

Uwaga! Masy molowe pierwiastków podano na końcu zestawu.

Zadanie 1 (10 pkt)

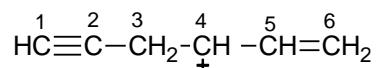
1. Trójglicerydy, zawarte w olejach roślinnych to:

- a) Estry wyższych kwasów tłuszczowych i wyższych alkoholi
 b) Estry wyższych kwasów tłuszczowych i metanolu
 c) Inaczej kwasy tłuszczowe
 d) Estry wyższych kwasów tłuszczowych i glicerolu

2. Który z podanych rodników jest najbardziej reaktywny

- a) $\begin{array}{c} \cdot \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ | \\ \text{H} \end{array}$
 b) $\begin{array}{c} \cdot \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ | \\ \text{H} \end{array}$
 c) $\begin{array}{c} \cdot \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$
 d) $\begin{array}{c} \cdot \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$

3. Dla przedstawionego poniżej karbokationu określ hybrydyzację wszystkich atomów węgla, licząc od 1 do 6

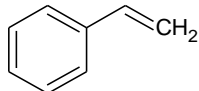
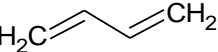


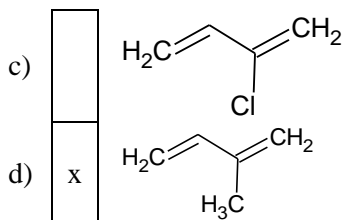
- a) sp, sp, sp³, sp³, sp², sp²
 b) sp, sp, sp³, sp², sp², sp²
 c) sp, sp, sp³, sp, sp², sp²
 d) sp, sp, sp², sp², sp², sp

4. Utwardzanie tłuszczów to proces:

- a) halogenowania i utleniania
 b) utleniania i eliminacji
 c) odwodnienia i redukcji
 d) uwodornienia i redukcji

5. Wskaż monomer kauczuku naturalnego:

- a) 
 b) 



6. Która para jonów posiada jednakową liczbę powłok elektronowych:

- a) $\text{Be}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$
 b) $\text{Mg}^{2+}, \text{S}^{2-}$
 c) $\text{Ca}^{2+}, \text{S}^{2-}$
 d) Cl^-, Br^-

7. Glin pod wpływem stężonego kwasu azotowego(V) ulega:

- a) reakcji roztwarzania z wydzieleniem tlenków azotu
 b) pasywacji z wydzieleniem wodoru
 c) pasywacji z wydzieleniem amoniaku
 d) żadna z odpowiedzi nie jest prawidłowa

8. Dzięki któremu procesowi można odróżnić wodny roztwór $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ od wodnego roztworu FeCl_3 :

- | | | |
|--|--|---|
| a) <input type="checkbox"/> | do obu roztworów dodać roztwór KSCN | $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ – bezbarwny r-r $\text{Fe}(\text{SCN})_2$, FeCl_3 – krwistoczerwony $\text{Fe}(\text{SCN})_6^{3-}$ |
| b) <input type="checkbox"/> | do obu roztworów dodać roztwór AgNO_3 | $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ – brak osadu, FeCl_3 – biały osad AgCl |
| c) <input type="checkbox"/> | do obu roztworów dodać roztwór NaOH | $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ – zielonkawy osad $\text{Fe}(\text{OH})_2$, FeCl_3 – brunatny osad $\text{Fe}(\text{OH})_3$ |
| d) <input checked="" type="checkbox"/> | każdy z powyższych procesów | |

9. Która z soli: AgCl (wartość iloczynu rozpuszczalności $K_{\text{AgCl}} = 1 \cdot 10^{-10}$), czy Ag_2CrO_4 ($K_{\text{Ag}_2\text{CrO}_4} = 2,4 \cdot 10^{-12}$) jest trudniej rozpuszczalna:

- | | | |
|--|--|--|
| a) <input checked="" type="checkbox"/> | AgCl | Rozwiązanie: (s - rozpuszczalność)
$\text{AgCl} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + \text{Cl}^-$, $K_{\text{AgCl}} = s^2 = 1 \cdot 10^{-10}$,
stąd $s = 1 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$
$\text{Ag}_2\text{CrO}_4 \rightleftharpoons 2\text{Ag}^+ + \text{CrO}_4^{2-}$, $K_{\text{Ag}_2\text{CrO}_4} = (2s)^2 \cdot s =$
$= 4s^3 = 2,4 \cdot 10^{-12}$, stąd $s = 8,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$ |
| b) <input type="checkbox"/> | Ag_2CrO_4 | |
| c) <input type="checkbox"/> | jednakowo rozpuszczalne | |
| d) <input type="checkbox"/> | zbyt mało informacji by jednoznacznie odpowiedzieć | |

10. Wybrać grupę indywiduali, które mogą stanowić ligandy w związkach kompleksowych:

- a) $\text{Na}^+, \text{N}_2, \text{HCl}, \text{HSCN}$
 b) $\text{Cl}^-, \text{SCN}^-, \text{H}_2\text{O}, \text{NH}_3$
 c) $\text{Na}^+, \text{Br}^-, \text{HCl}, \text{H}_2\text{O}$
 d) $\text{CN}^-, \text{CO}, \text{O}_2, \text{OH}^-$

Suma punktów: 10 pkt

Zadanie 2 (20 pkt)

Pewien węglowodór odbarwia roztwór wody bromowej i roztwór KMnO_4 . Jego ozonoliza prowadzi do dwóch produktów **A** i **B**. Związek **A** nie ulega reakcji z wodorotlenkiem miedzi(II), natomiast w reakcji **A** z I_2 i NaOH wypada żółty osad. Ze spalenia produktu **A** o masie 1 g otrzymano 2,2732 g CO_2 i 0,93 g H_2O . Gęstość par **A** (w temperaturze 60°C) względem powietrza wynosi 2. W reakcji związku **B** z wodorotlenkiem miedzi(II) powstaje ceglasty osad, a w środowisku silnie zasadowym **B** ulega reakcji Cannizzaro. Związek **B** zawiera 69,72% C i 11,7% H, a po utlenieniu KMnO_4 w środowisku kwaśnym daje kwas monokarboksylowy o $\text{LK} = 549,8$ (LK - liczba kwasowa, jest to ilość mg KOH potrzebna do zobojętnienia 1 g substancji o charakterze kwasu).

Polecenia:

1. Przedstaw obliczenia prowadzące do wzorów najprostszych (empirycznych), mas molowych i wzorów rzeczywistych związków **A** i **B**.
2. Podaj wzór i nazwę węglowodoru oraz produktów jego ozonolizy (**A** i **B**).
3. Zapisz równania reakcji: węglowodoru z wodą bromową, węglowodoru z KMnO_4 (przyjmij środowisko zasadowe, zbilansuj reakcję), schemat ozonolizy węglowodoru, reakcję związku **A** z I_2 i NaOH , reakcję związku **B** z wodorotlenkiem miedzi(II), reakcję Cannizzaro związku **B**, utlenianie **B** KMnO_4 w środowisku kwaśnym (zbilansuj reakcję).
4. Oblicz liczbę epoksydową (LE) oksiranu, który powstanie w wyniku utlenienia wyjściowego związku nadtlenokwasem mrówkowym (liczba epoksydowa to ilość moli grup epoksydowych przypadająca na 100 g związku).

Przykładowe rozwiązanie

Ad 1.

Związek A.

Ze spalenia próbki związku **A** o masie 1 g, otrzymano 2,2732 g CO_2 i 0,93 g H_2O .

$$\begin{aligned} 44 \text{ g CO}_2 &- 12 \text{ g C} \\ 2,2732 \text{ g CO}_2 &- x \text{ g C, stąd } x = 0,62 \text{ g C,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 18 \text{ g H}_2\text{O} &- 2 \text{ g H} \\ 0,93 \text{ g H}_2\text{O} &- x \text{ g H, stąd } x = 0,103 \text{ g H} \end{aligned}$$

$$\text{Masa tlenu w próbce A: } 1 \text{ g} - (0,62 \text{ g} + 0,103 \text{ g}) = 0,277 \text{ g}$$

Obliczenie ilości moli C, H i O:

$$0,62 \text{ g} : 12 \text{ g/mol} = 0,052 \text{ mol C}; \quad 0,103 \text{ g} : 1 \text{ g/mol} = 0,103 \text{ mol H}; \quad 0,277 \text{ g} : 16 \text{ g/mol} = 0,0173 \text{ mol O}$$

Wzór najprostszy (empiryczny):

$$\text{C} : \text{H} : \text{O} = 0,052 : 0,103 : 0,0173 = 3 : 6 : 1; \quad \text{wzór najprostszy: } \text{C}_3\text{H}_6\text{O}$$

Masa molowa związku **A** wynikająca ze wzoru najprostszego: $3 \cdot 12 + 6 \cdot 1 + 1 \cdot 16 = 58 \text{ g/mol}$.

Masa molowa związku **A**: $M_A = 29 \cdot 2 = 58 \text{ g/mol}$.

Wzór najprostszy jest jednocześnie wzorem rzeczywistym.

2 pkt

Związek B.

W 100 g związku **B** jest: 69,72 g C i 11,7 g H oraz $100 \text{ g} - (69,72 \text{ g} + 11,70 \text{ g}) = 18,58 \text{ g O}$.

Obliczenie ilości moli tych pierwiastków:

$$69,72 \text{ g} : 12 \text{ g/mol} = 5,81 \text{ mol C}; \quad 11,7 \text{ g} : 1 \text{ g/mol} = 11,7 \text{ mol H}; \quad 18,58 \text{ g} : 16 \text{ g/mol} = 1,16 \text{ mol O}$$

Wzór najprostszy (empiryczny):

$$\text{C} : \text{H} : \text{O} = 5,81 : 11,7 : 1,16 = 5 : 10 : 1; \quad \text{wzór najprostszy: } \text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$$

Masa molowa związku **B** wynikająca ze wzoru najprostszego: $5 \cdot 12 + 10 \cdot 1 + 1 \cdot 16 = 86 \text{ g/mol}$.

Reakcja utleniania aldehydu prowadzi do kwasu monokarboksylowego, masę kwasu liczymy na podstawie liczby kwasowej (LK):

$$\begin{aligned} 1 \text{ g kwasu} &- 549,8 \text{ mg} \\ 1 \text{ mol kwasu o masie molowej } M &- 56100 \text{ mg KOH} \end{aligned}$$

$$\text{Stąd masa molowa kwasu } M = 1 \cdot 56100 : 549,8 = 102 \text{ g/mol}.$$

Masę molową aldehydu **B** (aldehydu) obliczymy odejmując od masy molowej kwasu masę 1 mola tlenu:

$$M_B = 102 - 16 = 86 \text{ g/mol.}$$

Wzór najprostszy jest jednocześnie wzorem rzeczywistym.

2,5 pkt

Ad 2.

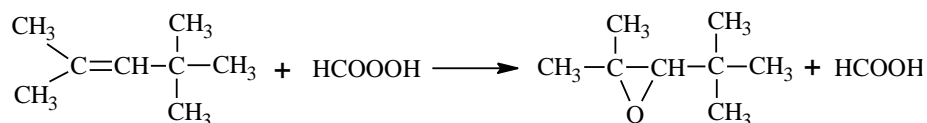
Wzór		Nazwa	
Węglowodór $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C}=\text{CH}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$	1 pkt	2,4,4-trimetylopent-2-en	0,5 pkt
Związek A $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	1 pkt	aceton, propan-2-on, keton dimetylowy	0,5 pkt
Związek B $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$	1 pkt	2,2-dimetylopropanal	0,5 pkt

Ad 3.

Reakcja węglowodoru z wodą bromową $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C}=\text{CH}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} + \text{Br}_2 \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{Br} \quad \text{Br} \quad \text{CH}_3 \end{array}$	1 pkt
Reakcja węglowodoru z KMnO_4 $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C}=\text{CH}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} + 2 \text{KMnO}_4 + 2 \text{KOH} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{CH}_3 \end{array} + 2 \text{K}_2\text{MnO}_4$ $\text{C}^0 \xrightarrow{-1e} \text{C}^{+1}$ $\text{C}^{-1} \xrightarrow{-1e} \text{C}^0$ $\text{Mn}^{+7} \xrightarrow{+1e} \text{Mn}^{+6} / \times 2$	2 pkt
Schemat reakcji ozonolizy węglowodoru $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C}=\text{CH}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} + \text{O}_3 \longrightarrow \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 \end{array} + \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$	1 pkt
Reakcja związku A z I_2 i NaOH $\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 \end{array} + 3 \text{I}_2 + 4 \text{NaOH} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{CHI}_3 + 3 \text{NaI} + 3 \text{H}_2\text{O}$	1 pkt
Reakcja związku B z $\text{Cu}(\text{OH})_2$ $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \text{H} \end{array} + 2 \text{Cu}(\text{OH})_2 \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \text{OH} \end{array} + \text{Cu}_2\text{O} + 2 \text{H}_2\text{O}$	1 pkt

<p>Reakcja Cannizzaro związku B</p> $2 \text{H}_3\text{C}-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{H}_3\text{C}-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{ONa} + \text{H}_3\text{C}-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{CH}_2-\text{OH}$	1 pkt
<p>Reakcja utleniania związku B za pomocą KMnO_4 w środowisku kwaśnym</p> $5 \text{H}_3\text{C}-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H} + 2 \text{KMnO}_4 + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow 5 \text{H}_3\text{C}-\underset{\text{CH}_3}{\overset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{COOH} + 2 \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 3 \text{H}_2\text{O}$ <p> $\text{C}^{+1} \xrightarrow{-2e} \text{C}^{+3} \quad / \times 5$ $\text{Mn}^{+7} \xrightarrow{+5e} \text{Mn}^{+2} \quad / \times 2$ </p>	2 pkt

Ad 4.



1 pkt

Liczba epoksydowa (**LE**):

1 mol grup epoksydowych - 128 g związku

LE - 100 g, stąd **LE = 1 · 100 : 128 = 0,78**

1 pkt

Suma punktów: 20 pkt

Zadanie 3 (20 pkt)

Kwas sebacynowy (dekanodiowy - $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_4$) należy do grupy nasyconych kwasów dikarboksylowych i znajduje zastosowanie w przemyśle tworzyw sztucznych oraz w kosmetyce. Chemiczna metoda otrzymywania tego kwasu polega na ogrzewaniu oleju rycynowego z wodorotlenkiem sodu lub ozonowaniu kwasu undecylenowego. W łagodniejszy sposób można go otrzymać metodą elektrochemiczną, na drodze elektrolizy monoestru metylowego kwasu adypinowego (heksanodiowego - $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$) w środowisku zasadowym (monoester nie ulega hydrolizie).

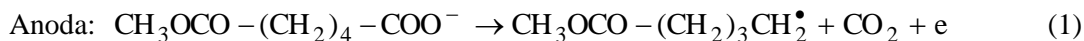
Przez elektrolizer kaskadowy wyposażony w anody grafitowe i katody stalowe, połączone szeregowo, przepuszczono 500 dm^3 roztworu zawierającego sól sodową monoestru metylowego kwasu adypinowego o stężeniu 1 mol/dm^3 . Łączna powierzchnia czynna anod wynosiła 8 m^2 , a gęstość prądu elektrolizy 10 A/dm^2 . W czasie elektrolizy stwierdzono, że na katodach wydzieliał się wyłącznie wodór, natomiast na anodach, obok ditlenku węgla wydzieliał się tlen. Stosunek objętości wodoru do tlenu w tych samych warunkach ciśnienia i temperatury wynosił 2,5. Powstały na anodzie produkt organiczny ulega reakcji następczej w przestrzeni przyelektrodowej. Elektrolizę prowadzono do momentu, gdy substrat organiczny przereagował w 90%. Produkt reakcji następczej wydzielono z roztworu praktycznie całkowicie i po hydrolizie kwasowej otrzymano kwas sebacynowy.

Polecenia:

1. Napisz równania reakcji zachodzących na elektrodach podczas elektrolizy.
2. Napisz równanie reakcji następczej zachodzącej w przestrzeni przyanodowej i podaj nazwę produktu końcowego elektrolizy.
3. Napisz równanie reakcji hydrolizy kwasowej produktu organicznego elektrolizy.
4. Oblicz wydajność prądową procesu elektrolizy względem kwasu sebacynowego (dla uproszczenia obliczeń załóż 100% hydrolizę kwasową).
5. Oblicz czas trwania elektrolizy.
6. Oblicz masę kwasu sebacynowego (kg), przy wydajności hydrolizy równej 80%.

Przykładowe rozwiązanie

Ad 1.



Ad 2.



Nazwa produktu końcowego: **ester dimetylowy kwasu sebacynowego** (*lub ester dimetylowy kwasu dekanodiowego lub sebacynian dimetylu lub dekanodian dimetylu*) 1 pkt

Ad 3.



Ad 4

Wydajność prądowa otrzymywania estru dimetylowego kwasu sebacynowego, zgodnie z warunkami zadania, jest równa wydajności prądowej otrzymywania kwasu sebacynowego i wyraża się zależnością:

$$W_p = \frac{Q_1}{Q_c} \cdot 100\% \quad (6) \quad 1 \text{ pkt}$$

gdzie:

Q_1 - ładunek, jaki przepłynął podczas reakcji (1), Q_c - całkowity ładunek elektrolizy równy ładunkowi, jaki przepłynął podczas reakcji (3) – Q_3

Przyjmując, że Q_2 to ładunek, jaki przepłynął podczas reakcji (2) otrzymuje się:

$$Q_c = Q_3 = Q_1 + Q_2 \quad 1 \text{ pkt}$$

Z równań reakcji elektrodowych (2) i (3) wynika, że:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mol H}_2 \text{ — } 2 \cdot F \\ n_{\text{H}_2} \text{ — } Q_3 \end{array} \quad \text{oraz} \quad \begin{array}{l} 1 \text{ mol O}_2 \text{ — } 4 \cdot F \\ n_{\text{O}_2} \text{ — } Q_2 \end{array} \quad 1 \text{ pkt}$$

Stosunek objętościowy produktów gazowych w tych samych warunkach p i T jest równy stosunkowi liczby ich moli, czyli

$$\frac{V_{\text{H}_2}}{V_{\text{O}_2}} = \frac{n_{\text{H}_2}}{n_{\text{O}_2}} = \frac{Q_3}{2F} \cdot \frac{4F}{Q_2} = \frac{2Q_3}{Q_2} = 2,5 \quad (7) \quad 2 \text{ pkt}$$

Ponieważ

$Q_3 = Q_c$ oraz $Q_2 = Q_c - Q_1$, z równania (7) otrzymuje się zależność:

$$Q_c = 5 \cdot Q_1 \quad (8) \quad 1 \text{ pkt}$$

Stąd

$$W_p = \frac{Q_1}{Q_c} \cdot 100\% = \frac{Q_1}{5Q_1} \cdot 100\% = \mathbf{20\%} \quad 1 \text{ pkt}$$

Ad 5.

Zgodnie z reakcją (1), ładunek potrzebny do przereagowania 90% substratu organicznego wynosi:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ mol estru — } 1 \cdot F \\ 0,9 \cdot 500 \text{ moli — } Q_1 \end{array} \quad \text{stąd } Q_1 = 450 \cdot F \quad 2 \text{ pkt}$$

$$Q_c = I \cdot t = \frac{Q_1 \cdot 100\%}{W_p}, \text{ stąd } t = \frac{Q_1 \cdot 100\%}{W_p \cdot I} \quad \text{oraz } I = i \cdot S, \quad 2 \text{ pkt}$$

gdzie: i – gęstość prądu elektrolizy, S – powierzchnia anody.

Czas elektrolizy wynosił:

$$t = \frac{450 \text{ mol} \cdot 96500 \text{ C/mol} \cdot 100\%}{20\% \cdot 10 \text{ A/dm}^2 \cdot 800 \text{ dm}^2} = 27 \ 141 \text{ s} = \mathbf{7 \text{ godz } 32 \text{ min}} \quad 1 \text{ pkt}$$

Ad 6.

Masa molowa kwasu sebacynowego = 202 g/mol

Zgodnie z reakcjami (1), (4) i (5) z dwóch moli substratu otrzymuje się 1 mol kwasu sebacynowego.

Liczba moli monoestru metylowego kwasu adypinowego, która przereagowała wynosi:

$$0,9 \cdot 500 \text{ moli} = 450 \text{ moli}$$

Uwzględniając wydajność materiałową produktu, masa kwasu sebacynowego wynosi:

$$m = \frac{450 \text{ mol} \cdot 0,8}{2} \cdot 202 \text{ g/mol} = 36360 \text{ g} = \mathbf{36,36 \text{ kg}} \quad 2 \text{ pkt}$$

Suma punktów: 20 pkt

Zadanie 4 (20 pkt)

Pierwiastki promieniotwórcze występujące w przyrodzie są „produktami” naturalnych cykli rozpadów zwanych rodzinami lub szeregami promieniotwórczymi. Do naszych czasów dotrwały tylko te szeregi promieniotwórcze, których okres połowicznego zaniku pierwiastka macierzystego jest porównywalny z wiekiem Ziemi. Pierwiastki te zostały sklasyfikowane w trzy szeregi rozpoczynające się od odpowiednich izotopów uranu ${}_{92}\text{U}$ (dwa szeregi) i toru ${}_{90}\text{Th}$. Znany jest również najpóźniej odkryty szereg neptunowy, którego wiele elementów uległo już praktycznie całkowitemu rozpadowi. Każdy szereg kończy się niepromieniotwórczym izotopem ołowiu, lub bizmutu – w przypadku szeregu neptunowego. O tym, do którego szeregu należy dany nuklid decyduje jego liczba masowa A . W rozpadzie promieniotwórczym liczba masowa zmienia się o 4 poprzez emisję cząstki α ; można więc to przedstawić wzorem:

$$A = 4n + m$$

gdzie: n – liczba całkowita, m – przyjmuje wartości 0, 1, 2, 3; szereg promieniotwórczy: dla $m = 0$ – torowy, dla $m = 1$ – neptunowy, dla $m = 2$ – uranowo-radowy, dla $m = 3$ – uranowo-aktynowy.

W przypadku cyklu przemian izotopów typu $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$ liczbę atomów nuklidu B po upływie czasu t można wyliczyć ze wzoru:

$$B = \frac{A_0 \cdot k_1}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) \quad \text{gdzie: } A_0 \text{ oznacza pierwotną liczbę atomów nuklidu } A.$$

Polecenia:

1. Ustal do jakiego szeregu promieniotwórczego należy izotop ${}_{84}^{215}\text{Po}$.
2. Odpowiedz na pytanie (**Tak/Nie**) czy pomiędzy poszczególnymi szeregami promieniotwórczymi występują człony wspólne, tzn. o tej samej liczbie atomowej i tej samej liczbie masowej.
3. Ustal izotop (symbol pierwiastka, liczba atomowa i masowa izotopu), który jest „protoplastą” (rozpoczyna szereg promieniotwórczy) dla izotopu ${}_{86}^{219}\text{Rn}$ i oblicz ilu rozpadom α i ilu rozpadom β^- musiał on ulec. Zapisz równanie reakcji rozpadu promieniotwórczego „protoplasty”.

4. Dysponując danymi z poniższej tabeli:

Nuklid	Typ rozpadu	$T_{1/2}$	Produkt rozpadu	Uwolniona energia [MeV]
${}^{212}_{83}\text{Bi}$	β^- 64,06% α 35,94%	60,55 min	${}^{212}_{84}\text{Po}$ ${}^{208}_{81}\text{Tl}$	2,252 6,208
${}^{212}_{84}\text{Po}$	α	3×10^{-7} s	${}^{208}_{82}\text{Pb}$	8,955
${}^{208}_{81}\text{Tl}$	β^-	3,0 min	${}^{208}_{82}\text{Pb}$	4,999
${}^{208}_{82}\text{Pb}$	-	trwały	-	-

- Oblicz, ile miligramów talu ${}^{208}_{81}\text{Tl}$ pozostanie po upływie 54 minut w próbce, w której pierwotnie wyizolowano 0,100 mola ${}^{212}_{83}\text{Bi}$.
- Oblicz ile energii (w MJ) zostanie uwolnionej z tej próbki w przeciągu 54 min. ($1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$).

Uwaga! Wyniki obliczeń podaj z dokładnością co najmniej 4 cyfr znaczących.

Przykładowe rozwiązanie:

Ad 1. $215 : 4 = 53$ i reszta 3 1 pkt
stąd: **szereg uranowo - aktywny** 1 pkt

Ad 2. Nie 1 pkt

Ad 3. $219 : 4 = 54$ i reszta 3 1 pkt

ten izotop należy do szeregu uranowo - aktywnego rozpoczynającego się izotopem ${}^{235}_{92}\text{U}$,
co można wyliczyć „idąc w górę”:

$$4 \cdot 54 + 3 = 219$$

$$4 \cdot 55 + 3 = 223$$

$$4 \cdot 56 + 3 = 227$$

$$4 \cdot 57 + 3 = 231$$

$$4 \cdot 58 + 3 = 235$$



Liczba rozpadów α : **4**, rozpadów β^- : **2**. 2 pkt

Ad 4. Związek pomiędzy okresem połowicznego zaniku a stałą rozpadu przedstawia zależność:

$$k = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad 1 \text{ pkt}$$

stąd:

$$({}^{212}_{83}\text{Bi}) k_1 = \frac{\ln 2}{60,55 \text{ min}} = 1,1448 \cdot 10^{-2} \frac{1}{\text{min}}, \quad ({}^{208}_{81}\text{Tl}) k_2 = \frac{\ln 2}{3,0 \text{ min}} = 2,3105 \cdot 10^{-1} \frac{1}{\text{min}}$$

$$({}^{212}_{84}\text{Po}) k_3 = \frac{\ln 2}{3,0 \cdot 10^{-7} \text{ s}} = 2,3105 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{s}} = 1,3863 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{min}} \quad 1 \text{ pkt}$$

Podstawiając do wzoru:

$$B = \frac{A_0 \cdot k_1}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t})$$

otrzymujemy:

rozpady biegnące
równoległe

$$\left\{ \begin{array}{l} B_1 = \frac{0,100 \cdot 1,1448 \cdot 10^{-2}}{2,3105 \cdot 10^{-1} - 1,1448 \cdot 10^{-2}} (e^{-1,1448 \cdot 10^{-2} \cdot 54} - e^{-2,3105 \cdot 10^{-1} \cdot 54}) \cdot 0,3594 = 1,01 \cdot 10^{-3} \text{ mol } {}^{208}_{81}\text{Tl} \quad 2 \text{ pkt} \\ B_2 = \frac{0,100 \cdot 1,1448 \cdot 10^{-2}}{1,3863 \cdot 10^8 - 1,1448 \cdot 10^{-2}} (e^{-1,1448 \cdot 10^{-2} \cdot 54} - e^{-1,3863 \cdot 10^8 \cdot 54}) \cdot 0,6406 = 2,85 \cdot 10^{-12} \text{ mol } {}^{212}_{84}\text{Po} \quad 2 \text{ pkt} \end{array} \right.$$

Liczba moli ${}^{212}_{83}\text{Bi}$ po upływie czasu t :

$$A_1 = A_0 \cdot e^{-kt}, \text{ stąd: } A_1 = 0,100 \cdot e^{-1,1448 \cdot 10^{-2} \cdot 54} = 5,389 \cdot 10^{-2} \text{ mol } {}^{212}_{83}\text{Bi} \quad 1 \text{ pkt}$$

Liczba moli ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ po upływie 54 min:

$$0,100 - (5,389 \cdot 10^{-2} + 1,01 \cdot 10^{-3} + 2,85 \cdot 10^{-12}) = \mathbf{0,045 \text{ mol } } {}^{208}_{82}\text{Pb} \quad 1 \text{ pkt}$$

Liczba moli ${}^{212}_{83}\text{Bi}$, które uległy rozpadowi w czasie t :

$$0,100 - 5,389 \cdot 10^{-2} = 4,611 \cdot 10^{-2} \text{ mola}$$

Ten proces wyzwolił:

$$4,611 \cdot 10^{-2} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \cdot 10^6 (0,6406 \cdot 2,252 + 0,3594 \cdot 6,208) = 1,02 \cdot 10^{29} \text{ eV} \quad 1 \text{ pkt}$$

Równocześnie rozpadowi ulegał ${}^{212}_{84}\text{Po}$ i ${}^{208}_{81}\text{Tl}$ z wydzieleniem energii:

Liczba moli ${}^{212}_{84}\text{Po}$, który uległ rozpadowi:

$$4,611 \cdot 10^{-2} \cdot 0,6406 - 2,85 \cdot 10^{-12} = 2,954 \cdot 10^{-2} \text{ mola } {}^{212}_{84}\text{Po}$$

co daje:

$$2,954 \cdot 10^{-2} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \cdot 8,955 \cdot 10^6 = 1,593 \cdot 10^{29} \text{ eV} \quad 1 \text{ pkt}$$

Liczba moli ${}^{208}_{81}\text{Tl}$, który uległ rozpadowi:

$$4,611 \cdot 10^{-2} \cdot 0,3594 - 1,01 \cdot 10^{-3} = 1,556 \cdot 10^{-2} \text{ mola } {}^{208}_{81}\text{Tl}$$

co daje:

$$1,556 \cdot 10^{-2} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \cdot 4,999 \cdot 10^6 = 4,685 \cdot 10^{28} \text{ eV} \quad 1 \text{ pkt}$$

Sumarycznie wydzielilo się:

$$E = 4,685 \cdot 10^{28} + 1,593 \cdot 10^{29} + 1,02 \cdot 10^{29} = 3,08 \cdot 10^{29} \text{ eV, tj.}$$

$$E = 3,08 \cdot 10^{29} \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} = 4,928 \cdot 10^{10} \text{ J} = \mathbf{49 \text{ 280 MJ}} \quad 1 \text{ pkt}$$

- wyniki pośrednie mogą się różnić od podanych w rozwiązaniu przy zastosowaniu innej metody obliczeń

- błędne zaokrąglenie traktujemy jako błąd rachunkowy i odejmujemy 1 pkt.

Suma punktów: 20 pkt

Masy molowe ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$): H – 1; C – 12; O – 16; K – 39,1