

# КОМПЛЕКС НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «АТОМНО-ЯДЕРНА ФІЗИКА»

## 1. ПРИКЛАДИ ЗАВДАНЬ СЕМЕСТРОВИХ ЕКЗАМЕНІВ

### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 1 (10, 10, 10, 10)

1. Ядерна модель атома Резерфорда.
2. Валентність та її фізична природа.
3. Яку довжину хвилі повинен мати фотон, щоб маса, відповідна його енергії, дорівнювала масі спокою електрона?
4. Відносно повільні протони з енергією в декілька сотень або навіть десятків кеВ можуть викликати розщеплення літію:  $\text{Li}^7 + \text{H}^1 \rightarrow 2\text{He}^4$ . Яку енергію мають обидві  $\alpha$ -частинки?

### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 2 (10, 10, 10, 10)

1. Постулати Бора. Досліди Франка і Герца.
2. Радіоактивність: альфа-розпад.
3. Користуючись формулою Планка, визначити середнє число фотонів  $\bar{n}$  в одиниці об'єму порожнини, заповненої рівноважним (чорним) випромінюванням, при температурі  $T$ .
4. На скільки компонент розщепиться в магнітному полі спектральна лінія, пов'язана з переходом  $l = 3 \rightarrow l = 2$ , при простому ефекті Зеемана?

### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 3 (10, 10, 10, 10)

1. Фотоефект. Формула Ейнштейна.
2. Систематика елементарних частинок.
3. Фотон головної серії Лаймана іона гелію  $\text{He}^+$  поглинається водневим атомом в основному стані і йонізує його. Визначити кінетичну енергію  $\mathcal{E}$ , яку отримає електрон при такій іонізації.
4. Вільне атомне ядро маси  $M$ , що покоїться, переходить в збуджений стан з енергією збудження  $\mathcal{E}_{12}$ , поглинаючи  $\gamma$  –квант. Визначити енергію  $\gamma$  –кванта і енергію віддачі ядра  $R$ .

### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 4 (10, 10, 10, 10)

1. Основні постулати квантової теорії. Оператори.
2. Гетерополярні і гомеополярні молекули.
3. Порівняти енергію фотона ( $\lambda = 500$  нм) з кінетичної енергією поступального руху молекули водню при кімнатній температурі.

4. Знайти постійну розпаду радію, якщо період напіврозпаду радію  $T = 1602$  років.

#### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 5 (10, 10, 10, 10)

1. Магнітний момент атома.
2. Радіоактивність: основний закон радіоактивного розпаду.
3. Середня довжина хвилі випромінювання лампочки розжарювання з металевою спіраллю дорівнює понад 1200 нм. Знайти число фотонів, що випускаються 200-ватною лампочкою в одиницю часу.
4. Знайти довжину хвилі резонансної лінії  $\text{He}^+$ .

#### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 6 (10, 10, 10, 10)

1. Ефект Комптона.
2. Симетрія кристалів.
3. Яка можлива мультиплетність  $\text{Sr}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{C}^{++}$ ,  $\text{O}^{++++}$ ?
4. Скільки атомів радію розпадається за 1 секунду в 1 г препарату радію, якщо період напіврозпаду радію  $T = 1602$  років.

#### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 7 (10, 10, 10, 10)

1. Стан частинки в квантовій теорії.
2. Енергетична схема ядерної реакції.
3. Знайти масу, відповідну енергії фотона видимого світла з довжиною хвилі  $\lambda = 500$  нм.
4. Які спектральні лінії з'являться в спектрі атомарного водню при опроміненні його ультрафіолетовим світлом з довжиною хвилі 100 нм?

#### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 8 (10, 10, 10, 10)

1. Рівні і спектри лужних металів.
2. Античастинки. Аннігіляція і народження пар.
3. Визначити кінетичну енергію електрона  $\mathcal{E}_{\text{кін}}$ , при якій його дебройлевская і комптонівська довжини хвиль рівні між собою.
4. Обчислити розщеплення рівня  $n = 2$ ,  $l = 1$  водню через магнітну взаємодію спінового і орбітального моментів.

#### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 9 (10, 10, 10, 10)

1. Експериментальні підтвердження гіпотези де-Бройля.
2. Вихід ядерної реакції та його типи.
3. На скільки вольт іонізаційний потенціал дейтерію (D) більше іонізаційного потенціалу водню (H)? Знайти різницю між енергіями іонізації D і H в джоулях на моль.

4. Препарат радію масою 1 г укладений в оболонку, що є не проникною для  $\alpha$ -частинок. Яка кількість тепла  $Q$  виділиться в препараті і оболонці за 1 год? Вказівка: врахувати віддачу, отриману ядром.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 10 (10, 10, 10, 10)

1. Спектральні закономірності.
2. Радіоактивність: гамма-розпад.
3. Визначити максимальну швидкість фотоелектронів, вилітають з мідного електрода, що освітлюється монохроматичним світлом з довжиною хвилі  $\lambda = 250$  нм. Робота виходу електрона з міді  $P = 4,17$  еВ.
4. Протон з дебройлівською довжиною хвилі  $\lambda = 0,001$  нм пружно розсіявся під кутом  $\pi/2$  на  $\alpha$ -частинці, що до того покоїлась. Визначити дебройлівську довжину хвилі  $\lambda$  розсіяного протона.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 11 (10, 10, 10, 10)

1. Характеристичні рентгенівські спектри. Закон Мозлі.
2. Конденсований стан речовини.
3. В результаті комптонівського розсіювання довжина хвилі  $\lambda$  фотона з енергією  $\mathcal{E}_\phi = 0,5$  МеВ збільшилася на  $\Delta\lambda = \alpha\lambda$ , де  $\lambda = 0,25$ . Визначити кінетичну енергію  $\mathcal{E}_e$  електрона віддачі.
4. Які швидкості мають позитрон, протон і  $\alpha$ -частинка з енергією 1 МеВ?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 12 (10, 10, 10, 10)

1. Гальмівне рентгенівське випромінювання.
2. Обмінна взаємодія і природа феромагнетизму.
3. Які спектральні лінії з'являться при збудженні атомарного водню електронами з енергією в 12,5 еВ?
4. Період напіврозпаду радіофосфора  $P^{32}$  - 15 днів. Знайти активність препарату  $P^{32}$  через 10, 30, 90 днів після його виготовлення, якщо початкова активність дорівнювала 100 мКі.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 13 (10, 10, 10, 10)

1. Механічний момент багатоелектронного атома.
2. Ядерні сили і механізм взаємодії нуклонів.
3. Струм насичення, що протікає через вакуумний фотоелемент при його освітленні, дорівнює  $I = 3 \cdot 10^{-10}$  А. Знайти число  $N$  електронів, що вириваються світлом із катода фотоелемента за одну секунду.
4.  $U^{234}$  (або UII) є продуктом розпаду основного ізотопу урану  $U^{238}$  (або UI). Визначити період напіврозпаду  $U^{234}$ , якщо його зміст в природному урані 0,0055%. Період напіврозпаду  $U^{238}$   $T_8 = 4,51 \cdot 10^9$  років.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 14 (10, 10, 10, 10)

1. Квантування атома водню.
2. Радіоактивність: бета-розпад.
3. При якій довжині хвилі імпульс фотона дорівнює імпульсу молекули водню при кімнатній температурі? Маса молекули водню  $M = 2,35 \cdot 10^{-24}$  г.
4. Визначити можливу мультиплетність атомів H, He, Li, Mg, Fe, Hg, U, Cl.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 15 (10, 10, 10, 10)

1. Періодична система елементів. Правила Хунда.
2. Поріг ядерної реакції.
3. Максимальна швидкість фотоелектронів при освітленні цезієвого електрода монохроматичним світлом виявилася рівною  $v_{\text{макс}} = 5,5 \cdot 10^7$  см/с. Робота виходу електрона з цезію становить  $P = 1,89$  еВ. Обчислити довжину хвилі світла, що застосовувався для освітлення цього електрода.
4. На скільки компонент розщепиться пучок атомів водню при проведенні досліду Штерна-Герлаха?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 16 (10, 10, 10, 10)

1. Рівняння Шредінгера.
2. Склад і характеристика атомного ядра.
3. Нерухомий спочатку атом водню випустив фотон із частотою, що відповідає головній лінії серії Лаймана. Знайти швидкість  $v$  атома після випромінювання фотона.
4. Визначити енергію, що уносять за 1 ч  $\alpha$ -частинки, що вилітають при розпаді 1 г радію, якщо швидкість  $\alpha$ -частинок Ra дорівнює  $1,51 \cdot 10^9$  см/с, а період напіврозпаду радію дорівнює 1602 років. Продукти розпаду радію не брати до уваги.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 17 (10, 10, 10, 10)

1. Спін електрона і тонка структура.
2. Електрон в періодичному полі решітки.
3. Обчислити довжину хвилі  $\lambda$  для довгохвильової кордону фотоефекту на сріблі, якщо робота виходу електрона з срібла  $P = 4,28$  еВ.
4. Визначити порядковий номер і атомну масу іонія, який отримують із урану в результаті двох  $\alpha$ -розпадів і двох  $\beta$ -розпадів. Ізотопом якого елемента є іоній?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 18 (10, 10, 10, 10)

1. Ефекти Зеемана і Пашена-Бека.
2. Маса і енергія зв'язку ядра.
3. Фотон рентгенівського випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda$  внаслідок комптонівського розсіювання на вільному електроні відхилився від первісного

- напрямку на кут  $\theta$ . Визначити енергію  $\mathcal{E}_e$  і імпульс  $p_e$  електрона віддачі. Дати числову відповідь для  $\lambda = 0,02$  нм і  $\theta = 90^\circ$ .
4. Обчислити силу тяжіння  $F$  між електроном, що знаходиться на першій орбіті атома водню, і ядром. У скільки разів ця сила більше сили всесвітнього тяжіння між електроном і протоном на такій же відстані?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 19 (10, 10, 10, 10)

1. Квантування моменту імпульсу.
2. Фундаментальні взаємодії.
3. У скільки разів зміна довжини хвилі фотона при комптонівському розсіянні на вільному електроні перевершує аналогічну зміну при розсіянні на вільному протоні при однакових кутах розсіювання?
4. Визначити найменшу енергію, яку треба передати в основному стані тричі іонізованому атому берилію, щоб збудити повний спектр цього атома.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 20 (10, 10, 10, 10)

1. Модель атома водню Бора.
2. Ізотопічний спін.
3. Знайти імпульс фотона видимого світла ( $\lambda = 500$  нм). Порівняти його з імпульсом молекули водню при кімнатній температурі. Маса молекули водню  $M = 2,35 \cdot 10^{-24}$  м.
4. Зразок йоду  $I^{127}$  опромінюється нейтронним потоком такої інтенсивності, що в 1 с утворюється 107 атомів радіоактивного йоду  $I^{128}$ , період напіврозпаду  $T$  якого 25 хв. Знайти число атомів  $I^{128}$  і активність препарату через 1, 10, 25, 50 хв. після початку опромінення. Які максимальні числа атомів  $I^{128}$  і активність препарату при довгому опроміненні (тобто при опроміненні до насичення)?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 21 (10, 10, 10, 10)

1. Парадоксальна поведінка мікрочастинок.
2. Молекула водню. Обмінна взаємодія.
3. Визначити максимальну зміну довжини хвилі при розсіянні рентгенівського і  $\gamma$ -випромінювання на вільному протоні.
4. Обчислити енергію, яку треба повідомити атому водню, щоб його серія Бальмера містила тільки одну спектральну лінію.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 22 (10, 10, 10, 10)

1. Гіпотеза де-Бройля.
2. Ван-дер-Ваальсові сили тяжіння.
3. Фотон розсіюється на протоні, що покоїться. Енергія розсіяного фотона дорівнює кінетичної енергії віддачі, а кут розльоту між розсіяним фотоном і протоном віддачі дорівнює  $90^\circ$ . Знайти енергію падаючого фотона.

4. Перші потенціали збудження Li і Na дорівнюють відповідно 1,84 В і 2,1 В. При якій температурі середня кінетична енергія цих частинок дорівнює енергії збудження?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 23 (10, 10, 10, 10)

1. Дослід Боте. Фотони.
2. Закони збереження для елементарних частинок.
3. Як відносяться один до одного числа атомів водню в основному, першому, другому і третьому станах при температурі 2000 К?
4. Яку швидкість набуває ядро RaB ( $\text{Po}^{214}$ ), що з'являється в результаті розпаду RaA ( $\text{Po}^{218}$ ), якщо енергія  $\alpha$ -частинок, що випромінюються при розпаді, дорівнює 4,7 МеВ?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 24 (10, 10, 10, 10)

1. Принцип невизначеності Гайзенберга.
2. Составні ядра і рівень збудження ядра.
3. Фотон з довжиною хвилі  $\lambda = 0,0024$  нм після розсіювання на електроні рухається в прямо протилежному напрямку. З якої швидкістю  $v$  повинен рухатися електрон, щоб частота фотона при розсіянні не змінилася?
4. На скільки рівнів розщепиться в магнітному полі терм з  $l = 3$  при простому ефекті Зеемана? Яка різниця енергій сусідніх рівнів?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 25 (10, 10, 10, 10)

1. Ротатор. Спектр двохатомної молекули.
2. Метали, діелектрики і провідники.
3. Визначити найменші номери рівнів атома водню, між якими можливі переходи, що супроводжуються випромінюванням радіохвиль з довжиною 1, 10, 100 і 1000 см.
4. Вільне атомне ядро маси  $M$ , що покоїться, переходить зі збудженого стану в основний, випускаючи  $\gamma$ -квант. Знайти енергію  $\gamma$ -кванта і енергію віддачі  $R$ , якщо енергія збудження дорівнювала  $\mathcal{E}_{12}$ . Числову відповідь отримати для  $\text{Ir}^{191}$ , якщо  $\mathcal{E}_{12} = 129$  кеВ.

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 26 (10, 10, 10, 10)

1. Хвильова функція і розподіл щільності ймовірності в атомі водню.
2. Ефект Мессбауера.
3. Визначити різницю довжин хвиль ліній  $H_{\alpha}$  і  $D_{\alpha}$  (тобто першої лінії бальмеровської серії водню і дейтерію – “важкого водню”). Визначити також різницю довжин хвиль ліній  $H_{\gamma}$  і  $D_{\gamma}$ .
4. На скільки грамів збільшиться маса 1 кг води при нагріванні її на 100 °С?

ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 27 (10, 10, 10, 10)

1. Принцип Паулі. Заповнення електронних оболонок.
2. Кваркова модель адронів.

3. Які спектральні лінії з'являться при збудженні атомарного водню електронами з енергією в 14 еВ?
4. Скільки кубічних міліметрів гелію виділяється внаслідок розпаду 1 г радію протягом року? Вважати, що He знаходиться при 0° С і атмосферному тиску.

### ЕКЗАМЕНАЦІЙНИЙ БІЛЕТ (ЗАВДАННЯ) № 28 (10, 10, 10, 10)

1. Електронний парамагнітний резонанс (ЕПР).
2. Парність. Закон збереження парності.
3. Скільки  $\alpha$ -частинок  $\Delta n$  розсіється в інтервалі кутів між 44° і 46°, якщо на мідну пластинку товщиною в 0,005 мм було випущено  $n = 10^4$   $\alpha$ -частинок з енергією в 1 МеВ?
4. В деяких уранових рудах міститься домішка чистого уранового свинцю ( $A = 206$ ). Припускаючи, що весь свинець з'явився в результаті розпаду урану і його продуктів, визначити вік  $T$  уранової руди. Припустити, що в 1 г руди міститься 0,2 г свинцю.

## 2. ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

**Задача 1.** Знайти повну випромінювальну здатність абсолютно чорного тіла

$$K(T) \text{ [Вт/м}^2\text{]}; K(T) = \pi \int_0^{\infty} K(\lambda, T) d\lambda, \text{ використовуючи формулу Планка.}$$

Розв'язання:

Вважаємо, що головний внесок в інтеграл дає область малих значень  $\lambda$ , і

$$\text{будемо використовувати формулу: } K(T) = \pi \int_0^{\infty} K(\lambda, T) d\lambda =$$

$$= 2hc^2 \pi \int_0^{\infty} \exp(-hc / kT\lambda) \lambda^{-5} d\lambda. \text{ Робимо заміну змінної } x = hc / kT\lambda. \text{ Тоді}$$

$$\lambda = hc / kTx, \quad d\lambda = -(hc / kTx^2) dx. \text{ Підставляємо в інтеграл: } K(T) =$$

$$= 2hc^2 \pi \int_0^{\infty} e^{-x} \left( \frac{kT}{hc} \right)^5 x^5 (hc / kTx^2) dx = \frac{2\pi k^4 T^4}{c^2 h^3} \int_0^{\infty} e^{-x} x^3 dx. \text{ Інтеграл, що}$$

залишився, обчислюється елементарно 3-кратним інтегруванням по частинам

$$\int_0^{\infty} e^{-x} x^3 dx =$$

$$= -e^{-x}x^3 \Big|_0^\infty + 3 \int_0^\infty e^{-x}x^2 dx = -e^{-x}x^3 \Big|_0^\infty - 3e^{-x}x^2 \Big|_0^\infty + 6 \int_0^\infty e^{-x}x dx = -e^{-x}x^3 \Big|_0^\infty - 3e^{-x}x^2 \Big|_0^\infty - 6e^{-x}x \Big|_0^\infty + 6 \int_0^\infty e^{-x} dx = 6. \text{ Таким чином, маємо } K(T) \approx \left( \frac{12\pi k^4}{c^2 h^3} \right) \cdot T^4 = \sigma T^4 \text{ — це закон}$$

$$\text{Штефана-Больцмана, де постійна } \sigma = \frac{12\pi k^4}{c^2 h^3} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}.$$

**Задача 2.** Обчислити дебройлеву довжину хвилі  $\alpha$ -частинки і електрона з кінетичними енергіями  $T = 5 \text{ Мев}$ .

Розв'язання:

$\alpha$ -частинка з такою енергією є нерелятивістською, а електрон - релятивістський. Для обчислення довжини хвилі використовуємо відповідно нерелятивістський і релятивістський варіанти формули де Бройля  $\lambda = h / p$ , де  $p$  - імпульс частинки:

$$\lambda_\alpha = \frac{h}{p_\alpha} = \frac{2\pi\hbar c}{\sqrt{2m_\alpha c^2 \cdot T_\alpha}} \approx \frac{1240 \text{ Мев} \cdot \Phi_{\text{М}}}{\sqrt{2 \cdot 4 \cdot 939 \text{ Мев} \cdot 5 \text{ Мев}}} \approx 6 \Phi_{\text{М}},$$

$$\lambda_e = \frac{h}{p_e} = \frac{2\pi\hbar c}{p_e c} \approx \frac{2\pi\hbar c}{T_e} = \frac{1240 \text{ Мев} \cdot \Phi_{\text{М}}}{5 \text{ Мев}} \approx 250 \Phi_{\text{М}}.$$