

Finał XXX Edycji Ogólnopolskiego Konkursu Chemicznego

Wygraj Indeks

Uwaga! W zadaniach za warunki normalne przyjęto: $p^\circ = 10^5 \text{ Pa}$, $T^\circ = 0^\circ\text{C}$, $V_m = 22,7 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}}$.

Zadanie 1

(__ / 2 pkt.)

Przez $0,500 \text{ dm}^3$ alkalicznego roztworu zawierającego 100 mg jonów cyjankowych przepuszczano chlor. Oblicz stężenie molowe jonów chlorkowych w tym roztworze po całkowitym utlenieniu cyjanków do azotu i ditlenku węgla.



$$n(\text{CN}^-) = \frac{m}{M} = \frac{100 \text{ mg}}{26 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 3,85 \text{ mmol}$$

$$n(\text{Cl}^-) = \frac{10}{2} n(\text{CN}^-) = 19,23 \text{ mmol}$$

$$c(\text{Cl}^-) = \frac{n}{V} = \frac{19,23}{0,5} = 38,46 \frac{\text{mmol}}{\text{dm}^3} = 0,038 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

Zadanie 2

(__ / 2 pkt.)

Próbkę oleum o masie $1,900 \text{ g}$ rozcieńczono wodą i dopełniono do objętości $100,0 \text{ cm}^3$. Do zobojętnienia $10,00 \text{ cm}^3$ otrzymanego roztworu zużyto $20,50 \text{ cm}^3$ roztworu NaOH o stężeniu $0,2000 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$. Oblicz procentową zawartość wolnego SO_3 w oleum.



$$n(\text{NaOH}, 10 \text{ cm}^3) = cV = 0,2 \cdot 0,0205 = 0,0041 \text{ mol}$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{100}{10} n(\text{NaOH}, 10 \text{ cm}^3) = 0,041 \text{ mol}$$



$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2} n(\text{NaOH}) = 0,0205 \text{ mol}$$

$$M(\text{SO}_3) = 80 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\begin{cases} x + y = 0,0205 \text{ mol} \\ 80x + 98y = 1,90 \text{ g} \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = 0,00606 \\ y = 0,01444 \end{cases}$$

$$m(\text{SO}_3) = nM = 0,00606 \cdot 80 = 0,4848 \text{ g}$$

$$\% \text{SO}_3 = \frac{m(\text{SO}_3)}{m(\text{oleum})} = \frac{0,4848}{1,90} = 0,255 = 25,5\%$$

Zadanie 3

(__ / 2 pkt.)

W celu ustalenia struktury pewnego związku organicznego zbudowanego z atomów węgla, wodoru i azotu przeprowadzono poniższe badania:

- W wyniku spalenia 0,960 g tego związku otrzymano 1,09 dm³ ditlenku węgla i 0,432 cm³ wody (warunki normalne).
- W celu ustalenia masy cząsteczkowej tą samą masę związku rozpuszczono w 10 cm³ benzenu (gęstość $d = 0,876 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$). Zauważono, że temperatura krzepnięcia spadła z 5,53°C do -1,47°C. Stała krioskopowa dla benzenu wynosi $K_k = 5,12 \frac{\text{K kg}}{\text{mol}}$. Ponieważ nie jest to substancja jonowa możesz przyjąć równanie krioskopowe postaci $\Delta T = K_k \frac{n_s}{m_{\text{rozp}}}$.
- Zmierzono widmo ¹H NMR w CDCl₃ i zaobserwowano pojedynczy singlet przy 8,59 ppm.

Na podstawie powyższych informacji ustal wzór empiryczny, rzeczywisty, strukturalny i nazwę analizowanego związku.

$$n(\text{CO}_2) = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_m} = \frac{1,09}{22,7} = 0,048 \text{ mol} = n(\text{C})$$

$$m(\text{C}) = nM = 0,048 \cdot 12 = 0,576 \text{ g}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M} = \frac{dV}{M} = \frac{1 \cdot 0,432}{18} = 0,024 = \frac{1}{2} n(\text{H})$$

$$m(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) \cdot M = 2 \cdot 0,024 \cdot 1 = 0,048 \text{ g}$$

$$m(\text{N}) = m_s - (m(\text{C}) + m(\text{H})) = 0,960 - (0,576 + 0,048) = 0,336 \text{ g}$$

$$n(\text{N}) = \frac{m}{M} = \frac{0,336}{14} = 0,024 \text{ mol}$$

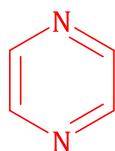
$$\text{C} : \text{H} : \text{N} = 0,048 : 0,048 : 0,024 = 2 : 2 : 1$$

$$[\text{C}_2\text{H}_2\text{N}] = 40 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

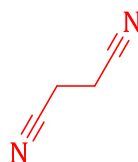
$$n_s = \Delta T \frac{m_{\text{rozp}}}{K_k} = 7 \cdot \frac{10 \cdot 0,876 \cdot 10^{-3}}{5,12} = 0,0120 \text{ mol}$$

$$M = \frac{m}{n} = \frac{0,96}{0,012} = 80 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$[\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2] = 80 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$



pirazyna
1,4-diazyna
**(preferowana
odpowiedź)**



sukcynonitryl
(ale sygnał
w ¹H NMR
 $\delta = 2,76 \text{ ppm}$)

Zadanie 4

(___ / 2 pkt.)

Badano reakcję zachodzącą w roztworze wodnym zgodnie z równaniem: $2A + B \rightarrow \text{produkty}$. W temperaturze 298 K uzyskano następujące wyniki:

Nr doświadczenia	$[A]_0, \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$	$[B]_0, \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$	$v_0, \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3 \text{ s}}$
1	0,10	0,10	$1,5 \cdot 10^{-4}$
2	0,20	0,10	$6,0 \cdot 10^{-4}$
3	0,10	0,20	$3,0 \cdot 10^{-4}$

gdzie: $[A]_0$ – stężenie początkowe substancji A, $[B]_0$ – stężenie początkowe substancji B, v_0 – początkowa szybkość reakcji.

- Wyznacz rząd badanej reakcji względem reagentów A i B oraz podaj całkowity rząd reakcji. Odpowiedź uzasadnij.
- Wyznacz wartość stałej szybkości reakcji k wraz z jednostką.
- Stwierdzono doświadczalnie, że badana reakcja jest reakcją złożoną, zachodzącą w dwóch etapach, zgodnie z poniższym schematem:

Etap 1 (szybki): $A + B \rightleftharpoons C$

Etap 2 (wolny): $C + A \rightarrow \text{produkty}$

Na podstawie tych informacji wyprowadź wyrażenie opisujące szybkość reakcji i sprawdź, czy uzyskany wynik jest zgodny z wynikami doświadczenia.

$$v_0 = k[A]^a[B]^b$$

$$\left(\frac{0,20}{0,10}\right)^a = \frac{6,0 \cdot 10^{-4}}{1,5 \cdot 10^{-4}}$$

Rząd reakcji względem A: $a = 2$

$$\left(\frac{0,20}{0,10}\right)^b = \frac{3,0 \cdot 10^{-4}}{1,5 \cdot 10^{-4}}$$

Rząd reakcji względem B: $b = 1$

Całkowity rząd reakcji: $a + b = 3$

$$v_0 = k[A]^2[B]$$

$$1,5 \cdot 10^{-4} = k(0,10)^2 \cdot 0,10$$

$$k = 0,15 \frac{\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3 \text{ s}}}{\left(\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}\right)^3} = 0,15 \frac{\text{dm}^6}{\text{mol}^2 \text{ s}}$$

Etap 2 determinuje szybkość: $v_2 = k_2[C][A]$

Dwa podejścia:

$$\text{Z etapu 1: } K = \frac{[C]}{[A][B]}, [C] = K[A][B]$$

$$v_2 = k_2[C][A] = k_2K[A][B][A] = k[A]^2[B]$$

$$v_1 = k_1[A][B] = k_{-1}[C]$$

$$[C] = \frac{k_1[A][B]}{k_{-1}}$$

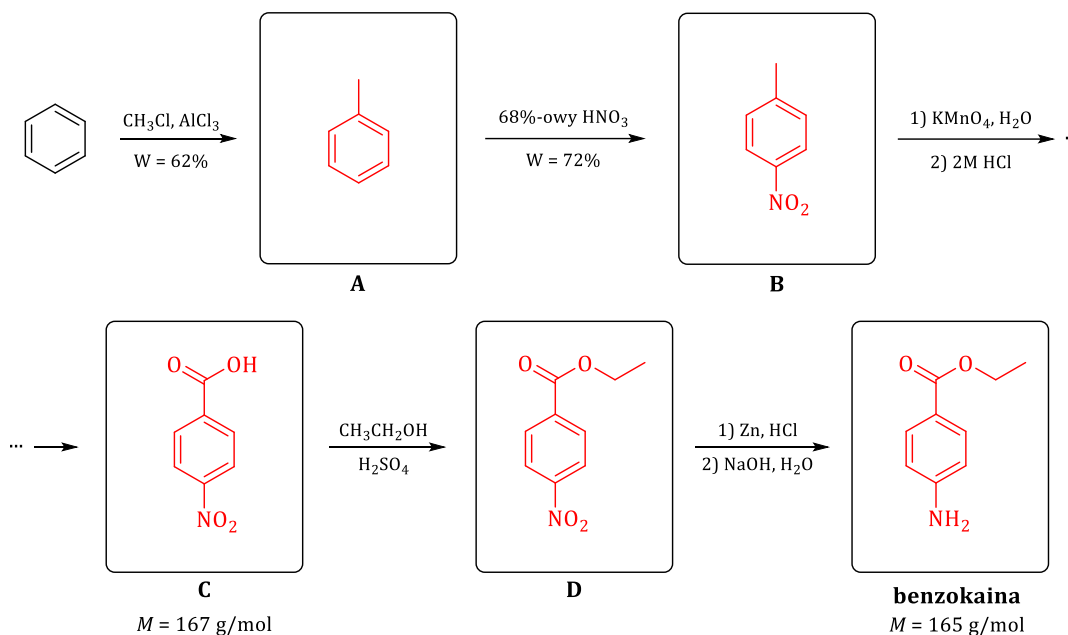
$$v_2 = k_2[A] \frac{k_1[A][B]}{k_{-1}} = \frac{k_2k_1}{k_{-1}}[A]^2[B] = k[A]^2[B]$$

Wyniki są zgodne.

Zadanie 5

(__ / 2 pkt.)

Benzokaina (anestezyna) jest miejscowym lekiem znieczulającym, którego mechanizm działania polega na blokowaniu kanałów sodowych oraz przewodzenia impulsów nerwowych. Poniżej załączono schemat syntezy tego związku.



- Uzupełnij powyższy schemat, wpisując wzory półstrukturalne lub szkieletowe półproduktów **A**, **B**, **C**, **D** oraz produktu finalnego, **benzokainy**.
- Oblicz, jaką objętość 68%-owego kwasu azotowego(V) należy użyć w drugim etapie wieloetapowej syntezy (transformacja **A** $\rightarrow$ **B**), jeżeli w pierwszym etapie użyto 265 kg benzenu. Załóż, że kwas azotowy(V) musi być użyty w trzykrotnym nadmiarze. Gęstość 68%-owego kwasu azotowego(V) wynosi $1,41 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.
- Podaj, jaki organiczny produkt uboczny powstaje w wyniku przeprowadzenia reakcji **A** $\rightarrow$ **B**. Narysuj jego wzór półstrukturalny lub szkieletowy.
- Jaką rolę pełni kwas siarkowy(VI) w reakcji **C** $\rightarrow$ **D**. Czy użycie większej ilości tego kwasu wpłynie na zwiększenie wydajności procesu?

$$n_{\text{C}_6\text{H}_6} = \frac{m}{M} = \frac{265 \cdot 10^3}{78} = 3397,4 \text{ mol}$$

$$n_{\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3} = n_{\text{C}_6\text{H}_6} \cdot 0,62 = 2106,4 \text{ mol}$$

$$n_{\text{HNO}_3} = 3 \cdot n_{\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3} = 6319,2 \text{ mol}$$

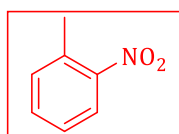
$$m_{\text{HNO}_3} = nM = 6319,2 \cdot 63 = 398110 \text{ g}$$

$$m_r = \frac{m_s}{c_p} = \frac{398110}{0,68} = 585456 \text{ g}$$

$$V_r = \frac{m_r}{d} = \frac{585456}{1,41} = 415217 \text{ cm}^3$$

$$= \boxed{415,2 \text{ dm}^3}$$

Produkt uboczny:



Rola kwasu siarkowego(VI) – katalizator.

Czy większa ilość kwasu wpłynie na zwiększenie wydajności procesu? – Nie wpłynie (w ujęciu teoretycznej roli katalizatora).

UWAGA!

Kwas siarkowy(VI) wykazuje silne właściwości higroskopijne, co pozwala na wiązanie wody powstającej w układzie. Ponieważ estryfikacja Fischera jest reakcją równowagową, usuwanie wody (produktu) ze środowiska reakcji przesuwa stan równowagi zgodnie z regułą przekory (Le Chateliera). W związku z tym, zastosowanie większej ilości kwasu może faktycznie skutkować zwiększeniem wydajności procesu – taka argumentacja również była uznawana za poprawną.