

Zadanie 1.

Polecenie a. (4 p.)

W reakcji z H_2SO_4 wytrąca się BaSO_4 . Obliczamy liczbę moli Ba:

$$M(\text{BaSO}_4) = 137.3 + 32.1 + 4 \cdot 16$$

$$M(\text{BaSO}_4) = 233.4 \text{ g/mol}$$

$$n(\text{Ba}) = \frac{0.6993}{233.4}$$

$$n(\text{Ba}) = 0.002996143959 \text{ mol}$$

$$m(\text{Ba}) = 0.002996143959 \cdot 137.3$$

$$m(\text{Ba}) = 0.4113705656 \text{ g}$$

W procesie elektrolizy na katodzie wydziela się miedź:

$$m(\text{Cu}) = 9.0437 - 8.7567$$

$$m(\text{Cu}) = 0.2870 \text{ g}$$

$$n(\text{Cu}) = \frac{0.2870}{63.5}$$

$$n(\text{Cu}) = 0.004519685039 \text{ mol}$$

Obliczamy liczbę moli zużytego EDTA, jest ona równa liczbie moli itru:

$$n(\text{EDTA}) = 0.04202 \cdot 0.0358$$

$$n(\text{EDTA}) = 0.001504316 \text{ mol}$$

$$m(\text{Y}) = 0.001504316 \cdot 88.9$$

$$m(\text{Y}) = 0.1337336924 \text{ g}$$

W 1,0000 g YBCO znajduje się:

$$m(\text{O}_2) = 1 - (0.1337336924 + 0.2870 + 0.4113705656)$$

$$m(\text{O}_2) = 0.1678957420 \text{ g}$$

$$n(\text{O}_2) = \frac{0.1678957420}{16}$$

$$n(\text{O}_2) = 0.01049348388 \text{ mol}$$

Możemy zatem ustalić skład YBCO.

Y:Ba:Cu:O = 0,0015:0,0030:0,0045:0,0105, zatem wzór ma postać $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$.

Polecenie b. (3 p.)

W 5,0000 g $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ znajduje się:

$$M(\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7) = 88.9 + 2 \cdot 137.3 + 3 \cdot 63.5 + 7 \cdot 16$$

$$M(\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7) = 666.0 \text{ g}$$

$$n(\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7) = \frac{5}{666}$$

$$n(YBa_2Cu_3O_7) = 0.0075075 \text{ mol}$$

zatem potrzebujemy:

0,0075075 mol Y, 0,015015 mol Ba i 0,0225225 mol Cu

Obliczamy masy substratów:

$$M(Y_2O_3) = 88.9 \cdot 2 + 3 \cdot 16$$

$$M(Y_2O_3) = 225.8 \text{ g/mol}$$

$$M(BaCO_3) = 137.3 + 12 + 3 \cdot 16$$

$$M(BaCO_3) = 197.3 \text{ g/mol}$$

$$M(Cu_2CO_3(OH)_2) = 2 \cdot 63.5 + 2 \cdot 1 + 12 + 5 \cdot 16$$

$$M(\text{zasadowy węglan miedzi}) = 221.0 \text{ g/mol}$$

$$m(Y_2O_3) = \frac{0.0075075 \cdot 225.8}{2}$$

$$m(Y_2O_3) = 0.8475967500 \text{ g}$$

$$m(BaCO_3) = 0.0150150 \cdot 197.3$$

$$m(BaCO_3) = 2.96245950 \text{ g}$$

$$m(\text{zasadowy węglan miedzi}) = \frac{0.0225225 \cdot 221}{2}$$

$$m(\text{zasadowy węglan miedzi}) = 2.488736250 \text{ g}$$

Polecenie c. (3 p.; 2 p. za masę substancji, 1 p. za wskazanie rodzaju naczynia)

Obliczamy masę substancji:

$$M(Na_2EDTA \cdot 2 H_2O) = 10 \cdot 12 + 14 \cdot 1 + 2 \cdot 23 + 2 \cdot 14 + 8 \cdot 16 + 2 \cdot 18$$

$$M(2 Na_2EDTA H_2O) = 372 \text{ g/mol}$$

$$n = 0.04202 \cdot 0.25$$

$$n = 0.0105050 \text{ mol}$$

$$m = 0.0105050 \cdot 372$$

$$m = 3.9078600 \text{ g}$$

Roztwory mianowane przygotowuje się w kolbach miarowych – wobec tego do przygotowania titranta użyję kolby miarowej o pojemności 250 cm³.

Zadanie 2

Polecenie I. (3 p.)

Jednostka ppm jest sposobem wyrażania ułamków wagowych, 1 ppm oznacza zawartość 1 części na milion, na przykład 1 mg w 1 000 000 mg. Zatem 0,001 ppm to 0,001 mg zanieczyszczeń w 1 000 000 mg materiału. Obliczam stężenie procentowe:

$$c = \frac{0.001}{1000000} \cdot 100$$

$$c = 1.0000 \cdot 10^{-7} \%$$

Zatem stężenie Si wynosi 99,9999999%.

Polecenie II. (4 p.)

100 kg krzemu to:

$$n = \frac{100000}{28.1}$$

$$n = 3558.718861 \text{ mol}$$

$$N = 3558.718861 \cdot 6.02214076 \cdot 10^{23}$$

$$N = 2.143110591 \cdot 10^{27} \text{ atomów}$$

Musimy zatem wprowadzić:

$$N(B) = \frac{2.143110591 \cdot 10^{27}}{50000000}$$

$$N(B) = 4.286221182 \cdot 10^{19} \text{ atomów boru}$$

Odpowiada to:

$$n(B) = \frac{4.286221182 \cdot 10^{19}}{6.02214076 \cdot 10^{23}}$$

$$n(B) = 0.00007117437723 \text{ mola}$$

Obliczamy objętość niezbędnego B₂H₆:

$$pV = nRT \Rightarrow V = \frac{nRT}{p}$$

$$V(B_2H_6) = \frac{0.00003558718862 \cdot 8.314 \cdot 273.15}{100000}$$

$$V(B_2H_6) = 8.081740572 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

Potrzebujemy zatem dziesięć razy więcej mieszaniny B₂H₆/H₂, zawierającej 10% diboranu, co stanowi 8,082·10⁻⁶ m³. Uwzględniając straty technologiczne, do domieszkowania 100 kg krzemu zużyjemy 8,082·10⁻⁵ m³, czyli 0,08082 dm³ gazu.

UWAGA: Zgodnie z wytycznymi IUPAC (od 1982 r.) warunki standardowe są zdefiniowane jako 273,15 K (0°C) i 1·10⁵ kPa (1 bar). W tych warunkach objętość molowa gazu

doskonałego wynosi $22,71095 \text{ dm}^3$ („szkolna” objętość $22,41396 \text{ dm}^3$ dotyczy warunków normalnych dla gazów – $273,15 \text{ K}$ i $1013,25 \text{ hPa}$) – trzeba skorzystać z równania Clapeyrona.

Polecenie III. (4 p.)

Spośród pierwiastków bloku p gazami w warunkach normalnych są azot, tlen, fluor, chlor i gazy szlachetne. Z informacji zawartych w zadaniu tylko azot spełnia podane warunki.

Niskotopliwym metalem w bloku p jest gal, zatem wzór półprzewodnika to GaN_x . W 1 g półprzewodnika zawartych jest:

$$n(\text{Ga}) = \frac{0.832}{69.7}$$

$$n(\text{Ga}) = 0.01193687231 \text{ mol}$$

$$n(\text{N}) = \frac{(1 - 0.832)}{14.1}$$

$$n(\text{N}) = 0.01191489362 \text{ mol}$$

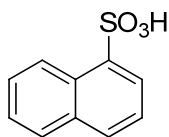
Wynika z tego, że stosunek molowy pierwiastków wynosi $1:1$, zatem wzór półprzewodnika to GaN .

Polecenie IV. (2 p.)

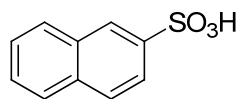
Przykładami półprzewodników stosowanych w przemyśle elektronicznym może być german (diody, tranzystory – obecnie głównie znaczenie historyczne), selen (elementy fotoczułe, prostowniki), SiGe (tranzystory), GaAs (tranzystory, diody LED).

Zadanie 3

Polecenie a. (2 p.)



kwas 1-naftalenosulfonowy



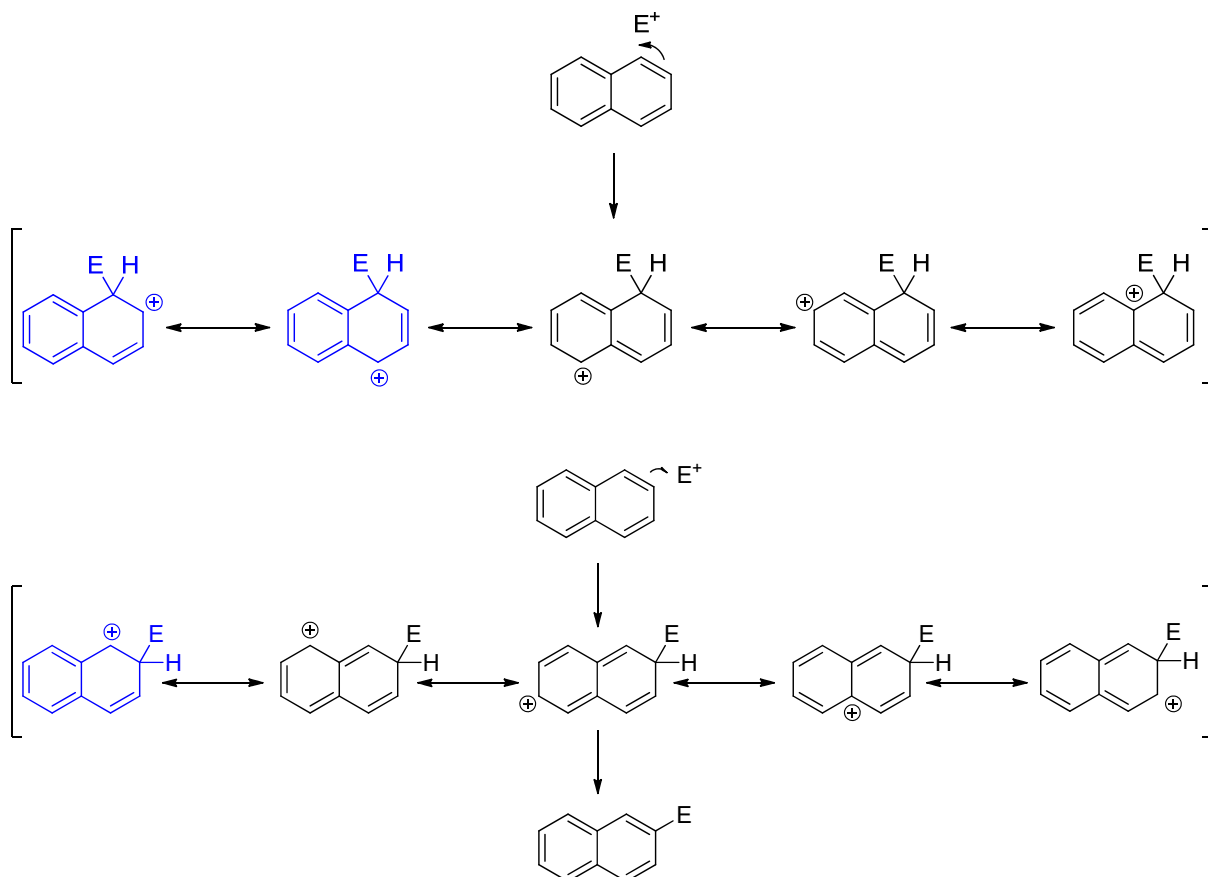
kwas 2-naftalenosulfonowy

Polecenie b. (2 p.)

Ponieważ tworzenie się kwasu 1-naftalenosulfonowego obserwujemy w niższej temperaturze, można wnioskować, że reakcja sulfonowania naftalenu w pozycji 1 ma niższą energię aktywacji.

Polecenie c. (4 p.)

Sulfonowanie związków aromatycznych jest reakcją substytucji elektrofilowej. Elektrofilem (E^+) jest kation sulfoniowy, HOSO_2^+ . Rozpisując struktury rezonansowe dla obu kierunków podstawienia:

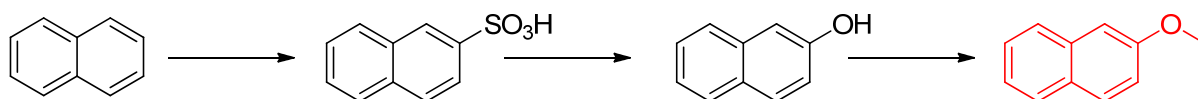


można uzasadnić preferencyjne powstawanie produktu 1-podstawionego w niskiej temperaturze. W tym przypadku dwie (z pięciu) możliwych struktur rezonansowych produktu

przejściowego mają charakter aromatyczny, a więc są korzystne energetycznie. Dla podstawienia w pozycji 2 tylko jedna ze struktur rezonansowych zachowuje aromatyczność. W związku z tym energia aktywacji dla reakcji sulfonowania w pozycji 1 jest niższa. W konsekwencji produkt ten tworzy się szybciej, dlatego jest głównym izomerem powstającym w niskiej temperaturze (jest to tzw. produkt kontrolowany kinetycznie). Różnica w energii aktywacji wynosi około 10 kJ/mol, zaś w energii jonów areniowych – około 5 kJ/mol.

Sulfonowanie jest reakcją odwracalną – w mieszaninie reakcyjnej zachodzi zarówno sulfonowanie naftalenu jaki i desulfonowanie (hydroliza) kwasów naftalenosulfonowych. Dlatego, jeśli izomeryczne kwasy naftalenosulfonowe różnią się energią, z czasem dojdzie do wytworzenia się izomeru trwalszego termodynamicznie. Izomer 1-podstawiony jest mniej trwały ze względu na oddziaływanie steryczne grupy sulfonowej i atomu wodoru w pozycji 8. Efekty steryczne w izomerze 2-podstawionym są mniejsze, zatem jest on korzystniejszy pod względem termodynamicznym (tzw. produkt kontrolowany termodynamicznie). Energia kwasu 2-naftalenosulfonowego jest niższa o około 8 kJ/mol.

Polecenie d. (3 p.)



Polecenie e. (5 p.)

Test jakościowy (stapianie z sodem i analiza stopu) wskazuje na obecność chloru w składniku kulek na mole.

Wiemy także, że związek obecny w badanym preparacie na mole jest aromatyczny (ulega reakcji nitrowania).

Wyznaczamy masę molową składnika kulek na mole w oparciu o pomiar krioskopowy. Zaczynamy od obliczenia stężenia molalnego:

$$\Delta T = 179.8 - 174.4$$

$$\Delta T = 5.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$b = \frac{5.4}{39.7}$$

$$b = 0.1360201511 \text{ mol/kg}$$

Ponieważ do przygotowania roztworu użyto 10 g kamfory, możemy obliczyć liczbę moli rozpuszczonego związku i jego masę molową:

$$b = \frac{n}{m}$$

$$n = 0.1360201511 \cdot 0.01$$

$$n = 0.001360201511 \text{ mol}$$

$$M(\text{kulki na mole}) = \frac{0.2}{0.001360201511}$$

$$M(\text{kulki na mole}) = 147.0370371 \text{ g/mol}$$

Uwzględniając skład elementarny, możemy ustalić liczbę atomów węgla i wodoru ($C_xH_y...$) w cząsteczce składnika kulek na mole:

$$x = \frac{0.4902 \cdot 147}{12}$$

$$x = 6.004950000$$

$$y = \frac{0.0274 \cdot 147}{1}$$

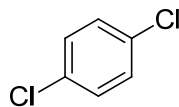
$$y = 4.0278$$

Wiemy także, że w skład cząsteczki wchodzi chlor, a pierwiastek/pierwiastki inne niż H, C, N i S stanowią $100,00 - (49,02 + 2,74) = 48,24\%$, na który przypada:

$$m = 0.4824 \cdot 147$$

$$m = 70.9128 \text{ g}$$

co odpowiada dwóm atomom Cl. Wzór składnika badanego preparatu ma postać $C_6H_4Cl_2$, mamy zatem do czynienia z dichlorobenzenem. Skoro w reakcji nitrowania tworzy się wyłącznie jedna nitropochodna, musi to być izomer *para*: 1,4-dichlorobenzen, gdyż w wypadku 1,2-dichlorobenzenu spodziewamy się dwóch izomerów (jeden główny – ok. 95%) zaś 1,3-dichlorobenzenu – trzech mononitropochodnych (w tym jednej w ilościach śladowych).

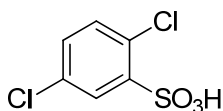


Polecenie f. (5 p.)

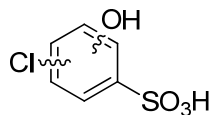
Z informacji o związku **C** możemy wywnioskować, że jest fenolem (reakcja z Fe^{3+}) i że zawiera grupę sulfonową (mocny kwas, wynik analizy elementarnej).

Test jakościowy (stapianie z sodem i analiza stopu) wskazuje na obecność chloru.

Wiemy także, że powstaje z produktu sulfonowania 1,4-dichlorobenzenu, którym jest kwas 2,5-dichlorobenzenosulfonowy:



Grupa OH^- jest czynnikiem nukleofilowym. Skoro w reakcji kwasu 2,5-dichlorobenzenosulfonowego substytucji nie ulega grupa $-\text{SO}_3\text{H}$, reakcji ulega najprawdopodobniej jeden z atomów chloru:



Ustalmy skład elementarny tego związku ($\text{C}_6\text{H}_5\text{ClSO}_4$):

$$M(\text{C}) = 6 \cdot 12 + 5 \cdot 1 + 35.5 + 32.1 + 4 \cdot 16$$

$$M(\text{C}) = 208.6$$

$$x(\text{C}) = \frac{6 \cdot 12}{208.6}$$

$$x(\text{C}) = 0.3451581975$$

$$x(\text{H}) = \frac{5 \cdot 1}{208.6}$$

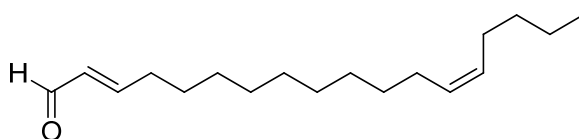
$$x(\text{H}) = 0.02396931927$$

$$x(\text{S}) = \frac{32.1}{208.6}$$

$$x(\text{S}) = 0.1538830297$$

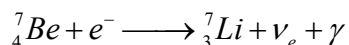
Co jest zgodne z danymi z analizy elementarnej. Związek **C** to kwas 2-hydroksy-5-chlorobenzenosulfonowy lub 2-chloro-5-hydroksybenzenosulfonowy (w rzeczywistości powstaje pierwszy z tych izomerów).

Polecenie g. (1 p.)



Zadanie 4.

Polecenie a. (1 p.)



UWAGA: Podczas przemiany protonu w neutron (rozpad β^+ , wychwyt K) powstaje neutrino elektronowe. Antyneutrino elektronowe powstaje podczas przemiany neutronu w proton (rozpad β^-).

Polecenie b. (4 p.)

Rozpad promieniotwórczy jest reakcją pierwszego rzędu, zatem ilość jąder po czasie t wyraża równanie:

$$N_t = N_0 e^{-k \cdot t}$$

Korzystając z definicji czasu połowicznego rozpadu:

$$N_{t_{1/2}} = \frac{1}{2} N_0 = N_0 e^{-k \cdot t_{1/2}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-k \cdot t_{1/2}}$$

$$\ln \frac{1}{2} = -\ln 2 = \ln(e^{-k \cdot t_{1/2}}) = -k \cdot t_{1/2}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

Aktywność promieniotwórcza jest wprost proporcjonalna do ilości jąder rozpadającego się nuklidu, dlatego w powyższych równaniach N_t i N_0 można zastąpić przez A_t i A_0 .

Wartości k mamy podane, i wynoszą odpowiednio 0,012976 i 0,013023 d⁻¹, zatem wartości $t_{1/2}$ wynoszą 53,418 d dla ${}^7\text{Be}(\text{OH})_2$ i 53,225 d dla ${}^7\text{BeO}$.

Polecenie c. (5 p.)

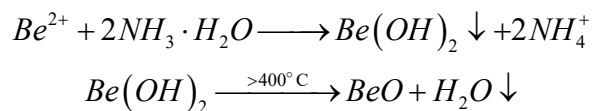
Wychwytowi K podlegają elektrony pierwszej (najbliższej jądra) powłoki. W wypadku jonu berylu, posiadającego elektrony wyłącznie na pierwszej powłoce (konfiguracja 1 s²) zmiana otoczenia chemicznego powoduje zmianę energii elektronu, a więc, w konsekwencji, prawdopodobieństwo wychwytu. W wypadku atomów o większej liczbie elektronów i powłok zmiany w obrębie elektronów walencyjnych nie mają znaczącego wpływu na energię elektronów powłoki K, a tym bardziej energię jądra. Dlatego wrażliwość kinetyki wychwytu K dla atomów cięższych oraz typowych przemian α i β na otoczenie chemiczne jest znikomy (w literaturze podaje się wartości $\Delta t_{1/2}/t_{1/2}$ na poziomie 10⁻⁷-10⁻⁹ (lub mniejsze)).

Polecenie d. (2 p.)

Wodorotlenek berylu jest nierozpuszczalny w wodzie, można go strącić przy pomocy dowolnej zasady, na przykład wodorotlenku sodu, lub wodnego roztworu amoniaku (łatwo usunąć ewentualne zaadsorbowane sole amonowe podczas suszenia). Użycie NH₃·H₂O

pozwała także wyeliminować problem roztwarzania $\text{Be}(\text{OH})_2$ w nadmiarze wodorotlenku litowca.

Tlenek berylu uzyskujemy podczas prażenia wodorotlenku berylu.



Polecenie e. (5 p.)

Aktywność 40,7 MBq oznacza 40 700 000 rozpadów w czasie 1 s, czyli o tyle zmniejsza się początkowa liczba atomów ^7Be . Czas połowicznego zaniku wynosi 53,322 d, czyli $4,607 \cdot 10^6$ s, zaś wartość $k = 1,505 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$.

$$\Delta N = N_0 - N_t$$

$$\Delta N = N_0 - N_0 e^{-k \cdot t}$$

$$40700000 = x - x \cdot \exp(-1.504559476 \cdot 10^{-7} \cdot 1)$$

$$[[x = 2.704318937 \cdot 10^{14}]] \text{ atomów } ^7\text{Be w 1 ml}$$

Obliczamy masę ^7Be :

$$m = \frac{2.704318937 \cdot 10^{14}}{6.02214076 \cdot 10^{23}} \cdot 7$$

$$m = 3.143439072 \cdot 10^{-9} \text{ g w } 1 \text{ cm}^3$$

zatem stosunek wagowy ^7Be do ^9Be wynosił:

$$m(^7\text{Be}) = 0.1 \cdot 3.143439072 \cdot 10^{-9}$$

$$m(^7\text{Be}) = 3.143439072 \cdot 10^{-10}$$

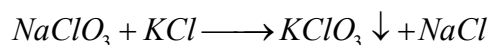
$$x = \frac{3.143439072 \cdot 10^{-10}}{0.005}$$

$$x = 6.286878144 \cdot 10^{-8}$$

Zadanie 5

Polecenie a. (4 p.)

Równanie reakcji:



musimy zatem mieszać równomolowe ilości NaClO_3 i KCl .

Aby uzyskać maksymalną wydajność, używamy roztworów nasyconych.

Założmy, że używamy 98,8 g NaClO_3 , potrzebujemy zatem:

$$M(\text{NaClO}_3) = 23 + 35.5 + 3 \cdot 16$$

$$M(\text{NaClO}_3) = 106.5 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{KCl}) = 39.1 + 35.5$$

$$M(\text{KCl}) = 74.6 \text{ g/mol}$$

$$n(\text{NaClO}_3) = \frac{98.8}{106.5}$$

$$n(\text{NaClO}_3) = 0.9276995305 \text{ mol}$$

$$m(\text{KCl}) = 0.9276995305 \cdot 74.6$$

$$m(\text{KCl}) = 69.20638498 \text{ g}$$

Po zmieszaniu nasyconych roztworów zawierających 98,8 g NaClO_3 i 69,2 g KCl , uzyskamy 0,928 mol KClO_3 . Roztwór będzie zawierał także 0,928 mol NaCl . Obliczamy, ile gramów KClO_3 powstanie w reakcji:

$$M(\text{KClO}_3) = 39.1 + 35.5 + 3 \cdot 16$$

$$M(\text{KClO}_3) = 122.6 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{KClO}_3) = 122.6 \cdot 0.9276995305$$

$$m(\text{KClO}_3) = 113.7359624 \text{ g}$$

Z 98,8 g NaClO_3 wprowadzimy 100 g wody, natomiast z 69,2 g KCl :

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{69.20638498}{34.2} \cdot 100$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 202.3578508 \text{ g}$$

zatem łączna masa wody wynosi 302,4 g. Uwzględniając rozpuszczalność KClO_3 , z roztworu wykrystalizuje:

$$m(\text{KClO}_3) = 113.7359624 - \frac{7.3 \cdot (100 + 202.3578508)}{100}$$

$$m(\text{KClO}_3) = 91.66383929 \text{ g}$$

Aby uzyskać 100 g produktu zużyjemy zatem:

$$m(\text{NaClO}_3 \text{ rr}) = \frac{100}{91.66383929} \cdot (98.8 + 100)$$

$$m(\text{NaClO}_3 \text{ rr}) = 216.8794167 \text{ g roztworu NaClO}_3$$

$$V(\text{NaClO}_3 \text{ rr}) = \frac{216.8794167}{1.439}$$

$$V(\text{NaClO}_3 \text{ rr}) = 150.7153695 \text{ cm}^3 \text{ roztworu NaClO}_3$$

$$m(\text{KCl rr}) = \frac{100}{91.66383929} \cdot (69.2 + 202.4)$$

$$m(\text{KCl rr}) = 296.3000482 \text{ g roztworu KCl}$$

$$V(\text{KCl rr}) = \frac{296.3000482}{1.174}$$

$$V(\text{KCl rr}) = 252.3850496 \text{ cm}^3 \text{ roztworu KCl}$$

Obliczamy stężenia procentowe nasyconych roztworów NaClO_3 i KCl :

$$c(\text{KCl}) = \frac{34.2}{100 + 34.2} \cdot 100$$

$$c(\text{KCl}) = 25.48435171 \%$$

$$c(\text{NaClO}_3) = \frac{98.8}{98.8 + 100} \cdot 100$$

$$c(\text{NaClO}_3) = 49.69818913 \%$$

Upewnijmy się jeszcze, czy w tych warunkach nie wytrąci się NaCl . W reakcji 98,8 g NaClO_3 powstanie:

$$M(\text{NaCl}) = 23 + 35.5$$

$$M(\text{NaCl}) = 58.5 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{NaCl}) = 58.5 \cdot 0.9276995305$$

$$m(\text{NaCl}) = 54.27042253 \text{ g}$$

Natomiast w 302,4 g wody rozpuści się:

$$mI(\text{NaCl}) = \frac{(100 + 202.3578508) \cdot 35.6}{100}$$

$$mI(\text{NaCl}) = 107.6393949 \text{ g}$$

Ponieważ $m_I > m$, nie grozi nam wytrącanie NaCl z mieszaniny.

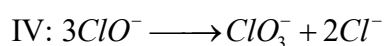
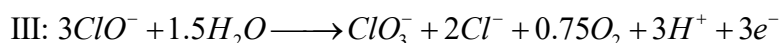
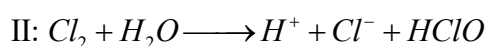
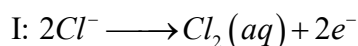
Polecenie b. (4 p.)

Reakcja III: z treści zadania wiemy, że z 3 moli ClO^- powstają 2 mole Cl^- i 1 mol ClO_3^- . Jednocześnie podczas reakcji 3 moli ClO^- powstaje $16,8 \text{ dm}^3$ tlenu, co odpowiada:

$$n(\text{O}_2) = \frac{16.8}{22.415}$$

$$n(\text{O}_2) = 0.7494981039 \text{ mol}$$

Równania reakcji, o których mowa w zadaniu mają postać:

**Polecenie c. (3 p.)**

Zarówno w procesie **III** jak i procesie **IV** z 3 moli ClO^- powstają 2 mole Cl^- i 1 mol ClO_3^- , jednakże w reakcji zachodzącej na anodzie mamy do czynienia z rozkładem wody. Wynika z tego, że powstaniu 1 mola ClO_3^- w procesie autoutleniania (dysproporcjonowania) ClO^- energię elektryczną zużywamy wyłącznie do produkcji Cl_2 . W procesie elektroulteniania, oprócz energii zużytej na produkcję chloru niezbędna jest także energia tracona na produkcję O_2 . W związku z tym proces **III** jest energetycznie niekorzystny i aparaturę procesową projektuje się tak, aby go maksymalnie ograniczyć.

Polecenie d. (5 p.)

Obliczamy początkowe stężenie chloru:

$$c(\text{Cl}_2) = \frac{5}{2 \cdot 35.5 \cdot 1}$$

$$c(\text{Cl}_2) = 0.07042253520 \text{ mol/dm}^3$$

Zapisujemy równanie na stałą równowagi:

$$K = \frac{[\text{HClO}][\text{Cl}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{Cl}_2]} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^3}{c_0(\text{Cl}_2) - [\text{H}_3\text{O}^+]}$$

zatem stężenie jonów H_3O^+ wynosi:

$$2.56 \cdot 10^{-4} = \frac{x^3}{0.0704 - x}$$

$$\xrightarrow{\text{solve for } x} [[x = 0.02298229972], [x = -0.01149114986 + 0.02553702362 I], [x = -0.01149114986 - 0.02553702362 I]]$$

Czyli pH ma wartość:

$$pH = -\log_{10}(0.02298229972)$$

$$pH = 1.638606516$$

Przy takim odczynie roztworu dysocjację bardzo słabego kwasu chlorowego(I) można zaniedbać.

Polecenie e. (5 p.)

Obliczamy stężenie chlorku sodu:

$$c(NaCl) = \frac{200}{58.5}$$

$$c(NaCl) = 3.418803419$$

Wyrażenie na stałą równowagi reakcji Cl_2 z wodą ma postać:

$$K = \frac{[HClO][Cl^-][H_3O^+]}{[Cl_2]} = \frac{[H_3O^+]^2([H_3O^+] + c_{NaCl})}{c_0(Cl_2) - [H_3O^+]}$$

Biorąc pod uwagę wartość c_{NaCl} wyrażenie można uprościć:

$$K = \frac{[H_3O^+]^2 \cdot c_{NaCl}}{c_0(Cl_2) - [H_3O^+]}$$

Po rozwiązaniu równania kwadratowego uzyskujemy wartość $[H_3O^+]$ i pH :

$$2.56 \cdot 10^{-4} = \frac{x^2 \cdot (3.4188)}{0.0704 - x}$$

$$\xrightarrow{\text{solve}} \{x = 0.002258852415\}, \{x = -0.002333732490\}$$

$$pH = -\log_{10}(0.002258852415)$$

$$pH = 2.646112143$$

Wykonując obliczenia bez uproszczeń uzyskujemy $x = 0.002258118951$.

Polecenie f. (4 p.)

Aby uzyskać 1 mol $NaClO_3$ reakcji muszą ulec 3 mole chloranów(I) (niezależnie od ścieżki reakcji). Z kolei 3 mole ClO^- to 6 moli utlenionych jonów chlorkowych (czyli 6 moli e^-).

Z warunków zadania wiemy, że $\frac{1}{3}$ z 3 moli ClO^- ulega reakcji na anodzie (proces III), a $\frac{2}{3}$ „zwykłemu” dysproporcjonowaniu (proces IV). Proces III zużyje zatem kolejny 1 mol elektronów.

$$n(\text{NaClO}_3) = \frac{100}{106,5}$$

$$n(\text{NaClO}_3) = 0.9389671362 \text{ mol}$$

$$n(\text{HClO}) = 3 \cdot 0.9389671362$$

$$n(\text{HClO}) = 2.816901409 \text{ mol}$$

$$n(e) = 0.9389671362 \cdot 7$$

$$n(e) = 6.572769953 \text{ mol}$$

Uwzględniając wydajność prądową procesu, zużyjemy:

$$n(e) = \frac{6.572769953}{0.94}$$

$$n(e) = 6.992308461 \text{ mol}$$

Uwzględniając stałą Faradaya obliczamy ładunek, który przepłynął przez elektrolizer:

$$q = 6.992308461 \cdot 96485$$

$$q = 674652.8819 \text{ C}$$

zatem czas trwania procesu wynosi:

$$t = \frac{674652.8819}{25 \cdot 3600}$$

$$t = 7.496143132 \text{ h}$$