіаційний вплив на біологічні об′єкти». Він містить тестові завдання, питання для самоконтролю, приклади розв'язання типових задач и довідкові матеріали.

Може бути рекомендований для студентів природничих факультетів, які навчаються за спеціальністю 102 «Хімія» та 014 «Середня освіта».

УДК 544.58(075.8)

ISBN 978-617-689-528-2

© Кіосе Т. О., Раскола Л. А., 2022
© Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП…….…….. 4

1. Склад та будова атомного ядра…….……... 6

Тестові завдання…….…….. 6

Зразки розв’язання типових завдань……..……. 16

Задачі для самостійного розв’язання…….……. 19

Контрольні питання для підготовки до заняття……..… 22

2. Радіоактивність…… 23

Тестові завдання……..…….. 23

Зразки розв’язання типових завдань……..……. 38

Задачі для самостійного розв’язання……..……. 44

Контрольні питання для підготовки до заняття……..…… 53

3. Взаємодія ядерного випромінювання з речовиною…….. 54

Тестові завдання……..…….. 54

Зразки розв’язання типових завдань……...…. 65

Задачі для самостійного розв’язання……..…. 69

Контрольні питання для підготовки до заняття……..… 73

4. Ядерні реакції……... 74

Тестові завдання……..... 74

Зразки розв’язання типових завдань……...…. 86

Задачі для самостійного розв’язання……..……. 88

Контрольні питання для підготовки до заняття……..… 90

5. Методи вимірювання радіоактивності у навколишньому середовищі…….. 91

Тестові завдання……..…….. 91

Приклади розв’язання типових завдань……..… 105

Задачі для самостійного розв’язання……..…… 107

Контрольні питання для підготовки до заняття……..… 111

6. Радіоекологія……. 112

Тестові завдання……. 112

Контрольні питання для підготовки до заняття……..… 126

Список рекомендованої літератури……..…… 127

Додаткові матеріали……..……. 129

ВСТУП

Радіохімія вивчає хімію радіоактивних ізотопів, елементів і речовин, закони їх фізико-хімічної поведінки, хімію ядерних перетворень і супутні їм фізико-хімічні процеси. Одним з основних завдань радіохімії є дослідження хімічних властивостей радіоактивних елементів, що не мають стабільних ізотопів. На цей час предмет, методи та об'єкти дослідження радіохімії дозволяють виділити чотири основні розділи радіохімії: загальна радіохімія, хімія ядерних перетворень, хімія радіоактивних елементів та прикладна радіохімія. Характерними рисами радіохімії, що відрізняють її від інших розділів хімії є: обмеженість часу існування переважної більшості радіоактивних елементів і радіоактивних нуклідів; принципово інша природа процесів, що відбуваються в радіоактивних нуклідах, і обумовлені цим величезні масштаби енергетичних змін; зміна хімічної природи елемента в результаті радіоактивних перетворень. Радіохімія ґрунтується на базових знаннях фізики, неорганічної, фізичної та аналітичної хімії, вищої математики, а також хімії урану, торію та плутонію, і опирається на освоєні при вивченні даних дисциплін знання і вміння.

У результаті вивчення дисципліни «Радіохімія з основами радіоекології» студенти повинні мати комплекс знань і вмінь про найважливіші теоретичні моделі, що використовуються в радіохімії для опису процесів радіоактивного розпаду і синтезу радіонуклідів;, екологічні проблеми сучасної атомної енергетики; теоретичні основи закономірностей дії іонізуючих випромінювань на живі організми та їх угрупування з метою набуття умінь та навичок, пов’язаних із радіаційною безпекою країни та протирадіаційного захисту. Використовувати отримані навички роботи для розв'язання професійних і соціальних завдань.

Запропонований практикум, складений викладачами кафедри неорганічної хімії та хімічної освіти Одеського національного університету імені І. І. Мечникова та призначений для методичного забезпечення аудиторної й самостійної роботи студентів над

матеріалом з метою самоконтролю, поглиблення знань, формування умінь і навичок для підготовки до практичних занять. Практикум розрахований для студентів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальностей 102 «Хімія» «014.06 Середня освіта (ХІМІЯ)».

В практикумі надані тестові завдання, розв′язання типових та задач підвищеної складності за темами: склад та будова атомного ядра, радіоактивність, взаємодія ядерного випромінювання з речовиною; ядерні реакції, методи вимірювання радіоактивності у навколишньому середовищі та радіоекологія. Після кожної теми представлені питання для самоконтролю та задачі для самостійного розв′язування. В практикумі також надані довідкові матеріали.

1. СКЛАД ТА БУДОВА АТОМНОГО ЯДРА

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Перекладіть з давньогрецького слово «атом».
   А) малий;
   Б) простий;
   В) неділимий;
   Г) твердий.
2. З яких елементарних частинок складається атомне ядро?
   А) протонів і нейтронів;
   Б) протонів і електронів;
   В) нейтронів і електронів;
   Г) нейтронів і позитронів.
3. Хто з вчених вперше відкрив явище радіоактивності?
   А) Томсон Д.;
   Б) Резерфорд Е.;
   В) Беккерель А.;
   Г) Ейнштейн А.
4. Наприкінці XIX – початку XX століття було відкрито явище радіоактивного розпаду, в ході якого з ядра вилітали α-частинки. Ці факти дозволили висунути гіпотезу.
   А: про складну будову атома;
   Б: про можливість перетворення одних елементів в інші.
   А) тільки А;
   Б) тільки Б;
   В) як А, так і Б;
   Г) ані А, ані Б.
5. «Атом є кулею, по всьому об’єму якої рівномірно розподілений позитивний заряд. Всередині цієї кулі знаходяться електрони. Кожен електрон може здійснювати коливальні рухи. Позитивний заряд кулі дорівнює за модулем сумарному негативному заряду електронів, тому електричний заряд атома загалом дорівнює нулю». Хто з вчених запропонував таку модель будови атома?
   А) Томсон Д.;
   Б) Резерфорд Е.;

В) Беккерель А.;
Г) Ейнштейн А.

6. Планетарна модель атома обґрунтована:
А) розрахунками руху небесних тіл;
Б) дослідами з електризації;
В) дослідами з розсіяння α-частинок;
Г) фотографіями атомів в мікроскопі.

7. У досліді Резерфорда α-частинки розсіюються:
А) електростатичним полем ядра атома;
Б) електронною оболонкою атомів мішені;
В) гравітаційним полем ядра атома;
Г) поверхнею мішені.

8. У досліді Резерфорда більшість α-частинок вільно проходить крізь фольгу, практично не відхиляючись від прямолінійних траєкторій, тому що
А) ядро атома має позитивний заряд;
Б) електрони мають негативний заряд;
В) ядро атома має малі (у порівнянні з атомом) розміри;
Г) α-частинки мають більшу (у порівнянні з ядрами атомів) масу.

9. Модель атома Резерфорда описує атом як:
А) однорідне електрично нейтральне тіло дуже малого розміру;
Б) кулю з протонів, оточену шаром електронів;
В) суцільну однорідну позитивно заряджену кулю з вкрапленнями електронів;
Г) позитивно заряджене мале ядро, навколо якого рухаються електрони.

10. Камера Вільсона дозволяє:
А) реєструвати траєкторії швидких частинок;
Б) робити підрахунок числа швидких частинок;
В) вимірювати інтенсивність γ-випромінювання;
Г) прискорювати частинки у вакуумі.

11. Лічильник Гейгера фіксує:
А) масу частинок;
Б) швидкості частинок;

В) число частинок;
Г) заряд частинок.

12. Пристрій, в якому виявлення треків швидких частинок здійснюється за рахунок виникнення бульбашок пари в перегрітій рідині, називається
А) лічильник Гейгера;
Б) камера Вільсона;
В) бульбашкова камера;
Г) товстошарова фотоемульсія.

13. Кому з вчених належить відкриття протона?
А) Томсону Д.;
Б) Резерфорду Е.;
В) Беккерелю А.;
Г) Ейнштейну А.

14. Кому з вчених належить відкриття нейтрона?
А) Томсону Д.;
Б) Резерфорду Е.;
В) Беккерелю А.;
Г) Чедвику Д.

15. Відповідно до сучасних уявлень ядро атома складається з:
А) електронів і протонів;
Б) нейтронів і позитронів;
В) лише протонів;
Г) протонів і нейтронів.

16. Порядковий номер елемента в таблиці хімічних елементів Д.І. Менделєєва дорівнює:
А: числу електронів в атомі;
Б: числу протонів в ядрі;
В: числу нейтронів в ядрі;
Г: числу нуклонів в ядрі.
А) А, Б;
Б) В, Г;
В) А, Г;
Г) А, Б, В, Г.

17. За даними таблиці хімічних елементів Д.І. Менделєєва визначте число протонів в ядрі вольфраму.
   А) 74;
   Б) 110;
   В) 184;
   Г) 258.
18. Масове число елемента в таблиці хімічних елементів Д.І. Менделєєва дорівнює:
   А: числу електронів в атомі;
   Б: числу протонів в ядрі;
   В: числу нейтронів в ядрі;
   Г: числу нуклонів в ядрі.
   А) А, Б;
   Б) В, Г;
   В) Г;
   Г) А, Б, В, Г.
19. За даними таблиці хімічних елементів Д.І. Менделєєва визначте число нуклонів в ядрі полонію.
   А) 84;
   Б) 126;
   В) 210;
   Г) 294.
20. Масове число дорівнює:
   А) сумі числа протонів і нейтронів в ядрі;
   Б) сумі числа протонів і електронів;
   В) сумі числа протонів, нейтронів і електронів;
   Г) різниці між числом нейтронів і протонів в ядрі.
21. Число нейтронів в ядрі атома дорівнює:
   А) числу електронів;
   Б) числу протонів;
   В) різниці між масовим числом і числом протонів;
   Г) сумі числа протонів і електронів в атомі.
22. Чому дорівнює число нейтронів в ядрі урану $^{238}_{92}U$?

А) 254;
Б) 92;
В) 146;
Г) 238.

23. Скільки протонів і нейтронів міститься в ядрі плюмбуму $^{214}_{82}Pb$?

А) 82 протони, 214 нейтронів;
Б) 82 протони, 123 нейтрони;
В) 132 протони, 82 нейтрони;
Г) 214 протонів, 82 нейтрони.

24. Який з рядків таблиці правильно відображає структуру ядра $^{48}_{20}Ca$?

	p – число протонів	*n* – число нейтронів
А)	48	68
Б)	48	20
В)	20	48
Г)	20	28

25. Яке(і) твердження вірне(і)?

А: у ізотопів різні маси атомних ядер;
Б: у ізотопів різні заряди ядер.

А) тільки А;
Б) тільки Б;
В) як А, так і Б;
Г) ані А, ані Б.

26. Яке(і) твердження вірне(і)?

А: ізотопи одного хімічного елемента містять однакову кількість протонів;
Б: ізотопи одного хімічного елемента містять однакову кількість нейтронів.

А) тільки А;
Б) тільки Б;
В) як А, так і Б;
Г) ані А, ані Б.

27. Яке(і) твердження вірне(і)?

А: ізотопи одного хімічного елемента містять однакову кількість протонів;

Б: ізотопи одного хімічного елемента містять різну кількість нейтронів.

А) тільки А;

Б) тільки Б;

В) як А, так і Б;

Г) ані А, ані Б.

28. Серед запропонованих пар хімічних елементів оберіть ті, які є ізотопами.

А) $^{234}_{92}U$ і $^{234}_{90}Th$;

Б) $^{235}_{92}U$ і $^{238}_{92}U$;

В) $^{2}_{1}H$ і $^{4}_{2}He$;

Г) серед запропонованих пар немає ізотопів.

29. Що не є однаковим для ізотопів одного хімічного елементу?

А) кількість електронів;

Б) хімічні властивості;

В) маси ядер;

Г) заряд ядер.

30. Число електронів в атомі дорівнює:

А) числу нейтронів в ядрі;

Б) числу протонів в ядрі;

В) сумарному числу протонів і нейтронів;

Г) різниці між числом протонів і нейтронів.

31. Число протонів в ядрі атома дорівнює:

А) числу електронів;

Б) числу нейтронів;

В) сумарному числу нейтронів і електронів;

Г) різниці між числом нейтронів і електронів.

32. Сумарний заряд електронів в нейтральному атомі:

А) негативний і рівний за модулем заряду ядра;

Б) позитивний і рівний за модулем заряду ядра;

В) може бути позитивним або негативним, але рівним за модулем заряду ядра;
Г) негативний і завжди більший за модулем, ніж заряд ядра.

33. Сумарний заряд протонів в ядрі нейтрального атома:
А) негативний і рівний за модулем сумарному заряду електронів;
Б) позитивний і рівний за модулем сумарному заряду електронів;
В) може бути позитивним або негативним, але рівним за модулем сумарному заряду електронів;
Г) негативний і завжди більший за модулем, ніж сумарний заряд електронів.

34. Сумарний заряд нейтронів в ядрі нейтрального атома:
А) негативний і рівний за модулем сумарному заряду електронів;
Б) позитивний і рівний за модулем сумарному заряду електронів;
В) може бути позитивним або негативним, але рівним за модулем сумарному заряду електронів;
Г) рівний нулю.

35. Чому позитивно заряджені протони, що входять до складу ядер, не відштовхуються один від одного?
А) між ними існує електростатичне тяжіння;
Б) між ними існує ядерна взаємодія;
В) між ними існує магнітна взаємодія;
Г) між ними існує гравітаційна взаємодія.

36. Ядерні сили діють:
А) тільки між протонами;
Б) тільки між нейтронами;
В) між усіма нуклонами;
Г) між протонами та електронами.

37. Яке(і) твердження вірне(і)?
А: ядерні сили тяжіння слабші за електростатичне відштовхування протонів;
Б: ядерні сили короткодіючі, тобто діють на відстанях, порівняних з розмірами ядер.
А) тільки А;
Б) тільки Б;

В) як А, так і Б;
Г) ані А, ані Б.

38. Яке(і) твердження вірне(і)?

А: ядерні сили тяжіння значно перевищують сили електростатичного відштовхування протонів;

Б: ядерні сили короткодіючі, тобто діють на відстанях, порівняних з розмірами ядер.

А) тільки А;
Б) тільки Б;
В) як А, так і Б;
Г) ані А, ані Б.

39. Яке(і) твердження вірне(і)?

А: енергія зв'язку ядра – це енергія, яку необхідно витратити, щоб розщепити ядро на окремі нуклони;

Б: енергія зв'язку ядра – це енергія, яка виділяється під час з'єднання вільних нуклонів у ядро.

А) тільки А;
Б) тільки Б;
В) як А, так і Б;
Г) ані А, ані Б.

40. Хто з вчених відкрив закон взаємозв'язку маси та енергії?

А) Томсон Д.;
Б) Резерфорд Е.;
В) Беккерель А.;
Г) Ейнштейн А.

41. Яка формула виражає закон взаємозв'язку маси та енергії?

А) $E = \frac{m\nu^2}{2}$;
Б) $E = mc^2$;
В) $E = mgh$;
Г) серед відповідей немає правильної.

42. Яке(і) твердження вірне(і)?

А: маса ядра завжди менша за суму мас протонів і нейтронів в цьому ядрі;

Б: маса ядра завжди дорівнює сумі мас протонів і нейтронів в цьому ядрі.

А) тільки А;

Б) тільки Б;

В) як А, так і Б;

Г) ані А, ані Б.

43. Дефект маси знаходиться за формулою?

А) $M = pV$;

Б) $m = \frac{M}{N_A}$;

В) $m = \frac{E}{c^2}$;

Г) $\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_n$

44. За якою формулою можна обчислити енергію зв'язку ядра?

А) $E = \frac{m\nu^2}{2}$;

Б) $\Delta E = \Delta mc^2$;

В) $E = mgh$;

Г) серед відповідей немає правильної.

45. Ядерними називають сили:

А) що утримують нуклони в ядрі;

Б) що утримують електромагнітні сили;

В) що утримують електрони в ядрі;

Г) всі відповіді підходять.

46. Ядерним силам властиво:

А) насиченість;

Б) є центральними;

В) не залежать від орієнтації спінів;

Г) є короткодіючими.

47. Краплинна модель розглядається як крапля з:

А) низькою густиною;

Б) дуже високою густиною;

В) середньою густиною;

Г) дуже низькою густиною.

48. У хмаринній (оболонковій) моделі енергетичні рівні заповнені з урахуванням:
   А) принципу Паулі;
   Б) принципу Ле Шательє;
   В) принципу «зеленої хімії»;
   Г) принципу «мінімальної енергії».
49. Хто вперше ввів поняття про нейтрино?
   А) Гейгер Х.;
   Б) Флеров Г.;
   В) Петржак К.;
   Г) Паулі В.
50. Сили, що утримують нуклони в ядрі, називаються:
   А) атомні;
   Б) ядерні;
   В) короткодіючі;
   Г) молекулярні.
51. Виберіть вірне твердження:
   А) ядерні сили є центральними;
   Б) ядерні сили не залежать від взаємної орієнтації спінів;
   В) ядерні сили є короткодіючими;
   Г) ядерні сили є довгодіючими.
52. Виберіть ряд магічних чисел:
   А) 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14;
   Б) 2, 8, 18, 22, 28, 88;
   В) 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126;
   Г) 4, 16, 40, 56, 100, 164, 252.
53. Ядерні сили являють собою прояв:
   А) міжмолекулярної взаємодії;
   Б) сильної взаємодії;
   В) внутрішньомолекулярної взаємодії;
   Г) Вандерваальсових сил.

ЗРАЗКИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТИПОВИХ ЗАВДАНЬ

Приклад 1. Символ ізотопу елемента $^{238}_{92}E$. Вказати: а) назву елемента; б) число нейтронів і протонів, що утримуються в ядрі; в) число електронів, що утримуються в електронній оболонці атома.

Розв'язання

Заряд ядра атома даного елемента 92 чисельно збігається з номером елемента в Періодичній системі. Елемент № 92 – уран, символ – U.

Число нейтронів у даному ядрі N = A – Z = 238 – 92 = 146.

Відповідь: символ – U; число електронів в атомі дорівнює заряду ядра; у цьому випадку число електронів – 92.

Приклад 2. Визначте, користуючись таблицею Менделєєва, число нейтронів і протонів в атомах платини і урану.

Розв'язання

N = A – Z

$^{195}_{78}Pt$: Z = 78; N = A – Z = 195 – 78 = 117;

$^{238}_{92}U$: Z = 92; N = A – Z = 238 – 92 = 146.

Приклад 3. Розглянемо наступні ядра: ^{14}C, ^{14}N, ^{12}C, ^{13}N. Які з них – ізотопи, які ізотони, які ізобари?

Розв'язання

Ізотопи *- нукліди з однаковими* ***Z****, але різними* ***A*** *і* ***N;***

Ізобари *- нукліди з однаковими* ***A****, але різними* ***Z*** *і* ***N;***

Ізотони *- нукліди з однаковими* ***N****, але різними* ***Z*** *і* ***A.***

^{14}C і ^{12}C – ізотопи C, ^{13}N і ^{14}N – ізотони N, ^{14}C і ^{14}N – ізобари, а ^{12}C і ^{14}N – ізотони.

Приклад 4. Енергетичний ефект термоядерної реакції $^{6}_{3}Li + ^{2}_{1}D = 2^{2}_{1}He$ дорівнює 22,7 МеВ. Точні масові числа ізотопів, що брали участь у ядерній реакції, дорівнюють: Ar(^{2}D) = 2,014102, Ar(^{4}He) = 4,002603. Визначте точне масове число ядра елемента, що утворюється в результаті ядерної реакції.

Розв'язання

Енергетичний ефект ядерної реакції – кількість енергії, що виділяється або поглинається при ядерній реакції, віднесена до одного ядра. Енергетичний ефект реакції визначають зі співвідношення:

$$E = 931{,}5 \cdot \Delta m, \text{ МеВ}$$

де Δ – різниця сум масових чисел до і після реакції (дефект маси).

Отже, $\Delta m = A_r(^6Li) + A_r(^2D) - 2A_r(^4He)$

$$A_r(^6Li) = 2A_r(^4He) - A_r(^2D) + \Delta m$$

Оскільки відомий енергетичний ефект реакції, то можна визначити, чому дорівнює дефект маси в результаті цієї термоядерної реакції:

$$\Delta m = E / 931{,}5 = 22{,}7/931{,}5 = 0{,}02437$$

Точне масове число ^6Li дорівнює

$$Ar(^6Li) = 2 \cdot 4{,}002603 - 2{,}014102 + 0{,}02437 = 6{,}015474 \text{ а.о.м.}$$

Відповідь: $Ar(^6Li) = 6{,}015474$ а.о.м.

Приклад 5. Яку найменшу енергію необхідно витратити, щоб розділити на окремі нуклони ізобарні ядра ^7_3Li ($m_{Li} = 7{,}01601$ а.о.м.) і ^7_4Be ($m_{Be} = 7{,}01693$ а.о.м.)?

Розв'язання

Енергію, яку необхідно витратити, щоб розділити на окремі нуклони ізобарні ядра ^7_3Li і ^7_4Be визначають зі співвідношення:

$$\Delta E = 931{,}5 \cdot \Delta m, \text{ МеВ}$$

$\Delta E_1 = 931{,}5 \cdot (3 \cdot 1{,}00783 + 4 \cdot 1{,}00867 - 7{,}01601) = 931{,}5 \cdot 0{,}4216 = 39{,}2$ МеВ;

$\Delta E_2 = 931{,}5 \cdot (4 \cdot 1{,}00783 + 3 \cdot 1{,}00867 - 7{,}01693) = 931{,}5 \cdot 0{,}04040 = 37{,}6$ МеВ.

Відповідь: $\Delta E_{Li} = 39{,}2$ МеВ; $\Delta E_{Be} = 37{,}6$ МеВ.

Приклад 6. Знайти енергію зв'язку ядер ^3_1H і ^3_2He. Яке з цих ядер є найбільш стійким?

Розв'язання

Енергію зв'язку визначають зі співвідношення:

$$\Delta E = \Delta m \cdot 931{,}5 = \left(Z m_p + N m_n - m_{атома}\right) \cdot 931{,}5, \text{ МеВ}$$

Енергія зв'язку ядра $^{3}_{1}H$ дорівнює:

ΔE_1 = (1,00783 + 2 · 1,00867 – 3,01605) · 931,5 МэВ = 8,5 МэВ;

Енергія зв'язку ядра $^{3}_{2}He$ дорівнює:

ΔE_2 = (1,00783 · 2 + 1,00867 – 3,01603) · 931,5 МэВ = 6,8 МэВ.

Питому енергію зв'язку нуклонів у ядрі визначають за співвідношеннями:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta E_1}{A} = \frac{8{,}5}{3} \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}} = 2{,}83 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}.$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta E_2}{A} = \frac{6{,}3}{3} \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}} = 2{,}1 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}.$$

$$\varepsilon_1 > \varepsilon_2.$$

Обидва ядра містять однакову кількість нуклонів, але ядро $^{3}_{1}H$ є більш стійким, ніж ядро $^{3}_{2}He$, так як до складу $^{3}_{2}He$ (на відміну від $^{3}_{1}H$) входять 2 протони, між якими існують сили кулонівського відштовхування, що зменшує енергію зв'язку ядра.

Приклад 7. Розрахуйте середню відносну атомну масу елемента хлору, знаючи, що в природному хлорі утримується 75,77% (масових) ізотопу $^{35}_{17}Cl$ і 24,23% ізотопу $^{37}_{17}Cl$.

Розв'язання

Середню відносну атомну масу хлору $A_r(Cl)$ складає маса одного моля суміші природних ізотопів. Припустимо, що на частку $^{35}_{17}Cl$ доводиться *x* молей, на частку $^{37}_{17}Cl$ – *y* молів. Тоді

$$x + y = 1$$

$$\frac{35x}{35x + 37y} = 0{,}7577$$

Звідси *x* = 0,77 моль, *y* = 0,23 моль і

$$A_r(_{17}Cl) = 0{,}77 \cdot 35 + 0{,}23 \cdot 37 = 35{,}46 \approx 35{,}5.$$

Зверніть увагу на той факт, що хлор – єдиний у Періодичній таблиці елемент, атомна маса якого ніколи не округляється до цілого числа.

Відповідь: $A_r(_{17}Cl) = 35{,}5$.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

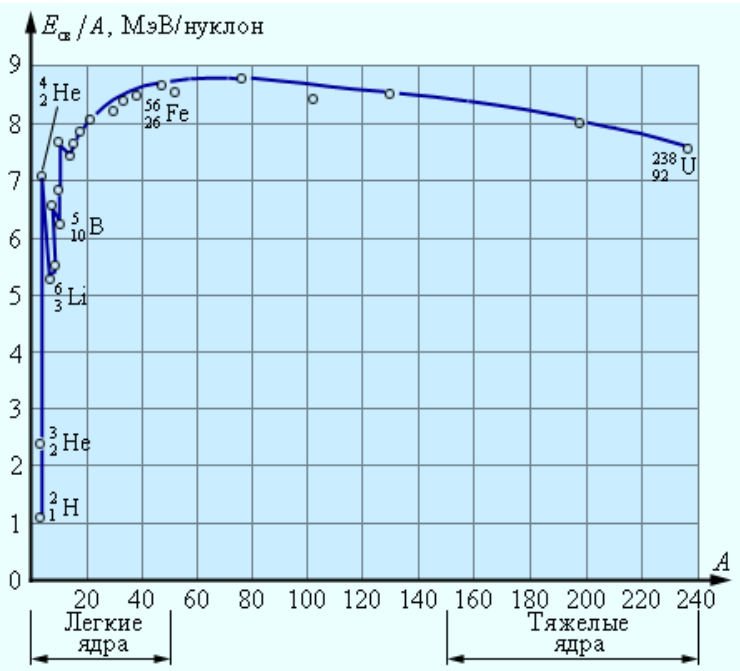
1. Визначити число протонів і нейтронів, що входять до складу ядер трьох ізотопів бору: 1) ${}^{9}_{5}B$; 2) ${}^{10}_{5}B$; 3) ${}^{11}_{5}B$.
2. Визначити число протонів і нейтронів, що входять до складу ядер трьох ізотопів кисню: 1) ${}^{16}_{8}O$; 2) ${}^{17}_{8}O$; 3) ${}^{18}_{8}O$.
3. Визначити зарядові числа ядер, масові числа і символи ядер, які утворяться, якщо в ядрах ${}^{9}_{4}Be$; ${}^{13}_{7}N$; ${}^{23}_{11}Na$ нейтрони замінити протонами, а протони – нейтронами.
4. Відомі чотири стабільні ізотопи барію з масовими числами 135, 136, 137 і 138. Скільки протонів і нейтронів у ядрах кожного з ізотопів?
5. Який атомний номер і приблизна атомна маса елемента, ядро якого складається з 81 протона і 122 нейтронів? Напишіть повне позначення цього нукліда із зазначенням хімічного символу, атомного номера і масового числа.
6. Природний уран складається з суміші ізотопів ${}^{237}U$ (0,005%), ${}^{235}U$ (0,715%), ${}^{238}U$ (99,28%). Знайдіть відносну атомну масу урану.
7. У природній суміші кисню атоми стабільних ізотопів кисню знаходяться у співвідношенні ${}^{16}O$:${}^{17}O$:${}^{18}O$ = 2545:1:5. Чому дорівнює атомна маса кисню, якщо точні масові числа ізотопів: ${}^{16}O$ = 15,994914; ${}^{17}O$ = 16,999133; ${}^{18}O$ = 17,999159.
8. Обчислити число атомів ${}^{237}U$, ${}^{235}U$, ${}^{238}U$, що містяться в N атомах.
9. Обчислити масу атомів U в окремих ядрах ${}^{237}U$, ${}^{235}U$, ${}^{238}U$.
10. Свинець у природі зустрічається у вигляді 4 ізотопів: χ (${}^{204}Pb$) = 0,015, χ (${}^{206}Pb$) = 0,238, χ (${}^{207}Pb$) = 0,226, χ (${}^{208}Pb$) = 0,523. Знайдіть відносну атомну масу свинцю.
11. Обчислити середню відносну атомну масу елемента силіцію, знаючи, що він трапляється у природних сполуках з таким ізотопним вмістом: 92,28% (за масою) ${}^{28}Si$, 4,67% ${}^{29}Si$ і 3,05% ${}^{30}Si$.
12. Природний талій являє собою суміш ізотопів ${}^{203}_{81}Tl$ і ${}^{205}_{81}Tl$. На підставі відносної атомної маси природного талію, що дорівнює 204,38, розрахуйте ізотопний склад талію.

13. Обчислити середню відносну атомну масу елемента купруму, знаючи, що в природній міді міститься 71,87% (за масою) ізотопу $^{63}_{29}Cu$ і 28,13% $^{65}_{29}Cu$.
14. Природний магній складається з ізотопів ^{24}Mg, ^{25}Mg і ^{26}Mg. Обчислити середню атомну масу природного магнію, якщо вміст окремих ізотопів в атомних відсотках відповідно становить 78,6, 10,1 і 11,3.
15. Природний галій складається з ізотопів ^{71}Ga і ^{69}Ga. У якому кількісному співвідношенні перебувають між собою кількості атомів цих ізотопів, якщо середня атомна маса галію дорівнює 69,72?
16. Використовуючи відомі значення мас нейтральних атомів $^{1}_{1}H$, $^{2}_{1}H$, $^{12}_{6}C$ і електрона, визначити маси протона (m_p), дейтрона (m_d) та ядра ($m_я$) $^{12}_{6}C$.
17. Маса m_α альфа-частинки (ядро гелію $^{4}_{2}He$) дорівнює 4,00150 а. о. м. Визначити масу m_a нейтрального атома.
18. Знаючи масу m_a нейтрального атома ізотопу літію $^{7}_{3}Li$ ($m_{Li} = 7{,}01601$ а.о.м), визначити маси m_1, m_2 і m_3 іонів літію: однозарядного $(^{7}_{3}Li)^{+}$, двозарядного $(^{7}_{3}Li)^{++}$ і тризарядного $(^{7}_{3}Li)^{+++}$.
19. Визначити дефект маси Δm і енергію зв'язку $E_{зв}$ ядра атома важкого водню.
20. Визначити енергію $E_{зв}$, яка вивільниться при з'єднанні одного протона і двох нейтронів в атомне ядро.
21. Визначити питому енергію зв'язку $E_{пит}$ ядра $^{12}_{6}C$.
22. Енергія зв'язку $E_{зв}$ ядра, що складається з двох протонів і одного нейтрона, дорівнює 7,72 МеВ. Визначити масу m_a нейтрального атома, що має це ядро.
23. Визначити енергію E, яка виділиться при утворенні з протонів і нейтронів ядер гелію $^{4}_{2}He$ масою 1 грам.
24. Знайти мінімальну енергію E, необхідну для видалення одного протона з ядра азоту $^{14}_{7}N$.

25. Яку найменшу енергію зв'язку E потрібно витратити, щоб розділити ядро $^{4}_{2}He$ на дві однакові частини?
26. Визначити найменшу енергію E, необхідну для поділу ядра вуглецю $^{12}_{6}C$ на три однакові частини.
27. Визначити масу m_a нейтрального атома, якщо ядро цього атома складається з трьох протонів і двох нейтронів, енергія зв'язку $E_{зв}$ ядра дорівнює 26,3 МеВ.
28. На скільки зменшилася енергія атома, якщо при переході з одного енергетичного стану в інший атом випромінює світло довжиною хвилі $6{,}56 \cdot 10^{-7}$ м?
29. Визначити дефект маси і енергію зв'язку ядра атома ^{235}U.
30. Виділяється або поглинається енергія при наступній ядерній реакції: $^{14}N + ^{4}He \rightarrow ^{17}O + ^{1}H$?
31. Обчислити енергію зв'язку ядра літію ^{7}Li. Маса ядра дорівнює 7,01436 а.о.м.
32. Обчислити дефект маси і енергію зв'язку ядра ^{16}C.
33. Обчислити в мегаелектронвольтах енергію ядерної реакції $^{59}Co + ^{1}n \rightarrow ^{60}Co + \gamma$. Виділяється або поглинається енергія при цій реакції?
34. Яку найменшу енергію зв'язку E потрібно витратити, щоб розділити ядро $^{30}_{15}P$ на три однакові частини?
35. Обчислити дефект маси, енергію зв'язку і питому енергію зв'язку ядра $^{7}_{4}Be$.
36. Обчислити дефект маси і енергію зв'язку ядра $^{11}_{6}C$.
37. Знайти питому енергію зв'язку нуклонів в ядрах $^{238}_{92}U$ і $^{56}_{27}Co$. Ядро якого елемента найбільш стійке?
38. Знайти питому енергію зв'язку нуклонів в ядрах $^{232}_{90}Th$ і $^{210}_{84}Po$. Ядро якого елемента найбільш стійке?
39. Знайти енергію зв'язку на один нуклон в ядрі $^{16}_{8}O$.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ЗАНЯТТЯ

1. Назвіть склад атома і ядра атома. Охарактеризуйте елементарні частинки, з яких складається ядро.
2. Який знак заряду ядра? Як визначити заряд ядра?
3. Як символічно записати ядро? Що визначають A, Z, X?
4. Як знайти число протонів і нейтронів в ядрі? Наведіть приклади.
5. Дайте визначення і наведіть приклади ізотопів, нуклідів.
6. Що називається надлишком (дефектом) маси, як його визначити?
7. Дайте визначення енергії зв'язку ядра, запишіть вираз, що визначає енергію зв'язку ядра. Що таке питома енергія зв'язку?
8. В яких одиницях прийнято вимірювати в ядерній фізиці масу ядра? Дайте визначення цієї одиниці.
9. В яких одиницях в ядерній фізиці прийнято вимірювати енергію? Дайте визначення цієї одиниці.
10. Запишіть формулу, яка визначає енергію відокремлення одного нуклона (протона або нейтрона) від ядра.
11. Які ядра називаються стабільними?
12. Проаналізуйте графік залежності питомої енергії зв'язку від масового числа:



а) як змінюється величина питомої енергії зв'язку для легких ядер зі зміною масового числа?

б) які ядра мають найбільшу відносну стійкість, які значення приймає для них масове число?

в) як змінюється питома енергія зв'язку при $A > 100$?

г) які два шляхи отримання ядерної енергії випливають з графіка $\varepsilon = f\ (A)$?

2. РАДІОАКТИВНІСТЬ
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Що таке α-випромінювання?
   А) потік ядер гелію;
   Б) потік протонів;
   В) потік електронів;
   Г) електромагнітні хвилі великої частоти.
2. Що таке β-випромінювання?
   А) вторинне радіоактивне випромінювання з початку ланцюгової реакції;
   Б) потік нейтронів, що утворюються у ланцюговій реакції;
   В) електромагнітні хвилі;
   Г) потік електронів.
3. Що таке γ-випромінювання?
   А) потік ядер гелію;
   Б) потік протонів;
   В) потік електронів;
   Г) електромагнітні хвилі великої частоти.
4. Нейтрино – незаряджена елементарна частинка, що має масу спокою:
   А) близьку до нуля;
   Б) близьку до одиниці;
   В) рівну одиниці;
   Г) немає правильної відповіді.
5. Електронний бета-розпад може супроводжуватися:
   А) виділенням енергії;
   Б) альфа-випромінюванням;
   В) гамма-випромінюванням;
   Г) виділенням нейтронів.
6. Зворотний процес перетворення протона в нейтрон у вільному стані:
   А) можливий, тому що маса нейтрона більша за масу протона;
   Б) неможливий, тому що маса нейтрона більша за масу протона;
   В) можливий, тому що маса нейтрона менша за масу протона;

Г) неможливий, тому що маса нейтрона менша за масу протона.

7. Одиницею активності в СІ є:

А) Фарадей (F);

Б) Беккерель (Бк);

В) Вебер (Вб);

Г) Тесла (Тл).

8. Постійна розпаду λ не залежить від:

А) порядкового номера елемента;

Б) числа нуклонів;

В) числа електронів;

Г) кількості хімічного елемента.

9. Швидкість радіоактивного розпаду $\frac{dN}{dt}$ називається:

А) відносною радіоактивністю;

Б) абсолютною радіоактивністю;

В) періодом напіврозпаду;

Г) немає правильної відповіді.

10. Такий стан системи, коли співвідношення материнського і дочірнього ядер не змінюється з проміжком часу, називається:

А) періодом напіврозпаду;

Б) радіоактивною рівновагою;

В) постійною розпаду;

Г) бета-розпадом.

11. Яке радіоактивне сімейство не було знайдено в природі через відносно короткий період напіврозпаду?

А) ряд торію;

Б) ряд урану;

В) ряд нептунію;

Г) ряд актинію.

12. Що сформулювали у 1913 році Содді та Фаянс?

А) закон радіоактивного розпаду;

Б) правило зсуву при різних видах радіоактивного розпаду;

В) правило відхилення частинок у електромагнітному полі;

Г) немає правильної відповіді.

13. При α-розпаді:
   А) виникає ізотоп елемента, що зміщений на 2 позиції вправо в періодичній системі;
   Б) виникає ізотоп елемента, що зміщений на 1 позицію вправо в періодичній системі;
   В) виникає ізотоп елемента, що зміщений на 2 позиції вліво в періодичній системі;
   Г) виникає ізотоп елемента, що зміщений на 1 позицію вліво в періодичній системі.
14. При β^--розпаді:
   А) виникає ізотоп елемента, що зміщений на 2 позиції вправо в періодичній системі;
   Б) виникає ізотоп елемента, що зміщений на 1 позицію вправо в періодичній системі;
   В) виникає ізотоп елемента, що зміщений на 2 позиції вліво в періодичній системі;
   Г) виникає ізотоп елемента, що зміщений на 1 позицію вліво в періодичній системі.
15. Вперше поняття про «нейтрино» ввів:
   А) Фаянс;
   Б) Содді;
   В) Паулі;
   Г) Резерфорд.
16. Позитронний розпад може відбуватися, якщо:
   А) різниця енергій в кінцевому та вихідному станах > 1,02 мев;
   Б) різниця енергій в кінцевому та вихідному станах > 0,51 мев;
   В) різниця енергій в кінцевому та вихідному станах < 1,02 мев;
   Г) різниця енергій в кінцевому та вихідному станах < 0,51 мев.
17. Для ядер важких елементів з нестачею нейтронів (нейтронодефіцитне ядро) перетворення протонів в нейтрони відбувається лише за механізмом:
   А) β^-;
   Б) β^+;
   В) $K_{захопл}$;

Г) немає правильної відповіді.

18. Рівняння радіоактивного розпаду має вигляд:

А) $-dN/dt=\lambda N$;

Б) $dN = dt/\lambda N$;

В) $dt = dN$;

Г) $\lambda N = -dt/dN$.

19. Радіоактивні нукліди, що виникають один за одним внаслідок розпаду однієї материнської речовини, утворюють:

А) стабільний елемент;

Б) радіоактивне сімейство;

В) радіоактивний елемент;

Г) дочірню речовину.

20. Протон несе:

А) негативний заряд;

Б) позитивний заряд;

В) протон не несе електричного заряду;

Г) тут немає правильної відповіді.

21. Ізотопами називають нукліди, які мають:

А) однакові числа нейтронів;

Б) однакові числа електронів;

В) різні числа протонів;

Г) однакові числа протонів.

22. Радіоактивний розпад в загальному вигляді можна записати:

А) $B \rightarrow A+X+\Delta E$;

Б) $A \rightarrow B+X$;

В) $A \rightarrow B + X + \Delta E$;

Г) $B \rightarrow A$.

23. Вкажіть риси α-випромінювань:

А) висока іонізуюча здатність;

Б) висока енергетична здатність;

В) відхиляються енергетичними і магнітними полями;

Г) мала проникаюча здатність.

24. Сильні взаємодії забезпечують зв’язок нуклонів у:

А) нейтроні;
Б) ядрі;
В) електромагнітному просторі;
Г) тут немає правильної відповіді.

25. До нуклонів відносяться:
А) протони та нейтрони;
Б) нейтрони та електрони;
В) тільки нейтрони;
Г) тільки протони.

26. Нукліди з однаковим числом нейтронів і різним числом протонів називаються:
А) ізобарами;
Б) ізотонами;
В) ізотопами;
Г) адронами.

27. Кванти, які беруть участь в електромагнітних взаємодіях, називаються:
А) лептони;
Б) фотони;
В) адрони;
Г) ізотопи.

28. Адрони з нульовим або цілочисельним спіном називаються:
А) дефектом маси;
Б) лептонами;
В) квантами;
Г) мезонами.

29. Постійна розпаду λ і середній час життя τ радіоактивного елемента залежать від:
А) його порядкового номера та числа нуклонів;
Б) кількості радіоактивного елемента;
В) температури та тиску навколишнього середовища;
Г) порядкового номера, числа нуклонів та кількості радіоактивного елемента.

30. Число радіоактивних ядер, що не розпалися (залишилися) після закінчення проміжку часу *t*, дорівнюватиме:
   А) $N_t = N_0(1 - e^{-\lambda t})$;
   Б) $N_t = 1 - N_0 e^{-\lambda t}$;
   В) $N_t = 1 - N_0 e^{-\lambda t}$;
   Г) $N_t = N_0(1 - e^{-\lambda t})$.
31. Правило десяти періодів напіврозпаду являє собою:
   А) проміжок часу, протягом якого розпадається половина наявної кількості ядер даного ізотопу;
   Б) проміжок часу, коли практично вся речовина розпадеться;
   В) ступінь розпаду радіоактивної речовини за проміжок часу;
   Г) проміжок часу, коли розпадається десята частина речовини.
32. Радіоактивною рівновагою або віковою рівновагою називають:
   А) стан системи, при якому кількість ядер материнської речовини дорівнює кількості ядер дочірньої;
   Б) стан системи після першого радіоактивного розпаду з утворенням нестабільного нукліда;
   В) стан системи після декількох послідовних радіоактивних розпадів з утворенням нестабільного нукліда;
   Г) стан системи, при якому співвідношення кількості материнського і дочірніх ядер не змінюється з перебігом часу.
33. При β-розпаді новий елемент:
   А) зміщується вправо в Періодичній системі;
   Б) зміщується вліво в Періодичній системі;
   В) зміщується на дві позиції вліво в Періодичній системі;
   Г) не змінює свого положення в Періодичній системі.
34. Для будь-якого члена радіоактивного ряду є справедливим вираз:
   А) $\lambda_1 N_1 \neq \lambda_2 N_2 \neq \lambda_i N_i$;
   Б) $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_i N_i$;
   В) $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 \neq \lambda_i N_i$;
   Г) $\lambda_1 N_1 \neq \lambda_2 N_2$.
35. У 1913 році Содді та Фаянс незалежно один від одного сформулювали:

А) поняття про α- та β-розпад;
Б) теорію радіоактивного розпаду атомів;
В) правило зсуву при різних видах радіоактивного розпаду;
Г) поняття про γ-випромінювання.

36. Енергетична умова самовільного α-розпаду може бути записана як:
А) ${}^{4}_{z}MC^2 > {}^{A-4}_{z-2}MC^2 + m_\alpha C^2$;
Б) ${}^{4}_{z}MC^2 \leq {}^{A-4}_{z-2}MC^2 + m_\alpha C^2$;
В) ${}^{4}_{z}MC^2 \leq {}^{A-4}_{z-2}MC^2 + m_\alpha C^2$;
Г) ${}^{4}_{z}MC^2 = {}^{A-4}_{z-2}MC^2 + m_\alpha C^2$.

37. Характерною рисою всіх видів β-перетворень є випускання:
А) електрона та протона;
Б) γ-кванта;
В) фотона;
Г) нейтрино υ_e або антинейтрино $\tilde{\upsilon}_e$.

38. Для ядер важких елементів з нестачею нейтронів (нейтронодефіцитне ядро) перетворення протонів в нейтрони відбувається тільки за механізмом:
А) електронного β^- - розпаду;
Б) позитронного β^+ - розпаду;
В) електронного К - захоплення;
Г) електронного β^- - розпаду або позитронного β^+ - розпаду.

39. Гамма-кванти випромінюються:
А) безпосередньо радіоактивною речовиною;
Б) материнським ядром;
В) дочірнім нуклідом, який знаходиться в основному стані;
Г) дочірнім нуклідом, який знаходиться у збудженому стані.

40. Ядро, що перебуває у метастабільному стані, називається:
А) ізомером ядра, що знаходиться у збудженому стані;
Б) ізомером ядра, що знаходиться в основному стані;
В) гомологом ядра, що знаходиться в основному стані;
Г) енантіомером ядра, що знаходиться у збудженому стані.

41. Спонтанний поділ – це процес радіоактивного розпаду, при якому материнське ядро розпадається:

А) у збудженому стані і без будь-якого впливу ззовні на два осколки з близькими масами;
Б) в основному стані під дією впливу зовнішніх сил;
В) в основному стані і без будь-якого впливу ззовні на два осколки з близькими масами;
Г) у збудженому стані під дією впливу зовнішніх сил.

42. Спонтанний поділ добре описується:
А) моделлю рідкої краплі;
Б) моделлю Фермі-газу;
В) оболонковою моделлю;
Г) планетарною моделлю.

43. Кожен акт спонтанного поділу супроводжується випусканням:
А) одного нейтрона;
Б) одного або декількох нейтронів;
В) одного нейтрона та одного протона;
Г) γ-квантів.

44. Від чого залежить середній час життя радіоактивного елемента?
А) від кількості нейтронів;
Б) від його молекулярної маси;
В) від порядкового номеру;
Г) від кількості нуклонів.

45. Що називаюсь абсолютною радіоактивністю?
А) швидкість радіоактивного розпаду dN/dt;
Б) час, за який відбувся радіоактивний розпад;
В) число розпадів за одиницю часу;
Г) кількість ядер, які розпалися в момент часу.

46. Що таке радіоактивні сімейства?
А) стабільні нукліди;
Б) сукупність нуклідів, пов’язаних між собою взаємними радіоактивними перетвореннями;
В) частинки, які утворюються при α-розпаді;
Г) жодної правильної відповіді.

47. Що відбувається при β^--розпаді в радіоактивних сімействах?
А) масові числа змінюються одразу на 4;

Б) заряд ядра змінюється на 2 одиниці;
В) масові числа змінюються на 2 одиниці, а заряд залишається незмінним;
Г) масові числа залишаються незмінними, а заряд збільшується на одиницю.

48. Яка структура масового числа ядра сімейства нептунових?
А) $A = 4n$;
Б) $A = 4n + 1$;
В) $A = 4n + 2$;
Г) $A = 4n + 3$.

49. Яке з рівнянь можна віднести до радіоактивного розпаду?
А) $A \rightarrow B + X + \Delta E$;
Б) $A \rightarrow B + X - \Delta E$;
В) $A \rightarrow BX + \Delta E$;
Г) $A \rightarrow B(X + \Delta E)$.

50. Що собою являє α-розпад?
А) електромагнітну хвилю великої частоти;
Б) потік ядер атома водню;
В) потік швидких електронів;
Г) потік ядер атомів гелію.

51. Яка залежність між періодом напіврозпаду та α-частинками?
А) чим менше період напіврозпаду, тим більша енергія α-частинок;
Б) чим менше період напіврозпаду, тим менша енергія α-частинок;
В) чим більше період напіврозпаду, тим більша енергія α-частинок;
Г) зв'язку між періодом напіврозпаду та α-частинками немає.

52. Який з видів розпаду не відноситься до β-розпаду?
А) електронний β^- - розпад;
Б) позитронний β^+- розпад;
В) електронне К - захоплення;
Г) позитронне К - захоплення.

53. Що таке нейтрино?
А) незаряджена елементарна частинка, яка має масу покою, близьку до нуля;

Б) частинка, яка має невеликий заряд;
В) заряджена частинка, яка бере участь у слабкому і гравітаційному впливі;
Г) нейтральна фундаментальна частинка з цілим спіном.

54. За яких умов може відбуватися позитронний розпад?
А) коли енергія в кінцевому і вихідному станах залишається незмінною;
Б) коли різниця енергій в кінцевому та вихідному станах перевищую 1,02 МеВ;
В) коли перетворення протонів і нейтронів відбувається за механізмом К - захоплення;
Г) немає правильного варіанту.

55. Що таке спонтанне ділення?
А) ділення ядер, яке відбувається без зовнішнього збудження;
Б) ділення, яке відбувається внаслідок зменшення кількості протонів в ядрі;
В) ділення, кожний акт якого супроводжується випусканням одного або декількох протонів;
Г) ділення, внаслідок якого утворюються нові трансуранові елементи.

56. У результаті зіткнення ядра урану із частинкою відбувся поділ ядра урану, що супроводжується випромінюванням γ-квантів відповідно до рівняння:

$$^{Y}_{X}Z + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{94}_{36}Kr + ^{139}_{56}Ba + 3^{1}_{0}n + 5\gamma$$

Ядро урану зіткнулося з
А) протоном;
Б) електроном;
В) нейтроном;
Г) α-частинкою.

57. У результаті реакції синтезу ядра дейтерію з ядром $^{Y}_{X}Z$ утворюється ядро бору і нейтрон відповідно до рівняння реакції

$$^{2}_{1}H + ^{Y}_{X}Z \rightarrow ^{10}_{5}Ba + ^{1}_{0}n$$

Які значення мають масове число X і заряд Y (в одиницях елементарного заряду) ядра, що вступило у реакцію з дейтерієм?

А) X =11, Y =5;

Б) X =10, Y =5;

В) X = 9, Y = 4;

Г) X =10, Y =4.

58. Ядро ізотопу торію $^{232}_{90}$Th зазнає α-розпаду, потім двох електронних β-розпадів і ще одного α-розпаду. Після цих перетворень утворюється ядро

А) францію $^{223}_{87}$Fr;

Б) радону $^{222}_{\mathbf{86}}$Rn;

В) полонію $^{209}_{84}$Po;

Г) радію $^{224}_{88}$Ra.

59. У зразку, що містить ізотоп нептунію $^{237}_{93}$Np перебігає реакція його перетворення на уран $^{237}_{93}\text{Np} \rightarrow {}^{233}_{91}\text{Pa} \rightarrow {}^{233}_{92}\text{U}$. При цьому реєструються наступні види радіоактивного випромінювання:

А) лише α-частинки;

Б) лише β-частинки;

В) як α-, так і β-частинки одночасно;

Г) лише γ-частинки.

60. У результаті серії радіоактивних розпадів уран $^{238}_{92}$U перетворюється на плюмбум $^{206}_{82}Pb$. Яку кількість α- і β-розпадів він при цьому зазнає?

А) 8 α- і 6 β-розпадів;

Б) 6 α- і 8 β-розпадів;

В) 10 α- і 5 β-розпадів;

Г) 5 α- і 10 β-розпадів.

61. Радіоактивний уран $^{235}_{92}$U, що зазнав 7 α-розпадів і 4 β-розпадів, перетворився на ізотоп

А) плюмбуму $^{208}_{82}Pb$;

Б) полонію $^{210}_{82}$Pb;

В) плюмбуму $^{207}_{82}$Pb;

Г) бісмуту $^{209}_{83}Bi$.

62. Радіоактивний торій $^{232}_{90}Th$, що зазнав 6 α-розпадів і 4 β-розпадів, перетворився на ізотоп

А) плюмбуму $^{208}_{82}Pb$;

Б) полонію $^{210}_{84}Po$;

В) плюмбуму $^{207}_{82}Pb$;

Г) бісмуту $^{209}_{83}Bi$.

63. Радіоактивний полоній $^{214}_{84}Po$, що зазнав 1 α-розпаду і 2 β-розпадів, перетворився на ізотоп

А) плюмбуму $^{208}_{82}Pb$;

Б) полонію $^{210}_{84}Po$;

В) плюмбуму $^{207}_{82}Pb$;

Г) бісмуту $^{209}_{83}Bi$.

64. Радіоактивний бісмут $^{210}_{83}Bi$, що зазнав 1 α-розпаду і 1 β-розпаду, перетворився на ізотоп

А) плюмбуму $^{208}_{82}Pb$;

Б) полонію $^{210}_{84}Po$;

В) плюмбуму $^{206}_{82}Pb$;

Г) бісмуту $^{209}_{83}Bi$.

65. Яка частинка викликає наступну ядерну реакцію:

$$^{27}_{13}Al + ? \rightarrow {}^{24}_{12}Mg + {}^{4}_{2}He?$$

А) $^{4}_{2}He$;

Б) $^{1}_{0}n$;

В) $^{1}_{1}H$;

Г) γ.

66. Яке рівняння суперечить закону збереження заряду в ядерних реакціях?

А) $^{12}_{7}N \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{0}_{1}e + \upsilon_e$;

Б) $^{11}_{7}N \rightarrow {}^{11}_{6}C + {}^{0}_{1}e + \upsilon_e$;

В) $^{6}_{3}Li + {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{3}_{2}He$;

Г) $^{9}_{4}Be + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{10}_{7}N + {}^{1}_{0}n$.

67. Ядро $^{238}_{92}U$ зазнало кількох α- і β-розпадів. У результаті утворилося ядро $^{206}_{82}Pb$. Визначити число α-розпадів:

А) 32;

Б) 10;

В) 8;

Г) 5.

68. Яке рівняння суперечить закону збереження масового числа в ядерних реакціях?

А) $^{12}_{7}N \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{0}_{1}e + \upsilon_e$;

Б) $^{11}_{7}N \rightarrow {}^{11}_{6}C + {}^{0}_{1}e + \upsilon_e$;

В) $^{11}_{6}C \rightarrow {}^{10}_{5}B + {}^{3}_{2}He + \upsilon_e$;

Г) $^{9}_{4}Be + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{10}_{5}N + {}^{1}_{0}n$.

69. Радіоактивний уран $^{236}_{92}U$, що зазнав 7 α-розпадів і 4 β-розпадів, перетворився на ізотоп

А) плюмбуму $^{208}_{82}Pb$;

Б) полонію $^{210}_{84}Po$;

В) плюмбуму $^{206}_{82}Pb$;

Г) бісмуту $^{209}_{83}Bi$.

70. Радіоактивний плутоній $^{244}_{94}Pu$, що зазнав 8 α-розпадів і 5 β-розпадів, перетворився на ізотоп

А) плутонію $^{240}_{94}Pu$;

Б) торію $^{228}_{90}Th$;

В) бісмуту $^{212}_{83}Bi$;

Г) бісмуту $^{209}_{94}Bi$.

71. Радіоактивний каліфорній $^{252}_{98}Cf$, що зазнав 3 α-розпадів і 2 β-розпадів, перетворився на ізотоп

А) плутонію $^{240}_{94}Pu$;

Б) торію $^{228}_{90}Th$;

В) бісмуту $^{212}_{83}Bi$;

Г) бісмуту $^{209}_{94}Bi$.

72. Сума мас ядра ізотопу оксигену $^{18}_{8}O$ і протона $^{1}_{1}p$ менше суми мас ядра ізотопу флуору $^{18}_{9}F$ і нейтрона $^{1}_{0}n$. Чи можлива в принципі ядерна реакція $^{18}_{8}O + ^{1}_{1}p \rightarrow ^{18}_{9}F + ^{1}_{0}n$?

А) неможлива;

Б) можлива тільки з поглинанням енергії;

В) можлива тільки з виділенням енергії;

Г) можлива як з поглинанням енергії, так і з виділенням енергії.

73. Ізотоп $^{226}_{88}Ra$ перетворився на ізотоп $^{206}_{82}Pb$. При цьому відбулося

А) 5 α-розпадів і 4 β-розпади;

Б) 4 α-розпади і 3 β- розпади;

В) 2 α-розпади і 2 β-розпади;

Г) 2 α-розпади і 3 β- розпади.

74. У результаті зіткнення α-частинки з ядром атома нітрогену відбулася ядерна реакція: $^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow X + ^{1}_{1}H$. Ядро якого ізотопу X було отримано в цій реакції?

А) $^{17}_{8}O$;

Б) $^{16}_{8}O$;

В) $^{20}_{10}Ne$;

Г) $^{19}_{9}F$.

75. У результаті зіткнення α-частинки з ядром атома берилію $^{9}_{4}Be$ утворилося ядро атома карбону $^{12}_{6}C$ і звільнилася якась елементарна частинка. Ця частинка?

А) нейтрон;

Б) протон;

В) електрон;

Г) нейтрино.

76. Вкажіть другий продукт ядерної реакції: $^{7}_{3}N + ^{1}_{1}H \rightarrow X + ^{4}_{2}He$.

А) $^{1}_{0}n$;

Б) $^{0}_{1}e$;

В) $^{1}_{1}H$;

Г) $^{4}_{2}He$.

77. Чи зміниться маса системи з одного вільного протона та одного вільного нейтрона після їх сполучення в атомне ядро?

А) не зміниться;

Б) збільшиться;

В) зменшиться;

Г) спочатку збільшиться, потім повернеться до початкового значення.

78. Які ядра і частинки можуть бути продуктами радіоактивного розпаду ядра $^{238}_{92}U$?

А) $^{234}_{90}Th$ і нейтрон;

Б) $^{234}_{90}Th$ і протон;

В) $^{234}_{90}Th$ і β-частинка;

Г) $^{234}_{90}Th$ і α-частинка.

79. У скільки разів число протонів у ядрі ізотопу плутонію $^{235}_{94}Pu$ перевищує число нуклонів у ядрі ізотопу ванадію $^{47}_{23}V$?

А) 4,1;

Б) 10,2;

В) 5;

Г) 2.

80. Яке значення має масове число ядра X у реакції $^{241}_{95}Am + ^{4}_{2}He \rightarrow X + ^{1}_{0}n$.

А) 95;

Б) 243;

В) 97;

Г) 244.

ЗРАЗКИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТИПОВИХ ЗАВДАНЬ

Приклад 1. 1 г радію виділяє $3{,}6\cdot10^{10}$ α-частинок в секунду. Обчисліть константу розпаду λ.

Розв'язання

Атом радію втрачає α-частинку, перетворюючись при цьому в радон: ${}^{226}_{88}\mathrm{Ra}\rightarrow{}^{222}_{86}\mathrm{Rn}+{}^{4}_{2}\alpha$.

1 г радію містить $\frac{6{,}02\cdot10^{23}}{226}$ атомів радію. Константа розпаду радію уявляє собою відношення числа атомів радію, що розпадаються в одиницю часу, до наявного їх числа, тобто

$$\lambda=\frac{N}{N_0}=\frac{3{,}6\cdot10^{10}\cdot226}{6{,}02\cdot10^{23}}=1{,}35\cdot10^{-11}$$ (в 1 с) або $1{,}35\cdot10^{-11}$ $с^{-1}$.

Якщо константу розпаду радію віднести до року, то вона виразиться числом

$1{,}35\cdot10^{-11}\cdot365\cdot24\cdot3600=4{,}27\cdot10^{-4}$ (на рік) або $4{,}27\cdot10^{-4}$ $рік^{-1}$.

Відповідь: $\lambda=1{,}35\cdot10^{-11}$ $с^{-1}$ або $4{,}27\cdot10^{-4}$ $рік^{-1}$.

Приклад 2. Константа радіоактивного розпаду λ радіоізотопу ${}^{35}S$ дорівнює $9{,}21\cdot10^{-8}$ $с^{-1}$. Визначте період напіврозпаду і середню тривалість життя.

Розв'язання

Згідно із законом радіоактивного розпаду швидкість радіоактивного розпаду ізотопу пропорційна загальному числу атомів цього ізотопу. Математично цей закон виражається співвідношенням: $Nt=N_0e^{-\lambda t}$. На основі закону радіоактивного розпаду встановлюється взаємозв'язок між основними константами радіоізотопу $T_{1/2}$, λ і τ. Константа радіоактивного розпаду λ радіоізотопу з періодом напіврозпаду $T_{1/2}$ і середня тривалість життя τ пов'язані співвідношенням:

$$T_{1/2}=\frac{0{,}693}{\lambda}=0{,}693\cdot\tau.$$

Період напіврозпаду $T_{1/2}$ – час, впродовж якого розпадається половина вихідної кількості радіоізотопу:

$$T_{1/2}=\frac{0{,}693}{9{,}21\cdot10^{-8}}=0{,}075\cdot10^{8}\ с=0{,}075\cdot10^{8}/3600=2{,}08\cdot10^{3}\ років.$$

Середня тривалість життя радіоізотопу $\tau = 1/\lambda$, τ – час, необхідний для повного розкладу будь-якої кількості радіоізотопу при постійній швидкості розпаду:

$$\tau = 1/\lambda = 1/9{,}21\cdot10^{-8}\ c^{-1} = 0{,}108\cdot10^{8}\ c = 3{,}02\cdot10^{3}\ год$$

Відповідь: $T_{1/2} = 0{,}075\cdot10^{8}$ с ($2{,}08\cdot10^{3}$ год); $\tau = 0{,}108\cdot10^{8}$ с ($3{,}02\cdot10^{3}$ год).

Приклад 3. Константа розпаду торію становить $5\cdot10^{-11}$ за рік. Скільки α-частинок викидає в секунду 0,1 г торію?

Розв'язання

Константа розпаду торію становить $5\cdot10^{-11}$ (за рік) або

$$5\cdot10^{-11}\cdot 365\cdot 24\cdot 3600 = 5\cdot10^{-11}\cdot 31{,}5\cdot 10^{6} = 1{,}58\cdot10^{-18}\ (за\ 1\ с).$$

Число атомів, що утримуються в 0,1 г торію, становить $\frac{0{,}1\cdot 6{,}02\cdot10^{23}}{232} = 2{,}6\cdot10^{20}$ і, отже, у секунду розпадається $2{,}6\cdot10^{20}\cdot 1{,}58\cdot10^{-18} = 410$ атомів, що відповідає числу виділених α-частинок.

Відповідь: 410 атомів.

Приклад 4. Період напіврозпаду радіоізотопу дорівнює 14 добам. Скільки атомів цього радіоізотопу розпадається за добу, якщо початкове число атомів дорівнює 10^{20}? Скільки відсотків атомів радіоізотопу залишається нерозкладеними?

Розв'язання

З поняття періоду напіврозпаду випливає, що з кожним періодом розпаду кількість ізотопу зменшується у 2 рази. Отже, якщо пройде *n* періодів напіврозпаду, то кількість радіоізотопу зменшиться у 2^{n} разів. Після *n* періодів напіврозпаду нерозкладеним залишиться число атомів радіоізотопу $N_t = N_o\cdot2^{-n}$, де N_t – число атомів радіоізотопу після зберігання впродовж часу t; N_o – початкове число атомів радіоізотопу; n – число періодів напіврозпаду, $n = t/T$.

Аналогічне співвідношення має місце також у випадку вираження кількості радіоізотопу не числом атомів, а в масових одиницях:

$$m_t = m_0\cdot 2^{-n}$$

Для даного конкретного прикладу: $n = t/T_{1/2} = 1/14 = 0{,}07$; $N_0 = 1020$ атомів; $N_t = 10^{20}\cdot 2^{-0{,}07} = 10^{20}\cdot 0{,}952 = 9{,}52\cdot10^{19}$ атомів. Через добу

залишиться $9{,}52\cdot10^{19}$ атомів. За добу розклалося: $10\cdot10^{19} - 9{,}52\cdot10^{19} = 0{,}484\cdot10^{19}$ атомів.

Нерозкладені атоми радіоізотопу становлять

$$[9{,}516\cdot10^{19}/10\cdot10^{19}]\cdot100\% = 95{,}16\%$$

Відповідь: нерозкладені атоми радіоізотопу становлять 95,16 %.

Приклад 5. Константа розпаду радону становить 0,1813 (за добу). Скільки грамів радону залишиться з одного грама його через 10 діб?

Розв'язання

Період напіврозпаду дорівнює: $T_{1/2} = \frac{0{,}693}{\lambda} = \frac{0{,}693}{0{,}1813} = 3{,}822$ (доби).

За час зберігання ізотопу пройшло 2,62 періодів напіврозпаду ($n = t/T_{1/2} = 10{:}3{,}822 = 2{,}62$) тобто $n = 2{,}62$.

Виходячи з формули $m_t = m_0 \cdot (1/2)^n = m_0 \cdot (1/2)^{t/T1/2} = 1 \cdot 0{,}5^{10/3{,}822} = 0{,}163$ г.

Відповідь: $m_t = 0{,}163$ г.

Приклад 6. Скільки грамів радону ($T_{1/2}(Rn) = 3{,}825$ діб) перебувають у рівновазі з 1 г радію ($T_{1/2}(Ra) = 1620$ років)?

Розв'язання

3,825 діб = $\frac{3{,}825}{365} = 0{,}0105$ року.

$\frac{T_{1/2\,Ra}}{T_{1/2}} = \frac{N_{Ra}}{N_{Rn}}$; у величині $\frac{N_{Ra}}{N_{Rn}}$ є співвідношення між кількостями атомів Ra і Rn у стані радіоактивної рівноваги. Це співвідношення можна замінити відношенням кількостей атомів, яке становить $\frac{1}{226}$ для Ra і $\frac{X}{200}$ для Rn, тоді $\frac{1620}{0{,}0105} = \frac{1}{226} : \frac{X}{222}$. Звідси: $X = \frac{0{,}0105\cdot222}{1620\cdot226} = 6{,}4\cdot10^{-6}$ г.

Відповідь: $m = 6{,}4\cdot10^{-6}$ г.

Приклад 7. Хімічним аналізом встановлено, що рівноважні маси радію і урану в мінералах останнього відносяться один до одного як $3{,}3\cdot10^{-7}{:}1$. Чи можливо, виходячи з цих даних, знайти період напіврозпаду урану, якщо для радію він дорівнює 1600 років?

Розв'язання

Рівноважний стан у радіоактивних ядрах виражається рівнянням: $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_i N_i = \cdots = const$, де λ_i і N_i – постійна розпаду і число ядер *i*-того члена радіоактивного сімейства. Оскільки U і Ra – члени радіоактивного ряду, то для них є правильною рівність $\lambda(U)\cdot N(U) = \lambda(Ra)\cdot N(Ra)$ та, тому що λ і $T_{1/2}$ обернено пропорційні один одному, то $\frac{N(U)}{T_{1/2}(U)} = \frac{N(Ra)}{T_{1/2}(Ra)}$, звідки

$$T_{1/2}(U) = \frac{N(U)\cdot T_{1/2}(Ra)}{N(Ra)} = \frac{1\cdot 1600\cdot 226}{238\cdot 3.3\cdot 10^{-7}} = 4{,}5\cdot 10^9 \text{ років.}$$

Відповідь: $T_{1/2}(U) = 4{,}5\cdot 10^9$ років.

Приклад 8. Закінчити рівняння радіоактивного розпаду

а) ${}^{232}_{90}Th - \alpha \rightarrow$ б) ${}^{239}_{93}Np - \beta^- \rightarrow$

в) ${}^{55}_{27}Co - \beta^+ \rightarrow$ г) ${}^{40}_{19}K$ – К-захоплення $\rightarrow$

Розв'язання

α-розпад і всі три види β-розпаду зводяться до наступних видів взаємного перетворення нуклонів у ядрі:

${}^{A}_{Z}X_1 \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}X_2 + {}^{4}_{2}\alpha$ – α-розпад;

${}^{A}_{Z}X_1 \rightarrow {}^{A}_{Z+1}X_2 + \beta^- (n^o \rightarrow p^+ + e^- + \tilde{\upsilon}_e)$ – β^--розпад;

${}^{A}_{Z}X_1 \rightarrow {}^{A}_{Z-1}X_2 + \beta^+ (p^+ \rightarrow n^o + e^+ + \upsilon_e)$ – β^+-розпад;

${}^{A}_{Z}X_1 + \beta^- \rightarrow {}^{A}_{Z-1}X_2 (p^+ + e^- \rightarrow n^o + \upsilon_e)$ – К-захоплення.

Сума масових чисел частинок, що вступають у реакцію, дорівнює сумі масових чисел продуктів реакції, при цьому маси електронів, позитронів і фотонів не враховуються. Суми зарядів частинок, що вступають у реакцію, і частинок-продуктів реакції рівні між собою.

а) ${}^{232}_{90}Th \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{228}_{88}Ra$; б) ${}^{239}_{93}Np \rightarrow {}^{0}_{-1}e^- + {}^{239}_{94}Pn$;

в) ${}^{55}_{27}Co \rightarrow {}^{0}_{1}e^+ + {}^{55}_{26}Fe$; г) ${}^{40}_{19}K + {}^{0}_{-1}e^- \rightarrow {}^{40}_{18}Ar + \gamma$.

Приклад 9. Ядро якого елемента утвориться, якщо ядро ${}^{238}_{92}U$ втратить 8 α-частинок і 6 β-частинок?

Розв'язання

Випускання ядром атома елемента однієї α-частинки призводить до зменшення заряду його ядра на дві одиниці, а масового числа на 4 одиниці. У результаті випускання ядром атома урану 8 α-частинок заряд ядра зменшується на 16, а масове число на 32 одиниці, тобто утворюється елемент, заряд якого дорівнює 92 – 16 = 76, а масове число 238 – 32 = 206.

При випусканні ядром урану 6 β-частинок масове число ядра практично не зміниться, а позитивний заряд ядра зросте на шість одиниць. Отже, елемент, що утворюється при радіоактивному розпаді, має заряд ядра 82, а масове число цього ядра – 206.

Відповідь: $^{238}_{92}\mathrm{U} - 8\alpha - 6\beta \rightarrow {}^{206}_{82}\mathrm{Pb}$.

Приклад 10. Закінчіть рівняння ядерної реакції: $^{53}_{24}Cr + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{1}_{0}n + \cdots$ і запишіть його у повному та скороченому вигляді.

Розв'язання

Запишемо рівняння реакції у вигляді: $^{53}_{24}\mathrm{Cr} + {}^{2}_{1}\mathrm{D} \rightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{A}_{Z}\mathrm{E}$.

Для верхніх індексів: 53 + 2 = 1 + A, тоді A = 54. Для нижніх індексів: 24 + 1 = 0 + Z, звідси Z = 25. Ядро E^{54}_{25}, що утворюється, є ізотопом мангану. Повний запис рівняння реакції:

$$^{53}_{24}\mathrm{Cr} + {}^{2}_{1}\mathrm{D} \rightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{54}_{25}\mathrm{Mn};$$

Повний і короткий запис рівняння ядерної реакції:

$$^{53}_{24}\mathrm{Cr} + {}^{2}_{1}\mathrm{D} \rightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{54}_{25}\mathrm{Mn};$$

Коротка форма запису: вихідне ядро [частинка, що бомбардує, частинка, що вилітає] дочірнє ядро $^{53}_{24}\mathrm{Cr}$ [D,n] $^{54}_{25}\mathrm{Mn}$.

Відповідь: $^{53}_{24}\mathrm{Cr} + {}^{2}_{1}\mathrm{D} \rightarrow {}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{54}_{25}\mathrm{Mn}$; $^{53}_{24}\mathrm{Cr}$ [D,n] $^{54}_{25}\mathrm{Mn}$.

Приклад 11. У результаті бомбардування ядра $^{10}_{5}\mathrm{Be}$ α-частинками воно перетворюються на ядро $^{13}_{7}\mathrm{N}$. Напишіть повне і скорочене рівняння ядерної реакції. Яка вторинна частинка виділяється в результаті цієї реакції?

Розв'язання

Повний запис рівняння ядерної реакції: ${}^{10}_{5}Be + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{13}_{7}N + {}^{1}_{0}n$.

Короткий запис рівняння ядерної реакції: ${}^{10}_{5}Be\ [\alpha, n]\ {}^{13}_{7}N$.

Відповідь: ${}^{10}_{5}Be + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{13}_{7}N + {}^{1}_{0}n$; ${}^{10}_{5}Be\ [\alpha, n]\ {}^{13}_{7}N$.

Приклад 12. Який тип радіоактивного розпаду мав місце в наступних переходах ядер:

а) $Pd^{111} \rightarrow Ag^{111}$;

б) $Os^{185} \rightarrow Ir^{185}$;

в) $At^{216} \rightarrow Bi^{212}$;

г) $Rn^{222} \rightarrow Po^{218}$;

д) $Cu^{62} \rightarrow Ni^{62}$;

е) $Br^{80} \rightarrow Se^{80}$.

Розв'язання

а) ${}^{111}_{46}Pd \rightarrow {}^{111}_{47}Ag + {}^{0}_{-1}e$ – (β^--розпад);

б) ${}^{185}_{76}Os \rightarrow {}^{185}_{77}Ir + {}^{0}_{-1}e$ – (β^--розпад);

в) ${}^{216}_{85}At \rightarrow {}^{212}_{83}Bi + {}^{4}_{2}He$ – (α-розпад);

г) ${}^{222}_{86}Rn \rightarrow {}^{218}_{84}Po + {}^{4}_{2}He$ – (α-розпад);

д) ${}^{62}_{29}Cu \rightarrow {}^{62}_{28}Ni + {}^{0}_{+1}e$ – (β^+-розпад)

або ${}^{62}_{29}Cu + {}^{0}_{-1}e \rightarrow {}^{62}_{28}Ni$ – (К-захоплення);

е) ${}^{80}_{35}Br \rightarrow {}^{80}_{34}Se + {}^{0}_{+1}e$ – (β^+-розпад)

або ${}^{80}_{35}Br + {}^{0}_{-1}e \rightarrow {}^{80}_{34}Se$ – (К-захоплення).

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Період напіврозпаду деякого радіоактивного ізотопу дорівнює 3 годинам. Яка маса його не розпадеться через 18 годин, якщо початкова маса ізотопу складає 200 г?
2. У результаті α-розпаду радій ^{226}Ra перетворюється в радон ^{222}Rn. Який об'єм радону за нормальних умови буде перебувати в рівновазі з 1 г радію? Період напіврозпаду ^{226}Ra $T_{1/2}(Ra)$ = 1600 років, ^{222}Rn $T_{1/2}(Rn)$ = 3,82 діб.
3. Період напіврозпаду елемента дорівнює 2 добам. Скільки відсотків радіоактивної речовини залишиться після закінчення 6 діб?
4. Активність радіоактивного елемента зменшилася у 4 рази за 8 діб. Чому дорівнює період напіврозпаду?
5. Визначити, яка кількість ядер радіоактивного препарату ^{27}Mg, взятого в кількості 0,2 мг, розпадеться протягом 2 секунд та 1 години.
6. Визначте період напіврозпаду ізотопу, якщо протягом однієї години розпадається 52% початкової кількості атомів.
7. Обчислити відсоток атомів ізотопу I^{128} ($T_{1/2}$ = 25 хв.), що залишилися після зберігання протягом 2,5 годин?
8. При протравленні складів, що світяться у темряві, для покриття стрілок годинників, циферблатів, приладів і т.п. використовують люмінесцентні під дією радіоактивного випромінювання порошки, вміст невідомої кількості радіоактивної речовини, наприклад солі радію з періодом напіврозпаду 1608 років. Радій можна замінити дешевим і безпечним (менш жорстке випромінювання) важким ізотопом водню – тритієм. Однак, якщо радіоактивний світлосклад можна вважати вічним, то для тритію період напіврозпаду становить всього 12,34 років. Розрахуйте, яка кількість тритію залишиться у світлоскладі після 5 років експлуатації.
9. Константа радіоактивного розпаду λ радіоізотопу ^{35}S дорівнює $9{,}21 \cdot 10^{-8}$ c^{-1}. Визначте період напіврозпаду і середню тривалість життя.

10. Стала розпаду радіоактивного Урану-235 дорівнює $3{,}14 \cdot 10^{-17}$ $с^{-1}$. Визначте інтервал часу, за який первинна кількість радіоактивних атомів скоротиться удвічі.
11. Знайдіть активність зразка, у якому міститься 10^{10} ядер Плутонію-239. Стала розпаду радіоактивного Плутонію-239 дорівнює $9{,}01 \cdot 10^{-13}$ $с^{-1}$.
12. Ізотоп ^{210}Po, що випромінює α-частинки, використовується у суміші з берилієм в нейтронних джерелах. Через який час інтенсивність таких джерел зменшиться у 32 рази? $T_{1/2}$ – період напіврозпаду полонію дорівнює 138 днів.
13. Константа розпаду торію складає $5 \cdot 10^{-11}$ в рік. Скільки α частинок викидає в секунду 0,1 г торію?
14. 1 г радію виділяє $3{,}6 \cdot 10^{10}$ α-частинок в секунду. Обчислити константу радіоактивного розпаду λ в секундах, хвилинах та роках.
15. Константа розпаду радону 0,1813 (на добу). Скільки грам радону залишиться з одного грама через 10 діб?
16. Багато тисячоліть тому льодовиком, який рухається, були повалені дерева. Щоб дізнатися, коли це було, використовували радіовуглецевий метод датування. Він заснований на тому, що у вуглекислому газі повітря завжди міститься радіоактивний вуглець-14 (період напіврозпаду 5710 років) в кількості 10^{-10} % від стабільного вуглецю-12. Таке ж співвідношення C^{12} і C^{14} зберігається в результаті обміну речовин у всіх рослин і тварин. Тому вимір активності 1 г вуглецю, виділеного, наприклад, зі свіжозрубаного дерева, завжди дає одну і ту ж величину – 920 розпадів в годину. Як тільки рослина гине, кількість C^{14} в ній починає зменшуватися. При цьому число атомів, що розпадаються за одиницю часу, пропорційно числу наявних атомів C^{14}. Активність одного грама вуглецю, виділеного з повалених дерев, склала 250 розпадів в годину. Визначте за цими даними, коли був останній льодовиковий період.
17. Зразок металевого кобальту масою 100 г містить 10% радіоактивного ізотопу ^{80}Co з періодом напіврозпаду $T_{1/2}$ = 5,3

років, решта – стабільні ізотопи. Скільки буде важити зразок через 15 років? Який буде в ньому процентний вміст ізотопу ^{60}C?

18. Знайти ймовірність розпаду ядра за проміжок часу $T_{1/2}$, якщо його постійна розпаду дорівнює λ.
19. Скільки $^{210}_{84}P_0$ ($T_{1/2}$ = 138,4 діб) розпадеться і залишиться через 10 діб від 4 мг початкової кількості.
20. Один грам U-238 випромінює $1{,}24 \cdot 10^4$ α частинок в секунду. Визначити $T_{1/2}$ ізотопу та активність в Кі.
21. В уранових рудах міститься домішка чистого свинцю Pb-206. Допустимо, що весь свинець вийде в результаті розпаду U-238. Визначте вік уранової руди, якщо в 1 г урану міститься 0,3 г Pb-206.
22. У кров людини ввели розчин, що містить $^{24}_{11}Na$, активністю $2{,}1 \cdot 10^3$ Бк. Активність 1 $см^3$ крові, яку отримали через 5 годин, виявилася рівною 0,28 Бк. Знайти V крові людини.
23. Визначте масу α-активного ізотопу Po-210, що має активність 1 Кі.
24. При лікуванні онкологічних захворювань в організм пацієнта вводять препарат, що містить радіоактивний ізотоп. Вважаючи радіоактивний розпад реакцією першого порядку, визначити, яка частина радіонукліда залишиться в організмі хворого через 30 діб, якщо період напіврозпаду становить 130 діб.
25. Знайти масу радіоактивного матеріалу через проміжок часу, що дорівнює чотирьом періодам напіврозпаду. Початкова маса матеріалу становила 60 г.
26. Період напіврозпаду деякої речовини становить 3 тижні. Через який час кількість ядер, які не розпались, зменшиться у 16 разів?
27. Яка частка від великої кількості радіоактивних ядер, що не розпалися, залишається через інтервал часу, рівний п'яти періодам напіврозпаду?
28. Швидкість розпаду ядер радіоактивного вуглецю ^{14}C, присутнього в атмосфері поряд зі стабільним вуглецем, дорівнює n = 0,255 розпадів в секунду на один грам вуглецю. Період напіврозпаду радіоактивних ядер $T_{1/2}$ = 5730 років. Який відносний вміст атомів радіоактивного вуглецю в атмосфері?

29. Активність препарату ^{32}P дорівнює 2 мкКі. Яка маса такого препарату?
30. У скільки разів число розпадів ядер радіоактивного йоду ^{131}I протягом першої доби більше числа розпадів протягом другої доби?
31. Період напіврозпаду ^{226}Ra дорівнює 1600 рокам. За скільки років кількість радіоактивних ядер зменшиться у 8 разів?
32. Визначити початкову активність радіоактивного препарату магнію-27 масою 0,2 мкг, а також його активність через 6 годин. Період напіврозпаду магнію становить 10 хвилин.
33. Знайти активність 1 г Радію ($T_{1/2}$ = 1590 років).
34. Знайти масу Радону, активність якого $3{,}7\cdot10^{10}$ Бк ($T_{1/2}$ = 3,82 діб).
35. У початковий момент активність препаратів $^{90}YCl_3$ і $Na^{131}I$ дорівнює 128 МБк і 2 МБк відповідно. Через який час активності препаратів стануть однаковими?
36. Визначте питому активність (Бк/г) Sm_2O_3 (у природній суміші ізотопів міститься 15,07% ^{147}Sm; $T_{1/2} = 1{,}3\cdot10^{11}$ років).
37. Абсолютна питома активність Nd_2O_3 дорівнює 7,8 Бк/г. Визначте вміст ^{144}Nd ($T_{1/2} = 2{,}4\cdot10^{15}$ років) у природній суміші ізотопів.
38. Знайти активність 1 мкг ^{210}Po ($T_{1/2}$ = 138 діб).
39. Визначте активність 1 $см^3$ тритію (н.у.) ($T_{1/2}$ = 387832800 с).
40. Знайти масу ^{210}Po, активність якого $3{,}7\cdot10^{15}$ ($T_{1/2}$ = 138 діб).
41. Яка абсолютна активність ^{220}Rn, що знаходиться у віковій рівновазі з 1 г ^{232}Th ($T_{1/2}$ = 1.4 · 1010 міс.)?
42. Визначте кількість речовини ^{213}Bi ($T_{1/2}$ = 45,6 хв.), що знаходиться у рівновазі з ^{229}Th ($T_{1/2}$ = 70 годин)?
43. Скільки грам радону ($T_{1/2}$ = 3,825 діб) знаходиться у рівновазі з 1 г радію ($T_{1/2}$ = 1620 років).
44. Хімічним аналізом встановлено, що рівноважні маси радію і урану в мінералах останнього відносяться один до одного як $3{,}3\cdot10^{-7}$:1. Чи можна за цими даними знайти період напіврозпаду урану, якщо для радію він дорівнює 1600 років?
45. Скільки грамів полонію ($T_{1/2}$ = 138 років) знаходиться у рівновазі з 0,01 г радію ($T_{1/2}$ = 1620 років)?

46. Скільки атомів актинію ($T_{1/2}$ = 21,7 рік) знаходяться у рівновазі з $1 \cdot 10^{-8}$ моль урану ($T_{1/2}$ = 4,5·109 років)?
47. У результаті α-розпаду ^{226}Ra перетворили у ^{222}Rn. Який об'єм Rn при н.у. буде знаходитися у рівновазі з 15 г Ra?
48. З якої мінімальної маси руди, що містить 42% чистого урану, можна отримати масу m_0 = 1г Ra?
49. При бомбардуванні протонами ядра нукліду (^{21}Ne) випускаються α-частинки. Який нуклід якого елемента при цьому утворився? Відповідь підтвердіть рівнянням ядерної реакції.
50. Фотон γ-випромінювання вибиває з ядра нукліду (^{26}Mg) протон. Ядро якого елемента при цьому утворюється? Відповідь підтвердіть відповідним рівнянням ядерної реакції.
51. γ-Кванти збуджують ядра Цинку (^{66}Zn) і Магнію (^{26}Mg), завдяки чому перше ядро випускає протон і нейтрон, а друге – тільки протон. Визначте, ядра яких елементів при цьому утворяться. Відповідь підтвердіть рівнянням ядерної реакції.
52. Визначте вихідне ядро, якщо з нього при бомбардуванні дейтронами (^{2}D) утворюється ізотоп мангану (^{54}Mn) з викидом нейтрона. Відповідь підтвердіть рівнянням ядерної реакції.
53. Технецій – перший елемент, отриманий синтетичним шляхом при опроміненні ^{98}Mo дейтронами (^{2}D). Яке збуджене ядро при цьому утворюється і в ядро якого елемента воно перетворюється викидом нейтрона? Відповідь підтвердіть рівнянням ядерної реакції.
54. Найважчий галоген – Астат був отриманий у 1964 р. при опроміненні ^{209}Bi α-частинками. Який нуклід астату утворився, якщо збуджене ядро викидає два нейтрони? Відповідь підтвердіть рівнянням ядерної реакції.
55. Під керівництвом академіка Г.Н. Флерова у 1964 р. був отриманий 104-й елемент – Курчатовій (^{260}Ku) (який на даний час перейменований на Резерфодій (^{261}Rf)) при опроміненні плутонію (^{242}Pu) ядрами Неону (^{22}Ne) в могутньому прискорювачі. Які частинки і у якій кількості утворюються в цій реакції? Напишіть її рівняння.

56. Бомбардуванням Америцію (^{243}Am) ядрами Неону в Дубні у 1967 р. були отримані два нукліди 105-го елемента з нуклонними числами 260 і 261. Напишіть і визначте число нейтронів, що викидаються в кожному випадку.
58. Скільки α і β-частинок повинно було втратити ядро ^{226}Ra для отримання дочірнього елемента з масовим числом 206, що належить IV групі Періодичної системи елементів? Назвіть цей елемент. Відповідь підтвердіть рівнянням ядерної реакції.
59. Ядро атома ізотопу ^{238}U в результаті радіоактивного розпаду перетворилося на ядро ^{226}Ra. Скільки α і β-частинок випустило при цьому вихідне ядро?
60. Атоми Урану (^{238}U) випускають α-частинки. Отримані при цьому атоми іншого елемента випускають β-частинки, при цьому утворюються атоми нового елемента, що теж випускають β-частинки. Визначте, ізотоп якого елемента утворюється в результаті цих трьох послідовних перетворень.
61. Першою в історії штучною ядерною реакцією була реакція ізотопу Азоту-14 з α-частинками, одержуваними при розпаді Полонію-210. У результаті ядерної реакції Азот перетворюється на ізотоп кисню ^{17}O. Напишіть рівняння відповідних ядерних перетворень.
62. Один з ізотопів Літію поглинає дейтрон (^{2}D), переходячи в нестійкий ізотоп Берилію. Останній розпадається з утворенням частинок. Написати рівняння ядерних реакцій.
63. Фтор (^{19}F) при опроміненні нейтронами викидає ядро Гелію. Отриманий при цьому радіоізотоп проявляє β^--радіоактивність. Напишіть рівняння ядерних реакцій.
64. Ізотоп Урану (^{238}U), поглинаючи повільний нейтрон, утворює радіоізотоп, який надалі зазнає двох послідовних β^--розпадів. Напишіть рівняння ядерних реакцій.
65. Кобальт (^{55}Co) втрачає позитрон, і отриманий радіоізотоп зазнає подальшого перетворення за допомогою К-захвату. Напишіть рівняння ядерних реакцій.

66. При бомбардуванні ^{6}Li дейтронами ядро Літію викидає нейтрон, а отриманий радіоізотоп зазнає подальшого перетворення шляхом К-захвату. Напишіть рівняння реакцій.
67. Скільки послідовних β^- і α^--розпадів перетерплює нуклід Торію ^{234}Th при перетворенні в нуклід ^{230}Th (іоній). Написати рівняння ядерних реакцій.
68. Скільки послідовних β^--розпадів зазнає нуклід Торію (^{232}Th) при перетворенні на ^{214}Bi (радіоторій). Написати рівняння ядерних реакцій.
69. Укажіть заряд і масу радіоактивного нукліда, що утвориться з ^{234}U після п'яти послідовних α-розпадів і двох β^--розпадів.
70. Радіоактивні нукліди ^{238}U (Уран), ^{235}U (актиноуран) і ^{232}Th (Торій) зазнають відповідно 8, 7 і 6 α-розпадів, утворюючи стійкі нукліди Плюмбуму. Які нуклонні числа цих нуклідів?
71. Який елемент утворився з радіоактивного нукліду Полонію ^{210}Po шляхом послідовного розпаду, що супроводжувався $\alpha \rightarrow \beta^- \rightarrow \alpha \rightarrow \beta^-$ випромінюванням? Напишіть рівняння ядерних реакцій.
72. Які елементи утворилися з радіоактивного нукліду Плюмбуму ^{210}Pb шляхом послідовного розпаду, при якому спостерігалося $\beta^- \rightarrow \alpha \rightarrow \beta^-$ випромінювання? Напишіть рівняння ядерних реакцій.
73. Напишіть рівняння ядерних реакцій, що відбуваються при бомбардуванні Бора ^{10}B α-частинками, у результаті якого викидається нейтрон і отримується штучний радіоізотоп Нітрогену; останній, випускаючи позитрон, утворює стійкий нуклід Карбону.
74. У яку групу Періодичної системи повинний бути поставлений елемент, що утворився з Америцію (^{243}Am) шляхом випромінювання 2 α- і 1 β^--частинки? Нуклідом якого елемента він є? Яким повинно бути його нуклонне число?
75. У Дубні у 1963 р. опроміненням нуклідів Урану (^{238}U) іонами Неону (^{22}Ne) великої енергії був отриманий нуклід нового елемента №102 – ^{256}No. Написати рівняння ядерної реакції із зазначенням проміжного ядра, що утворюється.

76. Нуклід елементу № 104 з нуклонним числом 260 утворюється при бомбардуванні мішені пучком прискорених у циклотроні іонів ^{22}Ne. З якого нукліда повинна бути виготовлена ядерна мішень, якщо при реакції виділяються чотири нейтрони?
77. При спробі одержати нуклід елементу № 104 з нуклонним числом 260 бомбардуванням мішені з Плутонію (^{242}Pu) іонами ^{22}Ne було виявлено утворення нукліду елементу № 102 з нуклонним числом 256. Написати можливе рівняння ядерної реакції, що призводить до утворення елемента №102.
78. Ядра яких елементів утворюються, якщо ядра наступних елементів втратять:
    а) $^{238}U - 8\alpha - 8\beta^- \rightarrow$
    б) $^{232}Th - 6\alpha - 4\beta^+ \rightarrow$
    в) $^{235}U - 7\alpha - 7\beta^+ \rightarrow ?$

    Напишіть рівняння відповідних реакцій.
79. При поділі ядра ^{234}U утворюються 4 нейтрони, 2 електрони і 2 рівних (за зарядом і масою) осколка. Для отриманих ізотопів характерний позитронний β^+-розпад. Напишіть рівняння відповідних перетворень. Використовуючи радіоактивну властивість торію, вкажіть, ізотопами яких елементів є всі проміжні члени цього сімейства.
80. Ядра яких елементів утворюються, якщо ядра наступних елементів втратять:
    а) $^{264}Ku - 2\alpha - 3\beta^- \rightarrow$
    б) $^{210}Po - 3\alpha - 6\beta^- \rightarrow$
    в) $^{223}Fr - 4\alpha - 8\beta^+ \rightarrow ?$
81. Більшість спостережуваних нами зірок, в тому числі і Сонце, уявляють собою стійкі газоподібні шари. Вони мало змінюються протягом мільйонів років. Найбільш складним з двох процесів, що, головним чином, підтримує існування зірок, є вуглець-азот-кисневий цикл виділення енергії, або просто вуглецевий цикл. Він відповідає повільному перетворенню водню в гелій внаслідок серії ядерних реакцій:

$^{12}_{6}C + ^{1}_{1}H \rightarrow X$; $X \rightarrow ^{13}_{6}C + ^{0}_{+1}e$;

$^{13}_{6}C + ^{1}_{1}H \rightarrow Y$; $Y + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{15}_{8}O$;

$^{15}_{8}O \rightarrow Z + ^{0}_{+1}e$; $Z + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{4}_{2}He$.

Розшифруйте X, У і Z. Складіть сумарну схему перетворень. Чому вуглецевий цикл називають термоядерною реакцією? Якщо вам що-небудь відомо про більш просте перетворення водню в гелій, розкажіть про це.

82. Складіть рівняння радіоактивного перетворення $^{237}_{93}Np$ в $^{209}_{83}Bi$.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ЗАНЯТТЯ

1. Який процес називається радіоактивним розпадом?
2. Назвіть і охарактеризуйте типи радіоактивного розпаду. Який закон зміщення при радіоактивному розпаді?
3. Запишіть основний закон радіоактивного розпаду; дайте визначення фізичних величин, що входять до закону.
4. Зобразіть графік залежності числа радіоактивних ядер від часу. Як виглядає графік залежності $\ln N$ від часу?
5. Який фізичний зміст сталої радіоактивного розпаду?
6. Що називається періодом напіврозпаду радіонукліда? Як він пов'язаний зі сталою радіоактивного розпаду?
7. Що називається середнім часом життя радіонукліда? Як середній час життя пов'язаний зі сталою розпаду? З періодом напіврозпаду?
8. Що таке активність? Які одиниці її вимірювання?
9. Який механізм $\beta^- -, \beta^+$-розпадів і K-захоплення? Напишіть схеми цих розпадів. Які внутрішньоядерні перетворення при цьому відбуваються?
10. Охарактеризуйте енергетичний спектр електронів (позитронів) при β-розпаді. Поясніть закон збереження спіна і властивості нейтрино і антинейтрино.
11. Яка умова вікової радіоактивної рівноваги між дочірніми і материнськими ядрами?

3. ВЗАЄМОДІЯ ЯДЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З РЕЧОВИНОЮ

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною буває двох типів:
   А) пружна;
   Б) непружна;
   В) швидка;
   Г) нешвидка.
2. Взаємодію β-випромінювання з електронними оболонками атомів середовища іноді називають:
   А) побічно іонізуючим випромінюванням;
   Б) повним перерізом взаємодії;
   В) енергією випромінювання;
   Г) пружним розсіюванням.
3. Альфа-частинки мають найбільшу іонізаційну здатність завдяки:
   А) великому заряду
   Б) великому розміру;
   В) великій енергії;
   Г) великій реакційній здатності.
4. Електрони, що призводять до вторинної іонізації, називаються:
   А) φ-променями;
   Б) ε-променями;
   В) δ-променями;
   Г) γ-променями.
5. За рахунок енергії, яка виділяється при гальмуванні α-частинок у речовині, можуть відбуватися різного роду зміни, наприклад:
   А) люмінесценція деяких речовин;
   Б) ендотермічний процес;
   В) тепловий ефект;
   Г) тунельний ефект.
6. Шлях, який проходить α-частинка до повної втрати енергії, називається:
   А) шляхом пробігу;

Б) значенням пробігу;
В) довжиною пробігу;
Г) часом пробігу.

7. Пробіг R вимірюється у:
А) мм;
Б) см;
В) км;
Г) мг.

8. Фізіологічна дія альфа-променів:
А) опіки;
Б) запальні процеси;
В) летальний результат;
Г) запаморочення.

9. Траєкторія випромінювання β-частинки у речовині:
А) прямолінійна;
Б) непрямолінійна;
В) перпендикулярна;
Г) по-різному.

10. Бета-промені спричиняють:
А) теплову дію;
Б) іонізацію газів;
В) поглинання тепла;
Г) дію на фотопластинки.

11. Найбільша проникаюча здатність у:
А) α-випромінювання;
Б) β-випромінювання;
В) γ-випромінювання;
Г) усі однакові.

12. Процес повної передачі всієї енергії одному з електронів, що перебуває на внутрішніх орбітах зустрічного атома, називається:
А) комптонівське розсіювання;
Б) утворення електронно-позитронних пар;
В) іонізація;
Г) фотоефект.

13. Фотоефект спостерігається зазвичай при взаємодії з речовиною γ- квантів енергією до:
   А) 1 МеВ;
   Б) 10 МеВ;
   В) 50 МеВ;
   Г) 100 МеВ.
14. Характер взаємодії випромінювання з речовиною *не* залежить від:
   А) виду та енергії випромінювання;
   Б) фізичних і хімічних властивостей самої речовини;
   В) температури та тиску;
   Г) густини потоку випромінювання.
15. Пружне розсіювання частинок – процес зіткнення частинок, в результаті якого:
   А) змінюються тільки їх імпульси, а внутрішній стан залишається незмінним;
   Б) змінюється тільки їх внутрішній стан, а імпульси залишаються незмінними;
   В) не змінюються ні імпульси, ні внутрішній стан частинок;
   Г) змінюються імпульси та внутрішній стан частинок.
16. Кількісно іонізуючу дію випромінювання характеризують:
   А) потужністю поглиненої дози випромінювання;
   Б) загальною іонізацією;
   В) питомою іонізацією;
   Г) потужністю іонізуючого випромінювання.
17. Найбільшу іонізаційну здатність мають:
   А) альфа-частинки;
   Б) бета-частинки;
   В) γ-кванти;
   Г) всі перераховані частинки мають приблизно однакову іонізаційну здатність.
18. Електрони, що виробляють вторинну іонізацію, називаються:
   А) γ-квантами;
   Б) α-променями;
   В) δ-променями;

Г) γ-променями.

19. Під впливом альфа-випромінювання різної енергії в речовині можуть відбуватися:

А) внутрішньомолекулярні перетворення;

Б) зміни фізичних властивостей;

В) хімічні перетворення;

Г) жодні з перерахованих перетворень.

20. Довжина пробігу в повітрі і енергія α-частинки взаємопов'язані таким емпіричним співвідношенням:

А) $R = K \cdot E^{3/2}$;

Б) $R = \frac{K}{E^{3/2}}$;

В) $R = K \cdot E^{1/2}$;

Г) $R = \frac{K}{E}$.

21. Шлях β-частинки можна зобразити у вигляді:

А) прямої лінії;

Б) кубічної параболи;

В) ламаної лінії;

Г) гіперболи.

22. Поглинання β-частинок та γ-квантів можна описати таким виразом:

А) $I = I_0 / e^{-\mu R}$;

Б) $I = I_0 \cdot e^{-\mu R}$;

В) $I = I_0 / e$;

Г) $I = I_0 \cdot e^{\mu R}$.

23. Віддача ядра при випусканні β-частинок:

А) може призводити до розриву хімічного зв'язку;

Б) може призводити до зміни валентного стану атома;

В) може призводити і до розриву хімічного зв'язку, і до зміни валентного стану атома;

Г) не викликає жодних процесів.

24. Механізмом взаємодії гамма- і рентгенівського випромінювання з речовиною є:

А) комптонівське розсіювання;

Б) фотоефект;
В) утворення електронно-позитронних пар;
Г) всі вищезазначені механізми.

25. Фотоефект - це процес:
А) повної передачі всієї енергії одному з електронів, що знаходиться на внутрішніх орбіталях зустрічного атома;
Б) короткочасної люмінесценції внаслідок передачі всієї енергії одному з електронів, що знаходиться на внутрішніх орбіталях зустрічного атома;
В) повного поглинання всієї енергії електронами, що знаходяться на зовнішніх орбіталях зустрічного атома;
Г) часткової передачі всієї енергії одному з електронів, що знаходиться на зовнішніх орбіталях зустрічного атома.

26. Ефектом Комптона називають процес, при якому:
А) фотон передає всю свою енергію електрону;
Б) фотон передає лише частину своєї енергії електрону та утворюється первинний γ-квант з більшою енергією;
В) утворюється розсіяний γ-квант з більшою енергією;
Г) фотон передає лише частину своєї енергії електрону, а замість первинного γ-кванта з'являється розсіяний γ-квант з меншою енергією.

27. Процес народження електрон-позитронних пар полягає в тому, що:
А) електрон і позитрон поглинаються, а квант випромінювання народжується;
Б) квант випромінювання поглинається, а народжуються електрон і позитрон;
В) квант випромінювання, електрон і позитрон поглинаються;
Г) квант випромінювання, електрон і позитрон народжуються.

28. Енергія і імпульс при народженні електрон-позитронних пар перерозподіляються між:
А) ядром (або електроном речовини) і тільки електроном, який утворився;
Б) електроном і позитроном, які утворилися;

В) ядром (або електроном речовини) і електроном і позитроном, які утворилися;

Г) ядром (або електроном речовини) і тільки щойно утвореним позитроном.

29. Що таке пружне розсіювання частинок?

А) процес зіткнення частинок, в результаті якого змінюються лише імпульси, а внутрішній стан залишається незмінним;

Б) процес зіткнення частинок, який призводить до зміни їх внутрішнього стану;

В) процес, в якому відбувається перетворення частинок в інші частинки або додаткове утворення нових частинок;

Г) процес зіткнення частинок, що призводить до утворення нових частинок та зміни імпульсів.

30. Як розташовані альфа-частинки відповідно до свого джерела випромінювання?

А) хаотично;

Б) під кутом 45°;

В) непрямолінійно;

Г) прямолінійно.

31. Що характеризує R (пробіг)?

А) α-випромінювання;

Б) β-випромінювання;

В) γ-випромінювання;

Г) це стала величина.

32. За рахунок чого відбувається гальмування β-частинок?

А) за рахунок їх прямолінійної траєкторії при виході з джерела випромінювання;

Б) за рахунок прямих ударів з ядром;

В) за рахунок взаємодії з навколишнім середовищем;

Г) за рахунок іонізаційних процесів.

34. Який з механізмів не відноситься до взаємодії гамма-випромінювання з речовиною?

А) фотоефект;

Б) комптонівське розсіювання;

В) вторинна іонізація;
Г) утворення електронно-позитронних пар.

35. Що відноситься до третього механізму поглинання β-частинок?
А) випромінювання електронних пар;
Б) випромінювання позитронних пар;
В) народження електронно-позитронних пар;
Г) народження електронних пар.

36. При взаємодії з чим можуть бути виявлені всі види ядерного випромінювання?
А) з водою;
Б) з кислотою;
В) з речовиною;
Г) з газом.

37. З чим взаємодіють частинки при проходженні через речовину?
А) з електронами;
Б) з протонами;
В) з нейтронами;
Г) з атомними ядрами (або з нуклонами ядер).

38. Від чого залежить характер взаємодії випромінювання з речовиною?
А) від густини потоку;
Б) від хімічних властивостей самої речовини;
В) від фізичних властивостей самої речовини;
Г) від температури.

39. Які є типи взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною?
А) основне розсіювання частинок;
Б) додаткове розсіювання частинок;
В) пружне розсіювання частинок;
Г) непружне розсіювання частинок.

40. Які явища можна спостерігати при проходженні альфа-частинок через речовину?
А) іонізацію атомів або молекул;
Б) збудження атомів або молекул;
В) вибивання молекул;

Г) вибивання атомів.

41. Завдяки чому альфа-частинки мають найбільшу іонізаційну здатність?

А) великому заряду;

Б) повітрю;

В) розмірам;

Г) речовині.

42. Що відбувається з альфа-частинкою після того, як вона втрачає свою енергію?

А) уповільнюється до молекулярних швидкостей;

Б) захоплює електрони;

В) перетворюється в нейтральний або однозарядний атом гелію;

Г) розпадається.

43. За рахунок яких процесів здійснюється гальмування β-частинок?

А) іонізаційних;

Б) фізіологічних;

В) хімічних;

Г) фізичних.

44. До чого може призвести віддача ядра при випусканні β-частинок?

А) до розриву хімічного зв'язку;

Б) до розкладання складних вуглеводнів;

В) до утворення гідроген пероксиду;

Г) до зміни валентного стану атома.

45. Які основні механізми взаємодії гамма- та рентгенівського випромінювання з речовиною?

А) іонізація;

Б) фотоефект;

В) комптонівське розсіювання;

Г) утворення електронно-позитронних пар.

46. Із зростанням енергії γ-квантів ймовірність фотоелектричного поглинання:

А) різко збільшується;

Б) різко зменшується;

В) дорівнює нулю;

Г) не дорівнює нулю.

47. Пружне розсіювання частинок – це:

А) процес зіткнення частинок, у результаті якого змінюються тільки їх імпульси, а внутрішній стан залишається незмінним;

Б) процес зіткнення частинок, у результаті якого змінюються їх імпульси і внутрішній стан;

В) процес зіткнення частинок, у результаті якого їх імпульси і внутрішній стан залишаються незмінними;

Г) процес зіткнення частинок, у результаті якого змінюється їх внутрішній стан.

48. Непружне розсіювання частинок – це:

А) зіткнення частинок, що призводить до зміни їх внутрішнього стану;

Б) статичний стан частинок;

В) зіткнення частинок, що призводить до зміни їх внутрішнього стану, перетворення в інші частинки або додаткового народження нових частинок;

Г) процес утворення нових частинок у ядерній реакції.

49. Охарактеризуйте рух альфа-частинок:

А) у вигляді ламаної лінії;

Б) у вигляді синусоїди;

В) непрямолінійне;

Г) прямолінійне.

50. Оберіть правильне твердження:

А) траєкторія альфа-частинки в речовині непрямолінійна;

Б) альфа-частинки мають найбільшу іонізаційну здатність;

В) поглинання альфа-частинок здійснюється за експонентним законом;

Г) альфа-частинки віддають всю, або, принаймні, більшу частину своєї енергії при одноразовій взаємодії.

51. Заряд якої частинки найменший?

А) альфа;

Б) бета;

В) позитрон;

Г) нейтрон.

52. Охарактеризуйте рух бета-частинок:

А) у вигляді ламаної лінії;

Б) у вигляді синусоїди;

В) описується рівнянням ax+b;

Г) прямолінійне.

53. Чому рух бета-частинки непрямолінійний?

А) через малу масу частинки;

Б) вона взаємодіє з електростатичними полями атома або молекули;

В) через те, що пробіг бета-частинок у речовині в сотні раз більший, ніж для альфа-променя такої ж енергії;

Г) внаслідок сильного бета-спектра.

54. За допомогою якого закону описуються бета-частинки?

А) адитивності;

Б) експонентного;

В) невизначеності;

Г) збереження маси.

55. Вторинна іонізація:

А) коли електрони, що утворюються в результаті первинної іонізації, продовжують іонізувати атоми в поглиначі;

Б) коли механізм взаємодії випромінювання з речовиною призводить до іонізації в поглиначі;

В) іонізація, яка призводить до ослаблення проникаючої здатності;

Г) іонізація, яка обов'язково супроводжується комптонівським ефектом.

56. Який з перерахованих процесів вимагає найбільшої енергії частинки?

А) ефект Комптона;

Б) народження електрон-позитронних пар;

В) фотоефект;

Г) комптонівське розсіювання.

57. Енергія електрона, що викидається, дорівнює:

А) енергії гальмування;

Б) енергії поглинача;

В) різниці між енергією γ-кванта і енергією зв'язку електрона;
Г) немає правильної відповіді.

59. Вкажіть неправильне твердження щодо народження електрон-позитронних пар.
А) ймовірність цього ефекту пропорційна Z^2 і при зростанні E_γ спочатку швидко збільшується, а потім швидкість наростання зменшується;
Б) даний процес полягає в тому, що квант випромінювання в кулонівському полі атомного ядра або в полі електрона речовини поглинається;
В) енергія та імпульс при цьому перерозподіляються між трьома частинками: ядром (або електроном речовини) та електроном і позитроном, що утворюються;
Г) процес повної передачі всієї енергії одному з електронів, що перебувають на внутрішніх орбітах зустрічного атома.

60. Дія випромінювання зводиться до:
А) виду випромінювання;
Б) іонізації;
В) електронного збудження речовини;
Г) молекулярного збудження речовини.

ЗРАЗКИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТИПОВИХ ЗАВДАНЬ

Приклад 1. При збільшенні товщини шару графіту на 0,5 см інтенсивність пучка рентгенівських променів, що пройшов крізь нього, зменшилася у 3 рази. Визначити лінійний коефіцієнт ослаблення графіту для даного випромінювання.

Розв'язання

Інтенсивність пучка рентгенівського випромінювання, що пройшов крізь даний шар, визначається рівнянням:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d}, \qquad (1)$$

де I_0 – інтенсивність рентгенівського пучка, що падає на графіт, I – інтенсивність пучка, що пройшов крізь даний шар, μ – лінійний коефіцієнт ослаблення рентгенівського випромінювання, d – товщина шару графіту.

За умовою завдання $I = I_0/3$. Тоді (1) перепишеться:

$$I = I_0/3 = I_0 \cdot e^{-\mu d}. \qquad (2)$$

Після проведення скорочення й логарифмування обох частин (2), а також нескладних перетворень одержимо: $\mu = \frac{\ln 3}{0,5} = 2,2$ см.

Відповідь: μ = 2,2 см.

Приклад 2. Обчислити товщину шару половинного ослаблення $d_{1/2}$ паралельного пучка γ-випромінювання для води, якщо лінійний коефіцієнт послаблення μ = 0,047 см$^{-1}$.

Розв'язання

При проходженні γ-випромінювання крізь шар речовини відбувається його поглинання за рахунок трьох факторів: фотоефекта, комптонівського розсіювання та утворення електронно-позитронних пар. У результаті дії цих трьох факторів інтенсивність γ-випромінювання експоненціально зменшується залежно від товщини шару:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d}, \qquad (1)$$

Пройшовши поглинаючий шар, товщина якого дорівнює товщині шару половинного ослаблення $d_{1/2}$, пучок γ-випромінювання буде мати інтенсивність $I = I_0/2$. Підставивши значення I і d у формулу (1),

одержимо $I_0/2 = I_0 \cdot e^{-\mu d_{1/2}}$, або після скорочення формула (1) приймає вигляд $2 = e^{-\mu d_{1/2}}$.

Після логарифмування останнього виразу, одержимо значення товщини шару половинного послаблення:

$$d_{1/2} = \ln 2/\mu. \qquad (2)$$

Підставивши у формулу (2) значення ln2 і μ, знайдемо $d_{1/2}$:$d_{1/2}$ = 0,693/0,047 = 14,7 см.

Таким чином, шар води товщиною 14,7 см знижує інтенсивність γ-випромінювання у два рази.

Відповідь: $d_{1/2}$ = 14,7 см.

Приклад 3. Вузький пучок *γ*-випромінювання з енергією *γ*-кванта E_γ = 2,5 МеВ проходить через бетонну плиту товщиною *d* = 1 м. Якої товщини плита чавуну дає таке ж ослаблення даного пучка *γ*-випромінювання?

Розв'язання

Ослаблення пучка в бетоні: $I_1 = I_0\, e^{-\mu_1 d_1}$

Ослаблення того ж пучка в чавуні: $I_1 = I_0\, e^{-\mu_2 d_2}$

Значення μ_1 і μ_2 знаходяться для енергії *γ*-кванта *E* = 2,5 МеВ та дорівнюють: $\mu_{бет}$ = 0,08 см $^{-1}$; $\mu_{чав}$ = 0,27 см $^{-1}$

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{I_2}{I_0} \quad \mu_1 = \mu_{бет} = 0{,}08\,\text{см}^{-1}.$$

$$\mu_2 = \mu_{чав} = 0{,}27\,\text{см}^{-1}.$$

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{I_2}{I_0} \quad \text{за умовою, отже}$$

$$e^{-\mu_1 d_1} = e^{-\mu_2 d_2}, \text{ тобто } \mu_1 d_1 = \mu_2 d_2.$$

Тоді

$$d_2 = \frac{\mu_1}{\mu_2} d_1 = \frac{0{,}08 \cdot 100}{0{,}27} = 29{,}6\,\text{см}.$$

Відповідь: $d_{чавуну}$ = 29,6 см.

Задача 7. Чавунна плита зменшує щільність потоку вузького пучка γ-випромінювання з енергією E = 3 МеВ у 10 разів. У скільки разів зменшує щільність цього ж потоку свинцева плита тієї ж товщини?

Дано:	**Розв'язання**
$\frac{\Phi_0}{\Phi_1} = 10$	Закон ослаблення щільності потоку γ-квантів:
E = 3 МеВ	$\Phi_1 = \Phi_0\, e^{-\mu_1 d_1}$ – для чавуну; (1)
$\frac{\Phi_0}{\Phi_2}$ - ?	$\Phi_2 = \Phi_0\, e^{-\mu_2 d_1}$ – для свинцю; (2)

$$d = d_1 = d_2; \quad \mu_1 = 0{,}25\,\text{см}^{-1}; \; \mu_2 = 0{,}47\,\text{см}^{-1}$$

(μ_1 і μ_2 знаходяться з табл. 3 додатків).

Прологарифмуємо обидва вирази (1) і (2) і знайдемо їх співвідношення.

$$\ln\frac{\Phi_0}{\Phi_1} = \mu_1 d; \quad \ln\frac{\Phi_0}{\Phi_2} = \mu_2 d; \quad \frac{\ln\frac{\Phi_0}{\Phi_2}}{\ln\frac{\Phi_0}{\Phi_1}} = \frac{\mu_2}{\mu_1}.$$

Тоді

$$\ln\frac{\Phi_0}{\Phi_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1}\ln\frac{\Phi_0}{\Phi}.$$

Обчислюємо

$$\ln\frac{\Phi_0}{\Phi_2} = \frac{0{,}475}{0{,}25}\ln 10 = 2{,}303;$$

$$\frac{\Phi_0}{\Phi_2} = e^{4{,}38} = 75{,}85.$$

Відповідь: $\frac{\Phi_0}{\Phi_2} = 75{,}85.$

Задача 8. У скільки разів зменшиться щільність потоку рентгенівського випромінювання з довжиною хвилі $\lambda_1 = 2 \cdot 10^{-11}$ м при проходженні шару заліза товщиною 0,15 мм? Масовий коефіцієнт поглинання заліза для цієї довжини хвилі дорівнює 1,1 м^2/кг. Знайти товщину шару половинного ослаблення.

Розв'язання

Закон ослаблення щільності потоку частинок при проходженні випромінювання через речовину:

1) $\Phi = \Phi_0\ e^{-\mu x}$, так як $\mu_m = \dfrac{\mu}{\rho}$; $\rho_{\text{Fe}} = 7900$ кг/м^3, тому

$$\Phi = \Phi_0\, e^{-\mu_m \rho x};\ \frac{\Phi_0}{\Phi} = e^{\mu_m\ \rho\ x} = e^{1{,}1 \cdot 7900 \cdot 0{,}15 \cdot 10^{-3}} = e^{1{,}3} = 3{,}669;$$

2) так як $d_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{\mu}$; $d_{1/2} = \dfrac{0{,}693}{\mu_m\ \rho} = 7{,}9 \cdot 10^{-5}$ м;

3) визначимо енергію γ-кванту:

$$E_\gamma = h\,\frac{c}{\lambda_1} = 6{,}62 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^{-11}} = 9{,}93 \cdot 10^{-15}\ \text{Дж} =$$

$$= \frac{9{,}93 \cdot 10^{-15}}{1{,}6 \cdot 10^{-13}}\ \text{МэВ} = 0{,}006\ \text{МэВ}.$$

$$E_\gamma = 0{,}006\ \text{МеВ},$$

так як 0,006 МеВ < 0,51 МеВ, то найбільше вірогідний фотоефект.

Відповідь: $\dfrac{\Phi_0}{\Phi_2} = 3{,}7$; $E_\gamma = 0{,}006$ МэВ.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Обчислити товщину шару половинного ослаблення паралельного пучка γ-квантів для води. Лінійний коефіцієнт ослаблення $\mu = 0{,}047$ см$^{-1}$. Яку енергію мають дані γ-кванти?
2. Знайти для алюмінію товщину шару половинного ослаблення рентгенівського випромінювання, якщо масовий коефіцієнт ослаблення алюмінію для даної довжини хвилі рентгенівського випромінювання дорівнює 5,3 м^2/кг.
3. Скільки шарів половинного ослаблення потрібно, щоб зменшити щільність потоку вузького пучка γ-випромінювання у 100 разів?
4. Обчислити для бетону, води і свинцю товщину шару половинного ослаблення вузького пучка γ-випромінювання з енергією квантів 1,5 МеВ.
5. Знайти шар половинного ослаблення для води при енергії квантів 0,6 МеВ і 1,5 МеВ.
6. Обчислити для бетону товщину шару половинного ослаблення вузького пучка γ-квантів з енергією $E = 0{,}6$ МеВ.
7. На яку глибину потрібно опустити у воду джерело вузького пучка γ-випромінювання, щоб щільність потоку, що виходить з води, була зменшена у 1000 разів? Енергія γ-кванта 1,6 МеВ.
8. Щільність потоку вузького пучка γ-випромінювання після проходження шару свинцю товщиною 4 см зменшилася у 8 разів. Визначити енергію γ-квантів і товщину шару половинного ослаблення.
9. У скільки разів зменшиться щільність потоку вузького пучка рентгенівського випромінювання після проходження через пластину, товщина якої дорівнює чотирьом шарам половинного ослаблення?
10. Скільки шарів половинного ослаблення необхідно для зменшення щільності потоку рентгенівського випромінювання у 80 разів?
11. Шар алюмінію завтовшки 7 см послаблює щільність потоку монохроматичного γ-випромінювання у 5 разів. Визначити масовий

коефіцієнт ослаблення алюмінію і товщину шару, на якому щільність потоку зменшується вдвічі. Густина алюмінію 2,7 г/см^3.

12. Обчислити товщину шару: а) графіту; б) заліза; в) бетону, який зменшує щільність потоку вузького пучка γ-випромінювання з енергією 4 МеВ у 100 разів.
13. Вузький пучок γ-випромінювання з енергією квантів 3 МеВ проходить через бетонну плиту товщиною 1 м. Якої товщини плита алюмінію дає таке ж ослаблення даного пучка?
14. Вузький пучок γ-випромінювання з енергією квантів 4,5 МеВ проходить через бетонну плиту товщиною 1 м. Якої товщини шар графіту дає таке ж ослаблення даного пучка?
15. Якої товщини шар заліза дає таке ж ослаблення щільності потоку γ-квантів, як і бетонна плита товщиною 1 м? Енергія γ-квантів 2 МеВ.
16. У скільки разів відрізняється товщина шару половинного ослаблення вузького пучка γ-випромінювання з енергією γ-квантів 3 МеВ для графіту і бетону?
17. Якої товщини має бути захисна стінка із бетону, щоб щільність потоку вузького пучка γ-випромінювання з енергією γ-квантів 4 МеВ зменшилась у 100 разів?
18. Для рентгенівського випромінювання з довжиною хвилі $0{,}2\cdot10^{-10}$ м масовий коефіцієнт ослаблення для міді дорівнює 1,55 см^2/г, а для свинцю – 4,9 см^2/г. Знайти товщину шару половинного ослаблення для вузького пучка рентгенівського випромінювання для: 1) міді і 2) свинцю. Скільки таких шарів потрібно для зменшення щільності потоку у 32 рази? ρ_{Cu} = 8,9 г/см^3; ρ_{Pb} = 11,34 г/см^3.
19. Шар води зменшує щільність потоку вузького пучка γ-випромінювання (E = 3 МеВ) у 5 разів. У скільки разів зменшить щільність потоку цього пучка свинцева плита тієї ж товщини?
20. Вузький пучок γ-випромінювання (енергія квантів 3,5 МеВ) проходить через чавунну плиту товщиною 0,3 м. Якої товщини повинна бути плита зі свинцю, щоб отримати таке ж ослаблення даного пучка?

21. Вузький пучок рентгенівського випромінювання з довжиною хвилі $0{,}62\cdot10^{-10}$ м проходить через алюмінієву пластинку товщиною 2,6 см. Якої товщини слід взяти свинцеву пластину, щоб вона послаблювала цей пучок в тій же мірі?
22. Ступені ослаблення вузьких рентгенівських пучків з енергіями 2 і 4 МеВ при проходженні алюмінієвої пластинки відрізняються один від одного у 10 разів. Знайти товщину пластинки і ступінь ослаблення пучка з енергією 4 МеВ.
23. Якою має бути товщина повітряного шару, щоб зменшити щільність потоку γ-квантів з енергією 1,2 МеВ: 1) у 10 разів; 2) на 10%. Коефіцієнт ослаблення γ-випромінювання з даною енергією для повітря прийняти рівним $3{,}5\cdot10^{-5}$ см$^{-1}$.
24. Обчислити товщину шару: 1) свинцю; 2) чавуну; 3) алюмінію, який зменшить щільність потоку γ-квантів з енергією 2 МеВ у 10^{10} разів.
25. Визначити середню довжину вільного пробігу γ-квантів в середовищі, шар половинного ослаблення якого для цих квантів дорівнює 4,5 см.
26. Монохроматичний пучок γ-випромінювання при проходженні алюмінієвої пластинки товщиною 2,9 см послаблюється у 2,6 разів. Знайти масовий коефіцієнт ослаблення (ρ_{Al} = 2,7 г/см^3).
27. У скільки разів зменшиться щільність потоку вузького пучка γ-квантів після проходження пластини, товщина якої дорівнює 6,35 шару половинного ослаблення?
28. γ-випромінювання з енергією 3 МеВ проходить через шар води товщиною 1 м. Якою має бути товщина стінки з графіту, щоб викликати таке ж ослаблення?
29. Джерело вузького пучка γ-випромінювання (енергія квантів 1,6 МеВ) поміщене у воду на глибину 120 см. Визначити, у скільки разів буде зменшена щільність потоку, що виходить з води.
30. Визначити середню довжину вільного пробігу γ-квантів з енергією 5 МеВ у 1) чавуні; 2) воді; 3) повітрі.
31. На шляху вузького пучка γ-квантів поміщений шар бетону товщиною 20 см (енергія γ-квантів 3 МеВ). У скільки разів буде

ослаблений пучок, що виходить з бетону? Визначити масовий коефіцієнт ослаблення бетону ($\rho_{бетону}$ = 3,2 г/см^3).

32. На шляху вузького пучка γ-квантів поміщений шар свинцю товщиною 10 см, який зменшує щільність потоку γ-квантів у 100 разів. Визначити енергію γ-квантів і масовий коефіцієнт ослаблення свинцю (ρ_{Pb} = 11,4 г/см^3).
33. Скільки шарів половинного ослаблення необхідно, щоб зменшити щільність потоку вузького пучка γ-квантів до 1/200 початкового значення?
34. Знайти ступінь ослаблення вузького пучка γ-випромінювання з енергією E = 3 МеВ тришаровою залізо-бетонно-алюмінієвою стінкою з товщиною шарів відповідно 3; 3,5 і 5 см.
35. Знайти товщину шару половинного ослаблення для матеріалу, шар якого товщиною 10 см знижує щільність потоку вузького пучка γ-квантів у 3 рази.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ЗАНЯТТЯ

1. Дати визначення густини струму і густини потоку частинок.
2. Які процеси можливі при взаємодії важких заряджених частинок з речовиною?
3. Які процеси можливі при взаємодії легких заряджених частинок з речовиною?
4. Які процеси можливі при взаємодії γ-випромінювання з речовиною?
5. У чому полягає фотоефект? За якої умови можливий фотоефект?
6. Чим відрізняється ефект Комптона від фотоефекту? З якими електронами взаємодіють γ-кванти в ефекті Комптона? Який результат взаємодії?
7. За якої умови відбувається утворення електронно-позитронних пар?
8. Запишіть закон ослаблення γ-випромінювання в речовині.
9. Який фізичний зміст лінійного коефіцієнта ослаблення μ? Як він пов'язаний з масовим коефіцієнтом ослаблення?
10. Намалювати графік залежності густини потоку γ-випромінювання від товщини речовини.
11. Дати визначення шару половинного ослаблення. Показати його на графіку.
12. Як пов'язана величина шару половинного ослаблення з лінійним коефіцієнтом ослаблення?
13. Дати визначення середньої довжини вільного пробігу γ-кванту (довжини релаксації). Як вона пов'язана з лінійним коефіцієнтом ослаблення?

4. ЯДЕРНІ РЕАКЦІЇ

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Вихід ядерної реакції можна розрахувати за формулою:
   А) $\omega = \Delta N/N$;
   Б) $Q = E_0 - E_0' = K' - K$;
   В) $A = \Phi N\sigma$.
2. Чому дорівнює 1 барн?
   А) 1 барн = 10^{-24} см ^{2};
   Б) 1 барн = 10^{-12} см^2;
   В) 1 барн = 10^{-33} см.
3. Реакція є екзоенергетичною, якщо:
   А) $Q > 0$;
   Б) $Q < 0$;
   В) $Q = 0$.
4. Яка величина розраховується за даною формулою $K_{пор} = \frac{m+M}{M}|Q|$:
   А) вихід ядерної реакції;
   Б) енергія реакції;
   В) порогова кінетична енергія частинки, що налітає.
5. Реакція поділу ядра відбувається у разі опромінення важкого ядра:
   А) α-частинками;
   Б) нейтронами;
   В) γ-квантами.
6. Чому приблизно дорівнює критична маса урану $^{235}_{92}U$?
   А) 9 кг;
   Б) 20 кг;
   В) 50 кг;
   Г) 90 кг
7. В основу теорії поділу атомних ядер покладена:
   А) оболонкова модель ядра;
   Б) краплинна модель ядра;
   В) жодна з відповідей не є правильною.

8. Для здійснення ланцюгової ядерної реакції необхідно, щоб коефіцієнт розмноження нейтронів був:
   А) $K > 1$;
   Б) $K < 1$;
   В) $K=1$.
9. Для зменшення критичної маси як сповільнювач нейтронів використовують:
   А) воду;
   Б) важку воду;
   В) γ-кванти.
10. Ланцюгові реакції поділяються на:
   А) керовані та некеровані;
   Б) екзотермічні та ендотермічні;
   В) окисні та відновні.
11. Заряд водневої бомби утворюють:
   А) гідроген і дейтерій;
   Б) тритій та гідроген;
   В) дейтерій та тритій.
12. Ядерні сили являють собою прояв:
   А) міжмолекулярної взаємодії;
   Б) сильної взаємодії;
   В) внутрішньомолекулярної взаємодії;
   Г) Ван-дер-ваальсових сил.
13. Ядерна реакція – це взаємодія, при якій:
   А) вилітає частинка того ж сорту, а кінцеве ядро утворюється у збудженому стані;
   Б) змінюються внутрішні властивості та склад ядра-мішені і вилітає нова частинка;
   В) частинка і ядро після реакції зберігають індивідуальність;
   Г) внутрішні властивості, а також склад ядра-мішені залишаються незмінними.
14. Як у скороченому вигляді записується рівняння $a + X \rightarrow Y + b$:
   А) $XY(a,b)$;
   Б) $YX(b,a)$;

В) X(a,b)Y;
Г) Y(b,a).

15. Геометричний переріз ядра має порядок:
А) 10^{-23} м^2;
Б) 10^{-23} см^2;
В) 10^{-24} м^2;
Г) 10^{-24} см^2.

16. Як називається реакція, що перебігає зі зменшенням кінетичної енергії?
А) екзотермічна;
Б) ендотермічна;
В) ядерна;
Г) електромагнітна.

17. Мінімальна кінетична енергія, при якій можливий ендотермічний процес, називається:
А) поріг реакції;
Б) початок реакції;
В) бар'єр реакції;
Г) канал реакції.

18. Енергія активації – це:
А) мінімальна енергія, необхідна для зіткнення молекул;
Б) максимальна енергія, необхідна для здійснення реакції поділу ядра;
В) мінімальна енергія, необхідна для здійснення реакції поділу ядра;
Г) максимальна енергія, необхідна для зіткнення молекул.

19. Що називається ланцюговою реакцією?
А) реакція синтезу ядер;
Б) реакція сполучення атомів і молекул;
В) реакція, у якій частинки, що її викликають, утворюються як продукти цієї реакції;
Г) термоядерна реакція, у якій утворюються ізотопи ядер даної речовини.

20. Замісник нейтронів D_2O також називають:

А) легка вода;
Б) важка вода;
В) надважка вода;
Г) немає правильної відповіді.

21. За допомогою чого в ядерній фізиці прийнято характеризувати ймовірність взаємодії?
А) ядерної реакції;
Б) моделі ядра;
В) ефективного перерізу;
Г) поділу ядра.

22. Типова реакція прямої взаємодії – це:
А) реакція поділу;
Б) реакція сполучення;
В) реакція обриву;
Г) реакція заміщення.

23. Реакція називається екзоенергетичною, якщо:
А) $Q \leq 0;$
Б) $Q \geq 0;$
В) $Q > 0;$
Г) $Q = 0.$

24. Ланцюгова реакція в урані с підвищеним вмістом урану-235 може мати місце тільки тоді, коли маса урану:
А) менша, ніж критична маса;
Б) більша, ніж критична маса;
В) дорівнює критичній масі;
Г) близька до критичної маси.

25. Критичну масу урану можна зменшити в багато разів, використовуючи:
А) сповільнювачі нейтронів;
Б) прискорювачі нейтронів;
В) сповільнювачі протонів;
Г) прискорювачі протонів.

26. Якими бувають ланцюгові реакції?
А) керовані;

Б) мимовільні;
В) некеровані;
Г) службові.

27. Що є найкращими сповільнювачем нейтронів?
А) звичайна вода;
Б) дистильована вода;
В) важка вода;
Г) графіт.

28. Що таке ядерний (атомний) реактор?
А) перетворення атомних ядер при взаємодії з елементарними частинками або одного з одним;
Б) кінетична енергія, пов'язана з рухом системи як цілого;
В) опромінення важкого ядра нейтронами;
Г) пристрій, у якому підтримується керована реакція поділу ядер.

29. Утворення з легких ядер більш важких – це:
А) ядерний синтез;
Б) термоядерна реакція;
В) атомний реактор;
Г) ланцюгові реакції.

30. Яку ядерну реакцію вдалося здійснити на даному етапі розвитку науки і техніки?
А) некеровану реакцію синтезу;
Б) керовану реакцію синтезу;
В) службову реакцію синтезу;
Г) мимовільну реакцію синтезу.

31. Величина, яку приймають за одиницю ядерних перерізів та називають *барном,* дорівнює:
А) 10^{-22} см^2;
Б) 10^{-12} см^2;
В) 10^{-24} см^2;
Г) 10^{-26} см^2.

32. Першим етапом реакції, що викликається не дуже швидкими частинками, є:
А) розпад складового ядра;

Б) захоплення налітаючої частинки *a* ядром *X* з утворенням складового (або проміжного) ядра;
В) утворення та подальший розпад складового ядра;
Г) жодний з перелічених процесів.

33. Поняття «ядерний час» означає:
А) час життя складового ядра;
Б) час життя складового ядра у збудженому стані;
В) час випускання нейтронів;
Г) час прольоту нуклоном відстані, що дорівнює діаметру ядра.

34. Екзоенергетичними *(1)* та ендоенергетичними *(2)* називають такі реакції, для яких:
А) $Q > 0$ *(1)*, $Q < 0$ *(2);*
Б) $Q = 0$ *(1)*, $Q < 0$ *(2);*
В) $Q > 0$ *(1)*, $Q = 0$ *(2);*
Г) $Q < 0$ *(1)*, $Q > 0$ *(2).*

35. Ендроенергетична реакція можлива лише у тому випадку, коли сумарна енергія $\tilde{K}$ частинок, що зіштовхуються (в Ц – системі):
А) має скільки завгодно малі значення;
Б) перевищує деяке мінімальне значення;
В) дорівнює деякому максимальному значенню;
Г) дорівнює нулю.

36. Порогова кінетична енергія налітаючої частинки *m* розраховується за формулою:
А) $K_{\text{пор}} = \frac{m+M}{M}$;
Б) $K_{\text{пор}} = |Q| + \frac{p^2}{2(m+M)}$;
В) $K_{\text{пор}} = \frac{p^2}{2m}$;
Г) $K_{\text{пор}} = \frac{m+M}{M}|Q|$.

37. Поділ важких ядер може бути викликаний:
А) тільки нейтронами;
Б) нейтронами та протонами;
В) нейтронами, протонами, дейтронами, α-частинками, γ-фотонами;

Г) α-частинками та γ-фотонами.

38. Для здійснення ланцюгової реакції необхідно, щоб так званий коефіцієнт розмноження нейтронів *k* був:
    А) більше одиниці;
    Б) менше одиниці;
    В) рівний одиниці;
    Г) рівний нулю.
39. Коефіцієнт розмноження нейтронів визначається:
    А) тільки числом нейтронів, що утворюються в кожному елементарному акті;
    Б) числом нейтронів, що утворюються в кожному елементарному акті, і умовами, за яких перебігає реакція;
    В) умовами, за яких перебігає реакція;
    Г) жодним з наведених факторів.
40. Найкращими сповільнювачами нейтронів є:
    А) важка вода D_2O;
    Б) графіт;
    В) звичайна вода після взаємодії з нейтронами;
    Г) усі вищезазначені приклади.
41. Заряд водневої (або термоядерної) бомби утворюють такі речовини, як:
    А) дейтерій і тритій;
    Б) уран і водень;
    В) уран і плутоній;
    Г) тербій і плутоній.
42. Яку величину приймають за одиницю ядерних перерізів?
    А) число Авогадро;
    Б) масу речовини;
    В) об'єм;
    Г) барн.
43. Важка вода є найкращим сповільнювачем для:
    А) електронів;
    Б) протонів;
    В) нейтронів;

Г) не є сповільнювачем.

44. При дуже високій температурі речовина, що перебуває в іонізованому стані, називається:

А) плазмою;

Б) електроном;

В) ядром;

Г) нейтроном.

45. Коефіцієнт розмноження нейтронів є необхідним поняттям:

А) ланцюгової реакції;

Б) термоядерної реакції;

В) хімічної реакції;

Г) немає правильної відповіді.

46. Реакція поділу ядра відбувається при:

А) виявленні важкого ядра;

Б) поділі елементарних частинок;

В) опроміненні важкого ядра нейтронами;

Г) взаємодії нейтронів.

47. Вихід ядерної реакції розраховують за формулою:

А) $p=K\cdot L;$

Б) $w= m/ N;$

В) $m=V\cdot L;$

Г) $w=\Delta N/N.$

48. Який порядок має геометричний переріз ядра?

А) 10^{-45} см$^{-2}$;

Б) 10^{-24} см$^{-2}$;

В) 10^{-24} дм;

Г) 10^{-26} см$^{-2}$.

49. Час життя складеного ядра у збудженому стані становить:

А) $\sim 10^{-14}$;

Б) $\sim 10^{-25}$;

В) $\sim 10^{-46}$;

Г) $\sim 10^{-24}$.

50. Які величини називають енергією реакції Q?

А) $Q = E_0 - E'_0 = K' - K;$

Б) $Q = E_0 + K = E'_0 + K;$

В) $Q = K - E_0 = K + E'_0;$

Г) $Q = E'_0 + K = K - E_0.$

51. Як позначається поріг реакції?

А) $L_{пор}$;

Б) $K_{пор}$;

В) $Q_{пор}$;

Г) $M_{пор}$.

52. Що виникає в результаті поділу ядра, ініційованого нейтроном?

А) нові нейтрони;

Б) лептони;

В) дейтрони;

Г) протони.

53. В якій зоні реактора перебігає ядерна реакція?

А) активній;

Б) пасивній;

В) доступній;

Г) недоступній.

54. Що називається термоядерною реакцією?

А) коли для синтезу ядер необхідні дуже низькі температури;

Б) коли для синтезу ядер необхідні дуже високі температури;

В) коли для синтезу ядер необхідні змінні температури;

Г) коли для синтезу ядер необхідна нульова температура.

55. Як називається обладнання, у якому підтримується керована реакція поділу ядер?

А) ядерним реактором;

Б) дугогасним реактором;

В) термоядерним реактором;

Г) хімічним реактором.

56. Які речовини утворюють заряд водневої бомби?

А) дейтерій;

Б) тритій;

В) дейтерій і тритій;

Г) інший варіант.

57. Яка енергія виділяється при синтезі дейтрона і ядра тритію?
   А) 15,6 МеВ;
   Б) 17,6 МеВ;
   В) 18,6 МеВ;
   Г) 16,6 МеВ.
58. Вірогідність поділу ядер визначається енергією:
   А) протонів;
   Б) нейтронів;
   В) мезонів;
   Г) мюонів.
59. Для здійснення ланцюгової реакції необхідно, щоб k (коефіцієнт розмноження нейтронів) мав значення:
   А) $k > 1;$
   Б) $k < 1;$
   В) $k = 1;$
   Г) $k \geq 1.$
60. Вибух атомної бомби – це приклад:
   А) керованої ланцюгової реакції;
   Б) некерованої ланцюгової реакції;
   В) хімічної реакції;
   Г) немає правильної відповіді.
61. Атомний реактор – це:
   А) пристрій, в якому підтримується некерована реакція поділу ядер;
   Б) пристрій, в якому підтримується керована реакція поділу ядер;
   В) пристрій, призначений для організації керованої ланцюгової реакції поділу, яка не супроводжується виділенням енергії;
   Г) пристрій, призначений для організації некерованої ланцюгової реакції поділу, яка завжди супроводжується виділенням енергії.
62. Термоядерні реакції – це:
   А) реакції злиття (синтезу) легких ядер, що перебігають при високих температурах;
   Б) процес розщеплення атомного ядра на два (рідше три) ядра з близькими масами, званих осколками поділу;

В) послідовність одиничних ядерних реакцій, кожна з яких викликана частинкою, що є продуктом реакції на попередньому кроці послідовності;

Г) немає правильної відповіді.

63. Плазма – це:

А) інтенсивний процес окиснення, що супроводжується випромінюванням у видимому діапазоні і виділенням теплової енергії;

Б) повністю іонізований стан речовини, що виникає за високих температур;

В) некерований процес вивільнення великої кількості теплової і променевої енергії в результаті ланцюгової ядерної реакції поділу;

Г) немає правильної відповіді.

64. Що утворюють протон і нейтрон за умови паралельної орієнтації спінів?

А) протон (ядро ізотопу ${}^{1}_{1}H$);

Б) дейтрон (ядро ізотопу ${}^{1}_{2}H$);

В) тритон (ядро ізотопу ${}^{1}_{3}H$);

Г) нейтрон (ядро ізотопу ${}^{1}_{1}H$).

65. Які елементи мають двічі магічні ядра (у яких числа електронів і протонів – магічні)?

А) ${}^{4}_{2}He$ і ${}^{16}_{8}O$;

Б) ${}^{40}_{20}Ca$ і ${}^{40}_{19}K$;

В) ${}^{16}_{8}O$ і ${}^{17}_{8}O$;

Г) ${}^{10}_{5}B$ і ${}^{4}_{2}He$.

66. Який тип реакції записується символічно як $a + X \rightarrow Y + b$?

А) реакція обриву;

Б) ядерна реакція у дві стадії;

В) ефективний переріз ядерної реакції;

Г) ядерна реакція взаємодії частинки з ядром.

67. За якою формулою можна розрахувати вихід ядерної реакції?

А) $\frac{\Delta N}{N} = P = \sigma \cdot n$;

Б) $\Delta N \cdot N = P = \frac{\sigma}{n}$;

В) $\frac{\Delta N}{N} = P = \frac{\sigma}{n}$;

Г) $\Delta N \cdot N = P = \sigma \cdot n$.

68. Як називають реакції з енергією $Q < 0$, при $A\ (a, b)\ B + Q$?

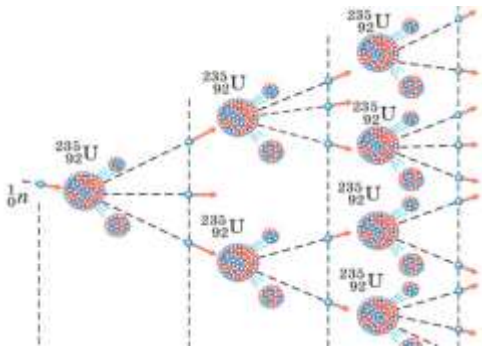
А) ендоенергетичні;

Б) ендотермічні;

В) екзоенергетичні;

Г) екзотермічні.

69. Схема якої реакції зображена на рис.?



А) термоядерної реакції;

Б) прямої ядерної реакції;

В) ланцюгової реакції;

Г) ядерної реакції у дві стадії.

70. Доповніть реакції поділу ядра урану:

1. $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{144}_{56}Ba + [1] + 3^{1}_{0}n$ 2А) $^{94}_{38}Sr$;

2. $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{140}_{54}Xe + [2] + 2^{1}_{0}n$ 4Б) $^{139}_{54}Xe$;

3. $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{236}_{92}U \rightarrow ^{140}_{55}Cs + [3] + 2^{1}_{0}n$ 3В) $^{94}_{37}Rb$;

4. $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{236}_{92}U \rightarrow ^{95}_{38}Sr + [4] + 2^{1}_{0}n$ 1Г) $^{89}_{36}Kr$.

71. Вихідним продуктом для отримання штучного ядерного палива $^{233}_{92}U$ в реакції $? + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{233}_{90}Th \xrightarrow{\beta^-} ^{233}_{91}Pa \xrightarrow{\beta^-} ^{233}_{92}U$ є:

А) $^{238}_{92}U$;

Б) $^{239}_{94}Pu$;

В) $^{232}_{90}Th$;

Г) $^{233}_{90}Th$.

Приклади розв'язання задач

Приклад 1. Перша штучна реакція, виконана Резерфордом у 1919 г:

$$^{14}_{7}\mathrm{N} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow ^{1}_{1}\mathrm{H} + ^{17}_{8}\mathrm{O}.$$

Записати її у короткому (згорнутому) вигляді. Які закони збереження виконуються при ядерних реакціях?

Розв'язання

1) $^{14}\mathrm{N}(\alpha, p)^{17}\mathrm{O}$.

2) При ядерних реакціях виконуються закони збереження: енергії, імпульсу, моменту імпульсу, електричного заряду (зарядового числа), масового числа (баріонного заряду), парності, ізотопічного спіну.

Приклад 2. У реакторах-розмножувачах (брідерах) здійснюється процес отримання нуклідів плутонію $^{239}\mathrm{Pu}$ і урану $^{233}\mathrm{U}$, які використовуються при створенні ядерної зброї і в якості палива для реакторів. В якості сировини використовуються відповідно ^{238}U або торій $^{232}\mathrm{Th}$. Схеми таких реакцій:

$$^{238}_{92}\mathrm{U} + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}\mathrm{U}^* \xrightarrow{\beta^-} ^{239}_{93}\mathrm{Np}^* \xrightarrow{\beta^-} ^{239}_{94}\mathrm{Pu};$$

$$^{232}\mathrm{Th}\,(n,\gamma)\,^{233}\mathrm{Th}^* \xrightarrow{\beta^-} ^{233}\mathrm{Pa}^* \xrightarrow{\beta^-} ^{233}\mathrm{U}.$$

Записати у розгорнутій формі реакції β^--розпаду $^{239}\mathrm{U}$ і $^{239}\mathrm{Np}$, $^{233}\mathrm{Pa}$ і $^{233}\mathrm{Th}$.

Розв'язання

$$^{239}_{92}\mathrm{U} \xrightarrow{\beta^-} ^{0}_{-1}e + ^{0}_{0}\tilde{\nu} + ^{239}_{93}\mathrm{Np}$$

$$^{239}_{93}\mathrm{Np} \xrightarrow{\beta^-} ^{0}_{-1}e + ^{0}_{0}\tilde{\nu} + ^{239}_{94}\mathrm{Pu}$$

$$^{233}_{91}\mathrm{Pa} \xrightarrow{\beta^-} ^{0}_{-1}e + ^{0}_{0}\tilde{\nu} + ^{233}_{92}\mathrm{U}$$

$$^{233}_{90}\mathrm{Th} \xrightarrow{\beta^-} ^{0}_{-1}e + ^{0}_{0}\tilde{\nu} + ^{233}_{91}\mathrm{Pa}.$$

Приклад 3. Знайти енергію ядерної реакції $^{14}_{7}\mathrm{N}(n,p)\,^{14}_{6}\mathrm{C}$, якщо енергія зв'язку ядра $^{14}_{7}\mathrm{N}$ дорівнює 104,66 МеВ, а енергія зв'язку ядра $^{14}_{6}\mathrm{C}$ дорівнює 105,29 МеВ.

Розв'язання

Тепловий (енергетичний) ефект реакції дорівнює

$$Q = c^2\left(m_N + m_n - m_p - m_C\right).$$

Енергія зв'язку ядра азоту: $\Delta E_1 = c^2\left(7m_p + 7m_n - m_N\right)$, ядра вуглецю: $\Delta E_2 = c^2\left(6m_p + 8m_n - m_C\right)$.

З цих рівнянь видно, що

$$\Delta E_2 - \Delta E_1 = c^2\left(m_N + m_n - m_p - m_C\right),$$

тобто $Q = \Delta E_2 - \Delta E_1$ – енергія реакції:

$$Q = 105{,}29 - 104{,}66 = 0{,}63 \text{ МеВ}.$$

Відповідь: Q = 0,63 МеВ.

Приклад 4. Ядерні реакції ${}^{10}_{5}\mathrm{B}(n,\alpha)\,{}^{7}_{3}\mathrm{Li}$ і ${}^{6}_{3}\mathrm{Li}(n,\alpha)\,{}^{3}_{1}\mathrm{H}$ використовуються в дозиметрії для реєстрації нейтронів. Для цього застосовуються іонізаційні камери з літієвим або борним покриттям, лічильники, наповнені газоподібним BF_3 або виготовлені з борного скла. Запишіть запропоновані реакції у розгорнутій формі. Визначте енергії даних ядерних реакцій.

Дано:

${}^{10}_{5}\mathrm{B}(n,\alpha)\,{}^{7}_{3}\mathrm{Li}$

${}^{6}_{3}\mathrm{Li}(n,\alpha)\,{}^{3}_{1}\mathrm{H}$

m_β = 10,01294 а.о.м.

m_n = 1,00867 а.о.м.

m_α = 4,0026 а.о.м.

$m_{{}^{7}\mathrm{Li}}$ = 7,01601 а.о.м.

$m_{{}^{6}\mathrm{Li}}$ = 6,01513 а.о.м.

$m_{{}^{3}_{1}\mathrm{H}}$ = 3,01605 а.о.м.

Q_1 - ? Q_2 - ?

Розв'язання

Розгорнута форма запису ядерної реакції:

$${}^{10}_{5}\mathrm{B} + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

$${}^{6}_{3}\mathrm{Li} + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{3}_{1}\mathrm{H} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

Енергія ядерних реакцій:

$$Q_1 = c^2\left(m_B + m_n - m_\alpha - m_{Li}\right)$$

$$Q_2 = c^2\left(m_{{}^{6}Li} + m_n - m_\alpha - m_{{}^{3}H}\right)$$

Q_1 = 931,5·(10,01294 + 1,00867 – 4,0026 – 7,01601) = 2,79 МеВ.

Q_2 = 931,5·(6,01513 + 1,00867 – 4,00260 – 3,01605) = 4,8 МеВ.

Відповідь: Q_1 = 2,79 МеВ; Q_2 = 4,8 МеВ.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Визначити енергію ядерних реакцій:
   1) ${}^{9}_{4}\mathrm{Be} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{10}_{5}\mathrm{B} + {}^{1}_{0}n$; 2) ${}^{6}_{3}\mathrm{Li} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$.
2. Визначити порядковий номер і масове число частинки, позначеної буквою x в символічному записі ядерної реакції ${}^{14}_{6}\mathrm{C} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + x$. Обчислити енергію даної реакції.
3. Визначити енергію ядерних реакцій:
   1) ${}^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{10}_{5}\mathrm{B} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$; 2) ${}^{44}_{20}\mathrm{Ca} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{41}_{19}\mathrm{K} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$.
   Виділяється чи поглинається енергія в цих реакціях?
4. Визначити енергію ядерної реакції ${}^{9}_{4}\mathrm{Be}(n,\gamma)\,{}^{10}_{4}\mathrm{Be}$, якщо відомо, що енергія зв'язку ядра ${}^{9}\mathrm{Be}$ дорівнює 58,16 МеВ, а ядра ${}^{10}\mathrm{Be}$ дорівнює 64,98 МеВ.
5. Знайти енергію ядерної реакції ${}^{14}\mathrm{N}(n,p)\,{}^{14}\mathrm{C}$, якщо енергія зв'язку ядра ${}^{14}\mathrm{N}$ дорівнює 104,66 МеВ, а ядра ${}^{14}\mathrm{C}$ дорівнює 105,29 МеВ.
6. Знайти енергії ядерних реакцій: ${}^{3}\mathrm{H}(p,\gamma)\,{}^{4}\mathrm{He}$; ${}^{2}_{1}\mathrm{H}(d,\gamma)\,{}^{4}\mathrm{He}$.
7. Знайти енергії ядерних реакцій: ${}^{2}_{1}\mathrm{H}(n,\gamma)\,{}^{3}_{1}\mathrm{H}$; ${}^{19}_{9}\mathrm{F}(p,\alpha)\,{}^{16}\mathrm{O}$.
8. Знайти найменше значення енергії γ-кванту, достатнє для здійснення ядерної реакції ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{0}_{0}\gamma \rightarrow {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{1}_{0}n$.
9. При бомбардуванні ядер ${}^{7}_{3}\mathrm{Li}$ протонами утворюються дві α-частинки. Енергія кожної α-частинки в момент їх утворення дорівнює 9,15 МеВ. Чому дорівнює енергія бомбардуючих протонів?
10. Штучний ізотоп азоту ${}^{13}_{7}\mathrm{N}$ утворюється бомбардуванням ядер вуглецю ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ дейтонами. 1) Написати рівняння ядерної реакції; 2) Знайти кількість тепла, поглиненого в цій реакції, і її поріг.
11. Визначити енергію швидких нейтронів, що виникають в результаті реакції ${}^{9}_{4}\mathrm{Be} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{0}n$.
12. Обчислити енергію ядерної реакції ${}^{3}_{1}\mathrm{H} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}n$. Виділяється чи поглинається ця енергія?

13. Скільки тепла виділяється при утворенні 1 г ${}^{3}_{2}\mathrm{He}$ із протонів і нейтронів?
14. Визначити найменшу кінетичну енергію α-частинки, при якій можлива реакція ${}^{9}_{4}\mathrm{Be} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow 3\,{}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}n$.
15. Ядро атома фтору ${}^{19}_{9}\mathrm{F}$, захоплюючи нейтрон, перетворюється в ядро кисню ${}^{18}_{8}\mathrm{O}$, випромінюючи при цьому частинку. Написати рівняння даної реакції і визначити її енергію.
16. Ядро атома срібла при опроміненні ядрами тритію (тритонами) перетворюється в ядро атома паладію, випромінюючи при цьому α-частинку. Написати рівняння ядерної реакції і визначити її енергію. Молярна маса природного паладію 105,90285 а.о.м.
17. Знайти тепловий ефект реакції ${}^{7}\mathrm{Li}(p, 2\alpha)$, якщо відомо, що енергія зв'язку на один нуклон в ядрах ${}^{7}\mathrm{Li}$ і ${}^{4}\mathrm{He}$ дорівнює відповідно 5,6 і 7,06 МеВ/нуклон.
18. Знайти енергію термоядерних реакцій.
    1) ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$;
    2) ${}^{6}_{3}\mathrm{Li} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$.
19. Написати відсутні позначення в наступних ядерних реакціях:
    1) ${}^{27}_{13}\mathrm{Al}(n,\alpha)\,{}^{A}_{Z}X$;
    2) ${}^{19}_{9}\mathrm{F}(p,x)\,{}^{16}_{8}\mathrm{O}$;
    3) ${}^{55}_{25}\mathrm{Mn}(x,n)\,{}^{55}_{26}\mathrm{Fe}$;
    4) ${}^{14}_{7}\mathrm{N}(n,x)\,{}^{14}_{6}\mathrm{C}$;
    5) ${}^{A}_{Z}X(p,\alpha)\,{}^{22}_{11}\mathrm{Na}$;
    6) ${}^{27}_{17}\mathrm{Al}(\alpha,n)\,{}^{A}_{Z}X$;
    7) ${}^{9}_{4}\mathrm{Be}(x,n)\,{}^{12}_{6}\mathrm{C}$.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ЗАНЯТТЯ

1. Який процес називається ядерною реакцією?
2. Як класифікуються ядерні реакції? Наведіть приклади.
3. Як символічно записується ядерна реакція?
4. Як визначається і який фізичний зміст має відцентровий бар'єр нейтронної реакції?
5. Ядерні реакції під дією γ-квантів і заряджених частинок.
6. Перерахуйте закони збереження, що виконуються при ядерних реакціях.
7. Як визначається енергія ядерної реакції?
8. Який механізм ядерної реакції?
9. Як визначається енергія збудження проміжного ядра?
10. Виконайте і поясніть енергетичні схеми екзо- і ендоенергетичних реакцій.
11. Як визначається поріг ендоенергетичної реакції?
12. Що таке нейтронна потужність реактора?
13. Що таке залишкове тепловиділення?
14. Які процеси зумовлюють залишкове тепловиділення?

5. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ РАДІОАКТИВНОСТІ У НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Методи аналізу із застосуванням радіоактивних ізотопів:
   А) нічим не відрізняються від інших методів;
   Б) більш чутливі;
   В) використовуються менше, ніж інші аналітичні методи;
   Г) немає правильної відповіді.
2. Активаційний аналіз заснований на:
   А) нейтронній активації;
   Б) визначенні близьких за властивостями компонентів сумішей, які важко розділити;
   В) перетворенні певних домішок у радіоактивні нукліди;
   Г) використанні явищ поглинання і відбиття речовиною радіоактивних випромінювань.
3. З активаційного аналізу придатні тільки реакції за участю:
   А) нейтронів;
   Б) електронів;
   В) нуклонів;
   Г) кварків.
4. Активність радіоактивного нукліда після опромінення дорівнює:
   А) $A_T = \Phi\sigma N e^{-\lambda t}(1-e^{-\lambda t})$;
   Б) $A_\infty = \Phi N\sigma$;
   В) $N^* = \frac{\Phi N_\sigma}{\lambda}$;
   Г) $A = \lambda N^* = \Phi\sigma N(1-e^{-\lambda t})$.
5. Ефективний переріз захоплення σ характеризує:
   А) ймовірність перебігу ядерної реакції;
   Б) зміну напрямку руху частинок у результаті зіткнень з іншими частинками;
   В) ймовірність досягнення швидким нейтроном теплової енергії;
   Г) параметр ланцюгової реакції.
6. При нейтронній активації ефективний переріз захоплення залежить від:

А) енергії електронів;
Б) енергії зв'язку нуклонів;
В) енергії нейтронів;
Г) енергії кванта.

7. При цілком певних енергіях виникають:
А) електромерний ефект;
Б) резонансні стани;
В) електрорушійні сили;
Г) мезомерний ефект.

8. Метод «субстехіометричних» визначень дає можливість:
А) виділяти у чистому стані частини певних речовин;
Б) визначати близькі за властивостями компоненти сумішей, які важко розділити;
В) визначати вміст нерадіоактивного компонента;
Г) проводити визначення мікроречовин.

9. Комбінація з іонним обміном або екстракцією розчинниками дозволяє визначити слідові кількості речовин:
А) 10^{-6} г;
Б) 10^{-5} г;
В) 10^{-4} г;
Г) 10^{-3} г.

10. У радіометричному титруванні радіоактивна речовина служить:
А) макрокомпонентом;
Б) індикатором;
В) мікрокомпонентом;
Г) титрантом.

11. У радіометричному титруванні використовують прилад:
А) пірометр;
Б) лічильник Гейгера-Мюллера;
В) дозиметр;
Г) спектрометр.

12. Індукована електропровідність залежить від:
А) температури газів і їх сумішей;
Б) частоти прикладеного поля;

В) природи впливу;
Г) немає правильної відповіді.

13. Іонізаційні детектори широко застосовуються в якості детекторів:
А) іонообмінної хроматографії;
Б) рідинної хроматографії;
В) капілярної хроматографії;
Г) газової хроматографії.

14. Джерелом іонізації газу можуть бути:
А) радіохвилі;
Б) терагерцове випромінювання;
В) рентгенівське та жорстке гамма-випромінювання;
Г) видиме світло.

15. Камера Вільсона – це:
А) прилад для реєстрації слідів заряджених частинок;
Б) газорозрядний прилад для автоматичного підрахунку числа іонізуючих частинок, що потрапили в нього;
В) прилад для реєстрації треків швидких заряджених частинок, дія якого заснована на закипанні перегрітої рідини;
Г) прилад для вимірювання дози іонізуючого випромінювання.

16. Для визначення слідових кількостей домішок у речовині застосовують:
А) метод активаційного аналізу;
Б) метод кількісного хімічного аналізу;
В) метод якісного хімічного аналізу;
Г) інструментальний метод.

16. В яких випадках застосовують активацію заряджених частинок?
А) коли відсутнє підходяще джерело нейтронів;
Б) радіоізотоп, що утворився в результаті активації, непридатний для роботи;
В) для визначення вмісту карбону в залізі;
Г) при тривалому опроміненні.

17. Сутність оберненого методу ізотопного розведення?
А) до аналізованої суміші додають невідому кількість нерадіоактивного ізотопу визначуваного елемента;

Б) до аналізованої суміші додають відому кількість нерадіоактивного ізотопу визначуваного елемента;
В) до аналізованої суміші додають відому кількість радіоактивного ізотопу визначуваного елемента;
Г) до аналізованої суміші додають невідому кількість нерадіоактивного ізотопу визначуваного елемента.

18. Що входить до складу іонізаційного аналізатора?
А) іонізаційна камера;
Б) прилад для вимірювання струму іонізації;
В) лічильник Гейгера-Мюллера;
Г) лійка Бюхнера.

19. Чому частинки аерозолю повністю втрачають свій заряд у процесі рекомбінації, не досягаючи електродів?
А) частинки мають велику масу і швидко рухаються;
Б) частинки мають маленьку масу і швидко рухаються;
В) частинки мають велику масу і повільно рухаються;
Г) частинки мають маленьку масу і повільно рухаються.

20. Газорозрядний лічильник сприймає ядерне випромінювання і перетворює його в:
А) джерело іонізації;
Б) електричні імпульси;
В) іонізуючу частинку;
Г) імпульс напруги.

21. За що у 1948 р. П. Блекетт одержав Нобелівську премію?
А) за бульбашкові камери;
Б) за газорозрядний лічильник;
В) за імпульсні прискорювачі;
Г) за створення керованої камери Вільсона.

22. Найважливішою частинкою, яка використовується для активації є:
А) протон;
Б) нейтрон;
В) електрон;
Г) α-частинка.

23. Дію яких побічних процесів необхідно враховувати при проведенні нейтронного активаційного аналізу?
   А) нерівномірність активації (неоднорідність потоку опромінення, депресія потоку);
   Б) перебіг первинних та вторинних реакцій;
   В) перебіг реакцій другого порядку;
   Г) необхідно враховувати дію всіх вищезазначених процесів.
24. За допомогою методу ізотопного розведення необхідно виділяти:
   А) всю визначувану речовину;
   Б) декілька речовин одночасно;
   В) не всю визначувану речовину, а лише її частку в більш чистому стані;
   Г) декілька речовин, одна з яких виділиться в більш чистому стані.
25. При визначенні вмісту нерадіоактивної речовини шляхом розведення радіоактивним ізотопом кількість визначуваної речовини розраховується за такою формулою:
   А) $X_1 = A_2/A_1 – 1$;
   Б) $X_1 = (A_2/A_1 – 1)X_2$;
   В) $X_1 = A_2/A_1 \cdot X_2$;
   Г) $X_1 = (A_2/A_1)X_2$.
26. Обернений метод ізотопного розведення, порівняно з прямим методом, має перевагу, за рахунок якої цей метод можна застосовувати:
   А) для визначення мікрокількостей речовин;
   Б) для визначення макрокількостей речовин;
   В) для визначення мікро- і макрокількостей речовин;
   Г) у тому випадку, коли питома активність визначуваної речовини у вихідній суміші невідома або її не можна розрахувати.
27. В методі радіометричного титрування радіоактивна речовина є:
   А) титрантом;
   Б) речовиною, яку титрують;
   В) індикатором процесу титрування;
   Г) стандартним розчином.
28. Іонізаційний аналізатор являє собою:

А) іонізаційну камеру;
Б) прилад, що вимірює струм іонізації;
В) прилад, що не вимірює струм іонізації;
Г) іонізаційну камеру і прилад, що вимірює струм іонізації.

29. Склад двокомпонентної суміші газів можна визначити завдяки тому, що:
А) для різних газів значення середньої енергії, необхідної для утворення іонної пари *(W)*, різні;
Б) для різних газів значення середньої енергії, необхідної для утворення іонної пари *(W)*, однакові;
В) значення середньої енергії, необхідне для утворення іонної пари *(W)*, більше, ніж значення енергії іонізації;
Г) значення середньої енергії, необхідне для утворення іонної пари *(W)*, залежить від природи газу.

30. Джерелом іонізації газу в газорозрядному лічильнику може бути:
А) γ-, α- та β-промені;
Б) рентгенівське і ультрафіолетове випромінювання;
В) α-промені та ультрафіолетове випромінювання;
Г) γ-, α- та β-промені, рентгенівське і ультрафіолетове випромінювання.

31. Ефективність лічильника Гейгера-Мюллера залежить від:
А) енергії γ-випромінювання;
Б) матеріалу стінок лічильника;
В) товщини стінок лічильника, їх матеріалу і енергії γ-випромінювання;
Г) жодного з перелічених факторів.

32. Порівняно з камерою Вільсона, у бульбашковій камері заряджена частинка:
А) ініціює на своєму шляху перетворення пари в рідину;
Б) викликає перетворення рідини в пару;
В) викликає перехід твердої речовини в пароподібний стан;
Г) не викликає жодного з перелічених перетворень.

33. Перегрітий стан рідини в бульбашковій камері досягається швидким:

А) збільшенням температури;
Б) зменшенням температури;
В) зменшенням зовнішнього тиску;
Г) збільшенням зовнішнього тиску.

34. Важливою перевагою бульбашкової камери є:
А) використання рідини як робочого середовища;
Б) застосування газу як робочого середовища;
В) можливість швидкого "ввімкнення" за сигналами зовнішніх детекторів;
Г) її великий розмір (до 40 $м^3$).

35. Робочим середовищем в камері Вільсона найчастіше є:
А) пара води;
Б) пара спирту;
В) суміш парів води і спирту;
Г) суміш парів будь-яких газів.

36. Створення керованої камери Вільсона дозволило:
А) фіксувати треки всіх заряджених частинок;
Б) фотографувати краплі рідини, які утворюються на іонах, при хорошому освітленні;
В) працювати в циклічному режимі, де повний час циклу > 1 хвилини;
Г) відбирати події, які повинні бути зареєстровані, і "запускати" камеру лише для їх спостереження.

37. Активаційний аналіз заснований на перетворенні певних домішок за допомогою:
А) ядерних реакцій;
Б) радіоактивних нуклідів;
В) інтегрування;
Г) ефективного перерізу захоплення.

38. Найважливішими джерелами нейтронів є:
А) ядерні реактори;
Б) ядерна оболонка;
В) нейтрони;
Г) електрони.

39. При проведенні нейтронного активаційного аналізу необхідно враховувати:
А) дію побічних процесів;
Б) проби речовин;
В) застосування нейтронів;
Г) ступінь проходження.
40. Макрокомпоненти у разі активації перетворюються на:
А) стабільний ізомер;
Б) стабільний ізотоп;
В) стабільний імпульс;
Г) стабільний електрон.
41. Спосіб проведення аналізу за методом ізотопного розведення залежить від:
А) температури аналізованої речовини;
Б) густини і складу аналізованої речовини;
В) типу і складу аналізованої речовини;
Г) густини аналізованої речовини.
42. Лічильник Гейгера-Мюллера – це прилад для підрахунку числа потрапляючих в нього:
А) іонізуючих частинок;
Б) нейтронів;
В) електронних частинок;
Г) електронів.
43. Чутливість лічильника визначається:
А) кількістю газу;
Б) об'ємом газу;
В) складом газу;
Г) немає правильної відповіді.
44. Принцип дії бульбашкової камери нагадує принцип дії камери:
А) Вільсона;
Б) Паулі;
В) Ле Шательє;
Г) всі відповіді правильні.

45. При активації аналізованої речовини в реакторі може виникнути різниця в:
А) кількості;
Б) густині;
В) об'ємі;
Г) складі.
46. Метод ізотопного розведення застосовують для:
А) якісного визначення;
Б) кількісного визначення;
В) ізотопного визначення;
Г) немає правильної відповіді.
47. Значення активності розчину вимірюють за допомогою:
А) осаду;
Б) газу;
В) речовини, що виділяється;
Г) всі відповіді правильні.
48. Методи аналізу із застосуванням радіоактивних ізотопів:
А) експресні;
Б) чутливі;
В) ефективні;
Г) маловитратні.
49. При використанні повільних нейтронів переріз захоплення:
А) збільшується;
Б) зменшується;
В) не змінюється;
Г) немає правильної відповіді.
50. Процеси, при яких частинки або кванти, що виділилися в процесі бажаної реакції, вступають у реакції подальшої ядерної взаємодії з аналізованим зразком або навколишнім середовищем, називаються:
А) нерівномірністю активації ;
Б) реакціями другого порядку;
В) первинними реакціями;
Г) вторинними реакціями.

51. Який метод дає можливість проводити визначення мікрокількостей речовин:
А) "субстехіометричних" визначень;
Б) активаційний;
В) ізотопного розведення;
Г) аналіз газів і парів.

52. Скільки варіантів радіометричного титрування за методом осадження можливо?
А) два;
Б) три;
В) п'ять;
Г) шість.

53. До якого варіанту радіометричного титрування за методом осадження відноситься це рівняння? AC + *BD <=> A*B + CD:
А) другого;
Б) першого;
В) третього;
Г) немає правильного варіанту.

54. Формула для першого варіанту титрування:
А) $X=\frac{z_4c-z_3c}{z_4-z_3}$;
Б) $X=\frac{z_1b-z_2a}{z_1-z_2}$;
В) $X_1=\frac{A_1''X_2''-A_1X_2}{A_1-A_1''}$;
Г) $X_1=\frac{X_1'X_2'-A_1X_2}{A_1-A_1'}$.

55. Чим є X_1 у виразі $X_1 = (A_2/A_1 – 1)X_2$:
А) кількістю речовини, що додається;
Б) питомою активністю виділеної частинки визначуваної речовини;
В) кількістю визначуваної речовини;
Г) питомою активністю введеної радіоактивної речовини.

56. За якою формулою розраховують кількість речовини в аналізованій суміші?

А) $X_1 = (A_2/A_1 - 1)X_2$;

Б) $X_1 = A_2/A_1 \cdot X_2$;

В) $X_1 = \frac{X_2}{\left[{}^{A_3}/_{A_1^{-1}}\right]}$;

Г) $X_1 = Z_2/Z_1 \cdot X_3$.

57. Який вигляд приймає диференціальне рівняння з урахуванням розпаду частки радіоактивних нуклідів, що утворилися?

А) $dN/dt = \Phi N\sigma - \lambda N^*$;

Б) $\Phi N\sigma - \lambda N^* = dN/dt$;

В) $dt/DN = \Phi N\sigma - \lambda N^*$;

Г) $(dN^*)/dt = \Phi N\sigma - \lambda N$.

58. Який метод застосовують для визначення вмісту радіоактивного ізотопу в суміші радіоактивних речовин?

А) обернений метод ізотопного розведення;

Б) метод поділу частинок;

В) метод оберненого титрування;

Г) метод субстехіометричних визначень.

59. Варіанти радіометричного титрування за методом осадження? (декілька правильних відповідей):

А) $^*Ac + {}^*Bd = A^*B + CD$;

Б) $^*Ac + Bd = {}^*Ab + Cd$;

В) $^*Ac + {}^*Bd = {}^*A^*B + Cd$;

Г) $^*Ab + BD = {}^*AC$.

60. За допомогою чого проводять радіометричне визначення аргентуму?

А) дитизон із застосуванням радіоактивного ізотопу аргентуму-110;

Б) дитизон із застосуванням радіоактивного ізотопу ауруму;

В) дитизон із застосуванням радіоактивного ізотопу меркурію;

Г) дитизон із застосуванням радіоактивного ізотопу цинку.

61. Значення повного часу циклу в камері Вільсона:

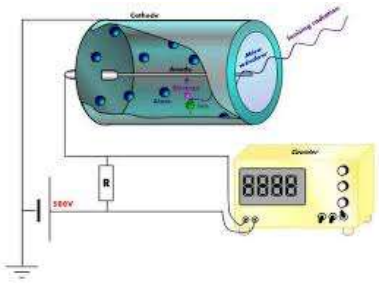
А) > 1 год.;

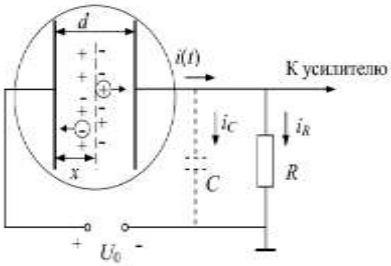
Б) 1 хв.;

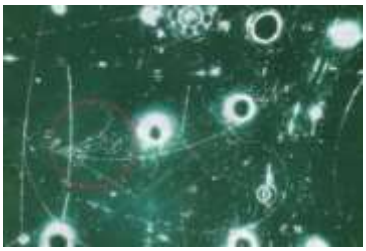
В) < 1 хв.;

Г) 4 хв.

62. Яке із зображень відповідає бульбашковій камері?

А) 

Б) 

В) 

Г)

63. Як підрозділяють лічильники Гейгера?

А) імпульсні;

Б) не самогаснучі;

В) самогаснучі;

Г) інфрачервоні.

64. Метод активаційного аналізу доцільно застосовувати для:

А) дослідження структури речовини;

Б) визначення слідових кількостей домішок в речовині;

В) встановлення елементного і молекулярного складу досліджуваного об'єкта;

Г) немає правильної відповіді.

65. Ефективний переріз захоплення σ характеризує:

А) швидкість перебігу ядерної реакції;

Б) ймовірність перебігу ядерної реакції;

В) структуру речовини;

Г) немає правильної відповіді.

66. Активність радіоактивного нукліда безпосередньо після опромінення дорівнює:

А) $A_T = \Phi\sigma N_e^{-\lambda t}\left(1 - e^{-\lambda t}\right);$

Б) $A_T = \lambda N^* = \Phi\sigma N\left(1 - e^{-\lambda t}\right);$

В) $N^* = \frac{\Phi\sigma N}{\lambda}\left(1 - e^{-\lambda t}\right)$;

Г) $N^* = \frac{\Phi\sigma N}{\lambda}$.

67. Кількість невідомої речовини можна визначити за формулою:

А) $A_\infty = \Phi\sigma N$;

Б) $\frac{dN^*}{dt} = \Phi N\sigma - \lambda N^*$;

В) $A = \lambda N^* = \Phi\sigma N\left(1 - e^{-\lambda t}\right)$;

Г) $\frac{G_x}{G_s} = \frac{Z_x}{Z_s}$.

68. При визначенні вмісту нерадіоактивної речовини шляхом розведення радіоактивним ізотопом кількість визначуваної речовини X_1 розраховують за формулою:

А) $X_1 = A_2/A_1 \cdot X_2$;

Б) $X_1 = (A_2/A_1 - 1)X_2$;

В) $X_1 = Z_2/Z_1 \cdot X_3$;

Г) $X_1 = \frac{X_1^{/} \cdot X_2^{/} - A_1 \cdot X_2}{A_1 - A_1^{/}}$.

69. У методі радіометричного титрування радіоактивна речовина у процесі титрування є:

А) аліквотою;

Б) визначуваною речовиною;

В) індикатором;

Г) стандартним розчином.

70. Лічильник Гейгера-Мюллера – це:

А) газорозрядний прилад для підрахунку числа іонізуючих частинок, що потрапили в нього;

Б) трековий детектор елементарних заряджених частинок, в якому трек (слід) частинки утворює ланцюжок бульбашок пари уздовж траєкторії її руху;

В) трековий детектор елементарних заряджених частинок, в якому трек (слід) частинки утворює ланцюжок дрібних крапельок рідини уздовж траєкторії її руху;

Г) газорозрядний лічильник який сприймає ядерне випромінювання і перетворює його в електричні імпульси.

71. Недолік лічильника Гейгера-Мюллера полягає в тому, що:
   А) не всі γ-фотони, що потрапили на лічильник, дають вторинні електрони;
   Б) він не дає можливості ідентифікувати частинки і визначати їх;
   В) ефективність лічильника залежить від товщини його стінок;
   Г) ефективність лічильника залежить від матеріалу його стінок і енергії γ-випромінювання.
72. Бульбашкова камера – це:
   А) трековий детектор елементарних заряджених частинок, в якому трек (слід) частинки утворює ланцюжок дрібних крапельок рідини уздовж траєкторії її руху;
   Б) газорозрядний прилад для підрахунку числа іонізуючих частинок, що потрапили в нього;
   В) трековий детектор елементарних заряджених частинок, в якому трек (слід) частинки утворює ланцюжок бульбашок пари уздовж траєкторії її руху;
   Г) скляний або металевий балон з двома електродами – зовнішнім і внутрішнім.
73. Камера Вільсона – це:
   А) трековий детектор елементарних заряджених частинок, в якому трек (слід) частинки утворює ланцюжок бульбашок пари уздовж траєкторії її руху;
   Б) трековий детектор елементарних заряджених частинок, в якому трек (слід) частинки утворює ланцюжок дрібних крапельок рідини уздовж траєкторії її руху;
   В) газорозрядний прилад для підрахунку числа іонізуючих частинок, що потрапили в нього;
   Г) газорозрядний лічильник, який сприймає ядерне випромінювання і перетворює його в електричні імпульси.

Приклади розв'язання задач

Приклад 1. При вивченні закону Рауля наважку 0,04 г NaOH, що містить ^{24}Na, розчинили в 25 мл води. 1 мл отриманого розчину розбавили у 100 разів. Швидкість рахунку 0,5 мл отриманого розчину склала 1200 імпульсів/хв. Розрахувати кількість лугу, що випарувалася під час досліду, якщо активність зібраного в пастці конденсату склала 1800 розпадів/хв.

Розв'язання

Знайдемо питому активність лугу з урахуванням розведення:

$$I_{пит} = 1200 \cdot 100 \cdot 25/0,5 \cdot 0,04 = 1,5 \cdot 10^8 \text{ імпульсів/хв·г.}$$

Масу конденсату обчислюємо за формулою:

$$m_x = I_{пит}/I = 1800/1,5 \cdot 10^8 = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{г.}$$

Відповідь: $m_x = 1,2 \cdot 10^{-5}$ г.

Приклад 2. Для встановлення невідомої концентрації броміду стронцію до розчину масою 24,7 мг $^{89}SrBr_2$ із загальною активністю 2,47 мкКі змішали з досліджуваним розчином в мірній колбі об'ємом 25 мл. Оцінити вміст броміду в розчині, якщо активність виділеного з суміші зразка масою 12,5 мг склала 2800 Бк.

Розв'язання

Знайдемо питому активність вихідної наважки $^{89}SrBr_2$:

$$I_{пит0} = I_0/m_0 = 2,47 \cdot 3,7 \cdot 10^4/24,7 = 3,7 \cdot 10^3 \text{Бк/мг}$$

Питома активність виділеної проби дорівнює:

$$I_{пит1} = I_1/m_1 = 2800/12,5 = 224 \text{ Бк/мг}$$

Значення $\mathbf{m_x}$ нерадіоактивної речовини знаходимо із співвідношення:

$$m_x = m_0 \cdot (I_{пит.0}/I_{пит.1} - 1) = 24,7 \cdot (3,7 \cdot 10^3/224 - 1) = 383,3 \text{ мг}$$

У розрахунку на літр це відповідає 15,331 г $SrBr_2$, або $6,19 \cdot 10^{-2}$ моль/л. У даному випадку розрахунок проведено на основі оцінки вихідної та кінцевої активностей $^{89}SrBr_2$. Очевидно, що аналогічний розрахунок можна вести безпосередньо з урахуванням зміни питомої активності Sr. Для цього в розрахунках замість маси солі слід підставляти значення маси Sr.

Приклад 3. Для визначення концентрації нітрату ртуті, міченого ізотопом ^{203}Hg, використали 20 мл розчину. В якості титруючого

агента був використаний 0,1N розчин сульфіду натрію, мічений ізотопом ^{35}S з питомою активністю 1200 імпульсів/(хв·мл). Попередньо виміряна активність 1 мл нітрату становила 720 імпульсів/хв. Значення фону становить 40 імпульсів/хв. Після додавання до ртутьвмісного розчину 9 мл розчину сульфіду активність 1 мл розчину, виміряного в таких же умовах, склала 246 імп./хв. При додаванні ще 9 мл титруючого розчину активність склала 104 імп./хв. Після додавання 25 мл сульфіду активність 1 мл розчину склала 280 імпульсів/хв. Визначити еквівалентний об'єм і молярну концентрацію ртуті.

Розв'язання

Знайдемо загальну активність вихідного розчину нітрату ртуті:

$$I_0 = (720 - 40)\cdot 20 = 13600 \text{ імпульсів/хв.}$$

Загальний об'єм розчину після додавання сульфіду склав 29 мл, а його активність:

$$I_1 = (246 - 40)\cdot 29 = 5974 \text{ імпульсів/хв.}$$

Обчислимо еквівалентний об'єм з урахуванням виразу:

$$V_0 = V_1\cdot(I_0/I_0 - I_1) = 9\cdot(13600/13600 - 5974) = 16 \text{ мл.}$$

Вихідна концентрація ртуті дорівнює:

$$C(Hg^{2+}) = 0{,}1\cdot 16/20 = 0{,}08 \text{ моль/л.}$$

Враховуючи, що після додавання другої порції сульфіду (18 мл) виміряна активність 1 мл розчину склала $I_2 = 104 - 40 = 64$ імпульсів/хв., а при об'ємі сульфіду 25 мл $I_3 = 280 - 40 = 240$ імпульсів/хв. Еквівалентний об'єм розраховуємо з урахуванням виразу:

$$V_0 = (V_2\cdot I_1) - (V_2\cdot I_1)/(I_3 - I_2) = (18\cdot 240) - (25\cdot 63)/(240 - 63) = 15{,}5 \text{ мл.}$$

Таким чином, на підставі визначень можна зробити висновок, що еквівалентний об'єм дорівнює 15,75±0,25 мл.

Відповідь: V_0= 15,75±0,25 мл.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Період напіврозпаду ^{87}Rb прийнятий рівним $4{,}88 \cdot 10^{10}$ років. Радіометрична установка дає можливість оцінити число імпульсів над фоном, чисельно рівне фону. Середнє значення фону дорівнює 0,3 Бк. Коефіцієнт реєстрації φ = 0,1. Вміст ізотопу ^{87}Rb у природній суміші становить 27,8346%. Знайти мінімальне число атомів ізотопу, яке може бути виявлено за допомогою такої установки, мінімально визначувану масу ізотопу і мінімально визначувану масу елемента.
2. Оцінити чутливість визначення ізотопу ^{24}Na ($T_{1/2}$ = 15 год.) і чутливість визначення натрію, міченого ізотопом ^{24}Na. Середнє значення фону складає 0,3 Бк і коефіцієнт реєстрації φ = 0,1. Питома активність в розрахунку на елемент $7{,}4 \cdot 10^6$ Бк/г.
3. Наважку нітриту стронцію масою 0,1796 г, що містить радіоізотоп ^{89}Sr, розчинили в мірній колбі об'ємом 50 мл, 0,5 мл отриманого розчину розбавили до 100 мл і виміряли швидкість рахунку 0,5 мл отриманого розчину, яка виявилася рівною 1887 імпульсів/хв. Визначити кількість Sr, що випарувалася за час досліду, якщо активність зібраного конденсату склала 943 імпульси/хв.
4. Розчин, що містить KI і KBr, обробляли нітратом срібла. Для оцінки складу осаду використали KBr з активністю 47550 Бк/ммоль. Активність осаду масою 0,2835 г склала $2{,}49 \cdot 10^4$ Бк. На підставі цих даних потрібно визначити ваговий вміст в осаді Br^- і I^- іонів.
5. До розчину, що містить хлориди заліза, кобальту та нікелю, додали мічений ^{59}Fe хлорид $^{59}FeCl_2$, що містить 10 мг заліза з питомою активністю 1665 Бк/мг. Визначити кількість заліза, що знаходиться в суміші, якщо активність зразка заліза, виділеного з суміші в кількості 0,1 мг, склала 54 імпульси/хв·мг. Коефіцієнт реєстрації φ = 0,1.
6. Для визначення малих концентрацій кобальту використали розбавлений розчин $CoCl_2$, що містить 58,93 мкг/мл кобальту, до 10 мл якого додали 10 мкл розчину $^{60}CoCl$ без носія. 1 і 2 мл цього

розчину додали до двох однакових об’ємів розчину, що аналізується, зрівняли об’єми і провели екстракцію 0,4М Aliquat336 (метил-три-октиламоній хлорид) в толуолі. Активність в органічній фазі для 1-ї і 2-ї проб дорівнювала $I_1 = 2420$ і $I_2 = 3460$ імпульсів/хв. Розрахувати концентрацію кобальту, вважаючи, що кобальт екстрагується кількісно.

7. До розчину $AgNO_3$ невідомої концентрації додали 253,8 мг йодид-іонів, мічених ізотопом ^{131}I загальною активністю 0,5 мкКі. Активність розчину після відділення осаду склала 150 Бк. Знайти вміст срібла.
8. Для переведення домішок натрієвої солі силіційфлуороводневої кислоти в важкорозчинний осад до розчину додали 370,45 мг гідроксиду кальцію, міченого ізотопом ^{47}Ca загальною активністю 7400 Бк. Після відділення осаду активність розчину склала 600 Бк. Визначити вміст флуору в розчині.
9. Для визначення концентрації нітрату ртуті, міченого ізотопом ^{203}Hg, використали 20 мл розчину. Як титруючий агент застосовували 0,1N сульфід натрію. Попередньо встановлено, що швидкість рахунку 0,5 мл такого розчину склала 600 імпульсів/хв. Після додавання до розчину, який містить ртуть, 8 мл розчину сульфіду, активність 0,5 мл розчину, виміряного в таких же умовах, склала 286 імпульсів/хв. Розрахувати величину еквівалентного об’єму і визначити концентрацію нітрату ртуті. Результати вимірювань дані з вирахуванням фону.
10. Для контролю вмісту берилію в бронзі методом радіометричного титрування наважку масою 360 мг помістили в мірну колбу об'ємом 50 мл, розчинили в азотній кислоті, відібрали 25 мл отриманого розчину і провели прискорене титрування за двома точками за допомогою 0,1 М міченого ^{32}P ортофосфату натрію. Значення фону на момент визначення становило 38 імпульсів/хв. Відібраний аліквотний об’єм розчину 5 мл з розчину з додаванням 10 мл $Na_2H^{32}PO_4$ мав активність 115 імпульсів/хв. Відповідно активність 5 мл розчину, в який було додано 16 мл міченого ортофосфату,

склала 480 імпульсів/хв. Необхідно оцінити еквівалентний об'єм і вміст берилію в бронзі.

11. Пластинку з миш'яку товщиною 0,2 мм і площею 4 см^2 опромінили нейтронами. Потік нейтронів 109 частинок/(см^2·с), тривалість опромінення – 1 год. Розрахувати активність пластинки в момент припинення опромінення, якщо ефективний перетин реакції ^{75}As(n,γ)^{76}As дорівнює 4,3 барн, а період напіврозпаду ізотопу ^{76}As дорівнює 26,8 год. Густина миш'яку 5,78 г/см^3.
12. Визначити тривалість опромінення нейтронами мішені, що містить ^{75}As, якщо необхідно, щоб вихід ^{76}As становив 80% від максимально можливого за даних умов опромінення.
13. Оцінити рівноважну активність магнію при опроміненні тепловими нейтронами зразка площею 2 см^2 і товщиною 0,03 см. Перетин захоплення нейтронів становить 0,063 барн. Потік нейтронів 109 частинок/(см^2·с). Густина 1,738 г/см^3.
14. Виконану з ніобію мішень розміром 1,5x1,5x0,02 см протягом місяця опромінювали в потоці нейтронів. Густина потоку становить 109 частинок/(см^2·с). Розрахувати число ядер радіонукліду, що утворилися в мішені на момент припинення опромінення. Густина ніобію 8,57 г/см^3, атомна маса 92,906, перетин захоплення нейтронів 1,15 барн, період напіврозпаду, який утворюється при опроміненні ізотопу ^{94}Nb, дорівнює $2\cdot10^4$ років.
15. Густина потоку 109 частинок/(см^2·с). Розрахувати активність мішені на момент припинення опромінення і через одну годину після опромінення. Густина міді дорівнює 8,96 г/см^3, атомна маса 63,546, перетин захоплення нейтронів ізотопом ^{63}Cu – 4,5 барн, ^{65}Cu – 2,2 барн, періоди напіврозпаду, що утворюються при опроміненні ізотопів: ^{64}Cu – 12,8 год., ^{66}Cu – 5,12 хв. Вміст вихідних ізотопів ^{63}Cu – 69,09%, ^{65}Cu – 30,91%.
16. Знайти чутливість визначення цезію в зразку при умовах, наведених в прикладі 19. Перетин активації для ізотопу ^{133}Cs дорівнює 30 барн. Утворений ізотоп ^{134}Cs має період напіврозпаду

2,19 років. Ефективність реєстрації $\varphi = 0,1$. Тривалість опромінення 10 діб.

17. Пластинку з As товщиною 0,2 мм і площею 4 см^2 опромінили нейтронами. Потік нейтронів – 10^{14} частинок/(см^2·с), тривалість опромінення складала 24 год. Ефективний переріз реакції $^{75}As(n,\gamma)^{76}As$ дорівнює 4,3 барн. Стала розпаду ^{76}As $\lambda = 0,02586$ год$^{-1}$. Розрахувати активність пластинки в момент припинення опромінення і відсоток «вигорілих» ядер. Густина миш'яку 5,78 г/см^3.
18. Диференціальний перетин поглинання теплових нейтронів ізотопом гадолінію ^{157}Gd становить 242000 барн, вміст ізотопу в природній суміші – 15,7%, густина – 7,9 г/см^3, атомна маса – 157,25. Оцінити відсоток вигорання ядер ізотопу ^{157}Gd при опроміненні зразка розміром 2*x*2*x*0,015 см в потоці нейтронів при густині потоку 10^{13} частинок/(см^2·с) і часу опромінення 24 год.
19. Користуючись наведеними в прикладі 21 даними про перерізи захоплення нейтронів, визначити, як будуть відрізнятися активності насичення ізотопу ^{198}Au від активності, розрахованої за рівнянням $N_{max} = 1/\lambda \cdot \Phi_0 \cdot n_0 \cdot \sigma$ при опроміненні золотої пластинки розміром 1*x*1*x*0,02 см в потоці нейтронів 10^{12}, 10^{13} і 10^{14} частинок/(см^2·с). Густина золота – 19,32 г/см^3, атомна маса – 196,97.
20. Зразок рутенію масою 0,55 г протягом 24 год. опромінювали в потоці нейтронів інтенсивністю 109 частинок/(см^2·с). Визначити активність зразка на момент закінчення опромінення.
21. Природний хром представлений чотирма стабільними ізотопами: ^{50}Cr (4,31%), ^{52}Cr (83,76%), ^{53}Cr (9,55%) і ^{54}Cr (2,38%). Атомна маса складає 51,996. Зразок хрому масою 0,052 г протягом 12 год. опромінювали в потоці нейтронів інтенсивністю 109 частинок/(см^2·с). Визначити активність зразка на момент закінчення опромінення, час розпаду короткоживучого ізотопу і активність зразка до моменту розпаду ізотопу з меншим періодом напіврозпаду.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ЗАНЯТТЯ

1. Дати оцінку методам аналізу, які застосовуються при вимірюванні радіоактивності.
2. Обґрунтувати доцільність використання природної радіоактивності в аналізі.
3. У чому полягає принцип радіометричних та радіохімічних методів аналізу, авторадіографії? Дати оцінку цих методів.
4. Дати визначення методу активаційного аналізу, оцінити його переваги та недоліки.
5. Дати визначення методу ізотопного розведення, проаналізувати межі його використання.
6. У чому полягає принцип радіометричного титрування?
7. Активність радіоактивних нуклідів.
8. Ефективний перетин захвату.
9. Поняття повільних та швидких нейтронів.
10. Ступінь проходження реакцій другого порядку.
11. Найважливіші джерела нейтронів.
12. Активація зарядженої частинки. Чутливість активаційного аналізу.
13. Питома активність. «Обернений метод ізотопного розведення».
14. Метод «субстехіометричних» визначень.
15. Три варіанти радіометричного титрування методом осадження.
16. Радіометричні та радіохімічні методи аналізу.
17. Природні та штучні джерела іонізуючого випромінювання.
18. Одиниці виміру радіоактивності.
19. Методи зниження радіоактивності забруднення навколишнього середовища і поховання радіоактивних відходів.

6. РАДІОЕКОЛОГІЯ
ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. При великих *дозах* радіація може:
   А) руйнувати клітини;
   Б) викликати головний біль;
   В) пошкоджувати тканини органів;
   Г) вражати опорно-руховий апарат.
2. Ракові захворювання можуть проявлятися через:
   А) декілька годин;
   Б) декілька днів;
   В) через 1-2 десятиліття;
   Г) не проявляються взагалі.
3. Найбільш стійкими до радіації є:
   А) тварини;
   Б) рослини;
   В) найпростіші організми;
   Г) спори.
4. Загибель людини у 50% випадків спостерігається при дозах опромінення:
   А) 4 Зв;
   Б) 3 Зв;
   В) 2 Зв;
   Г) 1 Зв.
5. При зовнішньому опроміненні найбільш небезпечне:
   А) альфа-опромінення;
   Б) рентгенівське опромінення;
   В) гамма-опромінення;
   Г) бета-опромінення.
6. Найбільш небезпечним шляхом проникнення радіоактивних речовин є:
   А) через ШКТ;
   Б) через ушкодження на шкірі;
   В) через органи дихання;
   Г) шляхом абсорбції через здорову шкіру.

7. Час, протягом якого кількість даного радіонукліда в організмі зменшується вдвічі внаслідок його фізіологічного обміну, називається:
   А) період біологічного напіввиведення $T_б$;
   Б) період напіврозпаду $T_{1/2}$;
   В) ефективний період напіввиведення $T_{еф}$;
   Г) середній час життя.
8. Доза опромінення порядку 100 Гр викликає:
   А) ураження ШКТ;
   Б) летальний результат;
   В) ураження дихальних шляхів;
   Г) ураження ЦНС.
9. Накопичення в легенях цього елементу викликає бронхіт, пневмонію. Радіоактивні ізотопи можуть індукувати пухлини в щитоподібній залозі, аденогіпофізі та статевих залозах:
   А) Стронцій;
   Б) Цезій;
   В) Йод;
   Г) Плутоній.
10. Основним енергоносієм ядерної енергетики є:
   А) уран;
   Б) торій;
   В) технецій;
   Г) радон.
11. Уранова промисловість займається:
   А) видобуванням та переробкою урану;
   Б) очисткою порід від урану;
   В) виробництвом ядерного палива;
   Г) очисткою навколишнього середовища від урану.
14. У результаті роботи АЕС утворюються радіоактивні відходи типу:
   А) газо-аерозольні;
   Б) рідкі;
   В) тверді;
   Г) всі типи.

15. Який сповільнювач був у реакторі 4-го блоку на Чорнобильській АЕС?
А) легка вода;
Б) свинець;
В) графіт;
Г) берилій.
16. Який внутрішній орган найбільш страждає після опромінення?
А) легені;
Б) щитоподібна залоза;
В) печінка;
Г) нирки.
17. Від якої хвороби в першу чергу помирали люди після опромінення?
А) рак шкіри;
Б) туберкульоз;
В) променева хвороба;
Г) Базедова хвороба.
18. Оберіть, якими шляхами може відбуватися радіоактивне забруднення:
А) аерозольним;
Б) хімічним;
В) контактним;
Г) всі відповіді правильні.
19. Радіоактивні речовини включаються в процеси біологічної циркуляції й обміну речовин, що відбуваються в біосфері. Який шлях зараження?
А) контактний;
Б) аерозольний;
В) біологічний;
Г) хімічний.
20. Найбільшого радіоактивного зараження зазнають:
А) повноводні річки;
Б) озера;
В) ставки;
Г) моря.

21. Природна радіоактивність вод визначається наявністю радіонуклідів:
А) урану, цезію, алюмінію;
Б) урану, калію, радію;
В) калію, натрію, радону;
Г) калію, торію, сульфуру.
22. Щоб зменшити міграцію радіонуклідів в ґрунті проводять:
А) обробку хімічними речовинами;
Б) вапнування кислих ґрунтів;
В) засадження рослинами;
Г) внесення органічних добрив.
23. Радіоактивні частинки затримуються на рослинах:
А) повністю;
Б) частково;
В) не затримуються;
Г) тимчасово, з подальшим виведенням.
24. Основну частину опромінення населення земної кулі може одержувати від:
А) космічних променів;
Б) ядерної енергетики;
В) предметів, що містять радіоактивні речовини;
Г) джерел земного походження.
25. Що можна віднести до фізичного захисту населення від ІВ?
А) зменшення відстані між оператором та джерелом;
Б) збільшення тривалості роботи в полі випромінювання;
В) екранування джерела випромінювання;
Г) контроль над рівнем випромінювання і за дозами опромінення.
26. Повільні нейтрони добре поглинаються:
А) графітом;
Б) бромом та кадмієм;
В) плюмбумом;
Г) стронцієм.
27. Для захисту від гамма- та бета-променів застосовують:
А) захисний одяг з накладками зі свинцю;

Б) ліки;
В) ізолюючі плівки у вигляді мазей, кремів та паст;
Г) йодну профілактику.

28. Для захисту органів дихання найкращим захистом є:
А) марлева пов'язка;
Б) шлангові протигази;
В) медична маска;
Г) респіратори.

29. Що можна віднести до радіопротекторних речовин (речовини, які знижують важкість променевого ураження)?
А) ендокринні засоби;
Б) жарознижувальні засоби;
В) антигістамінні та антигеморагічні засоби;
Г) спазмолітики.

30. Для захисту від ^{131}I використовують?
А) сірчанокислий барій;
Б) пентацин;
В) глюконат кальцію або хлористий кальцій;
Г) йодистий калій або настоянку йоду.

31. Біологічний захист від іонізуючого випромінювання передбачає введення до організму:
А) речовин, виділених з живих організмів;
Б) синтетичних препаратів;
В) металовмісних препаратів;
Г) препаратів проти накопичення радіоактивних елементів.

32. Істотним недоліком природної дезактивації є:
А) матеріальні витрати;
Б) повільність;
В) трудові витрати;
Г) всі відповіді правильні.

33. Термін «толерантна доза» був замінений на:
А) гранично допустиму дозу домішок;
Б) гранично допустиму концентрацію;
В) гранично допустиму дозу;

Г) гранично допустиму концентрацію домішок.

34. Згідно з правилами захисту персоналу у виробничих умовах від природних джерел радіації доза не повинна перевищувати:
А) 1 мЗв;
Б) 2 мЗв;
В) 4 мЗв;
Г) 5 мЗв.

35. Зона відчуження – це:
А) територія, де людина може одержати додаткову дозу опромінення більше 5 мЗв/рік, крім дози, яку вона одержувала до цього;
Б) 30-кілометрова зона навколо ЧАЕС;
В) територія, де людина може одержати додаткову дозу опромінення більше 1мЗв/рік до природного доаварійного;
Г) територія, де людина може одержати додаткову дозу опромінення більше 1 мЗв/рік;

36. Коли було прийнято Закон України «Про правовий режим територій, що зазнали радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи»?
А) у березні 1991 року;
Б) у травні 1994 року;
В) у березні 1994 року;
Г) у травні 1991 року.

37. Радіоактивно забруднені землі – це:
А) землі, на яких неможливе подальше (постійне) проживання населення;
Б) землі, які вимагають проведення заходів радіаційного захисту та інших спеціальних втручань;
В) землі, на яких можливе проживання;
Г) землі з підвищеною радіацією.

38. Контроль за дотриманням норм радіаційної безпеки і основних санітарних правил, одержання інформації про рівень опромінення людей, ступінь забруднення продуктів харчування називається:
А) хімічний контроль;

Б) систематичний контроль;
В) регулярний контроль;
Г) радіаційний контроль.

39. Перевагою фотографічних детекторів є:
А) висока ефективність реєстрації випромінювання;
Б) реєстрація ІВ практично всіх видів;
В) можливість вимірювання отриманої еквівалентної дози в процесі опромінювання;
Г) можливість масового застосування для індивідуального контролю доз опромінення.

40. Сцинтиляційний метод базується на тому, що під впливом ІВ деякі речовини можуть випускати:
А) електрони;
Б) фотони;
В) нейтрино;
Г) кварк.

41. Дозиметричні і радіометричні прилади поділяються на:
А) стаціонарні;
Б) кишенькові;
В) портативні;
Г) лазерні.

42. Величина нижньої межі випромінювання, яка стійко реєструється приладом – це:
А) чутливість приладу;
Б) час розрізнення;
В) температурна стійкість;
Г) механічна стійкість.

43. Радіометр дає можливість вимірювати:
А) величину зовнішнього гамма-фону;
Б) потужності дози іонізуючого випромінювання навколишнього середовища;
В) рівень потужності експозиційної дози випромінювання;
Г) сумарний вміст радіоактивних речовин у продуктах харчування.

44. У роботі з дозиметром не можна:
   А) при фіксуванні показника провести повторне вимірювання;
   Б) торкатися речовин та предметів, які досліджуються;
   В) при виявлені джерела випромінювання самостійного позбутися його;
   Г) всі відповіді правильні.
45. До радіоактивних відходів можна віднести:
   А) відпрацьоване ядерне паливо;
   Б) будь-які розчини, вироби, матеріали і біологічні об'єкти, які містять радіонукліди, що перевищують допустимі рівні;
   В) відпрацьовані закриті джерела ІВ;
   Г) всі відповіді правильні.
46. Відходи з більш низькими рівнями активності, які потребують при поводженні з ними спеціальних захисних засобів:
   А) надактивні РАВ;
   Б) високоактивні РАВ;
   В) середньоактивні РАВ;
   Г) низькоактивні РАВ.
47. Межі допустимих доз радіаційного ризику для персоналу і населення встановлюються:
   А) Міністерством Охорони Здоров'я;
   Б) самим підприємством;
   В) Національною комісією з радіаційного захисту населення;
   Г) міським головою.
48. Рішення про створення могильника, поховання або іншого об'єкта, призначеного для зберігання або переробки радіоактивних відходів ухвалюється:
   А) Міністерством Охорони Здоров'я;
   Б) Верховною Радою;
   В) Кабінетом Міністрів України;
   Г) керівником АЕС.
49. Коли сталася аварія на ЧАЕС?
   А) 27 квітня 1986 року;
   Б) 28 квітня 1996 року;

В) 26 квітня 1986 року;

Г) 23 квітня 1976 року.

50. Виберіть, де зосереджені в Україні урановорудні провінції:

А) Український щит;

Б) Запоріжжя;

В) Карпати;

Г) Львів.

51. Найбільший вплив на формування радіоактивного фону в Україні мають:

А) калій-40, стронцій-88, цезій-137, плюмбум-214;

Б) торій, цезій-137, рубідій-87, полоній-214;

В) уран, торій, калій-40, рубідій-87;

Г) калій-40, торій, радій-234, полоній-210.

52. Найперспективнішими на радонові води є:

А) роздільно-зернисті породи;

Б) гранітні породи;

В) глинисті породи;

Г) напівскелясті породи.

53. Яка середня доза опромінення населення від медичних процедур в Україні:

А) 1 мЗв;

Б) 3 мЗв;

В) 0,05 мЗв;

Г) 0,5 мЗв.

54. Де найвищий рівень забруднення радіонуклідами?

А) Запорізька АЕС;

Б) Хмельницька АЕС;

В) Чорнобильська АЕС;

Г) Рівненська АЕС.

55. Доза випромінювання – це:

А) величина, використовувана для оцінки ступеня впливу іонізуючого випромінювання на будь-які речовини;

Б) величина, яка описує вихід ядерної реакції;

В) ймовірність розпаду кожного окремого ядра в одиницю часу;

Г) проміжок часу, за який розпадається половина наявної кількості ядер даного ізотопу.

56. В системі СІ одиницею вимірювання поглиненої дози є:
   А) Зв (Зіверт);
   Б) Гр (Грей);
   В) Бк (Беккерель);
   Г) Ки (Кюрі).

57. Основна кількісна характеристика хімічного перетворення – це:
   А) постійна розпаду;
   Б) абсолютна радіоактивність;
   В) період напіврозпаду $T_{1/2}$;
   Г) радіаційно-хімічний вихід G.

58. Розкладання вихідних хімічних сполук і утворення нових внаслідок поглинання енергії іонізуючого випромінювання називається:
   А) радіолізом;
   Б) радіоактивністю;
   В) випромінюванням;
   Г) хімічною реакцією.

59. «Ефект клітки» протидіє:
   А) переходу енергії збудження у внутрішньомолекулярні пружні коливання;
   Б) подоланню мікрочастинкою потенційного бар’єра у випадку, коли її повна енергія менша за висоту бар'єра;
   В) переходу енергії за межі даного елементарного об'єму;
   Г) вирівнюванню енергій.

60. Частинки, що мають неспарені електрони на зовнішній електронній оболонці називаються:
   А) фотонами;
   Б) вільними радикалами;
   В) протонами;
   Г) андронами.

61. При поглинанні енергії відбуваються процеси, які підрозділяють на:
   А) первинні

Б) вторинні;
В) третинні;
Г) четвертинні.

62. Вільні радикали, атоми, іони, молекули, що утворюються при вторинних процесах, взаємодіють із навколишніми молекулами середовища, у результаті чого можуть виникати:
А) радіоактивне випромінювання;
Б) хімічна реакція;
В) ланцюгові реакції;
Г) процеси передачі енергії.

63. Радикальна теорія радіолізу води була запропонована:
А) П. Кюрі;
Б) Е. Резерфордом;
В) Е. Фермі;
Г) Дж. Вейсом.

64. Вторинні реакції іонів і збуджених молекул води призводять до утворення радикалів:
А) $^{\bullet}H$;
Б) $^{\bullet}OH$;
В) H_3O;
Г) H_2.

65. Максимально можливий вихід розкладання рідкої води на 100 еВ дорівнює:
А) 10 молекулам;
Б) 11 молекулам;
В) 12 молекулам;
Г) 13 молекулам.

66. Який з процесів не відіграє ролі в радіаційно-хімічній реакції?
А) іонізація;
Б) захоплення електронів;
В) радикальні випромінювання;
Г) нейтралізація.

67. Де можуть перебігати радіаційні реакції?
А) в кислотах;

Б) в воді та водних розчинах;
В) в лугах;
Г) в повітрі.

68. Що таке радикальні продукти?
А) продукти, які утворилися при радіолізі води $H^{\cdot}$, $OH^{\cdot}$, H_2O;
Б) побічні продукти, які утворилися внаслідок реакції;
В) це H_2O_2, H_2 та O_2;
Г) немає правильної відповіді.

69. Від чого залежать відновні властивості атомарного гідрогену?
А) від pH середовища та реакційної здатності розчиненої речовини;
Б) від розчинника;
В) від температури розчину;
Г) від pH середовища.

70. Чому дорівнює енергія електронного збудження води (E)?
А) 24,6 еВ;
Б) 10,06 еВ;
В) 7,4 еВ;
Г) 100 еВ.

71. Загальною закономірністю при проходженні випромінювання через речовину є залежність енергії, що поглинається на одиницю довжини пробігу частинки, від концентрації електронів середовища:
А) $-\frac{dE}{dx}$;
Б) $-\frac{d}{dx} = \frac{z^2e^4}{mv^2}\varphi(v, I)$;
В) $\varphi(v,I)$;
Г) $-\frac{d}{dx} = \frac{z^2e^4}{mv^2}$.

72. Поглинена доза чисельно дорівнює:
А) $\frac{z^2e^4}{mv^2}\varphi(v,I)$;
Б) $-\frac{dE}{dx}$;

В) $-\frac{d}{dx} = \frac{z^2e^4}{mv^2}$;

Г) D = dE/dm.

73. Потужність дози – це:

А) доза випромінювання, поглинена одиницею маси речовини в одиницю часу;

Б) доза іонізуючого випромінювання, поглинена за одиницю часу;

В) доза іонізуючого випромінювання, поглинена одиницею маси опроміненої речовини;

Г) маса речовини, яка за одиницю часу поглинула кількість енергії Е.

74. Радіоліз – це:

А) поглинання іонізуючого випромінювання для розкладання речовини;

Б) розкладання вихідних хімічних сполук і утворення нових, що відбувається в хімічних системах внаслідок поглинання енергії іонізуючого випромінювання;

В) розкладання вихідних хімічних сполук, що відбувається в хімічних системах внаслідок поглинання енергії іонізуючого випромінювання, без утворення нових речовин;

Г) немає правильних відповідей.

75. Вільні радикали – це:

А) частинки, що мають заповнену оболонку;

Б) частинки, що мають неспарені електрони на зовнішній електронній оболонці;

В) частинки, які не мають електронів на зовнішній електронній оболонці;

Г) реакційноздатні частинки, які беруть участь у реакціях вільнорадикального заміщення.

76. Чому радіаційно-хімічні реакції, що перебігають у воді та водних розчинах, становлять інтерес?

А) вода застосовується в ядерних реакторах як сповільнювач нейтронів і теплоносій;

Б) у воді дисоціює більшість неорганічних солей;

В) густина твердої фази менше, ніж у рідкої;
Г) вода – полярний розчинник.

77. Що не утворюється в процесі радіолізу?
А) H_2;
Б) H_2^+;
В) H_2O;
Г) H_2O_2.

78. До утворення яких радикалів призводять вторинні реакції іонів і збуджених молекул води?
А) O_2;
Б) H_2O_2;
В) H_2O;
Г) H*;

79. Який продукт не є молекулярним?
А) H_2O_2;
Б) O_2;
В) OH*;
Г) H_2O.

80. За допомогою якої величини не можна оцінити максимально можливий вихід розкладання води:
А) потенціалу іонізації води (W);
Б) нижнього потенціалу іонізації води (I);
В) порогової енергії електронного збудження води (E);
Г) константи радіолізу K.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ЗАНЯТТЯ

1. Джерела опромінення людини іонізуючою радіацією.
2. Зовнішнє та внутрішнє опромінення. Зовнішнє опромінення космічними та природними джерелами радіації.
3. Радіоактивні відходи (тверді, рідкі та газоподібні). Поховання радіоактивних відходів.
4. Ядерні випробування, екологічні наслідки. Опромінення за рахунок джерел, які використовуються в медицині.
5. Шляхи міграції радіонуклідів в природі.
6. Кількісні характеристики радіолізу. Реакції в газах.
7. Радіоліз води. Константи швидкості радіаційних реакцій.
8. Радіоліз органічних сполук.
9. Захист організму від зовнішнього опромінення.
10. Хімічний захист організму від зовнішнього опромінення
11. Експозиційна та поглинена дози випромінювання.
12. Еквівалентна доза іонізуючого випромінювання.
13. Активність радіонуклідів.
14. Класифікація потужностей доз опромінення.
15. Поняття критичного органу та критичної групи населення.
16. Індивідуальна еквівалентна доза іонізуючого випромінювання.
17. Колективна еквівалентна доза іонізуючого випромінювання.
18. Проблеми дозиметрії на забруднених радіонуклідами територіях.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Келлер К. Радиохимия. Пер. с нем. / Под ред. Б. Ф. Мясоедова – М.: Атомиздат, 1978. – 198 с.
2. Нефедов В. Д., Текстер Е. Н., Торопова Н. А. Радиохимия. Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1987. – 271 с.
3. Основы радиохимии и радиоэкологии: методические указания к лабораторным работам для химического факультета / А. П. Красноперова, Г. Д. Юхно, О. Ю. Сытник . – Харьков : Издательство ХНУ им. В. Н. Каразина, 2009. – 77 с.
4. Мурин А. Н. Физические основы радиохимии – М.: Высшая школа, 1971. – 228 с.
5. Несмеянов А. Н. Прошлое и настоящее радиохимии – Л.: Химия, 1985. – 168 с.
6. Несмеянов А. Н. Радиохимия. – 2-е изд. – М.: Химия, 1978. – 560 с.
7. Радіохімія: навчально-методичний посібник у 2-х ч. Частина 1. Основні закономірності радіохімії / укладач Т.О. Кіосе; під ред. д.х.н., проф. Т. Л. Ракитської. – Одеса: Астропринт, 2013. – 72 с.
8. Красноперова А. П. Основы радиохимии и радиоэкологии: Учебное пособие для вузов. – Х.: ХНУ, 2010. – 115 с.
9. Красноперова А. П., Сытник О. Ю., Юхно Г. В. Основы радиохимии и радиоэкологии: Методические указания к лабораторным работам для студентов химического факультета. – Х.: ХНУ, 2004. – 59 с.
10. Основы радиохимии, методы выделения и разделения радиоактивных элементов: учебное пособие / И. И. Жерин, Г. Н. Амелина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 196 с.
11. Пикаев А. К Современная радиационная химия. Радиолиз газов и жидкостей. – М.: Наука, 1986.— 440 с.
12. Давыдов Ю. П. Состояние радионуклидов в растворах – Минск: Наука и техника, 1978. – 224 с.
13. Громов В. Б., Савельева В. И., Шевченко В. Б. Химическая Технология трансплутониевых элементов / Николаев В. М.,

Карелин Е. А., Кузнецов Р. А., Торопов Ю. Г. – Димитровград.: ГНЦ РФ НИИАР, 2000. – 359 с.
14. Копырин А. А., Карелин А. И., Карелин В. А. Технология производства и радиохимической переработки ядерного топлива – М.: Изд-во Атомэнергоиздат, 2006 – 576 с.
15. Егоров Е. В., Макарова С. Б. Ионный обмен в радиохимии – М. : Атомиздат, 1971. — 406 с.
16. Технология трансплутониевых элементов / Николаев В. М., Карелин Е. А., Кузнецов Р. А., Торопов Ю. Г. – Димитровград.: ГНЦ РФ НИИАР, 2000. – 359 с.
17. Технология производства и радиохимической переработки ядерного топлива – М.: Изд-во Атомэнергоиздат, 2006 – 576 с.
18. Засоби захисту організму від дії іонізувального випромінювання: навчальний посібник / Л. М. Васько, В. Ф. Почерняєва, В. П. Башта. – К.: ВСВ Медицина, 2019. – 112 с.
19. Радіаційна медицина : підручник / Д. А. Базика, Г. В. Кулініч, М. І. Пилипенко; за ред. М. І. Пилипенка. – К.: ВСВ Медицина, 2013. – 232 с.
20. Радіобіологія: підручник / І. М. Гудков. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. – 504 с.
21. Григор’єва Л. І. Іонізуюче випромінювання та його вплив на людину. / Л. І. Григор’єва, Ю. А. Томілі, І. М. Рожков. – Миколаїв : МДГУ ім. Петра Могили, 2008. – 208 с.
22. Радіаційна гігієна: національний підручник / В. О. Мурашко [та ін.]; Міністерство охорони здоров'я України. – Вінниця: Нова книга, 2013. – 376 с.
23. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). – К.: МОЗ, 1997. – 121 с.
24. Гудков І. М., Гайченко В. А., Кашпаров В. О. та інші. Радіоекологія: Навчальний посібник / За редакцією академіка НААН України І. М. Гудкова. Вид. 2-ге доповнене. стереотипне. – Херсон.: ОЛДІ ПЛЮС, 2017. – 468 с.

ДОДАТКОВІ МАТЕРІАЛИ

Таблиця 1

Маса нейтральних атомів

Z	Ізотоп	Маса, у.о.	Z	Ізотоп	Маса, у.о.	Z	Ізотоп	Маса, у.о.
0	^{1}n	1,00867		^{29}Si	28,97649		^{66}Zn	65,92605
1	^{1}H	1,00783		^{30}Si	29,97376		^{68}Zn	67,92486
	^{2}H	2,01410		^{31}Si	30,97535	46	^{106}Pd	105,90285
	^{3}H	3,01605	15	^{29}P	28,98182	47	^{107}Ag	106,90697
2	^{3}He	3,01603		^{30}P	29,97832		^{108}Ag	107,90589
	^{4}He	4,00260		^{31}P	30,97376		^{109}Ag	108,90470
3	^{6}Li	6,01513		^{32}P	31,97391		^{110}Ag	109,90605
	^{7}Li	7,01601	16	^{32}S	31,97307	48	^{113}Cd	112,90466
4	^{7}Be	7,01693		^{33}S	32,97146	49	^{113}In	112,90428
	^{8}Be	8,00785		^{34}S	33,96786		^{115}In	114,90385
	^{9}Be	9,01219		^{35}S	34,96903	53	^{127}J	126,90435
	^{10}Be	10,01354	17	^{35}Cl	a		^{128}J	127,90582
5	^{10}B	10,01294		^{36}Cl	34,96885	79	^{197}Au	196,96655
	^{11}B	11,00930		^{37}Cl	35,96831		^{198}Au	197,96824
6	^{11}C	11,01143	18	^{36}Ar	36,96590	80	^{200}Hg	200,028
	^{12}C	12,00000		^{37}Ar	35,96755	82	^{206}Pb	205,97446
	^{13}C	13,00335		^{38}Ar	36,96677		^{207}Pb	206,97590
	^{14}C	14,00324		^{39}Ar	37,96272		^{208}Pb	207,97664
7	^{13}N	13,00574		^{40}Ar	38,96432	83	^{209}Bi	208,98042
	^{14}N	14,00307	19	^{37}K	39,96238		^{210}Bi	209,98411
	^{15}N	15,00011		^{38}K	36,97336	84	^{210}Po	210,98287
8	^{16}O	15,99491		^{39}K	37,96909		^{212}Po	211,98886
	^{17}O	16,99913		^{40}K	38,96371		^{214}Po	213,99519
	^{18}O	17,99916		^{41}K	39,96401	86	^{222}Rn	222,01753
9	^{19}F	18,99840	20	^{40}Ca	40,96184	88	^{226}Ra	226,02536
10	^{20}Ne	19,99244		^{44}Ca	39,96259	90	^{232}Th	232,03821
	^{21}Ne	20,99385	23	^{50}V	43,95548		^{233}Th	233,04143
	^{22}Ne	21,99138		^{51}V	49,94716		^{234}Th	234,11527

11	^{23}Na	22,98977	24	^{52}Cr	50,94398	92	^{234}U	234,04090
	^{24}Na	23,99097	25	^{55}Mn	51,94051		^{235}U	235,04393
12	^{24}Mg	23,98504	26	^{56}Fe	54,93805		^{236}U	236,04573
	^{25}Mg	24,98584	27	^{58}Co	55,93493		^{238}U	238,05076
	^{26}Mg	25,98259		^{59}Co	57,93575		^{239}U	239,05432
	^{27}Mg	26,984	28	^{58}Ni	58,93319	94	^{238}Pu	238,04952
13	^{27}Al	26,98153	29	^{63}Cu	57,93534		^{239}Pu	239,05216
	^{28}Al	27,98191		^{64}Cu	62,92959		^{240}Pu	240,05397
14	^{28}Si	27,97693		^{65}Cu	63,92976			
			30	^{64}Zn	64,92779			
					63,92914			

Таблиця 2

Періоди напіврозпаду радіоактивних ізотопів

Елемент	*Z*	Ізотоп	Період напіврозпаду
Тритій Карбон	1 6	^{3}H ^{14}C	12,3 року 5730 років
Нітроген	7	^{13}N	10 хв
Натрій	11	^{22}Na ^{24}Na	124 с 12, 6 год 15 год
Магній	12	^{27}Mg ^{28}Mg	10 хв 21 год
Фосфор	15	^{32}P ^{33}P	14,3 доби 24 доби
Сульфур	16	^{32}S	87 діб
Хлор	17	^{36}Cl	3·10 років
Калій	19	^{42}K	12,4 год
Кальцій	20	^{45}Ca	164 доби
Скандій	21	^{46}Sc	84 доби
Хром	24	^{51}Cr	27,8 доби
Ванадій	23	^{48}V	16,1 доби
Манган	25	^{52}Mn	5,7 доби
Ферум	26	^{59}Fe	45 діб
Кобальт	27	^{60}Co	5,36 року
Мідь	29	^{64}Cu	12,8 год
Цинк	30	^{65}Zn	256 діб
Арсен	33	^{76}As	26,8 доби
Бром	35	^{82}Br	35,5 год
Криптон	36	^{85}Kr	10,6 року
Стронцій	38	^{89}Sr ^{90}Sr	54 доби 28 років
Ітрій	39	^{90}Y	64 год
Аргентум	47	^{111}Ag	7,5 доби

Продовження табл. 2

Елемент	Z	Ізотоп	Період напіврозпаду
Кадмій	48	^{109}Cd ^{115}Cd	330 діб 43 доби
Стибій	51	^{124}Sb	60 діб
Йод	53	^{131}I	8 діб
Ксенон	54	^{133}Xe	5,3 доби
Цезій	55	^{137}Cs	30 год
Барій	56	^{144}Ba ^{126}Ba	11 с 96 хв
Церій	58	^{144}Ce	284 доби
Вольфрам	74	^{185}W	74 доби
Аурум	79	^{198}Au	2,7 доби
Плюмбум	82	^{200}Pb	21 год
Полоній	84	^{210}Po ^{218}Po	138,4 доби 3 хв
Радон	86	^{222}Rn	3,8 доби
Радій	88	^{226}Ra ^{219}Ra	1601 рік 10 с
Актиній	89	^{225}Ac	10 діб
Торій	90	^{232}Th ^{234}Th ^{229}Th	$1{,}41 \cdot 10^{10}$ року 24,1 доби 7000 років
Уран	92	^{234}U ^{235}U ^{238}U	$2{,}5 \cdot 10^{5}$ років $7{,}1 \cdot 10^{8}$ років $4{,}5 \cdot 10^{9}$ років
Нептуній	93	^{239}Np	2,3 доби
Плутоній	94	^{239}Pu	$2{,}44 \cdot 10^{4}$ років

Таблиця 3

Лінійний коефіцієнт ослаблення γ-випромінювання у вузькому пучку

Енергія квантів, МеВ	μ, см$^{-1}$							
	Свинець	Вода	Бетон	Чавун	Залізо	Графіт	Алюміній	Повітря
0,5	1,8	0,097	0,22	0,6	0,66	0,196	0,227	$1{,}12\cdot10^{-4}$
0,8	0,999	0,079	0,17	0,45	0,526	0,159	0,184	$9{,}13\cdot10^{-4}$
1,0	0,798	0,028	0,14	0,4	0,471	0,143	0,165	$8{,}21\cdot10^{-5}$
1,5	0,591	0,057	0,12	0,34	0,382	0,117	0,135	$6{,}68\cdot10^{-5}$
2,0	0,518	0,049	0,09	0,3	0,334	0,099	0,116	$5{,}74\cdot10^{-5}$
2,5	0,485	0,045	0,08	0,27	0,305	0,089	0,105	–
3,0	0,475	0,039	0,07	0,25	0,284	0,080	0,095	$4{,}63\cdot10^{-5}$
3,5	0,445	0,037	0,07	0,24	0,272	0,074	0,089	–
4,0	0,472	0,034	0,065	0,23	0,260	0,068	0,083	$3{,}98\cdot10^{-5}$
4,5	0,46	0,032	0,062	0,225	0,253	0,064	0,079	–
5,0	0,480	0,030	0,06	0,22	0,247	0,060	0,0761	$3{,}54\cdot10^{-5}$
5,5	0,490	0,027	0,06	0,22	–	–	–	–
6,0	0,51	0,025	0,06	0,22	–	–	–	–
6,5	0,525	0,021	0,55	0,23	–	–	–	–
7,0	0,54	0,020	0,05	0,25	–	–	–	–
7,5	0,542	0,019	0,05	0,3	–	–	–	–
8,0	0,543	0,018	0,05	0,4	0,233	0,0482	0,0651	$2{,}87\cdot10^{-5}$
10	0,52	0,0220	–	–	0,233	0,0439	0,0619	$2{,}62\cdot10^{-5}$
15	0,628	0,0193	–	–	0,241	0,038	0,0584	$2{,}31\cdot10^{-5}$
20	0,694	0,0180	–	–	0,250	0,035	0,0578	$2{,}19\cdot10^{-5}$

Таблиця 4

Експериментальні дані по віку теплових нейтронів

Сповільнювач	τ_t, см^2
H_2O	27
D_2O	123
Берилій	90
Окис берилію	103
Графіт	350

Таблиця 5

Маси і енергії спокою деяких елементарних частинок

Частинка	m_0		E_0	
	кг	а.о.м.	Дж	МеВ
Електрон	$9{,}11.10^{-31}$	0,00055	$8{,}16.10^{-14}$	0,511
Протон	$1{,}672.10^{-27}$	1,00728	$1{,}5.10^{-10}$	938
Нейтрон	$1{,}675.10^{-27}$	1,00867	$1{,}5.10^{-10}$	938
Дейтрон	$3{,}35.10^{-27}$	2,01355	$3{,}0.10^{-10}$	1876
α-частинка	$6{,}64.10^{-27}$	4,00149	$5{,}96.10^{-10}$	3733

Таблиця 6

Фізичні величини, що використовуються в радіології, їх одиниці виміру

Фізична величина	Одиниця, її назва та позначення (міжнародне, українське)		Співвідношення між одиницями	
	Позасистемна	СІ	Позасистемної і СІ	СІ і позасистемної
Активність нуклідна в радіоактивному джерелі	Кюрі (Ci, Ki)	Бекерель (Bq, Бк)	1 Ki = $3{,}7\cdot10^{10}$ Бк	1 Бк = $2{,}7\cdot10^{-11}$ Ki
Експозиційна доза	Рентген (R, Р)	Кулон на кілограм (C/kg, Кл/кг)	1 Р = $2{,}58\cdot10^{-4}$ Кл/кг	1 Кл/кг = 3876 Р
Потужність експозиційної дози	Рентген за секунду (R/s, Р/с)	Ампер на кілограм (A/kg, А/кг)	1 Р/с = $2{,}58\cdot10^{-4}$ А/кг	1 А/кг = 3876 Р/с
Поглинена доза	Рад (rad, рад)	Грэй (Gy, Гр)	1 рад = 0,01Гр	1 Гр = 100 рад
Інтенсивність поглиненої дози	Рад за секунду (rad/s, рад/с)	Грей за секунду (Gy/s, Гр/с)	1 рад/с = 0,01Гр/с	1 Гр/с = 100 рад/с
Еквівалентна доза	Бер (rem, бер)	Зіверт (Sv, Зв)	1 бер = 0,01Зв	1 Зв = 100 бер
Інтенсивність еквівалентної дози	Бер за секунду (rem/s, бер/с)	Зіверт за секунду (Sv/s, Зв/с)	1 бер/с = 0,01 Зв/с	1 Зв/с = 100 бер/с

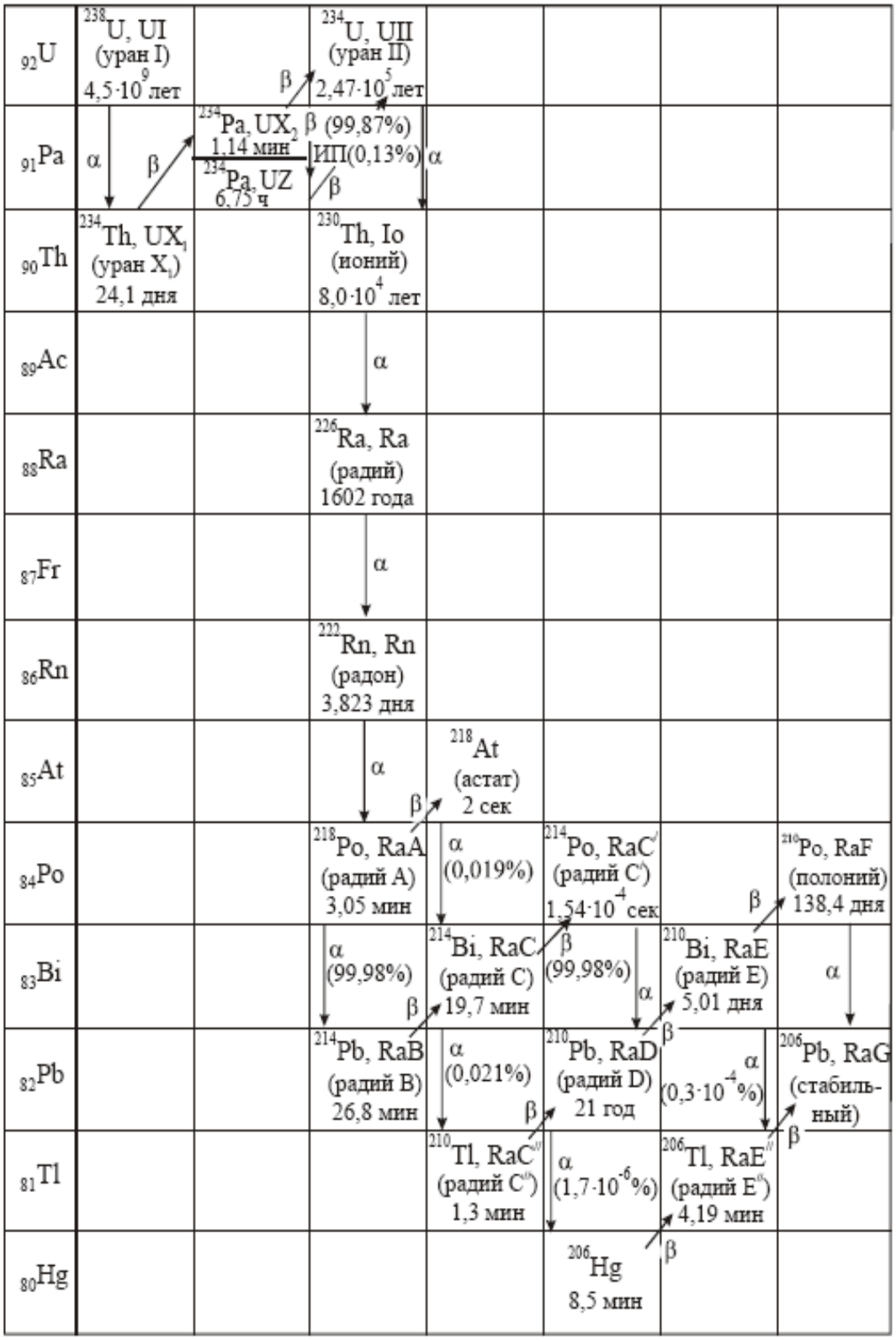
Радіоактивні сімейства

$_{90}Th$	^{232}Th, Th (торий) $1{,}41\cdot10^{10}$ лет		^{228}Th, RdTh (радиоторий) 1,910 года		
$_{89}Ac$	α ↓	β ↗ ^{228}Ac, MsThII (мезаторий II) 6,13 ч	α ↓		
$_{88}Ra$	^{228}Ra, MsThI (мезаторий I) 6,7 года		^{224}Ra, ThX (торий X) 3,64 дня		
$_{87}Fr$			α ↓		
$_{86}Rn$			^{220}Rn, Tn (торон) 54,5 сек		
$_{85}At$			α ↓		
$_{84}Po$			^{216}Po, ThA (торий A) 0,158 сек		^{212}Po, ThC′ (торий C′) $3{,}0\cdot10^{-7}$ сек
$_{85}Bi$			α (~100%) ↓	^{212}Bi, ThC (торий C) 50,6 мин	β (64,0%) ↗ α ↓
$_{82}Pb$			^{212}Pb, ThB (торий B) 10,64 ч	β ↗ α (36,0%) ↓	^{208}Pb, ThD (стабильный)
$_{81}Tl$				^{208}Tl, ThC″ (торий C″) 3,1 мин	β ↗

Сімейство торію (4n)

$_{93}Np$	^{237}Np (нептуний) $2{,}14\cdot10^{5}$ лет				
$_{92}U$	α	^{233}U (уран) $1{,}62\cdot10^{5}$ лет			
$_{91}Pa$	^{233}Pa (протактиний) 27,02 дня	β α			
$_{90}Th$		^{229}Th (торий) 7340 лет			
$_{89}Ac$		α	^{225}Ac (актиний) 10 дней		
$_{88}Ra$		^{225}Ra (радий) 14,8 дня	β α		
$_{87}Fr$			^{221}Fr (франций) 4,8 мин		
$_{86}Rn$			α		
$_{85}At$			^{217}At (астат) 0,032 сек		
$_{84}Po$			α	^{213}Po (полоний) $4{,}2\cdot10^{-6}$ сек	
$_{85}Bi$			^{213}Bi (висмут) 47 мин	β (97,8%) α	^{209}Bi (стабильный)
$_{82}Pb$			α (2,2%)	^{209}Pb (свинец) 3,3 ч	β
$_{81}Tl$			^{209}Tl (таллий) 2,2 мин	β	

Сімейство нептунію (4n +1)



Сімейство урану (4n + 2)

$_{92}U$	^{235}U, AcU (актиноуран) $7{,}13\cdot10^{8}$ лет				
$_{91}Pa$	α ↓	^{231}Pa, Pa (протактиний) $3{,}25\cdot10^{4}$ лет			
$_{90}Th$	^{231}Th, UY (уран Y) 25,5 ч ↗ β	α ↓	^{227}Th, Rd Ac (радиоактиний) 18,72 дня		
$_{89}Ac$		^{227}Ac, Ac (актиний) 21,6 года ↗	β (98,6%) ↓ α		
$_{88}Ra$		α (1,4%) ↓	^{223}Ra, AcX (актиний X) 11,43 года		
$_{87}Fr$		^{223}Fr, AcK (актиний K) 22 мин ↗	β ↓ α		
$_{86}Rn$		α (0,005%) ↓	^{219}Rn, An (актинон) 3,92 сек		
$_{85}At$		^{219}At (астат) 0,9 мин ↗	β(3%) ↓ α	^{215}At (астат) 10^{-4} сек	
$_{84}Po$		α (97%) ↓	^{215}Po, AcA (актиний A) $1{,}78\cdot10^{-3}$ сек ↗	β (0,00023%) ↓ α	^{211}Po, AcC′ (актиний C′) 0,52 сек
$_{85}Bi$		^{215}Bi (висмут) 7 мин ↗	β ↓ α (~100%)	^{211}Bi, AcC (актиний C) 2,15 мин ↗	β (0,28%) ↓ α
$_{82}Pb$			^{211}Pb, AcB (актиний B) 36,1 мин ↗	β ↓ α (99,72%)	^{207}Pb, AcD (стабильный)
$_{81}Tl$				^{207}Tl, AcC″ (актиний C″) 4,79 мин ↗	β

Сімейство урану (4n + 3)

період	ряд	ГРУПИ ЕЛЕМЕНТІВ											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII				
1	1	H 1,0079 1 *Водень* Гідроген							He 4,0028 2 Гелій				
2	2	Li 6,941 3 Літій	Be 9,01218 4 Берилій	B 10,811 5 Бор	C 12,01 6 *Вуглець* Карбон	N 14,007 7 *Азот* Нітроген	O 15,999 8 *Кисень* Оксиген	F 18,998 9 *Фтор* Флуор	Ne 20,179 10 Неон				
3	3	Na 22,990 11 Натрій	Mg 24,305 12 Магній	Al 26,982 13 Алюміній	Si 28,085 14 *Кремній* Силіцій	P 30,974 15 Фосфор	S 32,066 16 *Сірка* Сульфур	Cl 35,453 17 Хлор	Ar 39,948 18 Аргон				
4	4	K 39,098 19 Калій	Ca 40,078 20 Кальцій	21 44,956 Sc Скандій	22 47,88 Ti Титан	23 50,942 V Ванадій	24 51,996 Cr Хром	25 54,938 Mn *Марганець* Манган	26 55,847 Fe *Залізо* Ферум	27 58,933 Co Кобальт	28 58,69 Ni *Нікель* Ніколь		
	5	29 63,546 Cu *Мідь* Купрум	30 65,38 Zn Цинк	Ga 69,723 31 Галій	Ge 72,59 32 Германій	As 74,922 33 *Миш'як* Арсен	Se 78,96 34 Селен	Br 79,904 35 Бром	Kr 83,80 36 Криптон				
5	6	Rb 85,468 37 Рубідій	Sr 87,62 38 Стронцій	39 88,906 Y Ітрій	40 91,224 Zr Цирконій	41 92,906 Nb Ніобій	42 95,94 Mo Молібден	43 98,906 Tc Технецій	44 101,07 Ru Рутеній	45 102,91 Rh Родій	46 106,42 Pd Паладій		
	7	47 107,87 Ag *Срібло* Аргентум	48 112,41 Cd Кадмій	In 114,82 49 Індій	Sn 118,71 50 *Олово, цина* Станум	Sb 121,75 51 *Сурма* Стибій	Te 127,60 52 Телур	I 126,90 53 *Йод* Іод	Xe 131,29 54 Ксенон				
6	8	Cs 132,91 55 Цезій	Ba 137,33 56 Барій	57 138,91 La * Лантан	72 178,49 Hf Гафній	73 180,95 Ta Тантал	74 183,85 W Вольфрам	75 186,21 Re Реній	76 190,2 Os Осмій	77 192,22 Ir Іридій	78 195,09 Pt Платина		
	9	79 196,97 Au *Золото* Аурум	80 200,59 Hg *Ртуть* Меркурій	Tl 204,38 81 Талій	Pb 207,2 82 *Свинець, оливо* Плюмбум	Bi 208,98 83 *Вісмут* Бісмут	Po (209) 84 Полоній	At (210) 85 Астат	Rn (222) 86 Радон				
7	10	Fr (223) 87 Францій	Ra 226,02 88 Радій	89 227,03 Ac ** Актиній	104 (261) Rf Резерфордій	105 (262) Db Дубній	106 (263) Sg Сиборгій	107 (262) Bh Борій	108 (265) Hs Гасій	109 (266) Mt Майтнерій	110 (272) Uun Унунпілій		
Вищі оксиди		R_2O	RO	R_2O_3	RO_2	R_2O_5	RO_3	R_2O_7	RO_4				
Летні водневі сполуки					RH_4	RH_3	H_2R	HR					
*		58 140,12 Ce Церій	59 140,91 Pr Празеодим	60 144,24 Nd Неодим	61 (147) Pm Прометій	62 150,36 Sm Самарій	63 151,96 Eu Європій	64 157,25 Gd Гадолінній	65 158,93 Tb Тербій	66 162,5 Dy Диспрозій	67 164,93 Ho Гольмій	68 167,26 Er Ербій	69 168,93 Tm Тулій	70 173,04 Yb Итербій	71 174,97 Lu Лютецій
**		90 232,04 Th Торій	91 (231) Pa Протактиній	92 238,03 U Уран	93 (237) Np Нептуній	94 (244) Pu Плутоній	95 (243) Am Америцій	96 (247) Cm Кюрій	97 (247) Bk Берклій	98 (251) Cf Каліфорній	99 (254) Es Ейнштейній	100 (257) Fm Фермій	101 (258) Md Менделевій	102 (259) No Нобелій	103 (260) Lr Лоуренсій

Порядковий номер — Символ — Назва елемента систематична

26 55,847 Fe
Ферум

Атомна маса

Навчальне видання

Кіосе Тетяна Олександрівна
Раскола Людмила Анатоліївна

РАДІОХІМІЯ З ОСНОВАМИ РАДІОЕКОЛОГІЇ. РАДІАЦІЙНИЙ ВПЛИВ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ′ЄКТИ

ПРАКТИКУМ
до практичних робіт для студентів
факультету хімії та фармації

В авторській редакції

Підп. до друку. 21.04.2022. Формат 60х84/16.
Ум.-друк. арк. 8,02. Тираж 20 пр.
Зам. № 2435.

Видавець і виготовлювач
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

Свідоцтво суб’єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.
Україна, 65082, м. Одеса, вул. Єлісаветинська, 12
Тел. (048) 723-28-39.
E-mail: druk@onu.edu.ua