

## LXI Ogólnopolski Konkurs Chemiczny im. Prof. Antoniego Swinarskiego

*Etap I (1-4.12 2024 r.)*

Zad.1. (20 pkt)

Zbadano właściwości 4 tlenków (A, B, C i D). Dwa z nich (A i B) były gazami a dwa (C i D) białymi ciałami stałymi. Po próbie rozpuszczenia w wodzie okazało się, że C nie rozpuścił się, natomiast D rozpuścił się bardzo szybko. Badając otrzymane roztwory i zawiesinę okazało się, że w przypadku tlenku B papierek uniwersalny zabarwił się na czerwono, a w przypadku D papierek uniwersalny zabarwił się na granatowo.

W przypadku otrzymanej zawiesiny tlenku C, roztwór stał się klarowny po dodaniu kwasu chlorowodorowego lub zasady sodowej. Tlenek A praktycznie nie rozpuszcza się w wodzie.

Masy molowe tlenków wynoszą odpowiednio: A-44 g/mol, B-64 g/mol, C-102 g/mol i D-94 g/mol.

Ponadto wiadomo, że A jest tzw. gazem rozweselającym, B jest składnikiem smogu, C zawiera trójwartościowy pierwiastek, a D jednowartościowy pierwiastek.

Na podstawie powyższych danych

- 1) Zidentyfikuj 4 tlenki podając ich wzory sumaryczne, (8 pkt)
- 2) Określ rodzaj wiązań chemicznych występujący w tych tlenkach, (4 pkt)
- 3) Zapisz równanie reakcji stałego tlenku nierozpuszczalnego w wodzie z kwasem i z zasadą, (2pkt)
- 4) Zapisz w formie jonowej równanie reakcji odpowiedzialnej za granatowe zabarwienie papierka uniwersalnego, (1 pkt)
- 5) Zapisz równanie reakcji tlenku B z wodą, (1 pkt)
- 6) Zapisz równanie reakcji tlenku B z tlenem, (1 pkt)
- 7) Oblicz stężenie procentowe roztworu otrzymanego przez rozpuszczenie 1 mola tlenku D w 100 g wody, (2 pkt)
- 8) Zapisz równanie reakcji po zmieszaniu roztworów powstałych z tlenku B i D. (1 pkt)

Rozwiązanie:

1. A - N<sub>2</sub>O  
B - SO<sub>2</sub>  
C - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
D - K<sub>2</sub>O
2. A - kowalencyjne spolaryzowane  
B - kowalencyjne spolaryzowane  
C - jonowe  
D - jonowe

3.  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl} \rightarrow 2\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$   
 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$
4.  $\text{K}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{K}^+ + 2\text{OH}^-$
5.  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$
6.  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$
7.  $C_p = 112 / (94 + 100) = 57,7\%$
8.  $\text{SO}_2 + \text{K}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_3$

Zad.2. (20 pkt)

LPG (ang. *liquefied petroleum gas*) jest produktem powstającym podczas rafinacji ropy naftowej to najczęściej mieszanina propanu i butanu. W temperaturze 20°C ciśnienie skraplania wynosi około 4 atm.

- 1) Oblicz, czy 1 mol mieszaniny propanu i butanu o objętości 49,5 dm<sup>3</sup> i temperaturze 20°C ulegnie skropleniu? (1 atm = 101325 Pa) (2pkt)
- 2) Oblicz gęstość propanu w warunkach normalnych. Wynik podaj z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku. (2pkt)
- 3) Zapisz reakcje całkowitego spalania propanu oraz niecałkowitego spalania butanu do sadzy. (2pkt)
- 4) Oblicz, ile kg wody powstanie w wyniku spalania całkowitego 2 kg butanu. (2 pkt)
- 5) Zapisz poszczególne reakcje używając wzorów półstrukturalnych (grupowych). Podaj nazwy systematyczne związków otrzymanych w pierwszej i drugiej reakcji. Uwzględnij tylko produkty główne. (3pkt)



- 6) Narysuj wzory półstrukturalne oraz nazwy wszystkich izomerów konstytucyjnych związku X z punktu 4. (4pkt)
- 7) Do całkowitego spalania 0,375 mola pewnego węglowodoru użyto 42 g tlenu odmierzonego w warunkach normalnych. Otrzymany dwutlenek węgla zajął 16,8 dm<sup>3</sup> (warunki normalne). Ustal wzór rzeczywisty węglowodoru poddanego spalaniu. (5 pkt)

Odpowiedzi

1)

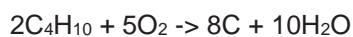
$$p = \frac{nRT}{V} = \frac{1 \text{ mol} \cdot 83,14 \frac{\text{dm}^3 \cdot \text{hPa}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 292 \text{ K}}{49,5 \text{ dm}^3} = 492 \text{ hPa} = 0,49 \text{ atm}$$

nie ulegnie skropleniu

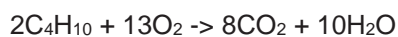
2)

$$d = \frac{M_{\text{propanu}}}{V_M} = \frac{44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{22,4 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}}} = 1,96 \frac{\text{g}}{\text{dm}^3}$$

3)  $\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$



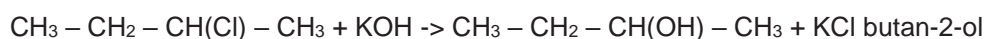
4) Równanie reakcji:



Z 58g butanu powstaje 90g wody

$$m_{\text{wody}} = \frac{2\text{kg} \cdot 90\text{g}}{58\text{g}} = 3,1\text{kg}$$

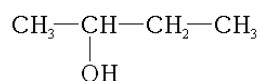
5)  $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}(\text{Cl}) - \text{CH}_3$  2-chlorobutan



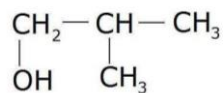
6) Butan-1-ol



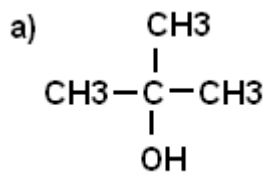
Butan-2-ol



2-metylopropan-1-ol



2-metylopropan-2-ol



7) Odpowiedź:  $\text{C}_2\text{H}_6$  etan

Węglowodór oznaczamy  $\text{C}_x\text{H}_y$

$$m_{\text{CO}_2} = \frac{16,8\text{dm}^3}{22,4\text{dm}^3} \cdot 44 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 33\text{g}$$

$$m_{\text{C}} = \frac{12\text{g}}{44\text{g}} \cdot 33\text{g} = 9\text{g}$$

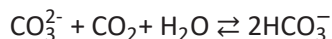
$$m_{\text{H}} = \frac{(42\text{g} - 24\text{g}) \cdot 2\text{g}}{16\text{g}} = 2,25\text{g}$$

$$\frac{x}{y} = \frac{\frac{m_{\text{C}}}{M_{\text{C}}}}{\frac{m_{\text{H}}}{M_{\text{H}}}} = \frac{2}{6}$$

Zad.3. (20 pkt)

Produkcja sody oczyszczonej odbywa się w roztworze z wykorzystaniem technologii absorpcji gazowego CO<sub>2</sub>. Polega ona na wprowadzeniu CO<sub>2</sub> do nasyconego roztworu węglanu sodu.

W warunkach prowadzenia procesu ustala się metastabilny stan równowagi termodynamicznej, który można opisać równaniem:



Aby otrzymać sodę oczyszczoną w pierwszej kolejności należy otrzymać roztwór wodny zawierający jony węglanowe(IV), w którym ustala się stan równowagi jonowej. Stwierdzono, że w stanie równowagi w roztworze wodnym węglanu sodu stężenie jonów węglanowych wynosiło 0,6000 mol·dm<sup>-3</sup> roztworu. pK<sub>a,1</sub> kwasu węglowego wynosi 6,35, pK<sub>a,2</sub> kwasu węglowego wynosi 10,33.

- 1) Zapisz równanie reakcji opisującej stan równowagi w roztworze wodnym.
- 2) Zapisz wyrażenia na K<sub>a,1</sub> i K<sub>a,2</sub> dla kwasu węglowego.
- 3) Oblicz stężenie molowe jonów wodorowęglanowych w opisanym roztworze wodnym.
- 4) Oblicz stężenie i wykładnik stężenia jonów wodorotlenowych w opisanym roztworze wodnym.
- 5) Oblicz jak zmieni się wykładnik stężenia jonów wodorowych w tym roztworze, jeżeli do roztworu dodatkowo wprowadzi się 0,1500 mola jonów HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> na dm<sup>3</sup> roztworu?

Rozwiązanie:

Model odpowiedzi:



2)  $K_{a,1} = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{O} \cdot \text{CO}_2]}$ ,  $K_{a,2} = \frac{[\text{CO}_3^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCO}_3^-]}$  (2 pkt)

3)  $K_{b,2} = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{OH}^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]}$   $[\text{HCO}_3^-] = \sqrt{K_{b,2} \cdot [\text{CO}_3^{2-}]}$   $[\text{HCO}_3^-] = \sqrt{10^{-3,67} \cdot 0,6000} = 1,13 \cdot 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$   
(3 pkt)

3 pkt – poprawne wyrażenie i poprawny wynik z poprawną jednostką

2 pkt – poprawne wyrażenie i poprawny wynik z niepoprawną jednostką

lub

2 pkt – niepoprawne wyrażenie i poprawny wynik z poprawną jednostką

lub

2 pkt – poprawne wyrażenie i niepoprawny wynik z poprawną jednostką

1 pkt – poprawne wyrażenie

4)  $K_{b,2} = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{OH}^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{[\text{CO}_3^{2-}]}$   $[\text{OH}^-] = \sqrt{K_{b,2} \cdot [\text{CO}_3^{2-}]}$  lub  $[\text{HCO}_3^-] = [\text{OH}^-]$

$[\text{OH}^-] = 1,13 \cdot 10^{-2} \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$   $pOH = -\log(1,13 \cdot 10^{-2}) = 1,95$

6 pkt – poprawne wyrażenie na [OH], poprawne obliczenie [OH<sup>-</sup>] i jednostka, poprawne obliczenie pOH – p  
2 punkty każda czynność

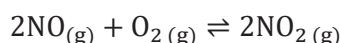
$$5) K_{b,2} = \frac{[HCO_3^-][OH^-]}{[CO_3^{2-}]} \quad [OH^-] = \frac{K_{b,2}[CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = \frac{10^{-3,67} \cdot 0,6}{0,15} = 8,55 \cdot 10^{-4} \quad pOH = 3,07$$

$$pH_1=12,05, \quad pH_2=10,94, \quad \Delta pH=1,12$$

7 pkt – poprawne wyrażenie na  $[OH^-]$ , poprawne obliczenie  $[OH^-]$  i jednostka, poprawne obliczenie  $pOH$  i  $pH$   
– po 2 punkty każda czynność + 1 pkt za różnicę  $pH$

Zad.4. (20 pkt)

W temperaturze 473 K stężeniowa stała równowagi reakcji



wynosi  $K_c = 2,75 \cdot 10^5$ .

- 1) Oblicz entalpię tej reakcji w temperaturze 298 K, zakładając, że standardowe entalpie tworzenia  $NO_{(g)}$  i  $NO_{2(g)}$  wynoszą:  $\Delta H_{298}^0(NO) = 90,3 \text{ kJ/mol}$ ;  $\Delta H_{298}^0(NO_2) = 33,2 \text{ kJ/mol}$  (4 pkt)
- 2) Określ, czy jest to reakcja egzo- czy endotermiczna. (1 pkt)
- 3) Zapisz wyrażenie na stałą równowagi tej reakcji. (2 pkt)
- 4) Oblicz liczbę moli każdego z reagentów w temperaturze 473 K w stanie równowagi, jeśli do zbiornika o pojemności 20 dm<sup>3</sup> wprowadzono 5,0 mol  $NO$  i 2,0 mol  $O_2$ . Załóż, że reakcja zachodzi w zamkniętym naczyniu. (4 pkt)
- 5) Oblicz ciśnienie w zbiorniku (w Pa) w stanie równowagi. (3 pkt)
- 6) Określ, jak na położenie równowagi tej reakcji wpłynie
  - a) podwyższenie temperatury (3 pkt),
  - b) obniżenie ciśnienia w naczyniu (3 pkt).
 Odpowiedzi uzasadnij.

Rozwiązanie:

- 1)  $\Delta H = -114,2 \text{ kJ}$
- 2) Reakcja egzotermiczna
- 3)

$$K_c = \frac{[NO_2]^2}{[NO]^2[O_2]}$$

- 4) Z danych mamy
 
$$V = 20 \text{ dm}^3$$
 W stanie równowagi
 
$$n(NO) = 5 - 2x$$

$$n(O_2) = 2 - x$$

$$n(NO_2) = 2x$$

$$K_c = \frac{\left(\frac{2x}{V}\right)^2}{\left(\frac{5-2x}{V}\right)^2 \left(\frac{2-x}{V}\right)}$$

Ponieważ rozwiązanie tego równania jest skomplikowane (wielomian 3-stopnia), można je dla potrzeb zadania pozostawić w tej postaci bez dalszych obliczeń.

Przy tak dużej wartości stałej równowagi można założyć, że reakcja zachodzi prawie całkowicie w kierunku tworzenia produktów. Ponieważ NO jest w nadmiarze, można założyć, że cały tlen przereaguje ( $x \approx 2$ ), czyli

$$n(\text{NO}) = 1$$

$$n(\text{O}_2) \approx 0 \text{ (w rzeczywistości ok. } 1 \cdot 10^{-6}\text{)}$$

$$n(\text{NO}_2) = 4$$

5) Ciśnienie w zbiorniku wyniesie

$$p = \frac{nRT}{V} = \frac{5 \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{mol}) \cdot 473\text{K}}{0,020 \text{ m}^3} = 983679\text{Pa} = 9,84 \text{ bar}$$

6)

a) przesunięcie w kierunku tworzenia substratów

b) przesunięcie w kierunku tworzenia substratów

*(po 1 pkt za odpowiedź, po 2pkt za uzasadnienie)*