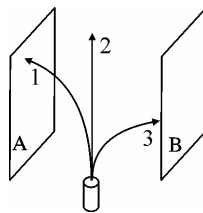


Розділ 5. Атомна та ядерна фізика

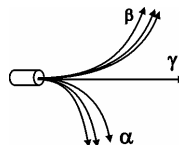
Розвиток уявлень про атоми. Випромінювання та поглинання світла атомами. Енергетичні рівні атома

415. Вузький пучок радіоактивного випромінювання в електричному полі, створеному двома різнойменно зарядженими пластинками, розпадається на три компоненти (мал. 63). Вказати, які це компоненти, якщо пластинка А заряджена негативно.



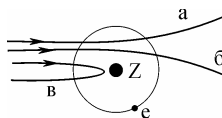
Мал. 63

416. Радіоактивний препарат, що знаходиться на дні каналу в шматку свинцю, дає вузький пучок радіоактивного випромінювання. У магнітному полі пучок розщеплюється на три частини (мал. 64). Як напрямлені лінії магнітної індукції магнітного поля?



Мал. 64

417. На малюнку 65 показано траєкторію руху α -частинки, на шляху якої розміщений атом, який складається з позитивно зарядженого ядра Z і електрона e. Яка із зображених траєкторій нереальна?



Мал. 65

418. Ядра атомів чи електронними оболонками атомів спричинене відхилення α -частинок у досліді Резерфорда?

419. Навести приклади люмінесценції у природі.

420. Відомо, що у видимій ділянці спектра випромінювання характерні довжини хвиль, які відповідають Криптону (Kr) становлять 557 і 587 нм, а Оксигену (O) – 419, 441, 470 нм. У спектрі випромінювання невідомої суміші газів наявні лінії таких довжин хвиль:

а) 403, 439, 447, 471, 492, 502, 588, 668, 706 нм.

б) 403, 419, 441, 481, 492, 502, 587, 668, 706 нм

в) 403, 419, 441, 470, 492, 502, 587, 668, 706 нм

г) 403, 419, 441, 470, 492, 557, 587, 668, 706 нм

Визначити наявність Криптону і $n \rightarrow \infty$ _____ 0

Оксигену в даних сумішах. $n=3$ _____ -1,5 eB

$n=2$ _____ -3,38 eB

421. На малюнку 66 відображено схему енергетичних рівнів атома Гідрогену і значення енергій у стаціонарних станах. Яка енергія випромінюється під час переходу атома...

$n=1$ _____ -13,55 eB

а) ...з першого збудженого стану в

Мал. 66

основний?

- б) ...з другого збудженого стану в перший?
- в) ...з другого збудженого стану в основний?

422. На малюнку 67 відображено схему енергетичних рівнів атома Меркурію (ртуті) і значення енергій у стаціонарних станах. Яку енергію слід надати атому для переходу...

- а) ...з першого збудженого стану в другий?
 - б) ...з другого збудженого стану в третій?
 - в) ...з першого збудженого стану в третій?
- | | | |
|------------------------|-------|----------|
| $n \rightarrow \infty$ | _____ | 0 |
| $n=4$ | _____ | -2,1 eВ |
| $n=3$ | _____ | -3,7 eВ |
| $n=2$ | _____ | -5,5 eВ |
| $n=1$ | _____ | -10,4 eВ |

Мал. 67

423. На малюнку 68 зображено діаграму енергетичних рівнів атома. Який із переходів відповідає...

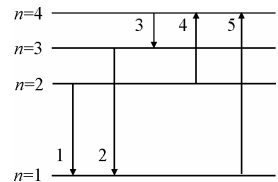
- а) ...поглинанню фотона найменшої частоти хвилі?
- б) ...поглинанню фотона найбільшої частоти хвилі?
- в) ...випромінюванню фотона найменшої частоти хвилі?
- г) ...випромінюванню фотона найбільшої частоти хвилі?

424. Чи зберігається маса, імпульс та енергія при випромінюванні вільним атомом фотона?

425. Під час переходу атома Гідрогену з стаціонарного стану з вищою енергією в стан з нижчою енергією випромінюється фотон, якому відповідає довжина хвилі 652 нм. На скільки зменшилася енергія атома Гідрогену?

426. Внаслідок поглинання кванта світла енергія атома Меркурію змінилась на $7,84 \cdot 10^{-19}$ Дж. Визначити довжину хвилі поглинутого світла.

427. Атом Вольфраму після поглинання кванта світла з довжиною хвилі $1,45 \cdot 10^{-10}$ м переходить з одного стаціонарного стану в інший. Як і на скільки змінилась енергія атома?



Мал. 68

428. Для іонізації атома Нітрогену необхідна енергія 14,53 eВ. Визначити довжину хвилі випромінювання, яка спричинить іонізацію атома.

Ядерні сили. Енергія зв'язку

429. Чим відрізняються між собою атоми ізотопів Оксигену ${}^{17}_8\text{O}$ і ${}^{16}_8\text{O}$?
430. Чи однакова природа сил, якими визначається будова атомів і атомних ядер?
431. Чому енергія зв'язку атома Гідрогену ${}^1_1\text{H}$ дорівнює нулю?
432. Визначити дефект мас та питому енергію зв'язку ядра ${}^{21}_{10}\text{Ne}$.

Розв'язання

$$\Delta m - ?, f - ?$$

$$m_p = 1,007276 \text{ а.о.м.}$$

$$m_n = 1,008665 \text{ а.о.м.}$$

$$m_e = 0,000548 \text{ а.о.м.}$$

$$M_a = 20,993849 \text{ а.о.м.}$$

З короткого фізичного довідника записуємо в умову маси протона, нейтрона, електрона і атома

Гелію. Питомі енергія зв'язку $f = \frac{E_{зв}}{A} = \frac{E_{зв}}{Z + N}$, де

Z – кількість протонів, N – кількість нейтронів у ядрі атома. $Z=10$, $N=11$. Енергію зв'язку визначаємо

із співвідношення $E_{зв} = \Delta m \cdot c^2$, де Δm – дефект мас

або $E_{зв} = \Delta m \cdot 931,5 \frac{\text{MeV}}{\text{а.о.м}}$, якщо Δm виражено в

а.о.м. Дефект мас визначаємо із співвідношення $\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_a$, де M_a – маса ядра атома.

Щоб знайти масу ядра треба від маси атома (нукліда ізотопу) відняти сумарну масу електронів:

$$M_a = M_a - Z \cdot m_e.$$

$$M_a = 20,993849 \text{ а.о.м.} - 10 \cdot 0,000548 \text{ а.о.м.} =$$

$$= 20,988369 \text{ а.о.м.}$$

$$\Delta m = 10 \cdot 1,007276 \text{ а.о.м.} + 11 \cdot 1,008665 \text{ а.о.м.} -$$

$$- 20,988369 \text{ а.о.м.} = 0,179706 \text{ а.о.м.}$$

$$E_{зв} = 0,179706 \text{ а.о.м.} \cdot 931,5 \frac{\text{MeV}}{\text{а.о.м}} \approx 167,396 \text{ MeV.}$$

$$f = \frac{167,396 \text{ MeV}}{21} \approx 7,97 \frac{\text{MeV}}{\text{нуклон}}.$$

Дефект мас можна визначити по-іншому. Оскільки маса ядра відрізняється від маси атома масою електронів, яких є рівно стільки, скільки і протонів Z , то замість маси протона у формулі дефекту мас беруть масу атома Гідрогену ${}^1_1\text{H}$, а замість маси ядра беруть масу атома даного ізотопу. Тоді замість формули $\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_a$ використовують формулу

$$\Delta m = Z \cdot m_H + N \cdot m_n - M_a$$

Інший спосіб розв'язку задачі на визначення дефекту мас та енергії зв'язку дивись у прикладі розв'язку завдань для тематичного контролю.

433. Визначити енергію зв'язку ядра...

а) ...Дейтерію ${}^2_1\text{H}$; б) ...Оксигену ${}^{16}_8\text{O}$; в) ...Гелію ${}^4_2\text{He}$.

434. Визначити питому енергію зв'язку ядра...

а) ...Літію ${}^6_3\text{Li}$; б) ...Нітрогену ${}^{15}_7\text{N}$; в) ...Натрію ${}^{23}_{11}\text{Na}$.

Радіоактивність. Закон радіоактивного розпаду

435. Результатом яких перетворень (ядер чи нуклонів) обумовлений α -розпад? β -розпад? γ -випромінювання?

436. Чи можуть атомні ядра хімічних елементів поглинати і випромінювати електромагнітні кванти?

437. Якими процесами обумовлена радіоактивність: процесами, які відбуваються у атомних ядрах чи електронних оболонках атомів?

438. Який порядковий номер і масове число елемента в таблиці Менделєєва, який одержується в результаті двох α -розпадів і одного β -розпаду елемента з порядковим номером Z і масовим числом A ?

439. Ядро якого елемента утвориться з ядра Урану ${}^{238}_{92}\text{U}$ після α -розпаду і двох β -розпадів?

440. Ядро Полонію ${}^{216}_{84}\text{Po}$ утворилось після двох послідовних α -розпадів. З якого ядра утворився полоній?

441. Ізотоп Радію ${}^{226}\text{Ra}$ перетворився в ізотоп Плюмбуму ${}^{206}\text{Pb}$. Скільки α - і β -розпадів відбулося при цьому?

442. Активність радіоактивного ізотопу за 30 год зменшилась у 4 рази. Який період піврозпаду цього ізотопу?

443. Період піврозпаду радіоактивного Йоду становить 8 діб. Яка частка від початкової кількості йоду залишиться через 24 доби?

444. За 11,4 доби кількість радіоактивного Радону-222 зменшилась у 8 разів. Визначити період піврозпаду Радону.

445. Період піврозпаду Радону-222 становить 3,8 доби. Через який час маса радону зменшиться у 32 рази?

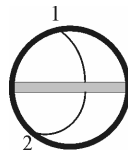
446. У початковий момент активність деякої радіоактивної речовини, період піврозпаду якої 14 діб, складала 40 Бк. Якою буде активність цієї речовини через 42 доби?

- 447.Період піврозпаду ізотопу Полонію становить 180 с. Яка кількість атомів Полонію залишиться в об'єкті через 6 хв, якщо початкова кількість ізотопу становила $1,6 \cdot 10^3$ атомів?
- 448.Під час дослідження радіоактивного елемента за допомогою лічильника Гейгера-Мюллера спочатку зареєстрували 36 імпульсів за хвилину, а через 100 діб – 9 імпульсів за хвилину. Визначити період піврозпаду елемента.
- 449.У повітрі, рослинному світі і світі живих організмів процентний вміст радіоактивного Карбону $^{14}_6\text{C}$ залишається незмінним. При зупинці «дихання» (загибелі рослин чи організмів) кількість радіоактивного Карбону у рослинах і організмах зменшується з періодом піврозпаду 5700 років. Використовуючи ці закономірності, визначити який час минув з моменту загибелі слона, рештки якого з процентним вмістом радіоактивного Карбону 6,25% знайшли археологи.
- 450.У скільки разів зменшилася кількість атомів радіоактивного Карбону $^{14}_6\text{C}$ у сосні, яку зрізали 17100 років тому? Період піврозпаду $^{14}_6\text{C}$ становить 5700 років?
- 451.Період піврозпаду Калію-42 дорівнює 12 год. Скільки енергії виділить за добу препарат, який містить 12 мг калію, якщо при розпаді кожного ядра виділяється енергія 5 МеВ? Яку кількість льоду при 0°C можна розплавити виділеною енергією?

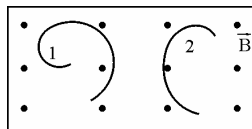
Методи реєстрації йонізуючого випромінювання. Ядерні реакції.

Ланцюгова реакція поділу ядер Урану

- 452.У камері Вільсона, поміщеній у магнітне поле, сфотографовано слід мікрочастинки, на шляху якої знаходилася перешкода (мал. 69). В якому напрямі рухалася частинка?



- 453.У камері Вільсона, поміщеній у зовнішнє магнітне поле, сфотографували треки двох частинок (мал. 70) Який з треків належить електрону, а який α -частинці?



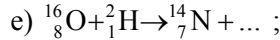
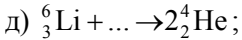
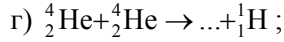
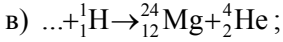
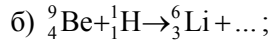
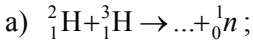
- 454.Чому протон у камері Вільсона залишає слід, а нейтрон – ні?

Мал. 70

- 455.Електрон влітає в камеру Вільсона з швидкістю 10 Мм/с. Визначити індукцію магнітного поля, якщо радіус треку 1 см.

456. Обчислити радіус треку електрона в камері Вільсона, що розміщена в магнітному полі, якщо індукція магнітного поля 10 мТл, а кінетична енергія електрона 30 кеВ.

457. Дописати рівняння реакції і визначити її енергетичний вихід:



Енергетичним виходом ядерної реакції називають різницю між енергіями спокою ядер (частинок) до реакції і після неї. Оскільки для ядерних реакцій виконується закон збереження електричного заряду, то кількість електронів в атомах до реакції дорівнює кількості електронів в атомах після реакції. Тому в розрахунках енергій спокою можна брати не маси ядер, а маси атомів. Якщо значення енергії додатне, то вона в реакції виділяється, якщо від'ємне – поглинається. Приклад розв'язку задачі дивись на стор. 82.

458. Потужність випромінювання Сонця в навколишній простір становить $3,8 \cdot 10^{20}$ МВт. На скільки зменшується маса Сонця за рік?

459. Визначити електричну потужність атомної станції, яка витрачає за добу 220 г урану ${}^{235}_{92}\text{U}$ і має ККД 25%, якщо відомо, що під час поділу одного ядра Урану виділяється енергія, яка в середньому дорівнює $3,2 \cdot 10^{-11}$ Дж.

460. ККД атомної електростанції потужністю 800 МВт дорівнює 20 %. Знайти масу ядерного пального (${}^{235}_{92}\text{U}$), яке витрачає станція щодоби. Вважати, що при кожному поділі ядра Урану виділяється енергія 200 МеВ.

461. Скільки води можна нагріти від 20°C до 100°C за рахунок енергії, що виділяється при поділі 47 г Урану-235? Вважати, що при кожному поділі ядра Урану виділяється енергія 200 МеВ.

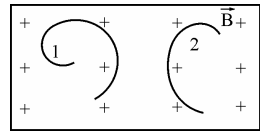
462. Один з реакторів, встановлений на Рівненській АЕС, має ККД 32 %. Яку масу урану споживає реактор за 1 год, якщо його електрична потужність 440 МВт? Вважати, що при кожному поділі ядра Урану-235 виділяється енергія 200 МеВ.

Приклад розв'язку завдань для тематичного контролю
Рівень А (початковий)

- За яким співвідношенням можна визначити частоту поглинутої хвилі під час переходу атома зі стаціонарного стану з енергією E_1 в стан з енергією E_2 ?
 а) $v = \frac{E_2 - E_1}{h}$; б) $v = \frac{E_2 + E_1}{h}$; в) $v = \frac{E_2}{h}$; г) $v = \frac{E_1}{h}$.
- Загальне число нуклонів у ядрі, як правило, позначають символом A і називають...
 а) ...зарядовим числом; б) ...масовим числом;
 в) ...порядковим номером у таблиці Менделєєва.
- Енергія під час ядерних реакцій...
 а) ...завжди виділяється; б) ...завжди поглинається;
 в) ...може як виділятися так і поглинатися.

Рівень В (середній)

- У камері Вільсона, поміщеній у зовнішнє магнітне поле, сфотографували треки двох частинок (мал. 1) Який з треків може належати α -частинці?
 а) перший; б) другий; в) обидва; г) жоден.
- У лампі денного світла свічення люмінофора відбувається завдяки...
 а) ...тепловому випромінюванню;
 б) ...гальмуванню швидких електронів перешкодою;
 в) ...люмінесценції.
- Атом Гідрогену під час переходу з одного стаціонарного стану в інший поглинає фотон, частота хвилі якого $0,75 \cdot 10^{14}$ Гц. Визначити зміну енергії атома Гідрогену.



Мал. 1

Рівень С (достатній)

- Визначити енергетичний вихід першої ядерної реакції, в якій зафіксовано перетворення атомів Нітрогену в атоми Оксигену
 ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$
- Період піврозпаду ізотопу Стронцію 28 років. За який час розпадеться 75 % початкової кількості атомів цього ізотопу?

Рівень D (високий)

- Яка енергія виділяється при поділі одного ядра Урану ${}^{235}_{92}\text{U}$, якщо на атомній електростанції потужністю 7000 кВт і коефіцієнтом корисної дії 24 % витрата урану становить 30 г на добу?
- Визначити питому енергію зв'язку ядра Бору ${}^{10}_5\text{B}$.

Рівень А (початковий)

1. а 2. б 3. в

Рівень В (середній)

1. а 2. в
3.

Розв'язання

ΔE – ?

$$\nu = 0,75 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Зміна енергії під час переходу атома з одного стаціонарного стану в інший визначається співвідношенням $\Delta E = h\nu$. Записуємо в умову сталу Планка h . Після підстановки

$$\Delta E = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 0,75 \cdot 10^{14} \text{ Гц} \approx 4,97 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}.$$

Рівень С (достатній)

- 1.

Розв'язання

E – ?

$$m_N = 14,003074 \text{ а.о.м.}$$

$$m_{He} = 4,002603 \text{ а.о.м.}$$

$$m_O = 16,999133 \text{ а.о.м.}$$

$$m_H = 1,007825 \text{ а.о.м.}$$

Якщо енергія спокою ядер і частинок до реакції більша за енергія спокою ядер і частинок після реакції (енергетичний вихід додатний), то енергія виділяється. В протилежному випадку (енергетичний вихід від'ємний) – поглинається.

Енергетичний вихід реакції знаходять із співвідношення

$E = (m_N \cdot c^2 + m_{He} \cdot c^2) - (m_O \cdot c^2 + m_H \cdot c^2)$, якщо маси вказані в кілограмах. Якщо маси записані в атомних одиницях маси (а.о.м.), то

$$E = (m_N + m_{He} - m_O - m_H) \cdot 931,5 \frac{\text{МеВ}}{\text{а.о.м.}}$$

$$E = (14,003074 \text{ а.о.м.} + 4,002603 - 16,999133 \text{ а.о.м.} - 1,007825 \text{ а.о.м.}) \cdot 931,5 \frac{\text{МеВ}}{\text{а.о.м.}} \approx -1,193 \text{ МеВ}.$$

Енергія поглинається.

- 2.

Розв'язання

t – ?

$$T = 28 \text{ років}$$

$$N_1 = 0,75N_0$$

Згідно закону радіоактивного розпаду $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$. N_0 – початкова кількість речовини, N – кількість речовини, що залишилася через час t . Оскільки розпалося 75 %, то залишилось 25 %, тобто $N = 0,25N_0$. Тоді

$$0,25 = 2^{-\frac{t}{T}} \cdot 2^{-2} = 2^{-\frac{t}{T} - 2}, \quad \frac{t}{T} = 2, \quad t = 56 \text{ років}.$$

Рівень D (високий)

1.

Розв'язання

$E_1 - ?$

$$\begin{aligned} P &= 7000 \text{ кВт} = \\ &= 7 \cdot 10^6 \text{ Вт} \\ \eta &= 0,24 \\ m &= 30 \text{ г} = 0,03 \text{ кг} \\ t &= 1 \text{ доба} = 24 \text{ год} \cdot \\ &\cdot 3600 \text{ с} = 8,64 \cdot 10^6 \text{ с} \\ N_A &= 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \\ M &= 235 \cdot 10^{-31} \text{ кг/моль} \end{aligned}$$

Коефіцієнт корисної дії електростанції визначається співвідношенням $\eta = \frac{P \cdot t}{E}$, де P – потужність, t – час, E – енергія, яка виділяється від поділу всього урану. $E = E_1 \cdot N$, де E_1 – енергія, яка виділяється при поділі одного ядра, N – кількість ядер Урану.

$N = \frac{m}{M} N_A$. Записуємо в умову задачі число Авогадро і молярну масу Урану-235. Остаточна формула $\eta = \frac{P \cdot t \cdot M}{E_1 \cdot m \cdot N_A}$. Звідси $E_1 = \frac{P \cdot t \cdot M}{\eta \cdot m \cdot N_A}$.

Після підстановки значень отримаємо:

$$E_1 = \frac{7 \cdot 10^6 \text{ Вт} \cdot 8,64 \cdot 10^4 \text{ с} \cdot 235 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{0,24 \cdot 0,03 \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}$$

$$E_1 \approx 3,28 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$$

2.

Розв'язання

$\Delta m - ?, f - ?$

$$\begin{aligned} m_H &= 1,007825 \text{ а.о.м.} \\ m_n &= 1,008665 \text{ а.о.м.} \\ M_a &= 10,012939 \text{ а.о.м.} \end{aligned}$$

Питома енергія зв'язку $f = \frac{E_{зв}}{A} = \frac{E_{зв}}{Z + N}$, де Z – кількість протонів, N – кількість нейтронів у ядрі атома. $Z=5$, $N=5$. Енергію зв'язку визначаємо із співвідношення $E_{зв} = \Delta m \cdot c^2$, де Δm – дефект мас

або $E_{зв} = \Delta m \cdot 931,5 \frac{\text{МеВ}}{\text{а.о.м}}$, якщо Δm виражено в а.о.м.

а.о.м. Дефект мас визначаємо із співвідношення

$$\Delta m = Z \cdot m_H + N \cdot m_n - M_a$$

$$\Delta m = 5 \cdot 1,007825 \text{ а.о.м} + 5 \cdot 1,008665 \text{ а.о.м} -$$

$$- 10,012939 \text{ а.о.м} = 0,069511 \text{ а.о.м.}$$

$$E_{зв} = 0,069511 \text{ а.о.м} \cdot 931,5 \frac{\text{МеВ}}{\text{а.о.м}} \approx 64,749 \text{ МеВ}$$

$$f = \frac{64,749 \text{ МеВ}}{10} \approx 6,47 \frac{\text{МеВ}}{\text{нуклон}}$$

Завдання для тематичного контролю (для самостійного розв'язку)

Рівень А (початковий)

1. За яким з нижче наведених виразів можна обчислити питому енергію зв'язку атомного ядра?

а) $\dots = \frac{E_{зв}}{Z}$; б) $\dots = \Delta mc^2$; в) $\dots = N_0 \cdot 2 \frac{t}{T}$; г) $\dots = \frac{E_{зв}}{A}$.

2. Здатність ядер радіонуклідів довільно перетворюватися на ядра інших елементів із випромінюванням мікрочастинок називають...

а) ...радіоактивністю; б) ...ядерними реакціями;
в) ...ланцюговими реакціями.

3. Атом випромінює квант енергії під час...

а) ...іонізації; б) ...переходу з основного стану в збуджений;
в) ...переходу із збудженого стану в основний.

Рівень В (середній)

1. На малюнку 1 відображено схему енергетичних рівнів атома Гідрогену і значення енергій у стаціонарних станах. Яку енергію слід надати атому для переходу з основного в перший збуджений стан?

а) 1,5 eV; б) 1,88 eV; в) 10,17 eV; г) 13,55 eV.

2. Які з наведених нижче пар елементів є ізотопами?

а) ${}^7_3\text{Li}$ і ${}^9_4\text{Be}$; б) ${}^7_3\text{Li}$ і ${}^7_4\text{Be}$; в) ${}^3_1\text{H}$ і

${}^2_1\text{H}$.

$n \rightarrow \infty$	_____	0
$n=3$	_____	-1,5 eV
$n=2$	_____	-3,38 eV

3. Зоря за 1 с випромінює $9 \cdot 10^{25}$ Дж енергії.

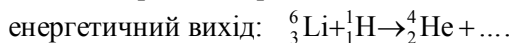
На скільки зменшується її маса за 1 с?

$n=1$	_____	-13,55 eV
-------	-------	-----------

Рівень С (достатній)

Мал. 1

1. Дописати рівняння реакції та визначити її енергетичний вихід:



2. Ізотоп Торію ${}^{232}\text{Th}$ перетворився в ізотопу Бісмуту ${}^{212}\text{Bi}$. Скільки α -розпадів і β -розпадів відбулося при цьому??

Рівень D (високий)

1. Період піврозпаду Натрію-22 дорівнює 2,6 років. Скільки енергії виділить за 5,2 років препарат, який містить 8 мг натрію, якщо при розпаді кожного ядра виділяється енергія 2,3 MeV?

2. Визначити питому енергію зв'язку ядра Фосфору ${}^{30}_{15}\text{P}$.