

1. MJERENJE I MJERNE JEDINICE

1.1. Vidi STEHIOMETRIJA

Svaka je fizička veličina određena umnoškom mjernog broja i mjerne jedinice. Promijenimo li mjernu jedinicu dobivamo drukčiji mjerni broj, dok sama fizička veličina koju mjerimo ostaje nepromijenjena, bez obzira na to koju smo mjernu jedinicu odabrali.

Jedinica duljine u međunarodnom sustavu mjernih jedinica jest metar. Jedinice kX i Å nisu SI jedinice. Kako je $1 \text{ Å} = 1,002\,02 \text{ kX} = 100 \text{ pm} = 10^{-1} \text{ nm}$, proizlazi

$$\begin{aligned} 1 \text{ kX} &= 0,997\,984 \text{ Å.} \\ &= 0,997\,984 \times 10^{-1} \text{ nm,} \\ &= 0,997\,984 \times 10^{-4} \text{ μm,} \\ &= 0,997\,984 \times 10^{-7} \text{ mm,} \\ &= 0,997\,984 \times 10^{-10} \text{ m.} \end{aligned}$$

Dobro je upamtiti tablicu prefiksa u međunarodnom sustavu jedinica

Prefiks	Simbol	Značenje	Prefiks	Simbol	Značenje
deci	d	1×10^{-1}	deka	da	1×10^1
centi	c	1×10^{-2}	hekto	h	1×10^2
mili	m	1×10^{-3}	kilo	k	1×10^3
mikro	μ	1×10^{-6}	mega	M	1×10^6
nano	n	1×10^{-9}	giga	G	1×10^9
piko	p	1×10^{-12}	tera	T	1×10^{12}
femto	f	1×10^{-15}	peta	P	1×10^{15}
ato	a	1×10^{-18}	eksa	E	1×10^{18}

Nije dopušteno stavljanje dvaju istovrsnih ili raznovrsnih prefiksa ispred osnovne mjerne jedinice.

1.2. Vidi STEHIOMETRIJA

Kako je $1 \text{ m} = 10^1 \text{ dm} = 10^2 \text{ cm} = 10^3 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ km}$ proizlazi:

$$\begin{aligned} 1 \text{ m}^2 &= (10^1 \text{ dm})^2 = 10^2 \text{ dm}^2 \\ &= (10^2 \text{ cm})^2 = 10^4 \text{ cm}^2 \\ &= (10^3 \text{ mm})^2 = 10^6 \text{ mm}^2 \\ &= (10^{-3} \text{ km})^2 = 10^{-6} \text{ km}^2 \end{aligned}$$

Valja upamtiti da se operacija potenciranja odnosi na cijelu mjernu jedinicu, jer je ona sastavljena od dva dijela, mjernog broja i znaka za jedinicu. Zato je

$$1 \text{ m}^2 = (10^1 \text{ dm})^2 = 10^2 \text{ dm}^2.$$

Rješavanju ovog, kao i svih sličnih zadataka, možemo pristupiti tako da postavimo omjere između različitih mjernih jedinica. Primjerice, između metra i decimetra postoji sljedeći odnos:

$$\text{m} : \text{dm} = 1 : 10$$

odnosno

$$(N/\text{m}) : (N/\text{dm}) = 1 / 10$$

ili

$$(N/\text{m}) = (N/\text{dm}) / 10$$

To znači da je mjerni broj N neke veličine deset puta manji ako se ta veličina izrazi u metrima umjesto decimetrima, odnosno deset puta veći ako se ista veličina umjesto u metrima izrazi u decimetrima.

1.3. Vidi STEHIOMETRIJA

Kako je $1 \text{ m} = 10^1 \text{ dm} = 10^2 \text{ cm} = 10^3 \text{ mm} = 10^6 \text{ }\mu\text{m}$, i $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ L}$, proizlazi:

$$\begin{aligned} 1 \text{ m}^3 &= 10^3 \text{ dm}^3, \\ &= 10^6 \text{ cm}^3, \\ &= 10^9 \text{ mm}^3, \\ &= 10^3 \text{ L}, \\ &= 10^4 \text{ dL}, \\ &= 10^6 \text{ mL}, \\ &= 10^9 \text{ }\mu\text{L}. \end{aligned}$$

1.4. Vidi STEHIOMETRIJA

Kako je $1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g} = 10^6 \text{ mg} = 10^9 \text{ }\mu\text{g}$, proizlazi:

$$\begin{aligned} 1 \text{ g} &= 10^{-3} \text{ kg}, \\ &= 10^3 \text{ mg}, \\ &= 10^6 \text{ }\mu\text{g}. \end{aligned}$$

1.5. Vidi STEHIOMETRIJA

Po definiciji 1 atm je tlak kojim na podlogu tlači stupac žive visine $h = 760 \text{ mm}$ i gustoće $\rho = 13595,1 \text{ kg m}^{-3}$ pri normiranom ubrzanju sile teže $g_N = 9,806 65 \text{ m s}^{-2}$.

Odavde proistječe:

$$\begin{aligned} 1 \text{ atm} &= h \times \rho \times g_N = 0,76 \text{ m} \times 13 595,1 \text{ kg m}^{-3} \times 9,806 65 \text{ m s}^{-2} \\ &= 1,013 25 \times 10^5 \text{ N m}^{-2}. \end{aligned}$$

Kako je

$$1 \text{ N m}^{-2} = 1 \text{ Pa}$$

proizlazi:

$$\begin{aligned} 1 \text{ atm} &= 1,013 25 \times 10^5 \text{ Pa} \\ &= \mathbf{101\,325 \text{ Pa}}. \end{aligned}$$

1.6. Vidi STEHIOMETRIJA

Kako je:

$$\begin{aligned}1 \text{ atm} &= 760 \text{ mmHg} = 101\,325 \text{ Pa}, \\1 \text{ at} &= 98\,066,5 \text{ N m}^{-2} = 980\,665 \text{ Pa},\end{aligned}$$

proizlazi:

$$(p/\text{Pa}) : (p/\text{mmHg}) = 101\,325 : 760$$

ili

$$p/\text{Pa} = 101\,325 \times (p/\text{mmHg}) / 760$$

Kako je zadano $p/\text{mmHg} = 1$, proizlazi:

$$p/\text{Pa} = 101\,325 / 760 = 133,322.$$

Jednakim postupkom dobivamo:

$$p/\text{at} = 133,322 / 980\,665 = 1,3595 \times 10^{-3}$$

$$p/\text{atm} = 133,322 / 101\,325 = 1,3158 \times 10^{-3}$$

$$\begin{aligned}p/\text{mmHg} &= \rho(\text{Hg}) / \rho(\text{H}_2\text{O}) \\&= 13\,595,1 \text{ kg m}^{-3} / 1000 \text{ kg m}^{-3} \\&= \mathbf{13,5951}.\end{aligned}$$

1.7. Vidi STEHIOMETRIJA

Tlak kojim stupac vode tlači na podlogu pri normiranom ubrzanju sile teže je:

$$p = h \times \rho \times g_N$$

Uvrstimo zadane veličine pa dobivamo:

$$p = 100 \text{ mm} \times 1 \text{ g cm}^{-3} \times 9,806\,65 \text{ m s}^{-2}$$

Prevedimo sve zadane veličine u SI jedinice pa dobivamo:

$$\begin{aligned}p &= 0,100 \text{ m} \times 1000 \text{ kg m}^{-3} \times 9,806\,65 \text{ m s}^{-2} \\&= 980,665 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2} \\&= 980,665 \text{ Pa}\end{aligned}$$

$$\text{jer je } 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2} = \text{kg m s}^{-2} \text{ m}^{-2} = \text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}.$$

Tlak kojim stupac vode visine 100 mm tlači na podlogu iznosi 980,665 Pa.

Isti tlak moramo izraziti mmHg. Kako je

$$1 \text{ mmHg} = 133,322 \text{ Pa}$$

proizlazi

$$(p/\text{mmHg}) : (p/\text{Pa}) = 1 : 133,322$$

odnosno

$$\begin{aligned}(p/\text{mmHg}) &= (p/\text{Pa}) / 133,322 \\&= 980,665 / 133,322 \\&= \mathbf{7,356}.\end{aligned}$$

1.8. Vidi STEHIOMETRIJA

Postupamo na jednak način kao u prethodnom zadatku.

$$p = h \times \rho \times g_N$$

Uvrstimo zadane veličine pa dobivamo:

$$p = 200 \text{ mm} \times 1 \text{ g cm}^{-3} \times 9,806 \text{ 65 m s}^{-2}$$

Prevedimo li sve zadane veličine u SI jedinice dobivamo:

$$\begin{aligned} p &= 0,200 \text{ m} \times 1000 \text{ kg m}^{-3} \times 9,806 \text{ 65 m s}^{-2} \\ &= 1961,33 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2} \\ &= 1961,33 \text{ Pa} \end{aligned}$$

jer je $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N m}^{-2} = \text{kg m s}^{-2} \text{ m}^{-2} = \text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$.

Tlak kojim stupac vode visine 200 mm tlači na podlogu iznosi 1961,33 Pa.

Isti tlak moramo izraziti mmHg. Kako je

$$(p/\text{mmHg}) : (p/\text{Pa}) = 1 : 133,322$$

proizlazi

$$\begin{aligned} p/\text{mmHg} &= (p/\text{Pa}) / 133,322 \\ &= 1961,33 / 133,322 = 14,71. \end{aligned}$$

Isti tlak moramo izraziti u atm. Kako je

$$(p/\text{atm}) : (p/\text{Pa}) = 1 : 101 \text{ 325} \quad (\text{vidi zadatak 1.6.})$$

proizlazi

$$\begin{aligned} p/\text{atm} &= (p/\text{Pa}) / 101 \text{ 325} \\ &= 1961,33 / 101 \text{ 325} \\ &= \mathbf{0,019 \text{ 357}}. \end{aligned}$$

1.9. Vidi STEHIOMETRIJA

Gustoća je omjer mase i volumena.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$= \frac{81 \text{ g}}{30 \text{ cm}^3}$$

$$= \mathbf{2,7 \text{ g cm}^{-3}}.$$

1.10. Vidi STEHIOMETRIJA

Gustoća je omjer mase i volumena.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Odavde proizlazi:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$= \frac{1000 \text{ g}}{13,5462 \text{ g cm}^{-3}}$$

$$= \mathbf{73,82 \text{ cm}^3}.$$

1.11. Vidi STEHIOMETRIJA

Kako je $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$, proizlazi:

$$\begin{aligned} \rho(\text{Fe}) &= 7,87 \text{ g cm}^{-3} \\ &= \mathbf{7,87 \text{ g mL}^{-1}}. \end{aligned}$$

1.12. Vidi STEHIOMETRIJA

Zadano je:

$$\begin{aligned}m(\text{uzorak, zrak}) &= 12 \text{ g}, \\m(\text{uzorak, voda}) &= 7 \text{ g}, \\m(\text{uzorak, ulje}) &= 8 \text{ g}, \\\rho(\text{zrak, } 20^\circ\text{C}) &= 1,29 \text{ g dm}^{-3} \\\rho(\text{voda, } 20^\circ\text{C}) &= 0,998 \text{ 23 g cm}^{-3}\end{aligned}$$

Traži se:

$$\rho(\text{uzorak}) = \frac{m(\text{uzorak})}{V(\text{uzorak})}$$

$$\rho(\text{ulje}) = \frac{m(\text{ulje})}{V(\text{ulje})}$$

Prema Arhimedovu zakonu volumen istisnute tekućine jednak je volumenu uzorka uronjenog u tekućinu. Iz uvjeta zadatka proizlazi:

$$\begin{aligned}m(\text{voda}) &= m(\text{uzorak, zrak}) - m(\text{uzorak, voda}) \\&= 12 \text{ g} - 7 \text{ g} \\&= 5 \text{ g}\end{aligned}$$

Volumen istisnute vode jednak je volumenu uzorka. Kako je gustoća vode $\rho(\text{voda, } 20^\circ\text{C}) = 0,998 \text{ 23 g cm}^{-3}$, proizlazi:

$$V(\text{uzorak}) = \frac{m(\text{voda})}{\rho(\text{voda, } 20^\circ\text{C})} = \frac{5 \text{ g}}{0,998 \text{ 23 g cm}^{-3}} = 5,0089 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned}\rho(\text{uzorak}) &= \frac{m(\text{uzorak, zrak})}{V(\text{uzorak})} + 0,0012 \text{ g cm}^{-3} = \frac{12 \text{ g}}{5,0089 \text{ cm}^3} + 0,0012 \text{ g cm}^{-3} \\&= \mathbf{2,397 \text{ g cm}^{-3}}\end{aligned}$$

Prisjetimo se Arhimedova zakona: "Težina tijela uronjenog u vodu smanji se onoliko koliko teži istisnuta voda".

Iz omjera smanjenja težine tijela uronjena u ulje i vodu proizlazi:

$$\rho(\text{ulje}) : \rho(\text{voda}) = 4 : 5$$

$$\begin{aligned}\rho(\text{ulje}) &= \frac{4 \times \rho(\text{voda})}{5} = \frac{4 \times 0,998 \text{ 23 g cm}^{-3}}{5} \\&= \mathbf{0,7986 \text{ g cm}^{-3}}.\end{aligned}$$

1.12. Vidi STEHIOMETRIJA

Rezultat je dobiven mjerenjem na vagi jednakih krakova. Gustoća stakla i utega je velika, dok je gustoća vode mala. Silu uzgona na utege i staklo možemo zanemariti. Naprotiv na vodu i otopinu sumporne kiseline djeluje sila uzgona. U uvjetima eksperimenta jednaka sila uzgona djeluje na vodu i otopinu sumporne kiseline u tikvici. Odavde proizlazi da je omjer gustoće sumporne kiseline i gustoće vode jednak omjeru mase sumporne kiseline i mase vode sadržane u tikvici.

$$\rho(\text{otop. H}_2\text{SO}_4) : \rho(\text{voda}) = 786 \text{ g} : 500 \text{ g}$$

Odavde proizlazi:

$$\begin{aligned}\rho(\text{otop. H}_2\text{SO}_4) &= \frac{786 \times \rho(\text{voda})}{500} \\ &= \frac{786 \times 0,998 \text{ 23 g cm}^{-3}}{500} \\ &= \mathbf{1,569 \text{ g cm}^{-3}}.\end{aligned}$$

1.14. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz uvjeta zadatka proizlazi:

masa suhoga piknometra	$m_1 = 15,482 \text{ g},$
masa piknometra s vodom pri 20 °C	$m_2 = 34,186 \text{ g},$
masa piknometra s nepoznatom tekućinom	$m_3 = 33,656 \text{ g},$
gustoća vode pri 20°C	$\rho(\text{voda}) = 0,9982 \text{ g cm}^{-3},$
gustoća zraka pri 20 °C	$\rho(\text{zrak}) = 0,0012 \text{ g cm}^{-3}.$

Da bismo odredili gustoću tekućine moramo poznavati njezinu masu i volumen. Masu vode u piknometru, m_4 , doznajemo iz razlike mase piknometra s vodom i mase praznog piknometra.

$$\begin{aligned} \text{masa vode u piknometru} \quad m_4 &= m_2 - m_1 \\ &= 34,186 \text{ g} - 15,482 \text{ g} \\ &= 18,704 \text{ g}. \end{aligned}$$

Dobivena vrijednost za masu vode u piknometru nije točno izmjerena, jer je u uvjetima eksperimenta na tekućinu djelovala sila uzgona, koja je bila veća od sile uzgona koja je djelovala na utege. Korekciju zbog uzgona možemo unijeti u podatak o mjerenju mase ili u podatak za gustoću vode. Da smo u istim uvjetima određivali gustoću vode, uz točno poznat volumen piknometra, dobivena vrijednost gustoće vode bila bi manja za vrijednost gustoće zraka pri istoj temperaturi. Odavde slijedi da je točan volumen piknometra:

$$\begin{aligned} V_{\text{piknometra}} &= \frac{18,704 \text{ g}}{0,9982 \text{ g cm}^{-3} - 0,0012 \text{ g cm}^{-3}} \\ &= 18,76 \text{ cm}^3. \end{aligned}$$

Masu tekućine, kojoj određujemo gustoću, m_5 , dobijemo tako da od mase otopine s tekućinom, m_3 , odbijemo masu praznoga piknometra, m_1 .

$$\begin{aligned} \text{masa tekućine u piknometru} \quad m_5 &= m_3 - m_1 \\ &= 33,656 \text{ g} - 15,482 \text{ g} \\ &= 18,174 \text{ g}. \end{aligned}$$

Za gustoću nepoznate tekućine konačno dobivamo:

$$\begin{aligned} \rho(\text{tekućina}) &= \frac{m_3 - m_1}{V_{\text{piknometra}}} + 0,0012 \text{ g cm}^{-3} \\ &= \frac{18,174 \text{ g}}{18,76 \text{ cm}^3} + 0,0012 \text{ g cm}^{-3} \\ &= 0,9700 \text{ g cm}^{-3} \end{aligned}$$

$$d(\text{tekućina, voda}) = 0,9700 \text{ g cm}^{-3} / 0,9982 \text{ g cm}^{-3} = \mathbf{0,9717}.$$

1.15. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz uvjeta zadatka proizlazi:

masa suhog piknometra	$m_1 = 10,545 \text{ g},$
masa piknometra s vodom	$m_2 = 19,856 \text{ g},$
masa piknometra s nepoznatom tekućinom	$m_3 = 25,436 \text{ g},$
gustoća vode pri 20°C	$\rho(\text{voda}) = 0,9982 \text{ g cm}^{-3},$
gustoća zraka pri 20 °C	$\rho(\text{zrak}) = 0,0012 \text{ g cm}^{-3}.$

Postupamo na isti način kao u prethodnom zadatku.

$$\begin{aligned} \text{masa vode u piknometru} \quad m_4 &= m_2 - m_1 \\ &= 19,856 \text{ g} - 10,545 \text{ g}, \\ &= 9,311 \text{ g}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{piknometra}} &= \frac{m(\text{voda})}{\rho(\text{voda})} = \frac{9,311 \text{ g}}{0,9982 \text{ g cm}^{-3} - 0,0012 \text{ g cm}^{-3}} \\ &= 9,339 \text{ cm}^3. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho(\text{tekućina}) &= \frac{m_3 - m_1}{V_{\text{piknometra}}} + 0,0012 \text{ g cm}^{-3} \\ &= \frac{25,436 \text{ g} - 10,545 \text{ g}}{9,339 \text{ cm}^3} + 0,0012 \text{ g cm}^{-3} \\ &= \mathbf{1,596 \text{ g cm}^{-3}}. \end{aligned}$$

1.16. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz uvjeta zadatka proizlazi:

masa piknometra s metilen-jodidom, CH_2I_2	$m_1 = 12,448 \text{ g},$
masa piknometra s metilen-jodidom i krutim uzorkom	$m_2 = 15,682 \text{ g},$
masa uzorka na zraku	$m_3 = 5,644 \text{ g},$
gustoća metilen-jodida pri 20°C	$\rho(\text{CH}_2\text{I}_2) = 3,228 \text{ g cm}^{-3}.$
gustoća zraka pri 20°C	$\rho(\text{zrak}) = 0,0012 \text{ g cm}^{-3}.$

Da bismo doznali gustoću uzorka, osim mase uzorka, potrebno je doznati njegov volumen. Znamo da je masa uzorka na zraku, $m_3 = 5,644 \text{ g}$.

Ako od mase piknometra s krutim uzorkom i metilen-jodidom, m_2 , odbijemo masu krutog uzorka, m_3 , dobit ćemo masu metilen-jodida, m_4 , u piknometru s uzorkom.

$$\begin{aligned} m_4 &= m_2 - m_3 \\ &= 15,682 \text{ g} - 5,644 \text{ g} \\ &= 10,038 \text{ g}. \end{aligned}$$

Masa istisnutog metilen jodida, m_5 , jednaka je razlici mase piknometra napunjena s metilen jododom, m_1 , i mase metilen jodida u piknometru s uzorkom, m_4 .

$$\begin{aligned} m_5 &= m_1 - m_4 \\ &= 12,448 \text{ g} - 10,038 \text{ g} \\ &= 2,410 \text{ g} \end{aligned}$$

Volumen istisnutog metilen jodida jednak je volumenu krutog uzorka. Podijelimo li masu istisnutog metilen jodida, m_5 , njegovom gustoćom dobivamo volumen uzorka.

$$\begin{aligned} V_{\text{uzorak}} &= m_5 / \rho(\text{CH}_2\text{I}_2) \\ &= 2,410 \text{ g} / 3,228 \text{ g cm}^{-3} \\ &= 0,7466 \text{ cm}^3. \end{aligned}$$

Za gustoću uzorka konačno dobivamo

$$\begin{aligned} \rho_{\text{uzorak}} &= \frac{m_{\text{uzorak}}}{V_{\text{uzorak}}} + 0,0012 \text{ g cm}^{-3} \\ &= \frac{5,644 \text{ g}}{0,7466 \text{ cm}^3} + 0,0012 \text{ g cm}^{-3} \\ &= 7,561 \text{ g cm}^{-3}. \end{aligned}$$

1.17. Vidi STEHIOMETRIJA

Masu čiste HNO_3 , $m(\text{HNO}_3)$, izračunamo tako da masu otopine HNO_3 pomnožimo masenim udjelom HNO_3 u otopini.

$$m(\text{HNO}_3) = m(\text{otop. HNO}_3) \times w(\text{HNO}_3)$$

Masa zadanog volumena otopine HNO_3 , $m(\text{otop. HNO}_3)$, jednaka je umnošku volumena otopine i njezine gustoće.

$$m(\text{otop. HNO}_3) = V(\text{otop. HNO}_3) \times \rho(\text{otop. HNO}_3)$$

Odavde proizlazi:

$$m(\text{HNO}_3) = V(\text{otop. HNO}_3) \times \rho(\text{otop. HNO}_3) \times w(\text{HNO}_3)$$

Iz uvjeta zadatka proizlazi da je $w(\text{HNO}_3) = 67 \%$, a $V(\text{otop. HNO}_3) = 1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$, pa slijedi:

$$\begin{aligned} m(\text{HNO}_3) &= 1 \text{ cm}^3 \times 1,4004 \text{ g cm}^{-3} \times 0,67 \\ &= \mathbf{0,94 \text{ g}}. \end{aligned}$$

1.18. Vidi STEHIOMETRIJA

Maseni udio fosforne kiseline u otopini definiran je omjerom:

$$w(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{m(\text{otop. H}_3\text{PO}_4)}$$

Zadano je:

$$\begin{aligned} m(\text{H}_3\text{PO}_4) &= 1436 \text{ g} \\ V(\text{otop. H}_3\text{PO}_4) &= 1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3 \\ \rho(\text{otop. H}_3\text{PO}_4) &= 1,689 \text{ g cm}^{-3} \end{aligned}$$

Odavde proizlazi:

$$\begin{aligned} w(\text{H}_3\text{PO}_4) &= \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{\rho(\text{otop. H}_3\text{PO}_4) \times V(\text{otop. H}_3\text{PO}_4)} \\ &= \frac{1436 \text{ g}}{1,689 \text{ g cm}^{-3} \times 1000 \text{ cm}^3} \\ &= \mathbf{0,85 = 85 \%}. \end{aligned}$$

1.19. Vidi STEHIOMETRIJA

Gustoća otopine amonijaka definirana je omjerom:

$$\rho(\text{otop. NH}_3) = \frac{m(\text{otop. NH}_3)}{V(\text{otop. NH}_3)}$$

Maseni udio amonijaka u otopini je:

$$w(\text{NH}_3) = \frac{m(\text{NH}_3)}{m(\text{otop. NH}_3)}$$

Iz ove dvije jednačbe proizlazi:

$$\begin{aligned}\rho(\text{otop. NH}_3) &= \frac{m(\text{otop. NH}_3)}{V(\text{otop. NH}_3)} = \frac{m(\text{NH}_3)}{w(\text{NH}_3) \times V(\text{otop. NH}_3)} \\ &= \frac{255 \text{ g}}{0,2833 \times 1000 \text{ cm}^3} \\ &= \mathbf{0,900 \text{ g cm}^{-3}}.\end{aligned}$$

1.20. Vidi STEHIOMETRIJA

Prve dvije znamenke iza decimalnog zareza, broja koji označava gustoću klorovodične kiseline, pomnožena s 2 daju postotak klorovodika u otopini.

Primjerice:

U otopini klorovodične kiseline gustoće, $\rho(\text{otop. HCl}) = 1,16 \text{ g cm}^{-3}$, maseni je udio klorovodika u otopini približno, $w(\text{HCl}) = 32 \%$.

Obratno, 36-postotna otopina klorovodične kiseline ima gustoću približno $1,18 \text{ g cm}^{-3}$.

Treba upamtiti da **pravilo vrijedi samo za klorovodičnu kiselinu.**

1.21. Vidi STEHIOMETRIJA

Maseni udio klorovodične kiseline definiran je omjerom:

$$w(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{m(\text{otop. HCl})}$$

Masena koncentracija otopine klorovodične kiseline definirana je omjerom:

$$\gamma(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{V(\text{otop. HCl})}$$

Supstitucijom dobivamo:

$$w(\text{HCl}) = \frac{\gamma(\text{HCl}) \times V(\text{otop. HCl})}{m(\text{otop. HCl})}$$

Kako je

$$\rho(\text{otop. HCl}) = \frac{m(\text{otop. HCl})}{V(\text{otop. HCl})}$$

konačno proizlazi

$$w(\text{HCl}) = \frac{\gamma(\text{HCl})}{\rho(\text{otop. HCl})}$$

$$\begin{aligned} w(\text{HCl}) &= \frac{371 \text{ g dm}^{-3}}{1159,3 \text{ g dm}^{-3}} \\ &= 0,32 = \mathbf{32 \%} \end{aligned}$$

1.22. Vidi STEHIOMETRIJA

Da bismo doznali debljinu sloja nikla volumen nikla treba podijeliti površinom pločice. Volumen nikla dobit ćemo iz omjera:

$$V(\text{Ni}) = \frac{m(\text{Ni})}{\rho(\text{Ni})}$$

Debljina sloja nikla, δ , jednaka je omjeru volumena nikla, $V(\text{Ni})$, i površine pločice, A .

$$\delta = \frac{V(\text{Ni})}{A}$$

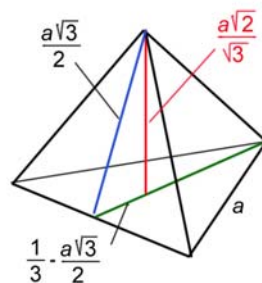
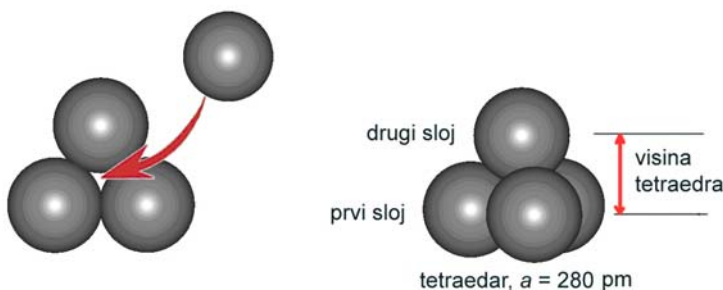
Supstitucijom dobivamo

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{m(\text{Ni})}{\rho(\text{Ni}) \times A} \\ &= \frac{5 \times 10^{-3} \text{ g}}{8,9 \text{ g cm}^{-3} \times 20 \text{ cm}^2} \\ &= 2,8 \times 10^{-5} \text{ cm} = 2,8 \times 10^{-7} \text{ m} = 2,8 \times 10^5 \text{ pm} \end{aligned}$$

Ako je radijus atoma nikla 140 pm proizlazi da je na pločicu nanoseno oko **1000 slojeva atoma**.

$$N = \frac{2,8 \times 10^5 \text{ pm}}{1,4 \times 10^2 \text{ pm}} = 10^3$$

Stvaran broj slojeva atoma nikla je nešto veći. Atomi nikla su kuglice koje se slažu na najgušći mogući način tako da u praznine prvog sloja upadaju atomi drugog sloja. Zato je debljina pojedinog atomskog sloja jednaka visini tetraedra s bridom 280 pm.



Kako je visina tetraedra, h

$$h = a \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 280 \text{ pm} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 228,6 \text{ pm}$$

proizlazi

$$N = \frac{2,8 \times 10^5 \text{ pm}}{228,6 \text{ pm}} \approx \mathbf{1225}$$

23. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije volumen žive sadržane u kapilari.

$$V(\text{Hg}) = \frac{m(\text{Hg})}{\rho(\text{Hg})} = \frac{2,958 \text{ g} - 2,460 \text{ g}}{13,5462 \text{ g cm}^{-3}}$$

$$= 0,03676 \text{ cm}^3$$

$$= 36,76 \text{ mm}^3$$

Promjer kapilare jednak je promjeru valjka volumena $V = 36,76 \text{ mm}^3$ i visine $h = 45,73 \text{ mm}$. Kako je volumen valjka:

$$V = r^2 h \pi$$

proizlazi

$$r^2 = V / h \pi$$

$$= \frac{36,76 \text{ mm}^3}{45,73 \text{ mm} \times \pi} = 0,2559 \text{ mm}^2$$

$$r = 0,5058 \text{ mm}$$

$$d = 1,012 \text{ mm.}$$

24. Vidi STEHIOMETRIJA

Iskažimo najprije masu sumporne kiseline u traženoj razrijeđenoj otopini.

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) \times \rho_1(\text{otop. H}_2\text{SO}_4) \times V_1(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

Ista masa sumporne kiseline mora biti sadržana u koncentriranoj otopini.

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = w_o(\text{H}_2\text{SO}_4) \times \rho_o(\text{otop. H}_2\text{SO}_4) \times V_o(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

Supstitucijom dobivmo:

$$w_o(\text{H}_2\text{SO}_4) \times \rho_o(\text{H}_2\text{SO}_4) \times V_o(\text{H}_2\text{SO}_4) = w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) \times \rho_1(\text{H}_2\text{SO}_4) \times V_1(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

Traži se volumen koncentrirane sumporne kiseline, $V_o(\text{H}_2\text{SO}_4)$, koji treba razrijediti da bi se dobio zadani volumen otopina tražene koncentracije. Prema tome dobivamo:

$$V_o(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{w_1(\text{H}_2\text{SO}_4) \times \rho_1(\text{H}_2\text{SO}_4) \times V_1(\text{H}_2\text{SO}_4)}{w_o(\text{H}_2\text{SO}_4) \times \rho_o(\text{H}_2\text{SO}_4)}$$

Uvrstimo zadane podatke pa dobivamo:

$$V_o(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0,323 \times 1,24 \text{ g cm}^{-3} \times 1000 \text{ cm}^3}{0,960 \times 1,84 \text{ g cm}^{-3}}$$

$$= 227 \text{ cm}^3.$$

25. Vidi STEHIOMETRIJA

Termodinamička i Celsiusova temperatura u sljedećem su odnosu:

$$T/K = t/^{\circ}\text{C} + 273,15$$

Prema tome vrijedi:

$$T_{\text{trs}}/K = 95,6 + 273,15$$

$$T_{\text{fus}}/K = 119,0 + 273,15$$

$$T_{\text{trs}}/K = 200 + 273,15$$

$$T_{\text{fus}}/K = 400 + 273,15$$

$$T_{\text{vap}}/K = 444,6 + 273,15$$

$$T_{\text{trs}}/K = 500 + 273,15$$

$$T_{\text{trs}}/K = 650 + 273,15$$

Subskripti imaju sljedeće značenje:

trs	fazni prijelaz	(eng. <i>transition</i>)
fus	taljenje	(eng. <i>fusion</i>)
vap	isparavanje	(eng. <i>vaporization</i>)

2. RELATIVNA ATOMSKA I MOLEKULSKA MASA

2.1. Vidi STEHIOMETRIJA

Mol (simbol n) je ona množina (engl. *amount* — količina) tvari definirane kemijske formule, koja sadržava isto toliko jedinki, koliko ima atoma u točno 0,012 kg izotopa ugljika ^{12}C .

Kada odvagamo onoliko grama neke tvari definirane kemijske formule, kolika je njezina relativna molekulska masa, M_r , odvagali smo upravo 1 mol te tvari, odnosno $6,022 \times 10^{23}$ jedinki navedene formule.

Prema tome, molarna je masa, M , definirana je izrazom

$$M = M_r \text{ g mol}^{-1},$$

gdje je: M = molarna masa tvari, M_r = relativna molekulska masa tvari.

Iz tablice periodnog sustava elemenata možemo neposredno pročitati relativne atomske mase elemenata. Odvažemo li onoliko grama pojedinog elementa kolika je njegova relativna atomska masa, odvagali smo 1 mol dotičnog elementa.

Za 1 mol bakra treba odvagati **63,55 g bakra**.

Za 1 mol srebra treba odvagati **107,9 g srebra**.

Za 1 mol željeza treba odvagati **55,85 g željeza**.

itd.

2.2. Vidi STEHIOMETRIJA

Molarna masa tvari B, $M(\text{B})$, jednaka je omjeru mase uzorka tvari B i množine tvari, $n(\text{B})$, odnosno:

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

Odavde proizlazi da je množina tvari, n , jednaka je omjeru mase i molarne mase.

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

Odvage od 20 g nabrojanih elemenata jesu sljedeće množine tvari:

$$n(\text{Al}) = \frac{m(\text{Al})}{M(\text{Al})} = \frac{20 \text{ g}}{26,98 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,741 \text{ mol}},$$

$$n(\text{Sb}) = \frac{m(\text{Sb})}{M(\text{Sb})} = \frac{20 \text{ g}}{121,8 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,164 \text{ mol}},$$

itd.

2.3. Vidi STEHIOMETRIJA

Množina uzorka tvari B, $n(B)$, jednaka je omjeru mase uzorka tvari B, $m(B)$, i molarne mase tvari B, $M(B)$.

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

Množina tvari u uzorku berilija, $n(\text{Be})$ jednaka omjeru njegove mase, $m(\text{Be})$, i molarne mase, $M(\text{Be})$.

$$n(\text{Be}) = \frac{m(\text{Be})}{M(\text{Be})} = \frac{4,4 \text{ g}}{9,012 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,488 \text{ mol}}$$

$$n(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{6 \text{ g}}{12 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,5 \text{ mol}}$$

itd.

2.4. Vidi STEHIOMETRIJA

Relativna molekulska masa bilo koje formulske jedinice dobije se tako da se zbroje realativne atomske mase svih atoma koji čine jednu formulsku jedinku.

U slučaju srebrova klorida relativna molekulska masa formulske jedinice AgCl, $M_r(\text{AgCl})$, dobije se zbrajanjem realativne atomske mase srebra i relativne atomske mase klora.

$A_r(\text{Ag})$	107,9
$A_r(\text{Cl})$	35,45
$M_r(\text{AgCl})$	<hr/> 143,35

Molarna masa srebrova klorida, $M(\text{AgCl})$, dobije se tako da se relativna molekulska masa formulske jedinice AgCl, $M_r(\text{AgCl})$, izrazi jedinicom g mol^{-1}

$$M_r(\text{AgCl}) \quad 143,35 \text{ g mol}^{-1}$$

Množina uzorka tvari B, $n(B)$, jednaka je omjeru mase uzorka tvari B, $m(B)$, i molarne mase tvari B, $M(B)$.

$$n(\text{AgCl}) = \frac{m(\text{AgCl})}{M(\text{AgCl})} = \frac{100 \text{ g}}{143,35 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,698 \text{ mol.}}$$

2.5. Vidi STEHIOMETRIJA

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

Odavde proizlazi

$$\begin{aligned} m(\text{AgCl}) &= n(\text{AgCl}) \times M(\text{AgCl}) \\ &= 0,4 \text{ mol} \times 143,35 \text{ g mol}^{-1} \\ &= \mathbf{57,34 \text{ g.}} \end{aligned}$$

2.6. Vidi STEHIOMETRIJA

Relativnu molekulsku masu formulske jedinice K_2SO_4 dobijemo tako da zbrojimo realativne atomske mase svih atoma u formulskoj jedinici.

$2 \times A_r(\text{K})$	$2 \times 39,10$	78,20
$1 \times A_r(\text{S})$	$1 \times 32,06$	32,06
$4 \times A_r(\text{O})$	$4 \times 15,99$	63,96
$M_r(\text{K}_2\text{SO}_4)$		<hr/> 174,22

Za množinu kalijeva sulfata dobivamo:

$$n(\text{K}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{K}_2\text{SO}_4)}{M(\text{K}_2\text{SO}_4)} = \frac{250 \text{ g}}{174,22 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{1,435 \text{ mol.}}$$

2.7. Vidi STEHIOMETRIJA

$$M_r(\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}) = 219,1$$

$$\begin{aligned} n(\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}) &= \frac{m(\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O})}{M(\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O})} = \frac{1,5 \text{ g}}{219,1 \text{ g mol}^{-1}} = 6,85 \times 10^{-3} \text{ mol} \\ &= \mathbf{6,85 \times 10^{-6} \text{ kmol.}} \end{aligned}$$

2.8. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\begin{aligned}M_r(\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) &= 280,9 \\A_r(\text{S}) &= 32,06\end{aligned}$$

Izračunajmo najprije množinu niklova(II) sulfata heptahidrata.

$$n(\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O})}{M(\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O})} = \frac{1000 \text{ g}}{280,9 \text{ g mol}^{-1}} = 3,560 \text{ mol}$$

Formulska jedinka sadržava 1 atom sumpora, pa 3,560 mola niklova(II) sulfata heptahidrata sadržava isto toliko mola sumpora. Prema tome masa kemijski vezanog sumpora u 1 kg niklova(II) sulfata heptahidrata je:

$$m(\text{S}) = n(\text{S}) \times M(\text{S}) = 3,560 \text{ mol} \times 32,06 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{114,1 \text{ g}}.$$

2.9. Vidi STEHIOMETRIJA

$$M_r(\text{H}_2\text{O}) = 18$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{1000 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{55,55 \text{ mol}}.$$

2.10. Vidi STEHIOMETRIJA

Najprije treba izračunati masu čiste H_2SO_4 u 1 litri 96 %-tne sumporne kiseline, čija je gustoća $1,84 \text{ g cm}^{-3}$.

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = w(\text{H}_2\text{SO}_4) \times V(\text{H}_2\text{SO}_4) \times \rho(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

Množina H_2SO_4 definirana je omjerom

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)}$$

Kako je $M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98$, konačno slijedi:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{w(\text{H}_2\text{SO}_4) \times V(\text{H}_2\text{SO}_4) \times \rho(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)}$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0,96 \times 1000 \text{ cm}^3 \times 1,84 \text{ g cm}^{-3}}{98 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$= \mathbf{18,02 \text{ mol}}.$$

2.11. Vidi STEHIOMETRIJA

Zadatak rješavamo po istom načelu kao u zadatku 2.10.

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{w(\text{H}_2\text{SO}_4) \times V(\text{H}_2\text{SO}_4) \times \rho(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)}$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0,28 \times 1000 \text{ cm}^3 \times 1,202 \text{ g cm}^{-3}}{98 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$= \mathbf{3,43 \text{ mol.}}$$

2.12. Vidi STEHIOMETRIJA

Relativna atomska masa olova je: $A_r(\text{Pb}) = 207,2$

Relativna atomska masa kisika je: $A_r(\text{O}) = 16,0$

Relativna molekulska masa PbO je: $M_r(\text{PbO}) = 223,2$

Maseni udio olova u olovovu(II) oksidu je:

$$w(\text{Pb, PbO}) = \frac{A_r(\text{Pb})}{M_r(\text{PbO})} = \frac{207,2}{223,2} = \frac{207,2 \text{ g mol}^{-1}}{223,2 \text{ g mol}^{-1}} = 0,928$$

$$m(\text{Pb, PbO}) = w(\text{Pb, PbO}) \times m(\text{PbO}) = 0,928 \times 1000 \text{ kg} \\ = 928 \text{ kg.}$$

Iz 1000 kg PbO može se dobiti **928 kg Pb**.

2.13. Vidi STEHIOMETRIJA

Postupamo po istom načelu kao u zadatku 2.12.

$$2 \times A_r(\text{Cr}) = 2 \times 52,0 = 104,0$$

$$3 \times A_r(\text{O}) = 3 \times 16,0 = 48,0$$

$$M_r(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 152,0$$

$$w(\text{Cr, Cr}_2\text{O}_3) = \frac{A_r(\text{Cr})}{M_r(\text{Cr}_2\text{O}_3)} = \frac{104,0}{152,0} = \frac{104,0 \text{ g mol}^{-1}}{152,0 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,684}$$

$$m(\text{Cr, Cr}_2\text{O}_3) = w(\text{Cr, Cr}_2\text{O}_3) \times m(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 0,684 \times 5000 \text{ kg} \\ = \mathbf{3421 \text{ kg.}}$$

2.14. Vidi STEHIOMETRIJA

$$A_r(\text{Ni}) = 58,7$$

$$M_r(\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) = 280,9$$

Kako je:

$$n(\text{Ni}) = n(\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O})$$

Iz 1 mola nikla može se pripremiti 1 mol niklova(II) sulfata heptahidrata, odnosno:

$$\begin{aligned} m(\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) &= n(\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) \times M(\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) \\ &= 1 \text{ mol} \times 280,9 \text{ g mol}^{-1} \\ &= \mathbf{280,9 \text{ g}}. \end{aligned}$$

2.15. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije masu kisika sadržanu u dobivenom oksidu. Iz uvjeta zadatka proizlazi:

$$\begin{aligned} m(\text{O}) &= m(\text{oksid}) - m(\text{P}) \\ &= 14,19 \text{ g} - 6,19 \text{ g} \\ &= 8,00 \text{ g}. \end{aligned}$$

Množine fosfora i kisika u spoju nalaze se u sljedećem odnosu:

$$\begin{aligned} n(\text{P}) : n(\text{O}) &= \frac{m(\text{P})}{M_r(\text{P})} : \frac{m(\text{O})}{M_r(\text{O})} \\ &= \frac{6,19 \text{ g}}{30,97 \text{ g mol}^{-1}} : \frac{8,00 \text{ g}}{16,00 \text{ g mol}^{-1}} \\ &= 0,2 \text{ mol} : 0,5 \text{ mol} \\ &= 2 \text{ mol} : 5 \text{ mol} \end{aligned}$$

Empirijska formula dobivenog fosforova oksida je **P₂O₅**.

Empirijska formula ne mora biti i molekulska formula. Molekulska formula fosforova(V) oksida je **P₄O₁₀**.

2.16. Vidi STEHIOMETRIJA

$$m(S) = w(S) \times m(\text{pirit})$$

$$n(S) = n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(S)}{M(S)}$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{H}_2\text{SO}_4) \times M(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

Odavde proizlazi:

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{w(S) \times m(\text{pirit})}{M(S)} \times M(\text{H}_2\text{SO}_4) \\ &= \frac{0,40 \times 10^5 \text{ kg}}{0,032 \text{ kg mol}^{-1}} \times 0,098 \text{ kg mol}^{-1} \\ &= 122\,500 \text{ kg } 100\text{-postotne } \text{H}_2\text{SO}_4 \end{aligned}$$

odnosno **127 604 kg 96-postotne H_2SO_4 .**

2.17. Vidi STEHIOMETRIJA

Prosječna masa atoma nekog elementa dobije se tako da se njegova molarna masa podijeli Avogadrovom konstantom.

$$m_a = M/N_A$$

$$\begin{aligned} m_a(\text{He}) &= \frac{M(\text{He})}{N_A} \\ &= \frac{4,003 \text{ g mol}^{-1}}{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \\ &= \mathbf{6,647 \times 10^{-24} \text{ g.}} \end{aligned}$$

itd.

2.18. Vidi STEHIOMETRIJA

Najprije treba zadanu masu elementa, $m(B)$, iskazati množinom, $n(B)$.

$$n(B) = \frac{m(B)}{M(B)}$$

Jedan mol sadrži $6,022 \times 10^{23}$ formulskih jedinki definirane kemijske formule, pa slijedi da će izračunana množina elementa B sadržavati proporcionalan broj atoma.

$$N(B) = n(B) \times N_A,$$

Za vodik tako dobivamo:

$$\begin{aligned} N(H) &= n(H) \times N_A = \frac{m(H)}{M(H)} \times N_A \\ &= \frac{0,001 \text{ g}}{1,008 \text{ g mol}^{-1}} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\ &= \mathbf{5,97 \times 10^{20}}. \end{aligned}$$

itd.

2.19. Vidi STEHIOMETRIJA

Najprije moramo izračunati množinu uranija u 1 mg uranija, potom brojnost atoma urana i konačno pomnožiti dijametrom atoma uranija.

$$n(U) = \frac{m(U)}{M(U)}$$

$$N(U) = n(U) \times N_A$$

Odavde proizlazi:

$$\begin{aligned} N(U) &= \frac{m(U)}{M(U)} \times N_A = \frac{0,001 \text{ g}}{238,0 \text{ g mol}^{-1}} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\ &= 2,530 \times 10^{18} \end{aligned}$$

Za duljinu lanca konačno dobivamo:

$$\begin{aligned} l(\text{lanca atoma U}) &= 2 \times r(U) \times N(U) \\ &= 2 \times 152 \times 10^{-15} \text{ km} \times 2,530 \times 10^{18} \\ &= \mathbf{769 \times 10^3 \text{ km}}. \end{aligned}$$

2.20. Vidi STEHIOMETRIJA

Ako Avogadrov broj podijelimo sa brojem atoma odbrojenih u jednoj sekundi, $6 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$, dobivamo potreban broj sekunda koje tad treba izraziti u godinama.

$$t = \frac{N}{6 \times 10^9 \text{ s}^{-1}} = \frac{6,022 \times 10^{23}}{6 \times 10^9 \text{ s}^{-1}} \approx 1,004 \times 10^{14} \text{ s}$$

Ako vrijeme u godinama izrazimo u sekundama dobivamo:

$$1 \text{ a} = 60 \times 60 \times 24 \times 365 \approx 3,15 \times 10^7 \text{ s}$$

Odavde proizlazi

$$t = \frac{1,004 \times 10^{14} \text{ s}}{3,15 \times 10^7 \text{ s a}^{-1}} = \mathbf{3,18 \times 10^6 \text{ a}}$$

2.21. Vidi STEHIOMETRIJA

Broj atoma molibdena dobijemo tako da duljinu 1 m podijelimo dijametrom atoma Mo.

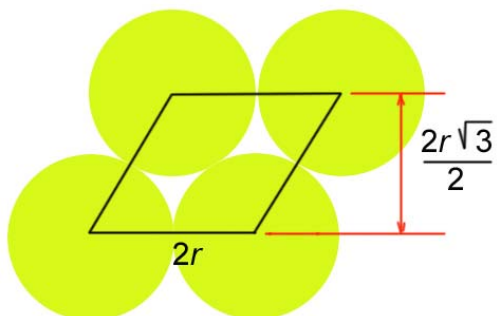
$$N(\text{atoma Mo}) = \frac{1 \text{ m}}{2 \times 139 \times 10^{-12} \text{ m}} = 3,597 \times 10^9$$

$$\begin{aligned} m(\text{Mo}) &= N(\text{atoma Mo}) \times \frac{M(\text{Mo}) 95,94 \text{ g mol}^{-1}}{N_A} \\ &= 3,597 \times 10^9 \times \frac{95,94 \text{ g mol}^{-1}}{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \\ &= \mathbf{5,73 \times 10^{-13} \text{ g.}} \end{aligned}$$

2.22. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\begin{aligned} l &= 2 \times r_a(\text{Au}) \times N \\ &= 2 \times 144 \times 10^{-12} \text{ m} \times 6,022 \times 10^{23} \\ &= \mathbf{1,734 \times 10^{14} \text{ m}} \end{aligned}$$

2.23. Vidi STEHIOMETRIJA



Površina koju zauzima 1 atom zlata je:

$$\begin{aligned}
 A_a(\text{Au}) &= 2r \times \frac{2r \times \sqrt{3}}{2} \\
 &= 288 \times 10^{-12} \text{ m} \times \frac{288 \times 10^{-12} \text{ m} \times \sqrt{3}}{2} \\
 &= 71831,6 \times 10^{-24} \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= A_a(\text{Au}) \times N = 71831,6 \times 10^{-24} \text{ m}^2 \times 6,022 \times 10^{23} \\
 &= 4,326 \times 10^4 \text{ m}^2.
 \end{aligned}$$

2.24. Vidi STEHIOMETRIJA

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{V(\text{H}_2\text{O}) \times \rho(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})}$$

$$N(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \times N_A$$

Odavde proizlazi:

$$\begin{aligned}
 N(\text{H}_2\text{O}) &= \frac{0,001 \text{ cm}^3 \times 1,0000 \text{ g cm}^{-3}}{18,0 \text{ g mol}^{-1}} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\
 &= 3,3455 \times 10^{19}
 \end{aligned}$$

2.25. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

$$n(\text{P}) = \frac{m(\text{P})}{M(\text{P})} = \frac{10 \text{ g}}{30,97 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,323 \text{ mol}}$$

b)

$$n(\text{P}_4) = \frac{m(\text{P}_4)}{M(\text{P}_4)} = \frac{10 \text{ g}}{4 \times 30,97 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,0807 \text{ mol}}$$

c)

$$N(\text{P}) = n(\text{P}) \times N_A = \frac{m(\text{P})}{M(\text{P})} \times N_A = \frac{10 \text{ g}}{30,97 \text{ g mol}^{-1}} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\ = \mathbf{1,944 \times 10^{23}}$$

d)

$$N(\text{P}_4) = n(\text{P}_4) \times N_A = \frac{m(\text{P}_4)}{M(\text{P}_4)} \times N_A = \frac{10 \text{ g}}{4 \times 30,97 \text{ g mol}^{-1}} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\ = \mathbf{4,861 \times 10^{22}}$$

2.26. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\begin{aligned}m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) &= w(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \times m(\text{uzorak}) \\&= 0,96 \times 1 \text{ g} \\&= 0,96 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) &= n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \times N_A = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})} \times N_A \\&= \frac{0,96 \text{ g}}{46,07 \text{ g mol}^{-1}} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\&= 0,1255 \times 10^{23}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m(\text{H}_2\text{O}) &= w(\text{H}_2\text{O}) \times m(\text{uzorak}) \\&= 0,04 \times 1 \text{ g} \\&= 0,04 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N(\text{H}_2\text{O}) &= n(\text{H}_2\text{O}) \times N_A = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} \times N_A \\&= \frac{0,04 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\&= 0,0134 \times 10^{23}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}N(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + N(\text{H}_2\text{O}) &= 0,1255 \times 10^{23} + 0,0134 \times 10^{23} \\&= 0,1389 \times 10^{23}\end{aligned}$$

Bolje je postaviti cijeli izraz nego računati korak po korak uz zaokruživanje međurezultata.

$$n = n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,96 \text{ g}}{46,07 \text{ g mol}^{-1}} + \frac{0,04 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$N = n \times N_A = \left(\frac{0,96 \text{ g}}{46,07 \text{ g mol}^{-1}} + \frac{0,04 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} \right) \times 6,022 \times 10^{23} = \mathbf{0,1389 \times 10^{23}}$$

2.27. Vidi STEHIOMETRIJA

Potrebno je izračunati brojnost molekula šećera i podijeliti volumenom bazena

Misli se na običan šećer ili saharozu, $C_{12}H_{22}O_{11}$.

$$M_r(C_{12}H_{22}O_{11}) = 342,30$$

$$N(\text{saharoza}) = \frac{m(\text{saharoza})}{M(\text{saharoza})} \times N_A$$

$$= \frac{1 \text{ g}}{342,30 \text{ g mol}^{-1}} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 1,759 \times 10^{21}$$

$$\frac{N(\text{saharoza})}{V(\text{bazen})} = \frac{1,759 \times 10^{21}}{10^{12} \text{ mL}} = 1,759 \times 10^9 \text{ mL}^{-1}$$

1 mL te otopine sadržava **$1,759 \times 10^9$** molekula šećera.

2.28. Vidi STEHIOMETRIJA

Relativna molekulska masa polimera je:

$$\begin{array}{r} 1200 \times A_r(C) = 14\,400 \\ 2000 \times A_r(H) = 2\,000 \\ 1000 \times A_r(O) = 16\,000 \\ \hline 32\,000 \end{array}$$

$$m(\text{molekule polimera}) = \frac{M}{N_A} = \frac{32\,000 \text{ g mol}^{-1}}{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 5,3 \times 10^{-20} \text{ g}$$

2.29. Vidi STEHIOMETRIJA

$$M_r(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = 249,68$$

$$n(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = \frac{m(CuSO_4 \cdot 5H_2O)}{M_r(CuSO_4 \cdot 5H_2O)} = \frac{100 \text{ g}}{249,68 \text{ g mol}^{-1}} = 0,400 \text{ mol}$$

$$n(Cu) = 0,400 \text{ mol}$$

$$n(S) = 0,400 \text{ mol}$$

$$n(O) = 3,600 \text{ mol}$$

$$n(H) = 4,000 \text{ mol}$$

2.30. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo masu jedne molekule i pomnožimo Avogadrovom konstantom pa ćemo dobiti molekulsku masu virusa.

$$\begin{aligned}M &= V \times \rho \times N_A \\&= r^2 \times \pi \times h \times \rho \times N_A \\&= (7,5 \times 10^{-9} \text{ m})^2 \times \pi \times (300 \times 10^{-9} \text{ m}) \times 1,37 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\&= 4,37 \times 10^4 \text{ kg mol}^{-1} \\&= 4,37 \times 10^7 \text{ g mol}^{-1}\end{aligned}$$

$$M_r = 4,37 \times 10^7$$

2.31. Vidi STEHIOMETRIJA

Treba izračunati masu jedne elementarne ćelije i podijeliti masom jednog atoma.

$$m_a(\text{Cu}) = \frac{M(\text{Cu})}{N_A}$$

$$m_{\text{cell}}(\text{Cu}) = a^3 \times \rho$$

$$N(\text{Cu}) = \frac{m_{\text{cell}}(\text{Cu})}{m_a(\text{Cu})} = \frac{a^3 \times \rho \times N_A}{M(\text{Cu})}$$

$$\begin{aligned}&= \frac{(361 \times 10^{-12} \text{ m})^3 \times 8920 \text{ kg m}^{-3} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{63,55 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} \\&\approx 3,98 = 4.\end{aligned}$$

Jedna elementarna ćelija kristalne rešetke bakra sadržava **4 atoma bakra**.

2.32. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo na isti način kao u zadatku 2.31.

$$\begin{aligned} N(\alpha\text{-Fe}) &= \frac{m_{\text{cell}}(\alpha\text{-Fe})}{m_a(\text{Fe})} = \frac{a^3 \times \rho \times N_A}{M(\text{Fe})} \\ &= \frac{(286,6 \times 10^{-12} \text{ m})^3 \times 7860 \text{ kg m}^{-3} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{55,85 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} \\ &\approx 1,99 = 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N(\gamma\text{-Fe}) &= \frac{m_{\text{cell}}(\gamma\text{-Fe})}{m_a(\text{Fe})} = \frac{a^3 \times \rho \times N_A}{M(\text{Fe})} \\ &= \frac{(364,7 \times 10^{-12} \text{ m})^3 \times 8160 \text{ kg m}^{-3} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{55,85 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} \\ &\approx 4,27 = 4. \end{aligned}$$

(Opaska: Mjerenja pri tako visokim temperaturama nisu dovoljno točna. Podaci za duljinu brida elementarne ćelije γ -željeza variraju od 343 pm do 365 pm, ovisno o temperaturi. Gustoća γ -željeza definitivno je veća od gustoće α - i δ -željeza, ali točno određivanje gustoće pri visokoj temperaturi također predstavlja problem. Zato se za broj atoma u elementarnoj ćeliji dobiju vrijednosti od 3,55 do 4,27, ali to znači da elementarna ćelija γ -željeza sadržava 4 atoma.)

$$\begin{aligned} N(\delta\text{-Fe}) &= \frac{m_{\text{cell}}(\delta\text{-Fe})}{m_a(\text{Fe})} = \frac{a^3 \times \rho \times N_A}{M(\text{Fe})} \\ &= \frac{(293,1 \times 10^{-12} \text{ m})^3 \times 7400 \text{ kg m}^{-3} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{55,85 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} \\ &\approx 2,01 = 2. \end{aligned}$$

2.33. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo na isti način kao u zadatku 2.31.

$$N(C) = \frac{m_{\text{cell}}(C)}{m_a(C)} = \frac{a^3 \times \rho \times N_A}{M(C)}$$

$$= \frac{(356,7 \times 10^{-12} \text{ m})^3 \times 3510 \text{ kg m}^{-3} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{12,00 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}}$$

$$\approx 7,99 = 8.$$

Jedna elementarna ćelija kristalne rešetke dijamanta sadržava **8 atoma ugljika**.

2.34. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo na isti način kao u zadatku 2.31.

$$N(\text{NaCl}) = \frac{m_{\text{cell}}(\text{NaCl})}{m_a(\text{NaCl})} = \frac{a^3 \times \rho \times N_A}{M(\text{NaCl})}$$

$$= \frac{(564 \times 10^{-12} \text{ m})^3 \times 2165 \text{ kg m}^{-3} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{58,44 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}}$$

$$= 4.$$

Jedna elementarna ćelija kristalne rešetke natrijeva klorida sadržava **4 ionska para NaCl**.

2.35. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo na isti način kao u zadatku 2.31.

$$N(\text{Fe}_3\text{C}) = \frac{m_{\text{cell}}(\text{Fe}_3\text{C})}{m_a(\text{Fe}_3\text{C})} = \frac{a \times b \times c \times \rho \times N_A}{M(\text{Fe}_3\text{C})}$$

$$= \frac{452 \times 509 \times 674 \times 10^{-36} \text{ m}^3 \times 7670 \text{ kg m}^{-3} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{179,55 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}}$$

$$\approx 3,99 = 4.$$

Jedna elementarna ćelija kristalne strukture cementita sadržava **4 formulske jedinice Fe₃C**.

7.36. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo na isti način kao u zadatku 2.31.

$$\begin{aligned} N(\text{Cr}_{23}\text{C}_6) &= \frac{m_{\text{cell}}(\text{Cr}_{23}\text{C}_6)}{m_{\text{a}}(\text{Cr}_{23}\text{C}_6)} = \frac{a^3 \times \rho \times N_{\text{A}}}{M(\text{Cr}_{23}\text{C}_6)} \\ &= \frac{(1\,066 \times 10^{-12} \text{ m})^3 \times 6970 \text{ kg m}^{-3} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{1268 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} \\ &= 4 \end{aligned}$$

Elementarna ćelija kristalne strukture kromova karbida sadržava **4 formulske jedinice Cr_{23}C_6** .

7.37. Vidi STEHIOMETRIJA

Ako masu jedne elementarne ćelije kristalne stukture nekog uzorka podijelimo masom svih atoma sadržanih u jednoj elementarnoj ćeliji, dobit ćemo gustoću tog uzorka.

Kako je:

$$m_{\text{a}} = \frac{M}{N_{\text{A}}}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

proizlazi

$$\begin{aligned} \rho(\text{Al}) &= \frac{4 \times m_{\text{a}}(\text{Al})}{a^3} = \frac{4 \times M(\text{Al})}{a^3 \times N_{\text{A}}} \\ &= \frac{4 \times 27 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}}{(405 \times 10^{-12} \text{ m})^3 \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \\ &= 2699,7 \text{ kg m}^{-3} \\ &= \mathbf{2,7 \text{ g cm}^{-3}} \end{aligned}$$

7.38. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo na jednak način kao u zadatku 7.37.

$$\begin{aligned}\rho(\text{Cr}) &= \frac{2 \times m_a(\text{Cr})}{a^3} = \frac{2 \times M(\text{Cr})}{a^3 \times N_A} \\ &= \frac{2 \times 52 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}}{(288,5 \times 10^{-12} \text{ m})^3 \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \\ &= 7192 \text{ kg m}^{-3} \\ &= \mathbf{7,192 \text{ g cm}^{-3}}.\end{aligned}$$

7.39. Vidi STEHIOMETRIJA

Ako masene udjele sastojaka spoja podijelimo njihovim relativnim atomskim masama dobit ćemo omjer broja atoma u spoju. Djeljenjem s najmanjim članom dobivamo cjelobrojčane omjere atoma u spoju. To je empirijska formula koja ne mora biti jednaka molekulskoj formuli.

$$\begin{aligned}N(\text{S}) : N(\text{O}) &= \frac{w(\text{S})}{A_r(\text{S})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})} \\ &= \frac{0,50}{32} : \frac{0,50}{16} \\ &= 0,0156 : 0,0312 \\ &= \mathbf{1 : 2}\end{aligned}$$

Formula prvog spoja je **SO₂**.

$$\begin{aligned}N(\text{S}) : N(\text{O}) &= \frac{w(\text{S})}{A_r(\text{S})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})} \\ &= \frac{0,40}{32} : \frac{0,60}{16} \\ &= 0,0125 : 0,0375 \\ &= \mathbf{1 : 3}\end{aligned}$$

Formula drugog spoja je **SO₃**.

7.40. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo na jednak način kao u zadatku 7.37.

$$N(\text{Mn}) : N(\text{O}) = \frac{w(\text{Mn})}{A_r(\text{Mn})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})}$$

Prvi oksid:

$$N(\text{Mn}) : N(\text{O}) = \frac{w(\text{Mn})}{A_r(\text{Mn})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})} = \frac{77,5}{54,94} : \frac{22,5}{16} = 1,41 : 1,41 \quad \mathbf{MnO}$$

Drugi oksid:

$$N(\text{Mn}) : N(\text{O}) = \frac{w(\text{Mn})}{A_r(\text{Mn})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})} = \frac{69,6}{54,94} : \frac{30,4}{16} = 1,267 : 1,90 = 2 : 3 \quad \mathbf{Mn_2O_3}$$

Treći oksid:

$$N(\text{Mn}) : N(\text{O}) = \frac{w(\text{Mn})}{A_r(\text{Mn})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})} = \frac{63,2}{54,94} : \frac{36,8}{16} = 1,15 : 2,30 = 1 : 2 \quad \mathbf{MnO_2}$$

Četvrti oksid:

$$N(\text{Mn}) : N(\text{O}) = \frac{w(\text{Mn})}{A_r(\text{Mn})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})} = \frac{49,6}{54,94} : \frac{50,4}{16} = 0,903 : 3,15 = 1 : 3,5 \quad \mathbf{Mn_2O_7}$$

2.41. Vidi STEHIOMETRIJA

Prvi oksid:

$$N(V) : N(O) = \frac{w(V)}{A_r(V)} : \frac{w(O)}{A_r(O)} = \frac{1,142 \text{ g}}{50,94 \times 1,500 \text{ g}} : \frac{0,358 \text{ g}}{16 \times 1,500 \text{ g}} =$$
$$= 0,0149 : 0,0149 = 1 : 1$$

VO

Drugi oksid:

$$N(V) : N(O) = \frac{w(V)}{A_r(V)} : \frac{w(O)}{A_r(O)} = \frac{1,020 \text{ g}}{50,94 \times 1,500 \text{ g}} : \frac{0,480 \text{ g}}{16 \times 1,500 \text{ g}} =$$
$$= 0,0133 : 0,0200 = 1 : 1,5 = 2 : 3$$

V₂O₃

Treći oksid:

$$N(V) : N(O) = \frac{w(V)}{A_r(V)} : \frac{w(O)}{A_r(O)} = \frac{0,920 \text{ g}}{50,94 \times 1,500 \text{ g}} : \frac{0,580 \text{ g}}{16 \times 1,500 \text{ g}} =$$
$$= 0,012 : 0,024 = 1 : 2$$

VO₂

Četvrti oksid:

$$N(V) : N(O) = \frac{w(V)}{A_r(V)} : \frac{w(O)}{A_r(O)} = \frac{0,840 \text{ g}}{50,94 \times 1,500 \text{ g}} : \frac{0,660 \text{ g}}{16 \times 1,500 \text{ g}} =$$
$$= 0,011 : 0,0275 = 1 : 2,5 = 2 : 5$$

V₂O₅

2.42. Vidi STEHIOMETRIJA

$$m(\text{O}) = m(\text{oksid}) - m(\text{Sb})$$

$$w(\text{Sb}) = m(\text{Sb}) / m(\text{oksid})$$

Prvi oksid:

$$N(\text{Sb}) : N(\text{O}) = \frac{w(\text{Sb})}{A_r(\text{Sb})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})} = \frac{2,43 \text{ g}}{121,8 \times 2,91 \text{ g}} : \frac{0,48 \text{ g}}{16 \times 2,91 \text{ g}} =$$

$$= 0,0068 : 0,0103 = 1 : 1,5 = 2 : 3 \quad \text{Sb}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Sb}_4\text{O}_6$$

Drugi oksid:

$$N(\text{Sb}) : N(\text{O}) = \frac{w(\text{Sb})}{A_r(\text{Sb})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})} = \frac{1,22 \text{ g}}{121,8 \times 1,54 \text{ g}} : \frac{0,32 \text{ g}}{16 \times 1,54 \text{ g}} =$$

$$= 0,0064 : 0,0130 = 1 : 2 \quad \text{SbO}_2 \rightarrow \text{Sb}_4\text{O}_8$$

Treći oksid:

$$N(\text{Sb}) : N(\text{O}) = \frac{w(\text{Sb})}{A_r(\text{Sb})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})} = \frac{1,22 \text{ g}}{121,8 \times 1,62 \text{ g}} : \frac{0,40 \text{ g}}{16 \times 1,62 \text{ g}} =$$

$$= 0,0062 : 0,015 = 1 : 2,5 = 2 : 5 \quad \text{Sb}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{Sb}_4\text{O}_{10}$$

2.43. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

$$N(\text{Na}) : N(\text{Cl}) = \frac{w(\text{Na})}{A_r(\text{Na})} : \frac{w(\text{Cl})}{A_r(\text{Cl})} = \frac{39,3}{22,99} : \frac{60,7}{35,45} = 1,709 : 1,712 = 1 : 1 \quad \text{NaCl}$$

b)

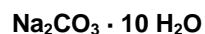
$$N(\text{Na}) : N(\text{Cl}) : N(\text{O}) = \frac{w(\text{Na})}{A_r(\text{Na})} : \frac{w(\text{Cl})}{A_r(\text{Cl})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})} = \frac{21,6}{22,99} : \frac{33,3}{35,45} : \frac{45,1}{16,00}$$

$$= 0,939 : 0,939 : 2,818 = 1 : 1 : 3 \quad \text{NaClO}_3$$

2.44. Vidi STEHIOMETRIJA

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) : n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)} : \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{10,6 \text{ g}}{106 \text{ g mol}^{-1}} : \frac{18,02 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$= 0,1 \text{ mol} : 1 \text{ mol}$$



2.45. Vidi STEHIOMETRIJA

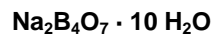
$$N(\text{Na}) : N(\text{B}) : N(\text{O}) : N(\text{H}_2\text{O}) = \frac{w(\text{Na})}{A_r(\text{Na})} : \frac{w(\text{B})}{A_r(\text{B})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})} : \frac{w(\text{H}_2\text{O})}{M_r(\text{H}_2\text{O})}$$

$$= \frac{12,1}{22,99} : \frac{11,4}{10,81} : \frac{29,4}{16} : \frac{47,1}{18}$$

$$= 0,526 : 1,054 : 1,83 : 2,61$$

$$= 1 : 2 : 3,48 : 4,96$$

$$= 2 : 4 : 7 : 10$$



2.46. Vidi STEHIOMETRIJA

$$N(\text{NaF}) : N(\text{AlF}_3) = \frac{w(\text{NaF})}{M_r(\text{NaF})} : \frac{w(\text{AlF}_3)}{M_r(\text{AlF}_3)} = \frac{60}{42} : \frac{40}{84} = 1,43 : 0,476 = 3 : 1$$



2.47. Vidi STEHIOMETRIJA

$$N(\text{C}) : N(\text{H}) = \frac{w(\text{C})}{A_r(\text{C})} : \frac{w(\text{H})}{A_r(\text{H})} = \frac{75}{12} : \frac{25}{1} = 6,25 : 25 = 1 : 4$$



2.48. Vidi STEHIOMETRIJA

$$N(\text{H}) : N(\text{C}) : N(\text{O}) = \frac{w(\text{H})}{A_r(\text{H})} : \frac{w(\text{C})}{A_r(\text{C})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})} = \frac{1}{1} : \frac{3}{12} : \frac{4}{16}$$

$$= 1 : 0,25 : 0,25 = 4 : 1 : 1$$



$$M_r(\text{CH}_4\text{O}) = 12 + 4 + 16 = 32$$

2.49. Vidi STEHIOMETRIJA

Spoj vjerojatno sadržava kisik. Zato moramo najprije doznati koliko ugljika i sumpora sadržava 1,52 g spoja.

$$m(\text{S}) = m(\text{SO}_2) \times \frac{M_r(\text{S})}{M_r(\text{SO}_2)} = 2,56 \text{ g} \times \frac{32}{64} = 1,28 \text{ g}$$

$$m(\text{C}) = m(\text{CO}_2) \times \frac{M_r(\text{C})}{M_r(\text{CO}_2)} = 0,88 \text{ g} \times \frac{12}{44} = 0,24 \text{ g}$$

Spoj se sastoji samo od sumpora i ugljika jer je $1,28 \text{ g} + 0,24 \text{ g} = 1,52$.

Formula spoja je:

$$n(\text{C}) : n(\text{S}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} : \frac{m(\text{S})}{M(\text{S})} = \frac{0,24 \text{ g}}{12 \text{ g mol}^{-1}} : \frac{1,28 \text{ g}}{32 \text{ g mol}^{-1}} = 0,02 \text{ mol} : 0,04 \text{ mol} \quad \text{CS}_2$$

2.50.

$$\begin{array}{l} m(\text{U}) = 2,500 \text{ g} \\ m(\text{O}) = 0,449 \text{ g} \end{array}$$

$$m(\text{oksid}) = 2,949 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} n(\text{U}) : n(\text{O}) &= \frac{m(\text{U})}{M(\text{U})} : \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{2,500 \text{ g}}{238 \text{ g mol}^{-1}} : \frac{0,449 \text{ g}}{16 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0105 \text{ mol} : 0,0281 \text{ mol} \\ &= 1 \text{ mol} : 2,67 \text{ mol} = 3 \text{ mol} : 8 \text{ mol} \end{aligned} \quad \text{U}_3\text{O}_8$$

2.51. Vidi STEHIOMETRIJA

$$w(\text{C}) = 21,2 \%$$

$$w(\text{H}) = 5,3 \%$$

$$w(\text{As} + \text{O}) = 73,5 \%$$

Masa arsena u 0,802 g $\text{MgNH}_4\text{AsO}_4$ je:

$$m(\text{As}) = 0,802 \text{ g} \times \frac{M(\text{As})}{M(\text{MgNH}_4\text{AsO}_4)} = 0,802 \text{ g} \times \frac{74,92 \text{ g mol}^{-1}}{181,23 \text{ g mol}^{-1}} = 0,3315 \text{ g}$$

Za analizu je uzeto 0,5 g pa uzorak prema tome sadrži 66,3 % arsena i 7,2 % kisika.

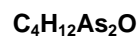
$$N(\text{C}) : N(\text{H}) : N(\text{As}) : N(\text{O}) = \frac{w(\text{C})}{A_r(\text{C})} : \frac{w(\text{H})}{A_r(\text{H})} : \frac{w(\text{As})}{A_r(\text{As})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})}$$

$$= \frac{21,2}{12} : \frac{5,3}{1} : \frac{66,3}{74,92} : \frac{7,2}{16}$$

$$= 1,77 : 5,3 : 0,885 : 0,45$$

$$= 2 : 6 : 1 : 0,5$$

$$= 4 : 12 : 2 : 1$$

**2.52.** Vidi STEHIOMETRIJA

$$m(\text{CdSO}_4) = 3,12 \text{ g}$$

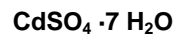
$$m(\text{H}_2\text{O}) = 1,88 \text{ g}$$

$$5,00 \text{ g}$$

$$n(\text{CdSO}_4) : n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{CdSO}_4)}{M(\text{CdSO}_4)} : \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})}$$

$$= \frac{3,12 \text{ g}}{208,46 \text{ g mol}^{-1}} : \frac{1,88 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} = 0,01497 \text{ mol} : 0,1044 \text{ mol}$$

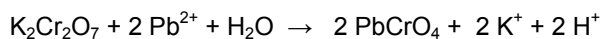
$$= 1 : 7$$



2.53. Vidi STEHIOMETRIJA

$$m(\text{Cr}) = m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \times \frac{M(2 \text{ Cr})}{M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)} = 0,500 \text{ g} \times \frac{104,0 \text{ g mol}^{-1}}{294,19 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,177 \text{ g}}$$

=====



Iz jednadžbe reakcije proizlazi da iz jednog mola $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ nastaju dva mola PbCrO_4 , pa možemo napisati omjer:

$$n(\text{PbCrO}_4) : n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 2 : 1$$

odnosno

$$n(\text{PbCrO}_4) = 2 n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$$

Kako je

$$n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}$$

$$n(\text{PbCrO}_4) = \frac{m(\text{PbCrO}_4)}{M(\text{PbCrO}_4)}$$

proizlazi:

$$\frac{m(\text{PbCrO}_4)}{M(\text{PbCrO}_4)} = 2 \times \frac{m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}$$

odnosno,

$$\begin{aligned} m(\text{PbCrO}_4) &= 2 \times \frac{m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \times M(\text{PbCrO}_4)}{M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)} \\ &= \frac{2 \times 0,5 \text{ g} \times 323,18 \text{ g mol}^{-1}}{294,19 \text{ g mol}^{-1}} \\ &= \mathbf{1,0985 \text{ g.}} \end{aligned}$$

2.54. Vidi STEHIOMETRIJA

$$N(\text{Mo}) : N(\text{Si}) = \frac{w(\text{Mo})}{A_r(\text{Mo})} : \frac{w(\text{Si})}{A_r(\text{Si})} = \frac{91}{95,94} : \frac{9}{28,09} =$$

$$= 0,949 : 0,320 = 3 : 1 \quad \mathbf{Mo_3Si}$$

$$N(\text{Mo}) : N(\text{Si}) = \frac{85}{95,94} : \frac{15}{28,09} = 0,886 : 0,534$$

$$= 1,66 : 1 = 5 : 3 \quad \mathbf{Mo_5Si_3}$$

$$N(\text{Mo}) : N(\text{Si}) = \frac{63}{95,94} : \frac{37}{28,09} = 0,657 : 1,317$$

$$= 1 : 2 \quad \mathbf{MoSi_2}$$

2.55. Vidi STEHIOMETRIJA

$$n(\text{Al}) : n(\text{P}) = \frac{3,26 \text{ g}}{26,98 \text{ g mol}^{-1}} : \frac{3,72 \text{ g}}{30,97 \text{ g mol}^{-1}} = 0,121 : 0,120 = 1 : 1 \quad \mathbf{AlP}$$

$$n(\text{Al}) : n(\text{As}) = \frac{3,51 \text{ g}}{26,98 \text{ g mol}^{-1}} : \frac{9,74 \text{ g}}{74,92 \text{ g mol}^{-1}} = 0,130 : 0,130 = 1 : 1 \quad \mathbf{AlAs}$$

$$n(\text{Al}) : n(\text{Sb}) = \frac{2,43 \text{ g}}{26,98 \text{ g mol}^{-1}} : \frac{10,95 \text{ g}}{121,8 \text{ g mol}^{-1}} = 0,090 : 0,090 = 1 : 1 \quad \mathbf{AlSb}$$

$$n(\text{In}) : n(\text{As}) = \frac{2,29 \text{ g}}{114,8 \text{ g mol}^{-1}} : \frac{1,50 \text{ g}}{74,92 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0199 : 0,0200 = 1 : 1 \quad \mathbf{InAs}$$

$$n(\text{In}) : n(\text{Sb}) = \frac{1,27 \text{ g}}{114,8 \text{ g mol}^{-1}} : \frac{1,34 \text{ g}}{121,8 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0110 : 0,0110 = 1 : 1 \quad \mathbf{InSb}$$

2.56. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\begin{aligned}
 N(\text{Mg}) : N(\text{Ni}) : N(\text{Zn}) &= \frac{w(\text{Mg})}{A_r(\text{Mg})} : \frac{w(\text{Ni})}{A_r(\text{Ni})} : \frac{w(\text{Zn})}{A_r(\text{Zn})} \\
 &= \frac{16,4}{24,31} : \frac{39,5}{58,69} : \frac{44,1}{65,41} \\
 &= 0,675 : 0,673 : 0,674 = 1 : 1 : 1
 \end{aligned}$$

MgNiZn

2.57. Vidi STEHIOMETRIJA

$$w(\text{O}, \text{H}_2\text{O}) = \frac{A_r(\text{O})}{M_r(\text{H}_2\text{O})} = \frac{16,0}{18,0} = 0,889 = \mathbf{88,9 \%}$$

$$w(\text{O}, \text{D}_2\text{O}) = \frac{A_r(\text{O})}{M_r(\text{D}_2\text{O})} = \frac{16,0}{20,0} = 0,800 = \mathbf{80,0 \%}$$

$$w(\text{O}, \text{H}_2\text{O}_2) = \frac{2 A_r(\text{O})}{M_r(\text{H}_2\text{O}_2)} = \frac{32,0}{34,0} = 0,941 = \mathbf{94,1 \%}$$

$$w(\text{H}, \text{H}_2\text{O}) = \frac{2 A_r(\text{H})}{M_r(\text{H}_2\text{O})} = \frac{2}{18,0} = 0,111 = \mathbf{11,1 \%}$$

$$w(\text{D}, \text{D}_2\text{O}) = \frac{2 A_r(\text{D})}{M_r(\text{D}_2\text{O})} = \frac{4,0}{20,0} = 0,200 = \mathbf{20,0 \%}$$

$$w(\text{H}, \text{H}_2\text{O}_2) = \frac{2 A_r(\text{H})}{M_r(\text{H}_2\text{O}_2)} = \frac{2,0}{34,0} = 0,059 = \mathbf{5,9 \%}$$

2.58. Vidi STEHIOMETRIJA

$$m(\text{Zn}) = w(\text{ZnS}) \times m(\text{ZnS}) = \frac{A_r(\text{Zn})}{M_r(\text{ZnS})} = 0,85 \times 1 \text{ kg} \times \frac{65,41}{97,47} = \mathbf{0,570 \text{ kg}}$$

2.59. Vidi STEHIOMETRIJA

$$w(\text{Al}, \text{MgAl}_2\text{O}_4) = \frac{2 A_r(\text{Al})}{M(\text{MgAl}_2\text{O}_4)} = \frac{53,96}{142,27} = \mathbf{37,9 \%}$$

$$w(\text{Al}, \text{ZnAl}_2\text{O}_4) = \frac{2 A_r(\text{Al})}{M(\text{ZnAl}_2\text{O}_4)} = \frac{53,96}{183,37} = \mathbf{29,4 \%}$$

$$\begin{aligned} w(\text{Al}, (\text{Fe}_{0,5} \text{Mg}_{0,5}) (\text{Al}_{0,8} \text{Fe}_{0,2})_2\text{O}_4) &= \frac{1,6 A_r(\text{Al})}{M((\text{Fe}_{0,5} \text{Mg}_{0,5}) (\text{Al}_{0,8} \text{Fe}_{0,2})_2\text{O}_4)} \\ &= \frac{1,6 A_r(\text{Al})}{M(\text{Fe}_{0,9} \text{Mg}_{0,5} \text{Al}_{1,6} \text{O}_4)} \\ &= \frac{43,17}{169,62} = 0,255 = \mathbf{25,5 \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w(\text{Al}, (\text{Fe}_{0,5} \text{Mg}_{0,5}) (\text{Al}_{0,8} \text{Cr}_{0,15} \text{Fe}_{0,05})_2\text{O}_4) &= \frac{1,6 A_r(\text{Al})}{M((\text{Fe}_{0,5} \text{Mg}_{0,5}) (\text{Al}_{0,8} \text{Cr}_{0,15} \text{Fe}_{0,05})_2\text{O}_4)} \\ &= \frac{1,6 A_r(\text{Al})}{M(\text{Fe}_{0,6} \text{Mg}_{0,5} \text{Al}_{1,6} \text{Cr}_{0,3} \text{O}_4)} \\ &= \frac{43,17}{168,43} = 0,256 = \mathbf{25,6 \%} \end{aligned}$$

2.60. Vidi STEHIOMETRIJA

$$w(\text{Fe}) = \frac{4 \times M_r(\text{Fe})}{M_r(\text{hemoglobin})}$$

$$\begin{aligned} M_r(\text{hemoglobin}) &= \frac{4 \times M_r(\text{Fe})}{w(\text{Fe})} \\ &= \frac{4 \times 55,85}{0,00333} \approx \mathbf{67\ 000} \end{aligned}$$

2.61. Vidi STEHIOMETRIJA

$$w(\text{Br}) = \frac{3 \times M_r(\text{Br})}{M_r(\text{polimer})}$$

$$\begin{aligned} M_r(\text{polimer}) &= \frac{3 \times M_r(\text{Br})}{w(\text{Br})} \\ &= \frac{3 \times 79,90}{0,1046} = 2291,6 \end{aligned}$$

$$N \times M_r(\text{C}_8\text{H}_8) = M_r(\text{polimer}) - M_r(\text{C}_6\text{Br}_3\text{H}_3)$$

Kako je

$$\begin{aligned} M_r(\text{C}_6\text{Br}_3\text{H}_3) &= 314,7 \\ M_r(\text{C}_8\text{H}_8) &= 104 \end{aligned}$$

proizlazi

$$N = \frac{M_r(\text{polimer}) - M_r(\text{C}_6\text{Br}_3\text{H}_3)}{M_r(\text{C}_8\text{H}_8)} = \frac{2291,6 - 314,7}{104} = \mathbf{19}$$

2.62. Vidi STEHIOMETRIJA

$$w(\text{P}) = \frac{M_r(\text{P})}{M_r(\text{protein})}$$

$$M_r(\text{protein}) = \frac{M_r(\text{P})}{w(\text{P})} = \frac{30,97}{0,00086} \approx \mathbf{36\ 000}$$

2.63. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

$$w(\text{K}) = \frac{A_r(\text{K})}{M_r(\text{K}[\text{Cu}(\text{CN})_2])} = \frac{39,10}{154,65} = 0,253 = \mathbf{25,3 \%}$$

$$w(\text{Cu}) = \frac{A_r(\text{Cu})}{M_r(\text{K}[\text{Cu}(\text{CN})_2])} = \frac{63,55}{154,65} = 0,411 = \mathbf{41,1 \%}$$

$$w(\text{C}) = \frac{2 \times A_r(\text{C})}{M_r(\text{K}[\text{Cu}(\text{CN})_2])} = \frac{24}{154,65} = 0,155 = \mathbf{15,5 \%}$$

$$w(\text{N}) = \frac{2 \times A_r(\text{N})}{M_r(\text{K}[\text{Cu}(\text{CN})_2])} = \frac{28}{154,65} = 0,181 = \mathbf{18,1 \%}$$

100 %

b)

$$w(\text{K}) = \frac{2 \times A_r(\text{K})}{M_r(\text{K}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4])} = \frac{2 \times 39,10}{247,6} = 0,316 = \mathbf{31,6 \%}$$

$$w(\text{Zn}) = \frac{A_r(\text{Zn})}{M_r(\text{K}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4])} = \frac{65,41}{247,6} = 0,264 = \mathbf{26,4 \%}$$

$$w(\text{C}) = \frac{4 \times A_r(\text{C})}{M_r(\text{K}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4])} = \frac{48}{247,6} = 0,194 = \mathbf{19,4 \%}$$

$$w(\text{N}) = \frac{4 \times A_r(\text{N})}{M_r(\text{K}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4])} = \frac{56}{247,6} = 0,226 = \mathbf{22,6 \%}$$

100 %

c)

$$w(\text{K}) = \frac{4 \times A_r(\text{K})}{M_r(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3 \text{H}_2\text{O})} = \frac{4 \times 39,10}{422,4} = 0,370 = \mathbf{37,0 \%}$$

$$w(\text{Fe}) = \frac{A_r(\text{Fe})}{M_r(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3 \text{H}_2\text{O})} = \frac{55,85}{422,4} = 0,132 = \mathbf{13,2 \%} \text{ itd.}$$

d)

$$w(\text{K}) = \frac{3 \times A_r(\text{K})}{M_r(\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6])} = \frac{3 \times 39,10}{329,26} = 0,356 = \mathbf{35,6 \%}$$

$$w(\text{Fe}) = \frac{A_r(\text{Fe})}{M_r(\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6])} = \frac{55,85}{329,26} = 0,170 = \mathbf{17,0 \%} \text{ itd.}$$

2.64. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

$$w(\text{Cu}) = \frac{A_r(\text{Cr})}{M_r(\text{Cr}(\text{CO})_6)} = \frac{52,00}{220,06} = 0,236 = \mathbf{23,6 \%}$$

$$w(\text{C}) = \frac{6 \times A_r(\text{C})}{M_r(\text{Cr}(\text{CO})_6)} = \frac{72}{220,06} = 0,327 = \mathbf{32,7 \%}$$

$$w(\text{O}) = \frac{6 \times A_r(\text{O})}{M_r(\text{Cr}(\text{CO})_6)} = \frac{96}{220,06} = 0,436 = \mathbf{43,6 \%}$$

99,9 %

b)

$$w(\text{Fe}) = \frac{A_r(\text{Fe})}{M_r(\text{Fe}(\text{CO})_5)} = \frac{55,85}{195,90} = 0,285 = \mathbf{28,5 \%}$$

$$w(\text{C}) = \frac{5 \times A_r(\text{C})}{M_r(\text{Fe}(\text{CO})_5)} = \frac{60}{195,90} = 0,306 = \mathbf{30,6 \%}$$

$$w(\text{O}) = \frac{5 \times A_r(\text{O})}{M_r(\text{Fe}(\text{CO})_5)} = \frac{80}{195,90} = 0,408 = \mathbf{40,8 \%}$$

99,9 %

c)

$$w(\text{Ni}) = \frac{A_r(\text{Ni})}{M_r(\text{Ni}(\text{CO})_4)} = \frac{58,69}{170,75} = 0,344 = \mathbf{34,4 \%}$$

$$w(\text{C}) = \frac{4 \times A_r(\text{C})}{M_r(\text{Ni}(\text{CO})_4)} = \frac{48}{170,75} = 0,281 = \mathbf{28,1 \%}$$

$$w(\text{O}) = \frac{4 \times A_r(\text{O})}{M_r(\text{Ni}(\text{CO})_4)} = \frac{80}{170,75} = 0,375 = \mathbf{37,5 \%}$$

100 %

4. OKSIDACIJA I REDUKCIJA

Oksidacijski broj atoma svih elemenata u elementarnom stanju je nula (0).

Oksidacijski broj vodika u spojevima je (+1), osim u hidridima metala, gdje je oksidacijski broj vodika (-1).

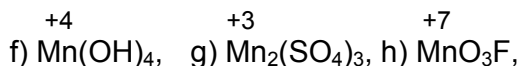
Oksidacijski broj kisika u spojevima je (-2), osim u peroksidima, kod kojih je oksidacijski broj kisika (-1).

Suma svih oksidacijskih brojeva elemenata, koji se nalaze u spoju mora biti jednaka nuli.

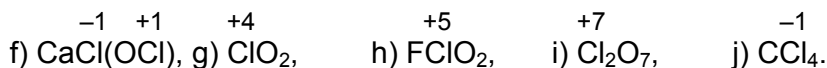
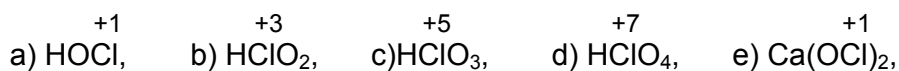
Suma svih oksidacijskih brojeva elemenata u kompleksnim ionima ili radikalima mora biti jednaka naboju iona ili radikala.

U kovalentnim spojevima, čija je strukturna formula poznata, oksidacijski broj pojedinog atoma jest naboj koji ostaje na tom atomu kada sve elektronske parove dodijelimo atomima elektronegativnijih elemenata.

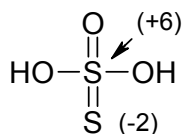
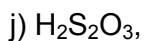
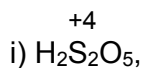
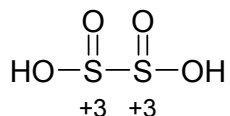
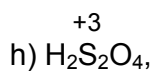
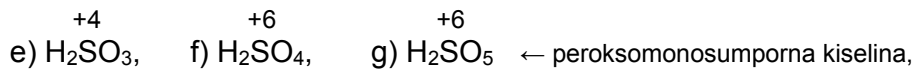
4.1. Vidi STEHIOMETRIJA



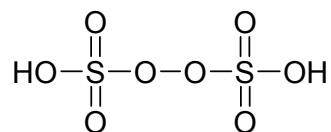
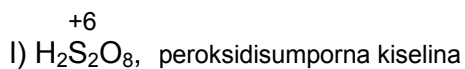
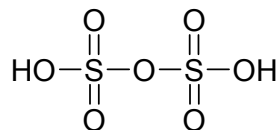
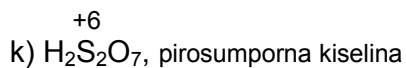
4.2. Vidi STEHIOMETRIJA



4.3. Vidi STEHIOMETRIJA

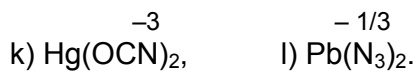
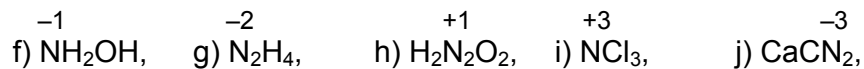
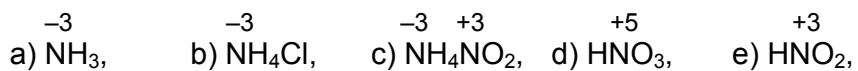


Atomi sumpora nisu ekvivalentni. Centralnom atomu možemo pripisati oksidacijski broj (+6), a onom atomu koji zamjenjuje atom kisika pripisujemo oksidacijski broj (-2).

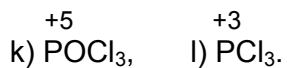
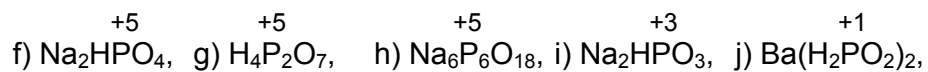
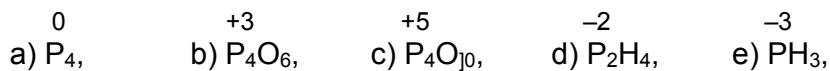


Nisu izolirane slobodne kiseline H_2SO_3 , $H_2S_2O_4$, $H_2S_2O_5$, $H_2S_2O_3$. Poznate su samo njihove soli koje se u kiselim otopinama disproportioniraju.

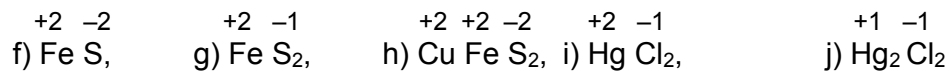
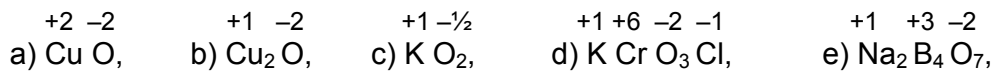
4.4. Vidi STEHIOMETRIJA



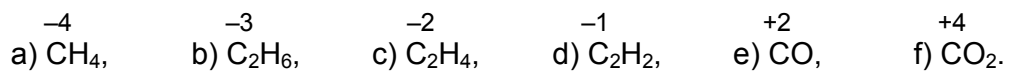
4.5. Vidi STEHIOMETRIJA



4.6. Vidi STEHIOMETRIJA

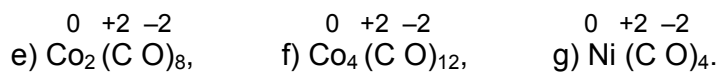
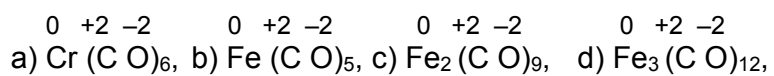


4.7. Vidi STEHIOMETRIJA



4.8. Vidi STEHIOMETRIJA

U svim karbonilima metal ima oksidacijski broj nula, ugljik +2 i kisik -2.

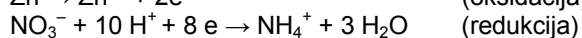


4.9. Vidi STEHIOMETRIJA

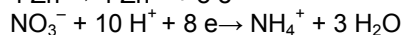
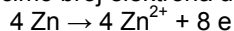
U svim su jednađbama zadani reaktanti i produkti. Treba uskladiti lijevu i desnu stranu jednađbe tako da broj atoma i naboja na lijevoj strani bude jednak broju atoma i naboja na desnoj strani jednađbe. Uvijek treba u zadanoj reakciji uočiti koji se kemijski element oksidira a koji reducira. Potom treba zadanu reakciju rastaviti na polureakcije oksidacije i redukcije. Svaku polureakciju moramo uravnotežiti tako da dodamo potreban broj elektrona, na desnu stranu u polureakciji oksidacije, a na lijevu stranu u polureakciji redukcije. Kad se na desnoj strani polureakcije pojavljuje kisik, a nema ga na lijevoj strani jednađbe onda na lijevu stranu dodajemo vodu. Tad se na desnoj strani jednađbe pojavljuju ioni H^+ koje treba neutralizirati odgovarajućim brojem elektrona. Ako se na lijevoj strani jednađbe pojavljuju ioni H^+ tad ih se na desnoj strani zajedno s kisikom iskazuje kao vodu.

Najbolje je jednađbu rješavati u ionskom obliku, a potom po potrebi napisati u molekulskom obliku. Zadatak ćete naći u STEHIOMETRIJI, a ovdje se navode samo rješenja. Tiskani su materijali zaštićeni izdavačkim pravima i zato se sadržaji iz STEHIOMETRIJE ne mogu reproducirati na internetu.

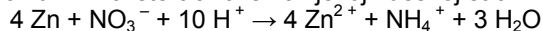
4.9.a) Vidi STEHIOMETRIJA



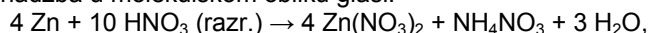
Izjednačimo broj elektrona u obje jednađbe.



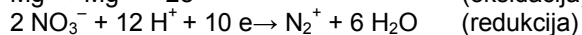
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani.



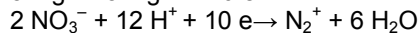
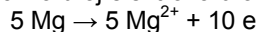
Ista jednađba u molekulskom obliku glasi:



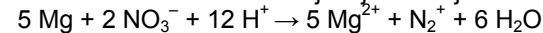
4.9.b) Vidi STEHIOMETRIJA



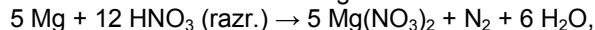
Izjednačimo broj elektrona u obje jednađbe



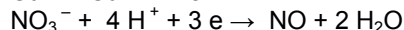
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani.



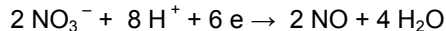
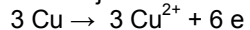
Ista jednađba u molekulskom obliku glasi:



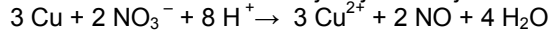
4.9.c) Vidi STEHIOMETRIJA



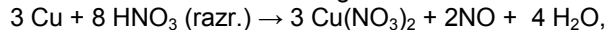
Izjednačimo broj elektrona u obje jednađbe



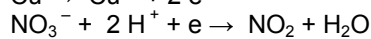
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani.



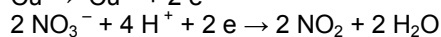
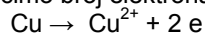
Ista jednađba u molekulskom obliku glasi:



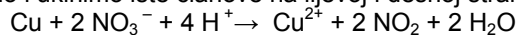
4.9.d) Vidi STEHIOMETRIJA



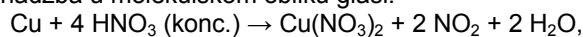
Izjednačimo broj elektrona u obje jednađžbe



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani.

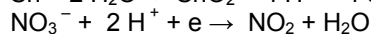


Ista jednađžba u molekulskom obliku glasi:

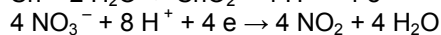
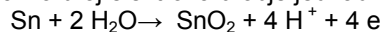


4.9.e) Vidi STEHIOMETRIJA

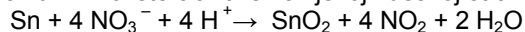
Kad se na desnoj strani jednađžbe pojavljuje kisik, a nema ga na lijevoj strani jednađžbe onda na lijevu stranu dodajemo vodu. Tad se na desnoj strani jednađžbe pojavljuju ioni H^+ koje treba neutralizirati odgovarajućim brojem elektrona. Ako se na lijevoj strani jednađžbe pojavljuju ioni H^+ tad ih se na desnoj strani zajedno s kisikom iskazuje kao vodu.



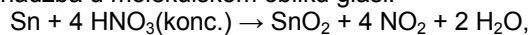
Izjednačimo broj elektrona u obje jednađžbe



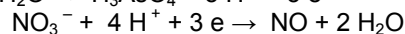
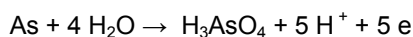
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani.



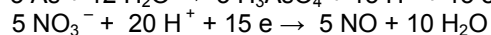
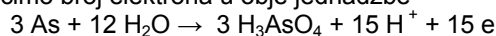
Ista jednađžba u molekulskom obliku glasi:



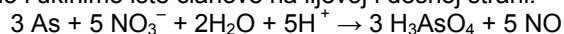
4.9.f) Vidi STEHIOMETRIJA



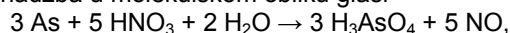
Izjednačimo broj elektrona u obje jednađžbe



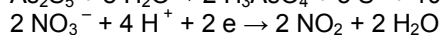
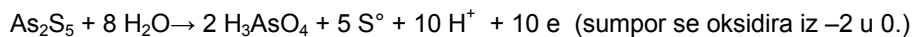
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani.



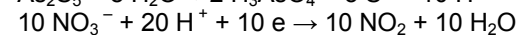
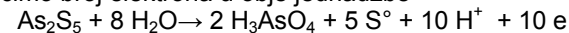
Ista jednađžba u molekulskom obliku glasi



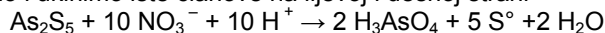
4.9.g) Vidi STEHIOMETRIJA



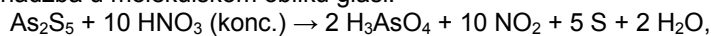
Izjednačimo broj elektrona u obje jednađžbe



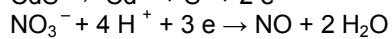
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



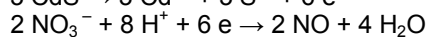
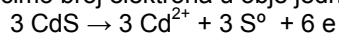
Ista jednađžba u molekulskom obliku glasi:



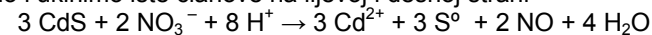
4.9.h) Vidi STEHIOMETRIJA



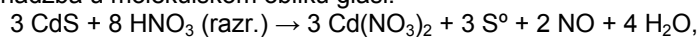
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



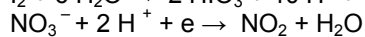
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



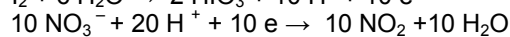
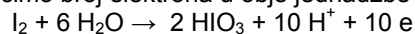
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi:



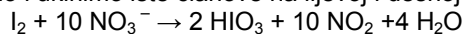
4.9.i) Vidi STEHIOMETRIJA



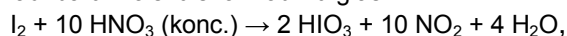
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



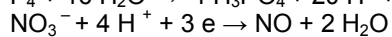
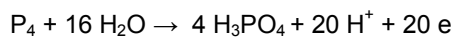
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



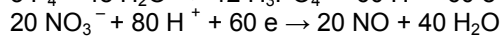
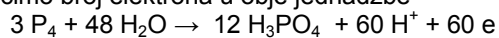
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi:



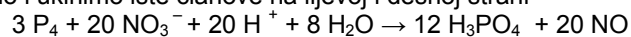
4.9.j) Vidi STEHIOMETRIJA



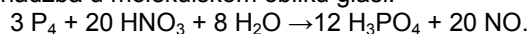
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



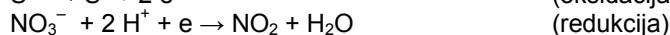
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi:



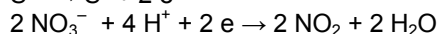
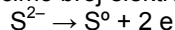
4.10.

U reakciji sa sulfidima koncentrirana dušična kiselina se reducira do dušikova dioksida. Pritom se sumpor oksidira iz oksidacijskog stanja (-2) u elementarni sumpor. Ako se na lijevoj strani jednadžbe pojavljuju ioni H^+ tad ih se na desnoj strani zajedno s kisikom iskazuje kao vodu.

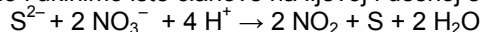
4.10.a) Vidi STEHIOMETRIJA



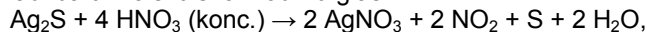
Izjednačimo broj elektrona u obje jednadžbe



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani

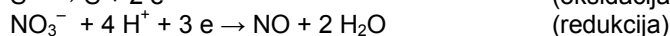


Ista jednadžba u molekulskom obliku glasi:

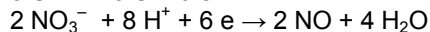
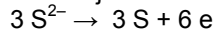


4.10.b) Vidi STEHIOMETRIJA

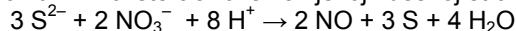
U reakciji sa sulfidima razrijeđena se dušična kiselina reducira do dušikova monoksida. Pritom se sumpor oksidira iz oksidacijskog stanja (-2) u elementarni sumpor



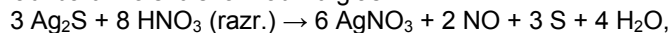
Izjednačimo broj elektrona u obje jednadžbe



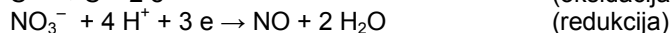
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



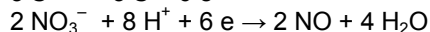
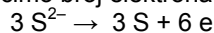
Ista jednadžba u molekulskom obliku glasi:



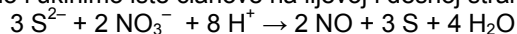
4.10.c) Vidi STEHIOMETRIJA



Izjednačimo broj elektrona u obje jednadžbe



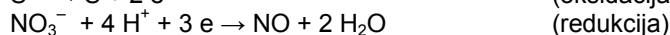
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



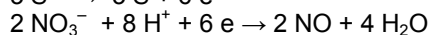
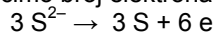
Ista jednadžba u molekulskom obliku glasi:



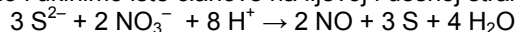
4.10.d) Vidi STEHIOMETRIJA



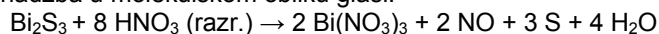
Izjednačimo broj elektrona u obje jednadžbe

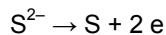


Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani

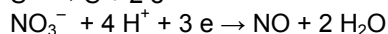


Ista jednadžba u molekulskom obliku glasi:



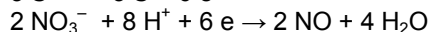
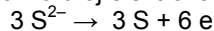
4.10.e) Vidi STEHIOMETRIJA

(oksidacija)

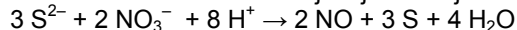


(redukcija)

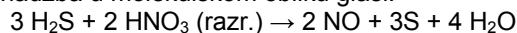
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



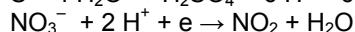
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi:

**4.10.f)** Vidi STEHIOMETRIJA

Koncentrirana dušična kiselina može oksidirati sumpor do sulfata, a sama se pritom reducira do dušikova dioksida. Kad se na desnoj strani jednačbe pojavljuje kisik, a nema ga na lijevoj strani jednačbe onda na lijevu stranu dodajemo vodu. Tad se na desnoj strani jednačbe pojavljuju ioni H^+ koje treba neutralizirati odgovarajućim brojem elektrona. Ako se na lijevoj strani jednačbe pojavljuju ioni H^+ tad ih se na desnoj strani zajedno s kisikom iskazuje kao vodu.

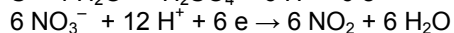
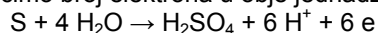


(oksidacija)

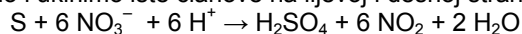


(redukcija)

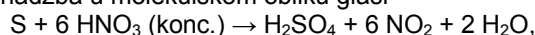
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



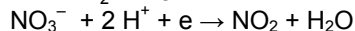
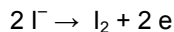
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



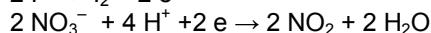
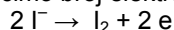
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi

**4.10.g)** Vidi STEHIOMETRIJA

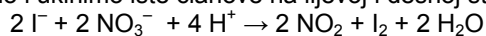
Koncentrirana dušična kiselina oksidira jodidne i kloridne ione u elementarni jod, odnosno klor, a sama se pritom reducira u dušikov dioksid.



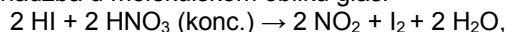
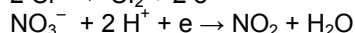
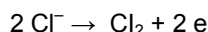
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



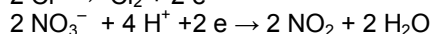
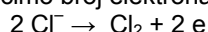
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



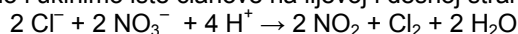
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi

**4.10.h)** Vidi STEHIOMETRIJA

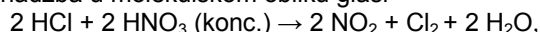
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani

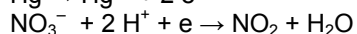
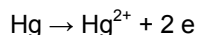


Ista jednačba u molekulskom obliku glasi

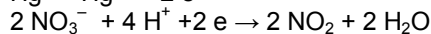
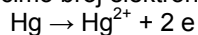


4.10.i) Vidi STEHIOMETRIJA

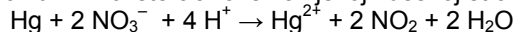
Koncentrirana dušična kiselina oksidira elementarnu živu u ione Hg^{2+} , a sama se pritom reducira do dušikova dioksida.



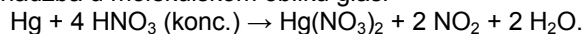
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



Ista jednačba u molekulskom obliku glasi

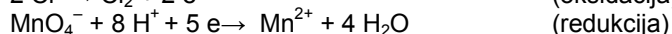
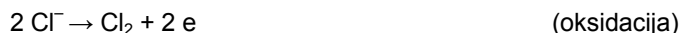


4.11. Vidi STEHIOMETRIJA

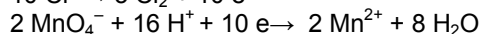
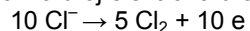
Kalijev permanganat jako je oksidacijsko sredstvo. U kiselim otopinama mangan se iz oksidacijskog stanja (+7) reducira u oksidacijsko stanje (+2).

Postupamo na jednak način. Napišimo najprije polureakcije oksidacije i redukcije u ionskom obliku.

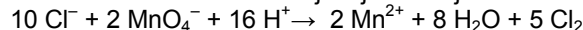
Ako na lijevoj strani polureakcije imamo višak kisika tad dodajemo ione H^+ koje na desnoj strani polureakcije iskazujemo kao vodu. Nesmijemo zaboraviti da broj atoma i naboja na lijevoj strani jednačbe svake polureakcije oksidacije ili redukcije mora biti jednak broju atoma i naboja na desnoj strani jednačbe polureakcije oksidacije ili redukcije.

4.11. a) Vidi STEHIOMETRIJA

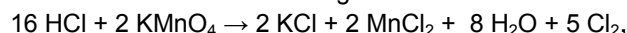
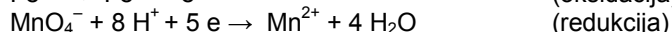
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



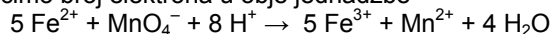
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



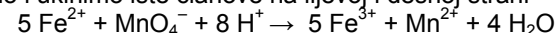
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi

**4.11. b)** Vidi STEHIOMETRIJA

Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



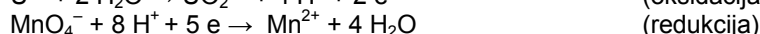
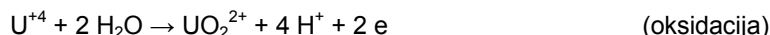
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



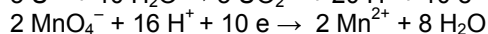
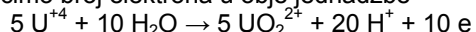
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi

**4.11. c)** Vidi STEHIOMETRIJA

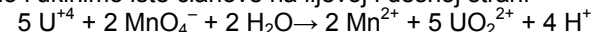
Uranij u spojevima može poprimiti oksidacijska stanja +3, +4, +5 i +6. U kiselim otopinama kalijev permanganat oksidira uranij do najvišeg oksidacijskog stanja, +6. U oksidacijskom stanju +6 uranij se javlja kao UF_6 i UO_3 , te u obliku uranil-soli, UO_2^{2+} , koje nastaju otapanjem UO_3 u kiselinama.



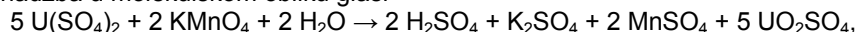
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani

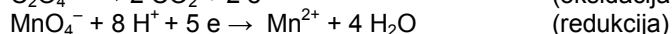


Ista jednačba u molekulskom obliku glasi

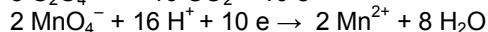
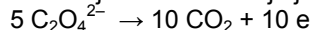


4.11.d) Vidi STEHIOMETRIJA

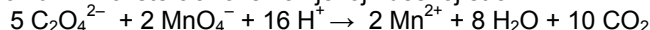
U kiselj otolini permanganat oksidira oksalatne ione, $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, u ugljikov dioksid. Pritom se permanganatni ioni reduciraju u ione Mn^{2+} .



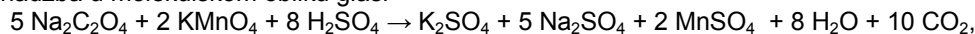
Izjednačimo broj elektrona u obje jednađbe



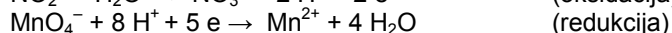
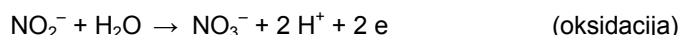
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



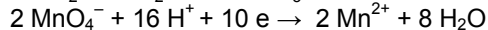
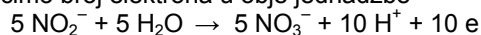
Ista jednađba u molekulskom obliku glasi

**4.11.e)** Vidi STEHIOMETRIJA

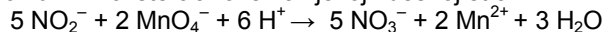
:



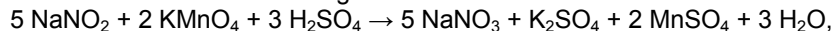
Izjednačimo broj elektrona u obje jednađbe



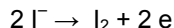
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



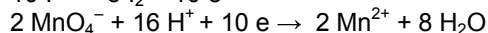
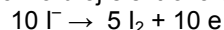
Ista jednađba u molekulskom obliku glasi

**4.11.f)** Vidi STEHIOMETRIJA

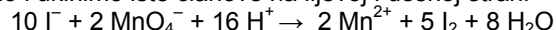
U kiselj otolini permanganatni ioni oksidiraju jodidne, bromidne i kloridne ione u elementarni jod, odnosno brom i klor.



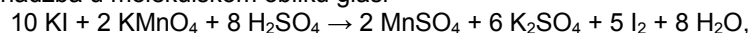
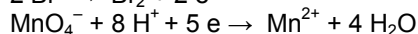
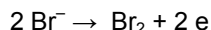
Izjednačimo broj elektrona u obje jednađbe



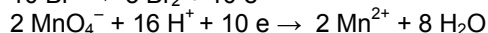
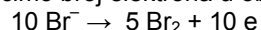
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



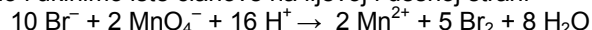
Ista jednađba u molekulskom obliku glasi

**4.11.g)** Vidi STEHIOMETRIJA

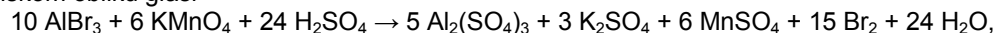
Izjednačimo broj elektrona u obje jednađbe



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



S ozirom da nam je kao reaktant zadan AlBr_3 , sumarnu jednađbu množimo s 3, pa jednađba u molekulskom obliku glasi



4.11.h) Vidi STEHIOMETRIJA

Kalijev permanganat je jako oksidacijsko sredstvo koje oksidira sulfidne ione djelomično u elementarni sumpor, a djelomično u sulfatne ione. Nastali ioni Mn^{2+} reagiraju sa sulfidnim ionima tako da nastaje netopljivi MnS .

Moguće je više redoks-reakcija:

Oksidacija iona S^{2-} permanganatnim ionima u elementarni sumpor.

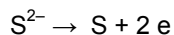
Oksidacija iona S^{2-} permanganatnim ionima u sulfatne ione.

Oksidacija iona S^{2-} permanganatnim ionima u sulfidne ione koji sa elementarnim sumporom daju tiosulfate. U tiosulfatima centralni atom sumpora ima oksidacijski broj +6, a onaj atom sumpora koji zamjenjuje atom kisika ima oksidacijski broj -2, kao što smo već kazali u zadatku 4.3.j.

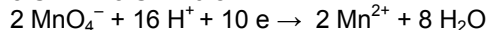
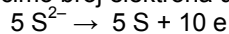
Pretpostavimo da se oksidacija odvija tako da nastaju samo elementarni sumpor i sulfatni ioni.

Možemo napisati dvije redoks-jednadžbe:

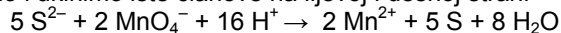
1.



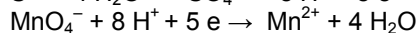
Izjednačimo broj elektrona u obje jednadžbe



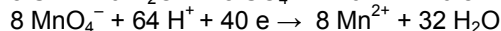
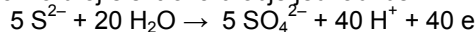
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



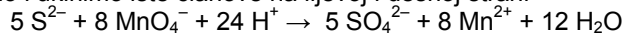
2.



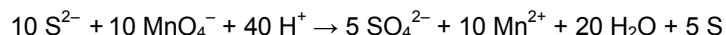
Izjednačimo broj elektrona u obje jednadžbe



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



Zbrojimo jednadžbe 1. i 2. pa dobivamo:

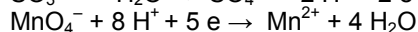
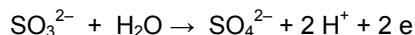


Ista jednadžba u molekulskom obliku glasi

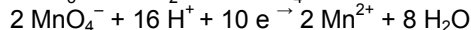
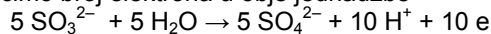


4.11.i) Vidi STEHIOMETRIJA

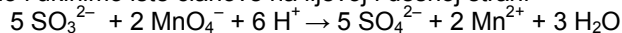
Sulfiti se kalijevim permanganatom oksidiraju u sulfate.



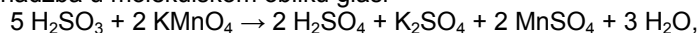
Izjednačimo broj elektrona u obje jednadžbe



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani

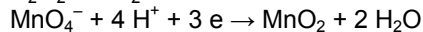
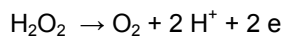


Ista jednadžba u molekulskom obliku glasi

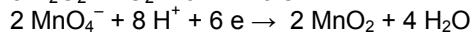
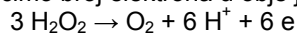


4.11.j) Vidi STEHIOMETRIJA

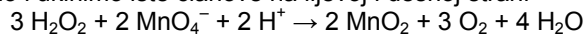
Vodikov peroksid može djelovati kao oksidan ili reducens. Kalijev je permanganat jače oksidacijsko sredstvo od vodikova peroksida pa ga oksidira u elementarni kisik. Ako se reakcija odvija u lužnatoj otopini, kalijev se permanganat reducira samo do oksidacijskog stanja +4 u lužinama netopljivom manganovu dioksidu.



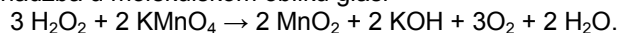
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



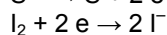
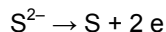
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



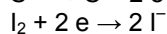
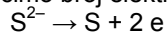
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi



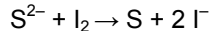
4.12.a) Vidi STEHIOMETRIJA



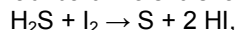
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani

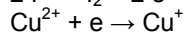
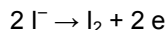


Ista jednačba u molekulskom obliku glasi

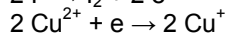
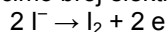


4.12.b) Vidi STEHIOMETRIJA

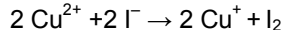
Kad se u otopinu koja sadržava ione Cu^{2+} doda otopina kalijeva jodida izluči se elementarni jod i netopljivi bijeli talog bakrova(I) jodida. Izlučeni se jod može titrirati otopinom tiosulfata pa ta reakcija često služi za kvantitavno određivanje sadržaja iona Cu^{2+} .



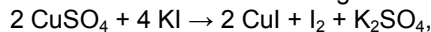
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



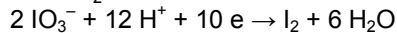
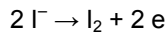
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



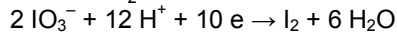
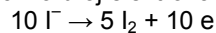
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi



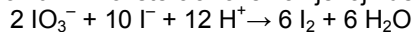
4.12.c) Vidi STEHIOMETRIJA



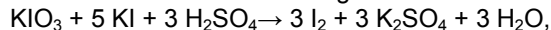
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



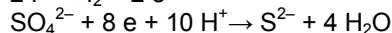
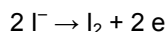
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



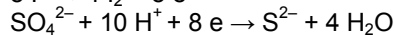
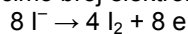
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi



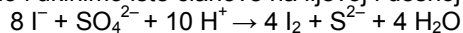
4.12.d) Vidi STEHIOMETRIJA



Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



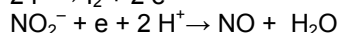
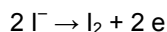
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



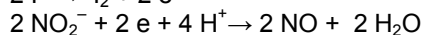
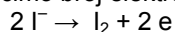
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi



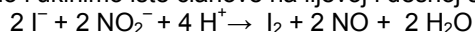
4.12.e) Vidi STEHIOMETRIJA



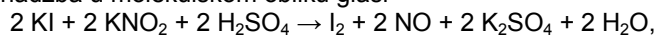
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



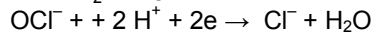
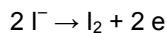
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



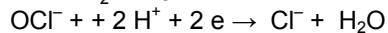
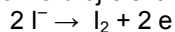
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi



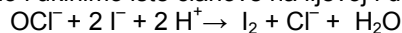
4.12.f) Vidi STEHIOMETRIJA



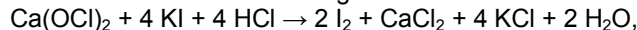
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



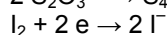
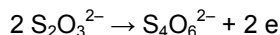
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



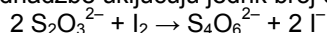
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi



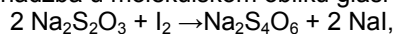
4.12.g) Vidi STEHIOMETRIJA



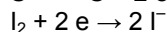
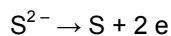
Objе jednačbe uključuju jednaki broj elektrona pa ih možemo zbrojiti



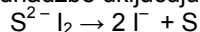
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi



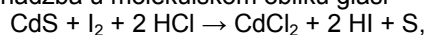
4.12.h) Vidi STEHIOMETRIJA



Objе jednačbe uključuju jednaki broj elektrona pa ih možemo zbrojiti

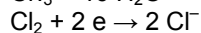
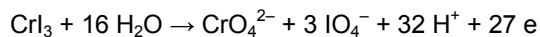


Ista jednačba u molekulskom obliku glasi

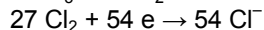
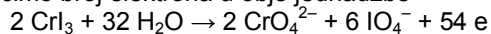


4.12.i) Vidi STEHIOMETRIJA

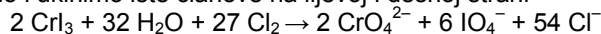
U ovom slučaju imam dvije tvari koje se oksidiraju. Jodidni se ioni oksidiraju u jodate, odnosno iz oksidacijskog stanja (-1) u stanje (+7) pri čemu se oslobađa 8 elektrona po jednom jodidnom ionu. Istodobno se ioni Cr^{3+} oksidiraju u kromatne ione, odnosno iz oksidacijskog stanja (+3) u stanje (+6).



Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe

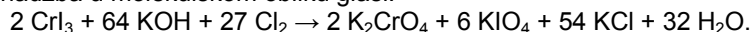


Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani

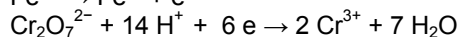
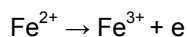


Reakcija se odvija u lužnatoj otopini i zato moramo uključiti odgovarajući broj formula jedinki KOH.

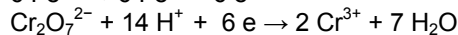
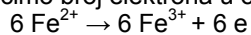
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi:



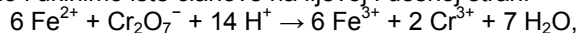
4.13.a) Vidi STEHIOMETRIJA



Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



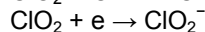
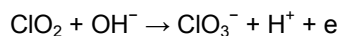
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



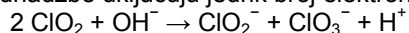
Još jednom provjerimo je li se na obje strane jednačbe nalazi jednak broj atoma i naboja.

4.13. b) Vidi STEHIOMETRIJA

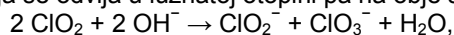
Reakcije ove vrste nazivaju se reakcijama disproporcioniranja, tj. isti se ioni međusobno oksidiraju i reduciraju. Ova se reakcija događa u lužnatoj otopini. Zato umjesto vode na lijevu stranu dodajemo ione OH^- .



Objednačbe uključuju jednaki broj elektrona pa ih možemo zbrojiti

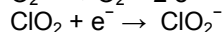
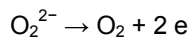


Reakcija se odvija u lužnatoj otopini pa na obje strane dodajemo ione OH^-

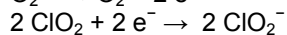
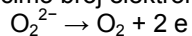


4.13. c) Vidi STEHIOMETRIJA

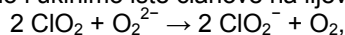
Peroksidni ioni mogu biti oksidansi ili reducensi. ClO_2 je jači oksidans od iona O_2^{2-} . Zato se peroksid oksidira u elementarni kisik (kisik iz oksidacijskog stanja (-1) prelazi u oksidacijsko stanje (0)), a ClO_2 reducira u klorit, ClO_2^- .



Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



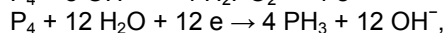
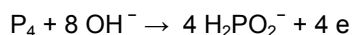
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



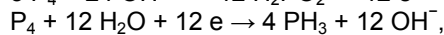
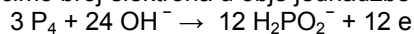
4.13. d) Vidi STEHIOMETRIJA

Ova se reakcija događa u lužnatoj otopini. Zato umjesto vode na lijevu stranu reakcije oksidacije dodajemo ione OH^- .

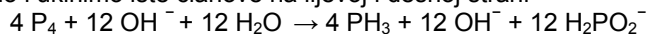
I ovdje dolazi do reakcije disproporcioniranja.



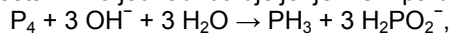
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani

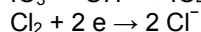
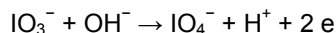


Pojednostavnimo jednačbu djeljenjem s 4 pa dobivamo:

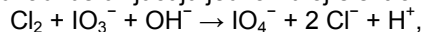


4.13. e) Vidi STEHIOMETRIJA

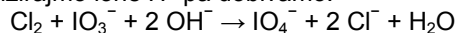
Reakcija se događa u lužnatoj otopini, pa umjesto vode dodajemo ione OH^- .



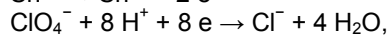
Objе jednačbe uključuju jednak broj elektrona pa ih možemo zbrojiti



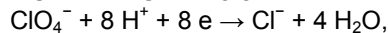
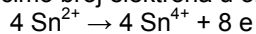
Neutralizirajmo ione H^+ pa dobivamo:



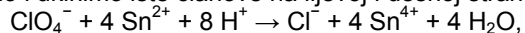
4.13. f) Vidi STEHIOMETRIJA



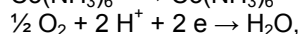
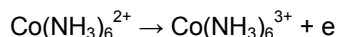
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



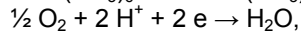
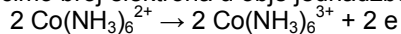
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



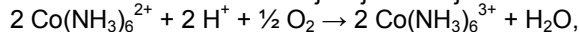
4.13. h) Vidi STEHIOMETRIJA



Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe

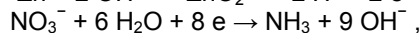


Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani

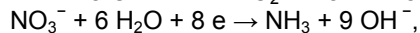
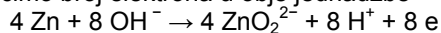


4.13. i) Vidi STEHIOMETRIJA

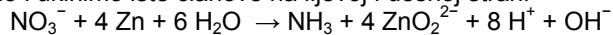
Reakcija se događa u lužnatoj otopini, pa umjesto vode u reakciji oksidacije dodajemo ione OH^- .



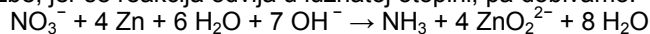
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



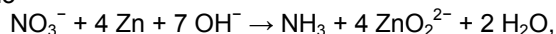
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



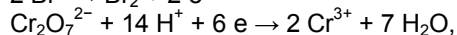
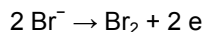
Dodajmo na obje strane jednačbe 7 iona OH^- , kako bismo neutralizirali ione H^+ na desnoj strani jednačbe, jer se reakcija odvija u lužnatoj otopini, pa dobivamo:



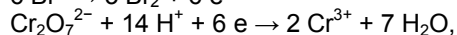
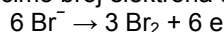
odnosno



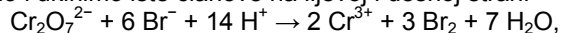
4.13. j) Vidi STEHIOMETRIJA



Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe

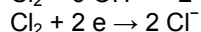


Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani

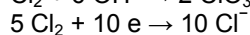
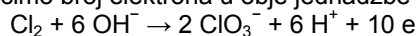


4.13. k) Vidi STEHIOMETRIJA

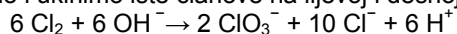
Reakcija se događa u lužnatoj otopini, pa umjesto vode dodajemo ione OH^- .



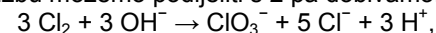
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



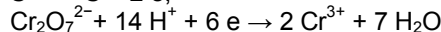
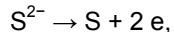
Jednačbu možemo podijeliti s 2 pa dobivamo:



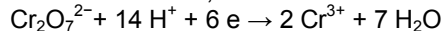
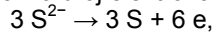
Ako na obje strane jednačbe dodamo 3 iona OH^- , kako bismo neutralizirali ione H^+ na desnoj strani konačno dobivamo:



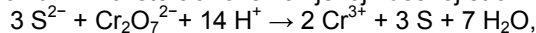
4.13. l) Vidi STEHIOMETRIJA



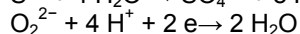
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



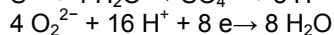
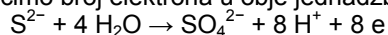
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



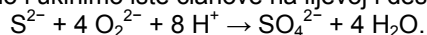
4.13. m) Vidi STEHIOMETRIJA



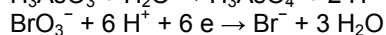
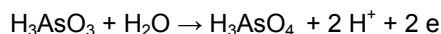
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



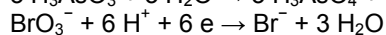
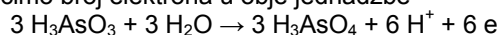
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



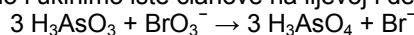
4.14. a) Vidi STEHIOMETRIJA



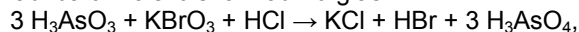
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



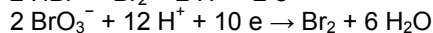
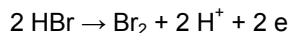
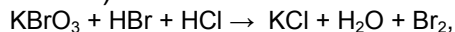
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



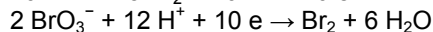
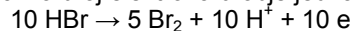
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi



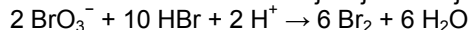
4.14. b) Vidi STEHIOMETRIJA



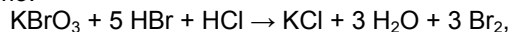
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



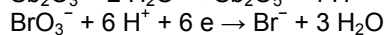
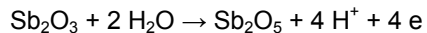
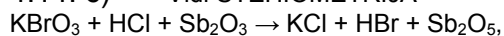
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



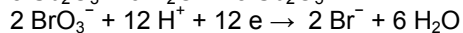
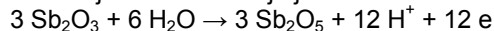
Prema uvjetima zadatka dodajmo ione K^+ i Cl^- . Očito je da cijelu jednačbu možemo podijeliti s 2 pa dobivamo:



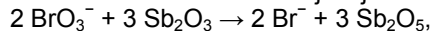
4.14. c) Vidi STEHIOMETRIJA



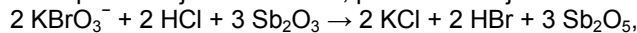
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



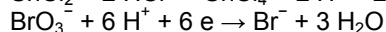
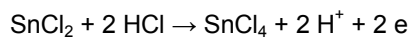
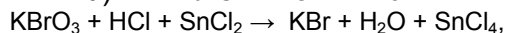
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



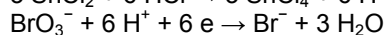
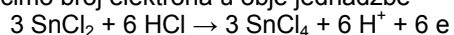
Dodajmo HCl prema uvjetima zadatka, pa dobivamo jednačbu u molekulskom obliku.



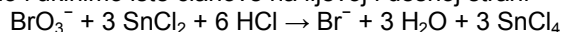
4.14. d) Vidi STEHIOMETRIJA



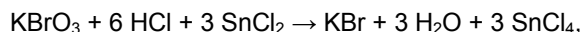
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



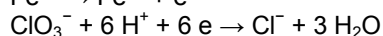
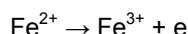
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



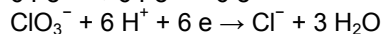
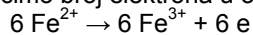
Dodajmo kalijeve ione prema uvjetima zadatka pa dobivamo jednačbu u molekulskom obliku.



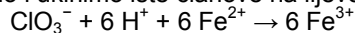
4.14. e) Vidi STEHIOMETRIJA



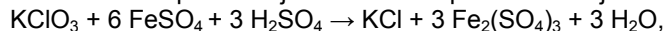
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



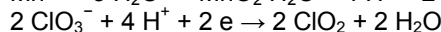
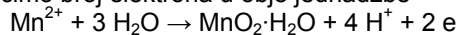
Dodajmo sulfatne ione prema uvjetima zadatka pa dobivamo jednačbu u molekulskom obliku.



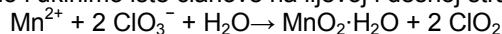
4.14. f) Vidi STEHIOMETRIJA



Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



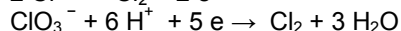
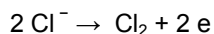
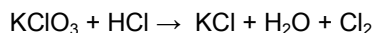
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



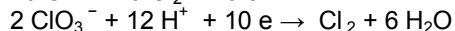
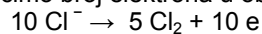
Dodajmo nitratne i kalijeve ione prema uvjetima zadatka pa dobivamo jednačbu u molekulskom obliku



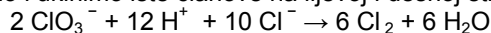
4.14. g) Vidi STEHIOMETRIJA



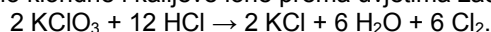
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



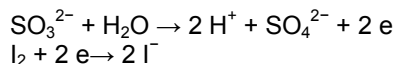
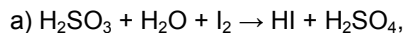
Dodajmo kloridne i kalijeve ione prema uvjetima zadatka pa dobivamo



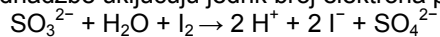
Jednačba je djeljiva s 2 pa konačno dobivamo



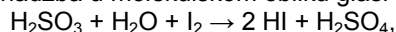
4.15. a) Vidi STEHIOMETRIJA



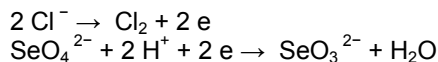
Objе једнадџбе укључују једнак број електрона па их моџемо збројити



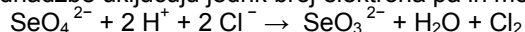
Ista једнадџба u molekulskom obliku glasi



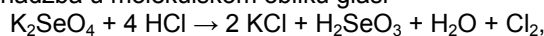
4.15. b) Vidi STEHIOMETRIJA



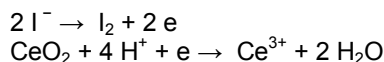
Objе једнадџбе укључују једнак број електрона па их моџемо збројити



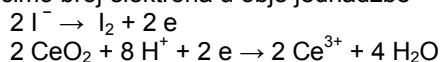
Ista једнадџба u molekulskom obliku glasi



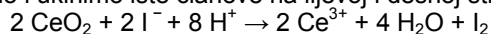
4.15. c) Vidi STEHIOMETRIJA



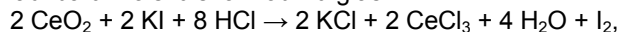
Izјednačimo broj elektrona u objе једнадџbe



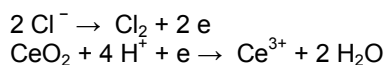
Zbroјimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



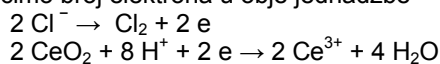
Ista једнадџба u molekulskom obliku glasi



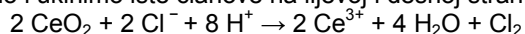
4.15. d) Vidi STEHIOMETRIJA



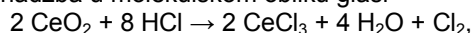
Izјednačimo broj elektrona u objе једнадџbe



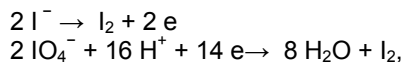
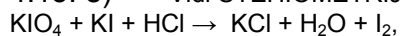
Zbroјimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



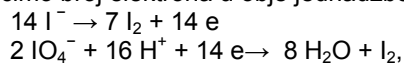
Ista једнадџба u molekulskom obliku glasi



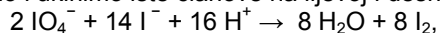
4.15. e) Vidi STEHIOMETRIJA



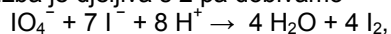
Izјednačimo broj elektrona u objе једнадџbe



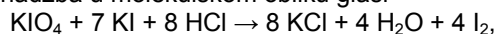
Zbroјimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



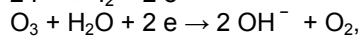
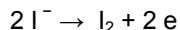
Jednaдџba je djeljiva s 2 pa dobivamo



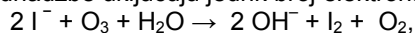
Ista једнадџба u molekulskom obliku glasi



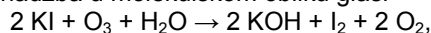
4.15. f) Vidi STEHIOMETRIJA



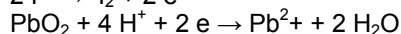
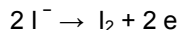
Objednažbe uključuju jednaki broj elektrona pa ih možemo zbrojiti



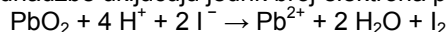
Ista jednažba u molekulskom obliku glasi



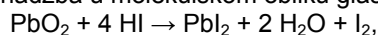
4.15. g) Vidi STEHIOMETRIJA



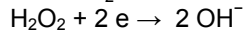
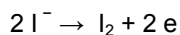
Objednažbe uključuju jednaki broj elektrona pa ih možemo zbrojiti



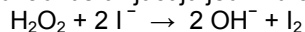
Ista jednažba u molekulskom obliku glasi



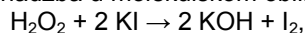
4.15. h) Vidi STEHIOMETRIJA



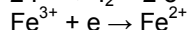
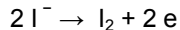
Objednažbe uključuju jednaki broj elektrona pa ih možemo zbrojiti



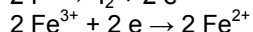
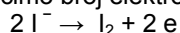
Ista jednažba u molekulskom obliku glasi



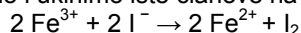
4.15. i) Vidi STEHIOMETRIJA



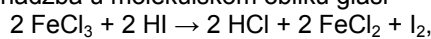
Izjednačimo broj elektrona u objednažbi



Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani

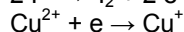
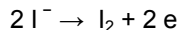


Ista jednažba u molekulskom obliku glasi

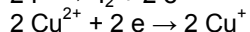
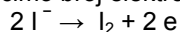


4.15. j) Vidi STEHIOMETRIJA

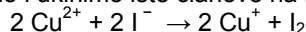
Kad se pomiješa otopina bakrova(II) sulfata i kalijeva jodida izluči se elementarni jod i taloži teško topljivi Cu_2I_2



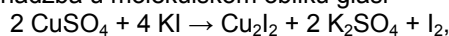
Izjednačimo broj elektrona u objednažbi



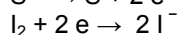
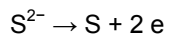
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



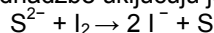
Ista jednažba u molekulskom obliku glasi



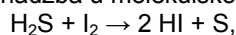
4.15. k) Vidi STEHIOMETRIJA



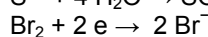
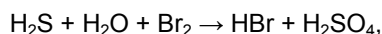
Objе једнадџбе укључују једнак број електрона па их моџемо збројити



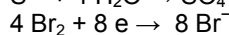
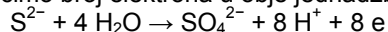
Ista једнадџба u molekulskom obliku glasi



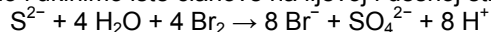
4.15. l) Vidi STEHIOMETRIJA



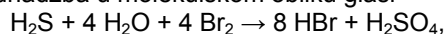
Izјednačimo број електрона u obje једнадџбе



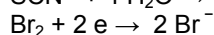
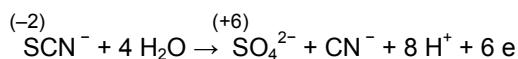
Zbroјimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



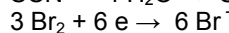
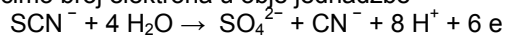
Ista једнадџба u molekulskom obliku glasi



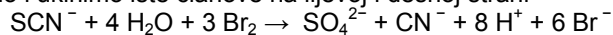
4.15. m) Vidi STEHIOMETRIJA



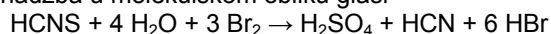
Izјednačimo број електрона u obje једнадџбе



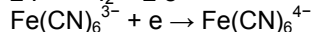
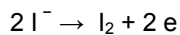
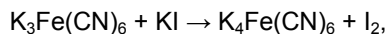
Zbroјimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



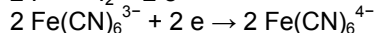
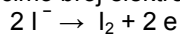
Ista једнадџба u molekulskom obliku glasi



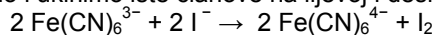
4.15. n) Vidi STEHIOMETRIJA



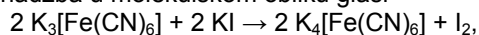
Izјednačimo број електрона u obje једнадџбе



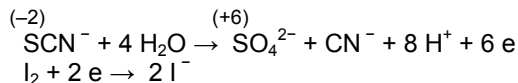
Zbroјimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



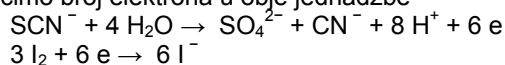
Ista једнадџба u molekulskom obliku glasi



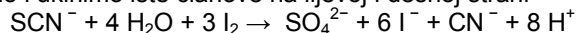
4.15. o) Vidi STEHIOMETRIJA



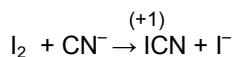
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



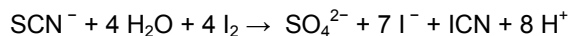
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



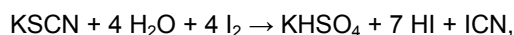
Cijanidni ioni s elementarnim jodom daju jodonijum cijanid, ICN, koji sadržava ion I^+ .



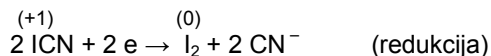
Zbrojimo posljednje dvije jednačbe dobivamo:



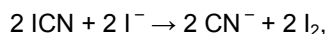
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi:



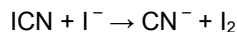
4.15. p) Vidi STEHIOMETRIJA



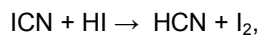
Objе jednačbe uključuju jednak broj elektrona pa ih možemo zbrojiti



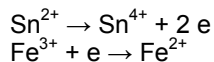
Jednačba je djeljiva s 2 pa dobivamo:



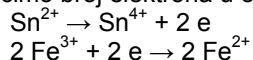
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi:



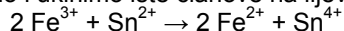
4.15. r) Vidi STEHIOMETRIJA



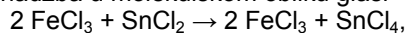
Izjednačimo broj elektrona u obje jednačbe



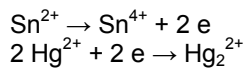
Zbrojimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



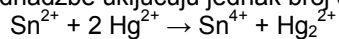
Ista jednačba u molekulskom obliku glasi



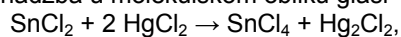
4.15. s) Vidi STEHIOMETRIJA



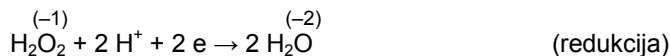
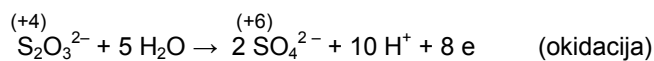
Objе једнадџбе укључују једнак број електрона па их моџемо збројити



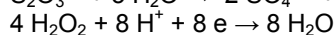
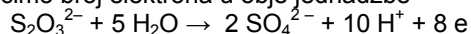
Ista једнадџба u molekulskom obliku glasi



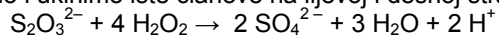
4.15. t) Vidi STEHIOMETRIJA



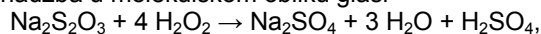
Izјednačimo broj elektrona u obje једнадџbe



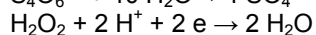
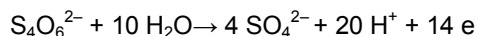
Zbroјimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



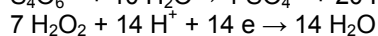
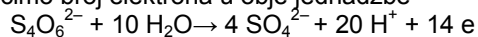
Ista једнадџба u molekulskom obliku glasi



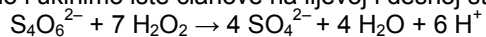
4.15. u) Vidi STEHIOMETRIJA



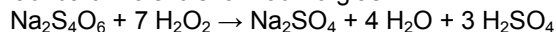
Izјednačimo broj elektrona u obje једнадџbe



Zbroјimo i ukinimo iste članove na lijevoj i desnoj strani



Ista једнадџба u molekulskom obliku glasi



5. KONCENTRACIJA OTOPINA

Fizičke veličine koncentracije

Fizička veličina	Simbol	Definicija	Jedinica*
množinska koncentracija otopljene tvari B;	c_B , [B]	$c_B = n_B/V$	mol m^{-3}
masena koncentracija otopljene tvari B;	γ_B	$\gamma_B = m_B/V$	kg m^{-3}
molalitet otopljene tvari B u otapalu A;	b_B	$b_B = n_B/m_A$	mol kg^{-1}
množinski udio tvari B;	x_B ,	$x_B = n_B/\sum n_i$	1
maseni udio tvari B;	w_B	$w_B = m_B/\sum m_i$	1
volumni udio tvari B;	φ_B	$\varphi_B = V_B/\sum V_i$	1

* Osim osnovnih, dopuštena je upotreba i svih decimalnih SI-jedinica, kao, na primjer, mol dm^{-3} , mmol dm^{-3} , mmol cm^{-3} itd.

5.1. Vidi STEHIOMETRIJA

Masena koncentracija otopljene tvari B, γ_B , jest omjer mase otopljene tvari volumena otopine, $\gamma_B = m_B/V$

Masa natrijeva sulfata koju treba odvagati za pripremu 250 cm^3 otopine je:

$$\begin{aligned} m_1(\text{Na}_2\text{SO}_4) &= \gamma_B \times V = 20 \text{ g dm}^{-3} \times 0,250 \text{ dm}^3 = \mathbf{5 \text{ g}} \\ m_2(\text{Na}_2\text{SO}_4) &= \gamma_B \times V = 40 \text{ g dm}^{-3} \times 0,250 \text{ dm}^3 = \mathbf{10 \text{ g}} \\ m_3(\text{Na}_2\text{SO}_4) &= \gamma_B \times V = 60 \text{ g dm}^{-3} \times 0,250 \text{ dm}^3 = \mathbf{15 \text{ g}} \\ m_4(\text{Na}_2\text{SO}_4) &= \gamma_B \times V = 100 \text{ g dm}^{-3} \times 0,250 \text{ dm}^3 = \mathbf{25 \text{ g}} \\ m_5(\text{Na}_2\text{SO}_4) &= \gamma_B \times V = 150 \text{ g dm}^{-3} \times 0,250 \text{ dm}^3 = \mathbf{37,5 \text{ g}} \end{aligned}$$

Odvagani natrijev sulfat treba otopiti u odmjernoj tikvici u oko 200 cm^3 vode i nadopuniti do 250 cm^3 .

5.2. Vidi STEHIOMETRIJA

Maseni udio otopljene tvari u otopini, w_B , jest omjer mase otopljene tvari i mase otopine, $w_B = m_B/\sum m_i$

$$\begin{aligned} m_1(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) &= w(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \times m(\text{otopine}) = 0,05 \times 400 \text{ g} = \mathbf{20 \text{ g}} \\ m_2(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) &= w(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \times m(\text{otopine}) = 0,15 \times 400 \text{ g} = \mathbf{60 \text{ g}} \\ m_3(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) &= w(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \times m(\text{otopine}) = 0,25 \times 400 \text{ g} = \mathbf{100 \text{ g}} \end{aligned}$$

5.3. Vidi STEHIOMETRIJA

Gustoća neke tvari (ili otopine) je omjer njezine mase i volumena, $\rho = m/V$.

Maseni udio neke tvari u otopini je omjer mase tvari i mase otopine, $w_B = m_B / m_{\text{otop}}$

Mase natrijeva hidroksida koje treba odvagati za pripremu zadanih količina otopina jesu:

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad m(\text{NaOH}) &= w \times \rho \times V = 0,05 \times 1,0452 \text{ g cm}^{-3} \times 500 \text{ cm}^3 = \mathbf{26,13 \text{ g}} \\ \text{b)} \quad m(\text{NaOH}) &= w \times \rho \times V = 0,10 \times 1,0918 \text{ g cm}^{-3} \times 800 \text{ cm}^3 = \mathbf{87,34 \text{ g}} \\ \text{c)} \quad m(\text{NaOH}) &= w \times \rho \times V = 0,20 \times 1,1884 \text{ g cm}^{-3} \times 150 \text{ cm}^3 = \mathbf{35,65 \text{ g}} \\ \text{d)} \quad m(\text{NaOH}) &= w \times \rho \times V = 0,40 \times 1,3991 \text{ g cm}^{-3} \times 300 \text{ cm}^3 = \mathbf{167,9 \text{ g}} \end{aligned}$$

5.4. Vidi STEHIOMETRIJA

Množinska koncentracija otopljene tvari, c_B , je omjer množine tvari i volumena otopine, $c_B = n_B/V$

Množina tvari iskazuje se jedinicom mol.

Mol (simbol n) je ona množina (engl. *amount* — količina) tvari definirane kemijske formule, koja sadržava isto toliko jedinki, koliko ima atoma u točno 0,012 kg izotopa ugljika ^{12}C .

Kada odvagamo onoliko grama neke tvari definirane kemijske formule, kolika je njezina relativna molekulska masa, odvagali smo upravo 1 mol te tvari, odnosno $6,022 \times 10^{23}$ jedinki navedene formule. Dakle molarna masa, M , definirana je izrazom

$$M = M_r \text{ g mol}^{-1}, \text{ odnosno } M = \frac{m}{n}$$

gdje je: m = masa tvari, n = množina tvari.

Relativna molekulska masa izračuna se tako da se zbroje realativne atomske mase svih atoma u molekuli ili formulskoj jedinki spoja.

Za pripremu 1 dm³ zadanih otopina koncentracije 1 mol dm⁻³ potrebno je odvagati 1 mol nabrojanih soli, otopiti u odmjernoj tikvici u manjem volumenu vode i nadopuniti do 1 dm³.

$$\begin{aligned} m(\text{K}_2\text{CO}_3) &= \mathbf{138,21 \text{ g}} \\ m(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) &= \mathbf{249,68 \text{ g}}, \\ m(\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) &= \mathbf{485,07 \text{ g}}, \\ m(\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) &= \mathbf{474,39 \text{ g}}. \end{aligned}$$

5.5. Vidi STEHIOMETRIJA

Kao u primjeru 5.4.

$$\begin{aligned} m(\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}) &= \mathbf{219,08 \text{ g}}, \\ m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) &= \mathbf{294,19 \text{ g}}, \\ m(\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}) &= \mathbf{499,42 \text{ g}}, \\ m(\text{NaClO}_3) &= \mathbf{106,44 \text{ g}}. \end{aligned}$$

5.6. Vidi STEHIOMETRIJA

Molalitet otopljene tvari, b_B , izražava se omjerom množine otopljene tvari, n_B , i mase otapala, m_A .

$$b_B = n_B / m_A$$

Kako je $n_B = m_B / M_B$, proizlazi

$$m_B = b_B \times M_B \times m_A$$

$$m(\text{otopina}) = m_B + m_A$$

Otopina čiji je molalitet $b = \text{mol kg}^{-1}$ priprema se tako da se 1 mol zadane tvari otopi u 1 kg otapala. Primjerice, za otopinu natrijeva karbonata, molaliteta $b = 1 \text{ mol kg}^{-1}$, potrebno je otopiti 106 g natrijeva karbonata u 1000 g vode. Masa dobivene otopine jednaka je 1106 g. Masa soli potrebna za pripremu 100 g otopine natrijeva karbonata zadanog molaliteta je:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 100 \text{ g} \times \frac{m_B}{m(\text{otopina})} = 100 \text{ g} \times \frac{m_B}{m_B + m_A} = 100 \text{ g} \times \frac{106 \text{ g}}{106 \text{ g} + 1000 \text{ g}} = 9,58 \text{ g}$$

Sastav jednomolalne otopine

Mase krute tvari (soli) i vode potrebne za pripremu 100 g jednomolalnih otopina

otopljena tvar B	m_B / g	m_A / g	$m_{\text{otopina}} / \text{g}$	$m_{\text{sol}} / \text{g}$	$m_{\text{voda}} / \text{g}$
Na_2CO_3	106	1000	1106	9,58	90,42
Na_2S	78	1000	1078	7,23	92,77
$\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	219	1000	1219	17,97	82,03
KH_2PO_4	136	1000	1136	11,97	88,03

5.7. Vidi STEHIOMETRIJA

Množinski udio neke tvari u smjesi ili otopini jednak je omjeru množine te tvari prema ukupnoj množini svih tvari.

$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

Mase zadanih tvari (prema uvjetima zadatka)	Mase bezvodne soli i vode potrebne za pripremu 100 g otopina, $x(\text{H}_2\text{O}) = 0,99$
---	--

sol	$\frac{0,01 \text{ mol} \times M(\text{sol})}{\text{g}}$	$\frac{0,99 \text{ mol} \times M(\text{H}_2\text{O})}{\text{g}}$	$\frac{m(\text{otopina})}{\text{g}}$	$m_{\text{tvar}} / \text{g}$	$m_{\text{voda}} / \text{g}$
NH_4JO_3	1,929	17,826	19,755	9,765	90,235
KNaCO_3	1,222	17,826	19,048	6,415	93,585
$\text{NaNH}_4\text{HPO}_4$	1,371	17,826	19,197	7,142	92,858
CdSO_4	2,085	17,826	19,911	10,472	89,528

5.8. Vidi STEHIOMETRIJA

Množinska koncentracija otopine je omjer množine otopljene tvari i volumena otopine: $c_B = n_B / V$

Masena koncentracija otopljene tvari je omjer mase otopljene tvari i volumena otopine: $\gamma_B = m_B / V$

Ako znamo masu otopljene soli, možemo izračunati i njezinu množinu jer je $n_B = m_B / M_B$

Za množine soli otopljenih u dm^3 otopine dobivamo

$$n_B = \frac{m_B}{M_B}, \text{ pa je množinska koncentracija otopine } c_B = \frac{n_B}{V_{\text{otopina}}} = \frac{m_B}{M_B \times V_{\text{otopina}}}$$

Odavde proizlazi:

tvar B	m_B / g	$M_B / \text{g mol}^{-1}$	n_B / mol	$V_{\text{otopina}} / \text{dm}^3$	$c_B / \text{mol dm}^{-3}$
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$	100	666,4	0,1501	1	0,1501
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	100	46,07	2,171	1	2,171
AgNO_3	100	169,87	0,5917	1	0,5886
FeCl_3	100	162,2	0,6165	1	0,6165

5.9. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo jednakim postupkom kao u zadatku 5.8.

tvar B	m_B / g	$M_B / \text{g mol}^{-1}$	n_B / mol	$V_{\text{otopina}} / \text{dm}^3$	$c_B / \text{mol dm}^{-3}$
KH_2PO_4	10	136,09	0,0735	1	0,0735
H_3PO_4	10	98,00	0,1020	1	0,1020
$\text{H}_2(\text{HPO}_3)$	10	82,00	0,1220	1	0,1220
$\text{H}(\text{H}_2\text{PO}_2)$	10	66,0	0,1515	1	0,1515

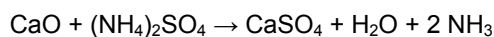
5.10. Vidi STEHIOMETRIJA

$$c_B = n_B / V \quad n_B = m_B / M_B \quad n_B = c_B \times V \quad m_B = n_B \times M_B \quad m_B = c_B \times V \times M_B$$

tvar B	$V_{\text{otopina}} / \text{dm}^3$	$c_B / \text{mol dm}^{-3}$	$M_B / \text{g mol}^{-1}$	m_B / g
KMnO ₄	1	0,1	158,04	15,804
K ₂ Cr ₂ O ₇	1	0,1	294,19	29,419
KIO ₃	1	0,1	214,00	21,400
Na ₂ S ₂ O ₃	1	0,1	158,18	15,818
Na ₂ C ₂ O ₄	1	0,1	134,00	13,400
FeSO ₄ · 7 H ₂ O	1	0,1	278,05	27,805

5.11. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo najprije jedndžbu reakcije



Masu amonijaka koja se može pripremiti iz 5 kmol amonijeva sulfata izračunamo iz omjera:

$$n(\text{NH}_3) : n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 2 : 1$$

Odavde proizlazi

$$n(\text{NH}_3) = 2 n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$$

Masa amonijaka koja se može pripremiti iz navedene množine amonijeva sulfata je

$$m(\text{NH}_3) = n(\text{NH}_3) \times M(\text{NH}_3) = 2 n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) \times M(\text{NH}_3)$$

Maseni udio amonijaka u koncentriranoj otopini je 15 %. Maseni udio sastojaka smjese definiran je izrazom:

$$w(\text{NH}_3) = m(\text{NH}_3) / m(\text{otopina})$$

Odavde proizlazi da je masa 15 postotne otopine manijaka koja se može pripremiti izračunanom masom amonijaka je:

$$m(\text{otopina}) = m(\text{NH}_3) / w(\text{NH}_3)$$

Gustoća otopine definirana je omjerom:

$$\rho = m / V$$

pa je volumen otopine

$$V(15 \% \text{ otop. NH}_3) = m(\text{otopina}) / \rho(\text{otopina})$$

$$= m(\text{NH}_3) / w(\text{NH}_3) \times \rho(\text{otopina})$$

$$= 2 n((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) \times M(\text{NH}_3) / w(\text{NH}_3) \times \rho(\text{otopina})$$

$$= 2 \times 5 \text{ kmol} \times 17 \text{ kg kmol}^{-1} / 0,15 \times 0,942 \text{ kg dm}^{-3}$$

$$= \mathbf{1203 \text{ dm}^3}.$$

5.12. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\gamma(\text{NaCl}) = 50 \text{ mg dm}^{-3}$$

$$c = n / V$$

$$n = m/M$$

$$c(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl}) \times V} = \frac{50 \times 10^{-3} \text{ g}}{58,44 \text{ g mol}^{-1} \times 1 \text{ dm}^3} = 8,555 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$N_A = \text{Avogadrova konstanta} = \text{broj jedinki} / \text{množina tih jedinki} = N/n = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Odavde proizlazi da je broj jedinki, N , (atoma, iona, ili bilo kojih definiranih jedinki) jednak umnošku množine jedinki i Avogadrve konstante.

$$N = n \times N_A$$

odnosno

$$\begin{aligned} N(\text{Na}^+) &= N(\text{Cl}^-) = n(\text{NaCl}) \times N_A \\ &= \frac{50 \times 10^{-3} \text{ g}}{58,44 \text{ g mol}^{-1}} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\ &= 5,15 \times 10^{20}. \end{aligned}$$

5.13. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\rho = m/V$$

$$m = \rho \times V$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = w(\text{H}_3\text{PO}_4) \times \rho \times V$$

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = m(\text{H}_3\text{PO}_4) / M(\text{H}_3\text{PO}_4)$$

$$\begin{aligned} c(\text{H}_3\text{PO}_4) &= \frac{n(\text{H}_3\text{PO}_4)}{V} = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{M(\text{H}_3\text{PO}_4) \times V} = \frac{w(\text{H}_3\text{PO}_4) \times \rho \times V}{M(\text{H}_3\text{PO}_4) \times V} \\ &= \frac{0,20 \times 1114,3 \text{ g dm}^{-3} \times 1 \text{ dm}^3}{98,00 \text{ g mol}^{-1} \times 1 \text{ dm}^3} = 2,274 \text{ mol dm}^{-3} \end{aligned}$$

5.14. Vidi STEHIOMETRIJA

$$n = c \times V$$

$$m = n \times M$$

$$V = m / \rho$$

Moramo odrediti volumen 96 postotne H_2SO_4 koji sadrži jednaku množinu (ili masu) sumporne kiseline kao i 1 dm^3 otopine sumporne kiseline $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,5 \text{ mol dm}^{-3}$. Polazimo od naprijed definiranih odnosa:

$$\begin{aligned} V(96 \% \text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{w(\text{H}_2\text{SO}_4) \times \rho(\text{konc. H}_2\text{SO}_4)} = \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4) \times M(\text{H}_2\text{SO}_4)}{w(\text{H}_2\text{SO}_4) \times \rho(\text{konc. H}_2\text{SO}_4)} \\ &= \frac{c(\text{H}_2\text{SO}_4) \times V(\text{otop. H}_2\text{SO}_4) \times M(\text{H}_2\text{SO}_4)}{w(\text{H}_2\text{SO}_4) \times \rho(\text{konc. H}_2\text{SO}_4)} \\ &= \frac{0,5 \text{ mol dm}^{-3} \times 1 \text{ dm}^3 \times 98,08 \text{ g mol}^{-1}}{0,96 \times 1,84 \text{ g cm}^{-3}} \\ &= \mathbf{27,76 \text{ cm}^{-3}}. \end{aligned}$$

5.15. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo jednakim postupkom kao u zadatku. 5.14.

$$\begin{aligned} V(36 \% \text{HCl}) &= \frac{m(\text{HCl})}{w(\text{HCl}) \times \rho(\text{konc. HCl})} = \frac{n(\text{HCl}) \times M(\text{HCl})}{w(\text{HCl}) \times \rho(\text{konc. HCl})} \\ &= \frac{c(\text{HCl}) \times V(\text{otop. HCl}) \times M(\text{HCl})}{w(\text{HCl}) \times \rho(\text{konc. HCl})} \\ &= \frac{2 \text{ mol dm}^{-3} \times 1 \text{ dm}^3 \times 36,5 \text{ g mol}^{-1}}{0,36 \times 1,18 \text{ g cm}^{-3}} \\ &\approx \mathbf{172 \text{ cm}^{-3}}. \end{aligned}$$

5.16. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo jednakim postupkom kao u zadatku. 5.14.

$$\begin{aligned} V(67 \% \text{HNO}_3) &= \frac{m(\text{HNO}_3)}{w(\text{HNO}_3) \times \rho(\text{konc. HNO}_3)} = \frac{n(\text{HNO}_3) \times M(\text{HNO}_3)}{w(\text{HNO}_3) \times \rho(\text{konc. HNO}_3)} \\ &= \frac{c(\text{HNO}_3) \times V(\text{otop. HNO}_3) \times M(\text{HNO}_3)}{w(\text{HNO}_3) \times \rho(\text{konc. HNO}_3)} \\ &= \frac{4 \text{ mol dm}^{-3} \times 1 \text{ dm}^3 \times 63,01 \text{ g mol}^{-1}}{0,67 \times 1,4 \text{ g cm}^{-3}} \\ &\approx \mathbf{268,7 \text{ cm}^{-3}}. \end{aligned}$$

5.17. Vidi STEHIOMETRIJA

Da bismo riješili problem moramo izračunati množinu sumporne kiseline u 1 dm³ kiseline.

$$n = m / M$$

$$m = \rho \times V$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{w(\text{H}_2\text{SO}_4) \times \rho(\text{H}_2\text{SO}_4) \times V(\text{otop. H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)}$$

$$= \frac{0,96 \times 1,84 \text{ g cm}^{-3} \times 1000 \text{ cm}^3}{98,08 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$= 18,0 \text{ mol}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V} = \frac{18,0 \text{ mol}}{1 \text{ dm}^3} = \mathbf{18 \text{ mol dm}^{-3}}$$

5.18. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo istim postupkom kao u primjeru 5.17.

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{\rho(\text{H}_2\text{O}) \times V(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{1 \text{ g cm}^{-3} \times 1000 \text{ cm}^3}{18 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{55,55 \text{ mol}}$$

5.19. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo istim postupkom kao u primjeru 5.17

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})} = \frac{w(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \times \rho(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \times V(\text{otop. C}_2\text{H}_5\text{OH})}{M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}$$

$$= \frac{0,342 \times 0,95 \text{ g cm}^{-3} \times 1000 \text{ cm}^3}{46,07 \text{ g mol}^{-1}} = 7,05 \text{ mol}$$

$$c(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{V} = \frac{7,05 \text{ mol}}{1 \text{ dm}^3} = \mathbf{7,05 \text{ mol dm}^{-3}}$$

5.20. Vidi STEHIOMETRIJA

Kiselina i lužina reagiraju u molarnom omjeru 1 : 1, pa vrijedi:

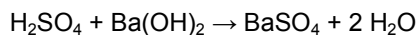
$$V(\text{kiselina}) \times c(\text{kiselina}) = V(\text{NaOH}) \times c(\text{NaOH})$$

Oдавде proizlazi:

$$c(\text{kiselina}) = \frac{V(\text{NaOH}) \times c(\text{NaOH})}{V(\text{kiselina})} = \frac{32,4 \text{ cm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3}}{20,0 \text{ cm}^3} = \mathbf{0,162 \text{ mol dm}^{-3}}$$

5.21. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Iz jednadžbe reakcije vidimo da sumporna kiselina i barijev hidroksid reagiraju u molarnom omjeru 1 : 1, odnosno 1 mol sumporne kiseline neutralizira 1 mol barijeva hidroksida. Treba izračunati množinu barijeva hidroksida koja je ujedno jednaka množini sumporne kiseline. Kako je:

$$n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = \frac{m(\text{Ba}(\text{OH})_2)}{M(\text{Ba}(\text{OH})_2)}$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = V(\text{H}_2\text{SO}_4) \times c(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{Ba}(\text{OH})_2)$$

proizlazi

$$V(\text{otop. H}_2\text{SO}_4) \times c(\text{otop. H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Ba}(\text{OH})_2)}{M(\text{Ba}(\text{OH})_2)}$$

Odavde se dobiva

$$V(\text{otop. H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Ba}(\text{OH})_2)}{M(\text{Ba}(\text{OH})_2) \times c(\text{otop. H}_2\text{SO}_4)} = \frac{0,2 \text{ g}}{171,3 \text{ g mol}^{-1} \times 0,25 \text{ mol dm}^{-3}} = \mathbf{4,67 \text{ cm}^3}$$

5.22. Vidi STEHIOMETRIJA

Treba izračunati množinu tvari i podijeliti s volumenom otopine pa ćemo dobiti koncentraciju otopine.

$$n(\text{tvar}) = m(\text{tvar}) / M(\text{tvar}) = 10 \text{ g} / 46 \text{ g mol}^{-1} = 0,217 \text{ mol}$$

$$V(\text{otopina}) = m(\text{otopina}) / \rho(\text{otopina}) = 110 \text{ g} / 0,985 \text{ g cm}^{-3} = 111,7 \text{ cm}^3$$

Odavde proizlazi:

$$c(\text{tvar, otopina}) = \frac{n(\text{tvar})}{V(\text{otopina})} = \frac{0,217 \text{ mol}}{0,1117 \text{ dm}^3} = \mathbf{1,94 \text{ mol dm}^{-3}}$$

5.23. Vidi STEHIOMETRIJA

Najprije treba izračunati množine kiselina u zadanim volumenima.

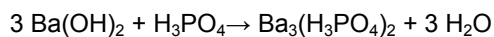
$$n = V \times c$$

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0,1 \text{ dm}^3 \times \frac{1}{3} \text{ mol dm}^{-3} = \frac{1}{30} \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,2 \text{ dm}^3 \times 0,5 \text{ mol dm}^{-3} = 0,1 \text{ mol}$$

$$n(\text{HNO}_3) = 0,3 \text{ dm}^3 \times 1 \text{ mol dm}^{-3} = 0,3 \text{ mol}$$

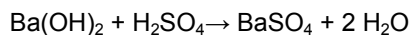
Napišimo jednadžbe reakcija



$$n\text{Ba(OH)}_2 : n(\text{H}_3\text{PO}_4) = 3 : 2$$

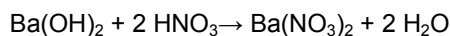
$$n\text{Ba(OH)}_2 = \frac{3}{2} n(\text{H}_3\text{PO}_4)$$

$$\begin{aligned} m(\text{Ba(OH)}_2) &= n(\text{Ba(OH)}_2) \times M(\text{Ba(OH)}_2) = \frac{3}{2} n(\text{H}_3\text{PO}_4) \times M(\text{Ba(OH)}_2) \\ &= \frac{3}{2} \times \frac{1}{30} \text{ mol} \times 171,3 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{8,565 \text{ g}} \end{aligned}$$



$$n\text{Ba(OH)}_2 : n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 : 1$$

$$\begin{aligned} m(\text{Ba(OH)}_2) &= n(\text{Ba(OH)}_2) \times M(\text{Ba(OH)}_2) = n(\text{H}_2\text{SO}_4) \times M(\text{Ba(OH)}_2) \\ &= 0,1 \text{ mol} \times 171,3 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{17,13 \text{ g}} \end{aligned}$$



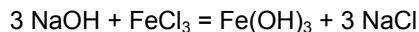
$$n\text{Ba(OH)}_2 : n(\text{HNO}_3) = 1 : 2$$

$$= n(\text{HNO}_3) / 2$$

$$\begin{aligned} m(\text{Ba(OH)}_2) &= n(\text{Ba(OH)}_2) \times M(\text{Ba(OH)}_2) = \frac{1}{2} n(\text{HNO}_3) \times M(\text{Ba(OH)}_2) \\ &= 0,15 \text{ mol} \times 171,3 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{25,7 \text{ g}} \end{aligned}$$

5.24. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



$$n(\text{NaOH}) : n(\text{FeCl}_3) = 3 : 1$$

$$n(\text{NaOH}) = 3 \times n(\text{FeCl}_3)$$

$$V(\text{otop. NaOH}) \times c(\text{otop. NaOH}) = 3 \times V(\text{otop. FeCl}_3) \times c(\text{otop. FeCl}_3)$$

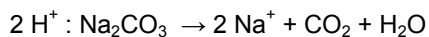
Oдавде proizlazi:

$$V(\text{otop. NaOH}) = \frac{3 \times V(\text{otop. FeCl}_3) \times c(\text{otop. FeCl}_3)}{c(\text{otop. NaOH})} = \frac{3 \times 10 \text{ cm}^3 \times 0,5 \text{ mol dm}^{-3}}{0,1 \text{ mol dm}^{-3}} = \mathbf{150 \text{ cm}^3}$$

5.25. Vidi STEHIOMETRIJA

$$c = n / V$$

Napišimo jednadžbu reakcije



Iz jednadžbe reakcija proizlazi da natrijev karbonat i kiselina reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1.

$$n(\text{H}^+) : n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2 : 1$$

$$n(\text{H}^+) = 2 n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2 \times \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)}$$

$$c(\text{H}^+) = \frac{n(\text{H}^+)}{V(\text{otop. H}^+)} = \frac{2 \times m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{V(\text{otop. H}^+) \times M(\text{Na}_2\text{CO}_3)}$$

$$= \frac{2 \times 0,184 \text{ g}}{33,12 \text{ cm}^3 \times 106 \text{ g mol}^{-1}} = 1,048 \times 10^{-4} \text{ mol cm}^{-3} = \mathbf{0,1048 \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$\text{Faktor (f)} = \frac{c}{c_{\text{nazivno}}} = \frac{0,1048 \text{ mol dm}^{-3}}{0,1 \text{ mol dm}^{-3}} = \mathbf{1,048}$$

5.26. Vidi STEHIOMETRIJA

$$f = \frac{c}{c_{\text{nazivno}}}$$

$$c = f \times c_{\text{nazivno}}$$

Pri razrjeđivanju množina tvari se ne mijenja pa vrijedi.

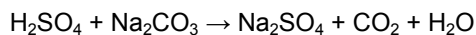
$$V \times c = V_1 \times c_1$$

$$V \times f \times c_{\text{nazivno}} = V_1 \times c_1$$

$$V_1 = \frac{V \times f \times c_{\text{nazivno}}}{c_1} = \frac{1 \text{ dm}^3 \times 1,062 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3}}{0,1 \text{ mol dm}^{-3}} = \mathbf{1,062 \text{ dm}^3}$$

5.27. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Sumporna kiselina i natrijev karbonat međusobno reagiraju u molarnom omjeru 1 : 1, pa vrijedi:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3)$$

$$\begin{aligned} c(\text{H}_2\text{SO}_4) &= \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{n(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{V(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3) \times V(\text{H}_2\text{SO}_4)} \\ &= \frac{0,810 \text{ g}}{106 \text{ g mol}^{-1} \times 50 \text{ cm}^3} = 1,5283 \times 10^{-4} \text{ mol cm}^{-3} = 0,15283 \text{ mol dm}^{-3} \end{aligned}$$

$$V \times c = V_1 \times c_1$$

$$V_1 = \frac{V \times c}{c_1} = \frac{10 \text{ dm}^3 \times 0,15283 \text{ mol dm}^{-3}}{0,1 \text{ mol dm}^{-3}} = \mathbf{15,28 \text{ dm}^3}$$

5.28. Vidi STEHIOMETRIJA

Moramo uzeti u obzir gustoće klorovodične kiseline koje nisu zadane. Odredit ćemo ih na temelju empirijskog pravila, pa je gustoća 36 postotne kiseline, $\rho = 1,18 \text{ g cm}^{-3}$, a 10 postotne otopine klorovodične kiseline, $\rho_1 = 1,05 \text{ g cm}^{-3}$.

Masa klorovodične kiseline u 5 dm³ 36 postotne kiseline je:

$$m(\text{HCl}) = w(\text{HCl}) \times V(\text{HCl}) \times \rho(\text{HCl})$$

Masa klorovodične kiseline ne mijenja se pri razrjeđivanju, pa za razrijeđenu otopinu vrijedi:

$$m(\text{HCl}) = w_1(\text{HCl}) \times V_1(\text{HCl}) \times \rho_1(\text{HCl})$$

Možemo pisati:

$$w(\text{HCl}) \times V(\text{HCl}) \times \rho(\text{HCl}) = w_1(\text{HCl}) \times V_1(\text{HCl}) \times \rho_1(\text{HCl})$$

Odavde proizlazi

$$V_1(\text{HCl}) = \frac{w(\text{HCl}) \times V(\text{HCl}) \times \rho(\text{HCl})}{w_1(\text{HCl}) \times \rho_1(\text{HCl})} = \frac{0,36 \times 5 \text{ dm}^3 \times 1,18 \text{ g cm}^{-3}}{0,10 \times 1,05 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{20,2 \text{ dm}^3}$$

5.29. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije množinu sumporne kiseline koju mora sadržavati otopina nakon mješanja.

$$n_3 = V_3 \times c_3$$

Znamo da tu množinu sumporne kiseline moramo dobiti mješanjem otopina koncentracije $c_1 = 1 \text{ mol dm}^{-3}$ i otopine koncentracije $c_2 = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$. Prema tome vrijedi:

$$V_1 c_1 + V_2 c_2 = V_3 c_3$$

Nadalje prema uvjetima zadatka mora biti:

$$V_1 + V_2 = V_3$$

Za V_1 iz prve jednadžbe dobivmo:

$$V_1 = \frac{V_3 c_3 - V_2 c_2}{c_1}$$

Supstitucijom V_1 u drugu jednadžbu dobivamo:

$$\frac{V_3 c_3 - V_2 c_2}{c_1} + V_2 = V_3$$

$$V_3 c_3 - V_2 c_2 + V_2 c_1 = V_3 c_1$$

$$V_2 c_1 - V_2 c_2 = V_3 c_1 - V_3 c_3$$

$$V_2(c_1 - c_2) = V_3(c_1 - c_3)$$

Odavde proizlazi:

$$V_2 = \frac{V_3(c_1 - c_3)}{(c_1 - c_2)} = \frac{0,5 \text{ dm}^3 (1 \text{ mol dm}^{-3} - 0,25 \text{ mol dm}^{-3})}{(1 \text{ mol dm}^{-3} - 0,05 \text{ mol dm}^{-3})} = \mathbf{0,395 \text{ dm}^3}$$

$$V_1 = V_3 - V_2 = 0,500 \text{ dm}^3 - 0,395 \text{ dm}^3 = \mathbf{0,105 \text{ dm}^3}$$

Za dobivanje 500 cm^3 otopine sumporne kiseline, $c_3 = 0,25 \text{ mol dm}^{-3}$, treba pomiješati 105 cm^3 otopine sumporne kiseline $c_1 = 1 \text{ mol dm}^{-3}$ i 395 cm^3 otopine $c_2 = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$. Pretpostavljena je aditivnost volumena.

5.30. Vidi STEHIOMETRIJA

Treba izračunati volumen otopine srebrova nitrata, $c(\text{Ag}^+) = 1 \text{ mol dm}^{-3}$, koji sadržava 1 g iona Ag^+ .

$$n = V \times c$$

$$n = m / M$$

$$\begin{aligned} V(\text{otop. AgNO}_3) &= \frac{n(\text{Ag}^+)}{c(\text{otop. AgNO}_3)} = \frac{m(\text{Ag}^+)}{M(\text{Ag}^+) \times c(\text{otop. AgNO}_3)} \\ &= \frac{1 \text{ g}}{107,9 \text{ g mol}^{-1} \times 1 \text{ mol dm}^{-3}} = 0,00927 \text{ dm}^3 = \mathbf{9,27 \text{ cm}^3} \end{aligned}$$

5.31. Vidi STEHIOMETRIJA

Potrebno je najprije izračunati masu bakrovih iona u 25 cm^3 otopine bakrova(II) sulfata, koncentracije $c(\text{CuSO}_4) = 1 \text{ mol dm}^{-3}$, a potom izračunati volumen, V_1 , otopine u kojoj je $\gamma(\text{Cu}^{2+}) = 10 \text{ mg cm}^{-3}$, a sadržava istu masu bakrovih iona.

$$n = V c$$

$$n = m / M$$

$$m(\text{Cu}^{2+}) = n \times M = V \times c \times M$$

$$\gamma = m / V_1$$

$$V_1 = \frac{m(\text{Cu}^{2+})}{\gamma(\text{Cu}^{2+})} = \frac{V \times c \times M}{\gamma(\text{Cu}^{2+})} = \frac{25 \text{ cm}^3 \times 1 \text{ mmol cm}^{-3} \times 63,55 \text{ mg mmol}^{-1}}{10 \text{ mg cm}^{-3}} = \mathbf{158,87 \text{ cm}^3}$$

5.32. Vidi STEHIOMETRIJA

Vidi zadatak 5.29. gdje je rješavan sličan problem.

$$n_3 = V_3 \times c_3$$

Znamo da tu množinu klorovodične kiseline moramo dobiti mješanjem otopina koncentracije $c_1 = 2 \text{ mol dm}^{-3}$ i otopine koncentracije $c_2 = 9 \text{ mol dm}^{-3}$. Prema tome vrijedi:

$$V_1 c_1 + V_2 c_2 = V_3 c_3$$

Nadalje prema uvjetima zadatka mora biti:

$$V_1 + V_2 = V_3$$

Za V_1 iz prve jednadžbe dobivmo:

$$V_1 = \frac{V_3 c_3 - V_2 c_2}{c_1}$$

Supstitucijom V_1 u drugu jednadžbu dobivamo:

$$\frac{V_3 c_3 - V_2 c_2}{c_1} + V_2 = V_3$$

$$V_3 c_3 - V_2 c_2 + V_2 c_1 = V_3 c_1$$

$$V_2 c_1 - V_2 c_2 = V_3 c_1 - V_3 c_3$$

$$V_2(c_1 - c_2) = V_3(c_1 - c_3)$$

Oдавde proizlazi:

$$V_2 = \frac{V_3(c_1 - c_3)}{(c_1 - c_2)} = \frac{2 \text{ dm}^3 (2 \text{ mol dm}^{-3} - 6 \text{ mol dm}^{-3})}{(2 \text{ mol dm}^{-3} - 9 \text{ mol dm}^{-3})} = \mathbf{1,143 \text{ dm}^3}$$

$$V_1 = V_3 - V_2 = 2 \text{ dm}^3 - 1,143 \text{ dm}^3 = \mathbf{0,857 \text{ dm}^3}$$

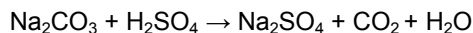
Za dobivanje 2 dm^3 otopine klorovodične kiseline, $c_3 = 6 \text{ mol dm}^{-3}$, treba pomiješati $0,857 \text{ dm}^3$ otopine klorovodične kiseline $c_1 = 2 \text{ mol dm}^{-3}$ i $1,143 \text{ dm}^3$ otopine $c_2 = 9 \text{ mol dm}^{-3}$. Pretpostavlja se aditivnost volumena.

5.33. Vidi STEHIOMETRIJA

Čvrsta točka je 28,4 cm³ otopine sumporne kiseline $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$. Množina sumporne kiseline sadržana u tom volumenu kiseline je:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = V(\text{H}_2\text{SO}_4) \times c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 28,4 \text{ cm}^3 \times 0,05 \text{ mmol cm}^{-3} = 1,42 \text{ mmol}$$

Prema jednadžbi reakcije:



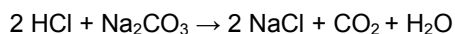
proizlazi da je

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3)$$

odnosno 50 cm³ otopine natrijeva karbonata sadržava 1,42 mmol Na₂CO₃.

25 cm³ otopine natrijeva karbonata sadržava 0,71 mmol Na₂CO₃.

Prema jednadžbi reakcije



proizlazi

$$n(\text{HCl}) = 2 n(\text{Na}_2\text{CO}_3)$$

odnosno

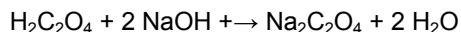
$$n(\text{HCl}) = 2 \times 0,71 \text{ mmol} = 1,42 \text{ mmol}$$

Koncentracija otopine klorovodične kiseline je:

$$c(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{V(\text{HCl})} = \frac{1,42 \text{ mmol}}{38,6 \text{ cm}^3} = \mathbf{0,0368 \text{ mol dm}^{-3}}$$

5.34. Vidi STEHIOMETRIJA

Oksalna kiselina neutralizira se natrijevim hidroksidom prema jednadžbi:



Oksalna kiselina i natrijev hidroksid reagiraju u molarnom omjeru 1 : 2. Odavde proizlazi:

$$\begin{aligned} n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) &= \frac{1}{2} \times n(\text{NaOH}) = \frac{1}{2} \times V(\text{otop. NaOH}) \times c(\text{otop. NaOH}) \\ &= \frac{1}{2} \times 26,8 \text{ cm}^3 \times 0,0934 \text{ mmol cm}^{-3} \\ &= 1,25156 \text{ mmol} \end{aligned}$$

Oksalna kiselina i kalijev permanganat reagiraju prema jednadžbi:



Iz jednadžbe reakcije proizlazi da oksalna kiselina i kalijev permanganat reagiraju u molarnom omjeru 5 : 2. Odavde proizlazi:

$$5 \times n(\text{KMnO}_4) = 2 \times n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$$

$$\begin{aligned} n(\text{KMnO}_4) &= \frac{2 \times n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{5} = \frac{2 \times 1,25156 \text{ mmol}}{5} = 0,5006 \text{ mmol} \\ c(\text{KMnO}_4) &= \frac{n(\text{KMnO}_4)}{V(\text{otop. KMnO}_4)} = \frac{0,5006 \text{ mmol}}{23,8 \text{ cm}^3} = \mathbf{0,0210 \text{ mol dm}^{-3}} \end{aligned}$$

ili **"0,02 M", $f = 1,0517$**

5.35. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



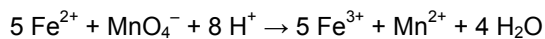
Željezov(II) sulfat i kalijev permanganat reagiraju u molarnom omjeru 5 : 1. Odavde proizlazi:

$$\begin{aligned} n(\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}) &= 5 \times n(\text{KMnO}_4) \\ &= 5 \times c(\text{otop.KMnO}_4) \times V(\text{otop.KMnO}_4) \\ m(\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}) &= M(\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}) \times n(\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}) \\ &= M(\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}) \times 5 \times c(\text{otop.KMnO}_4) \times V(\text{otop.KMnO}_4) \\ &= 278,05 \text{ g mol}^{-1} \times 5 \times 0,02 \text{ mol dm}^{-3} \times 0,028 \text{ dm}^3 \\ &= \mathbf{0,7785 \text{ g}} \end{aligned}$$

5.36. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo jednakim postupkom kao u zadatku 5.35

Napišimo jednadžbu reakcije u ionskom obliku



Željezovi ioni i permanganatni ioni reagiraju u molarnom omjeru 5 : 1. Odavde proizlazi:

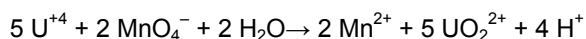
$$\begin{aligned} n(\text{Fe}^{2+}) &= 5 \times n(\text{MnO}_4^-) \\ &= 5 \times c(\text{otop.KMnO}_4) \times V(\text{otop.KMnO}_4) \\ m(\text{Fe}^{2+}) &= M(\text{Fe}^{2+}) \times n(\text{Fe}^{2+}) \\ &= M(\text{Fe}^{2+}) \times 5 \times c(\text{otop.KMnO}_4) \times V(\text{otop.KMnO}_4) \\ &= 55,85 \text{ g mol}^{-1} \times 5 \times 0,004 \text{ mol dm}^{-3} \times 0,00221 \text{ dm}^3 \\ &= 0,00247 \text{ g} \end{aligned}$$

Maseni udio željeza u uzorku sumporne kiseline je:

$$w(\text{Fe}^{2+}) = \frac{m(\text{Fe}^{2+})}{m(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{m(\text{Fe}^{2+})}{V(\text{H}_2\text{SO}_4) \times \rho(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{0,00247 \text{ g}}{100 \text{ cm}^3 \times 1,84 \text{ g cm}^{-3}} = \mathbf{1,34 \times 10^{-5}}$$

5.37. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo najprije jednadžbu reakcije



Uranijevi ioni i permanganatni ioni reagiraju u molarnom omjeru 5 : 2. Odavde proizlazi:

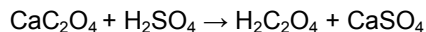
$$\begin{aligned} n(\text{U}^{4+}) &= \frac{5}{2} \times n(\text{MnO}_4^-) \\ &= \frac{5}{2} \times c(\text{otop.KMnO}_4) \times V(\text{otop.KMnO}_4) \\ m(\text{U}^{4+}) &= M(\text{U}^{4+}) \times n(\text{U}^{4+}) \\ &= M(\text{U}^{4+}) \times \frac{5}{2} \times c(\text{otop.KMnO}_4) \times V(\text{otop.KMnO}_4) \\ &= 238,0 \text{ g mol}^{-1} \times \frac{5}{2} \times 0,02 \text{ mol dm}^{-3} \times 0,0248 \text{ dm}^3 \\ &= 0,29512 \text{ g} \end{aligned}$$

Maseni udio uranija u uzorku je:

$$w(\text{U}^{4+}) = \frac{m(\text{U}^{4+})}{m(\text{uzorak})} = \frac{0,29512 \text{ g}}{0,335 \text{ g}} = \mathbf{0,881}$$

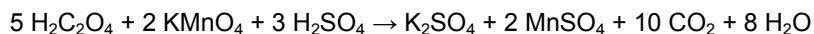
5.38. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo najprije jednadžbe reakcija.



Odavde proizlazi da je $n(\text{Ca}^{2+}) = n(\text{C}_2\text{O}_4^{2-})$

Oksalna kiselina i kalijev permanganat reagiraju prema jednadžbi:



Iz jednadžbe reakcije proizlazi da oksalna kiselina i kalijev permanganat reagiraju u molarnom omjeru 5 : 2. Odavde proizlazi:

$$\begin{aligned} 5 \times n(\text{KMnO}_4) &= 2 \times n(\text{Ca}^{2+}) \\ n(\text{Ca}^{2+}) &= \frac{5}{2} \times n(\text{KMnO}_4) \\ &= \frac{5}{2} \times c(\text{otop.KMnO}_4) \times V(\text{otop.KMnO}_4) \\ m(\text{Ca}^{2+}) &= M(\text{Ca}^{2+}) \times n(\text{Ca}^{2+}) \\ w(\text{Ca}^{2+}) &= \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{m(\text{uzorak})} = \frac{M(\text{Ca}^{2+}) \times n(\text{Ca}^{2+})}{m(\text{uzorak})} = \frac{M(\text{Ca}^{2+}) \times \frac{5}{2} \times c(\text{otop.KMnO}_4) \times V(\text{otop.KMnO}_4)}{m(\text{uzorak})} \\ &= \frac{40,08 \text{ g mol}^{-1} \times \frac{5}{2} \times 0,02 \text{ mol dm}^{-3} \times 0,0287 \text{ dm}^3}{0,450 \text{ g}} = \mathbf{0,1278} \end{aligned}$$

5.39. Vidi STEHIOMETRIJA

Moramo doznati množinu oksalne kiseline utrošene u reakciji s olovovim dioksidom.

Iz jednadžbe reakcije



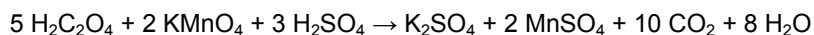
vidi se da olovov dioksid i oksalna kiselina reagiraju u molarnom omjeru 1 : 1. Zato vrijedi:

$$n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = n(\text{PbO}_2)$$

Na talog olovova dioksida dodano je $V_1 = 50 \text{ cm}^3$ otopine oksalne kiseline, $c_1(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,1 \text{ mmol cm}^{-3}$. Množina upotrijebljene oksalne kiseline je:

$$n_1(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = V_1(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) \times c_1(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$$

Višak oksalne kiseline titriran je otopinom kalijeva permanganata prema jednadžbi:



Iz jednadžbe reakcije proizlazi da oksalna kiselina i kalijev permanganat reagiraju u molarnom omjeru 5 : 2., pa vrijedi:

$$5 \times n(\text{KMnO}_4) = 2 \times n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$$

Oдавde proizlazi da višak oksalne kiseline iznosi:

$$n_2(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{5}{2} \times n(\text{KMnO}_4) = \frac{5}{2} \times V(\text{KMnO}_4) \times c(\text{KMnO}_4)$$

Kako je

$$n_1(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) - n_2(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = n(\text{PbO}_2)$$

konačno dobivamo:

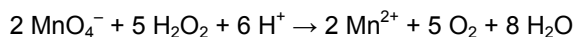
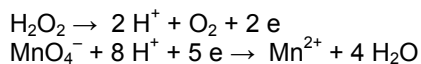
$$\begin{aligned} n(\text{PbO}_2) &= V_1(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) \times c_1(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) - \frac{5}{2} \times V(\text{KMnO}_4) \times c(\text{KMnO}_4) \\ &= 50 \text{ cm}^3 \times 0,1 \text{ mmol cm}^{-3} - \frac{5}{2} \times 37,5 \text{ cm}^3 \times 0,04 \text{ mmol cm}^{-3} \\ &= 1,25 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$m(\text{PbO}_2) = n(\text{PbO}_2) \times M(\text{PbO}_2)$$

$$w(\text{PbO}_2) = \frac{m(\text{PbO}_2)}{m(\text{minij})} = \frac{n(\text{PbO}_2) \times M(\text{PbO}_2)}{m(\text{minij})} = \frac{1,25 \text{ mmol} \times 239,2 \text{ g mol}^{-1}}{1 \text{ g}} = \mathbf{0,299}$$

5.40. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije kalijeva permanganata s vodikovim peroksidom u kiselj otolini.



Prema uvjetima zadatka pri titraciji 1 g vodikova peroksida, $w(\text{H}_2\text{O}_2) = 100 \%$, utrošak otopine kalijeva permanganata treba biti 100 cm^3 . Prema tome treba odrediti množinu vodikova peroksida u 1 g čistog vodikova peroksida.

$$n(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{m(\text{H}_2\text{O}_2)}{M(\text{H}_2\text{O}_2)}$$

Iz jednadžbe reakcije vidimo da kalijev permanganat i vodikov peroksid međusobno reagiraju u molarnom omjer 2 : 5, pa možemo pisati:

$$n(\text{KMnO}_4) = \frac{2}{5} \times n(\text{H}_2\text{O}_2)$$

Odavde proizlazi

$$n(\text{KMnO}_4) = \frac{2 \times m(\text{H}_2\text{O}_2)}{5 \times M(\text{H}_2\text{O}_2)} = \frac{2 \times 1 \text{ g}}{5 \times 34,01 \text{ g mol}^{-1}} = 0,01176 \text{ mol}$$

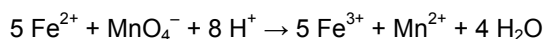
100 cm^3 otopine mora sadržavati izračunanu množinu kalijeva permanganata, pa proizlazi da je koncentracija kalijeva permanganata u otopini:

$$c(\text{KMnO}_4) = \frac{n(\text{KMnO}_4)}{V(\text{otop. KMnO}_4)} = \frac{0,01176 \text{ mol}}{100 \text{ cm}^3} = \mathbf{0,1176 \text{ mol dm}^{-3}}$$

5.41. Vidi STEHIOMETRIJA

Osnovni problem je u tome što ne znamo koncentraciju otopine željezova(II) sulfata. Moramo je odrediti na temelju rezultata titracije otopinom kalijeva permanganata poznate koncentracije.

Ioni Fe^{2+} s permanganatnim ionima reagiraju prema jednadžbi:



odnosno u molarnom omjeru 5 : 1. Odavde proizlazi da 75 cm^3 otopine željezova sulfata sadržava sljedeću množinu iona Fe^{2+} :

$$\begin{aligned} n(\text{Fe}^{2+}) &= 5 \times n(\text{MnO}_4^-) \\ &= 5 \times c(\text{otop.KMnO}_4) \times V(\text{otop.KMnO}_4) \\ &= 5 \times 0,1 \text{ mmol cm}^{-3} \times 73 \text{ cm}^3 = 36,5 \text{ mmol.} \end{aligned}$$

Nakon dodatka 75 cm^3 zakiseljene otopine željezova sulfata, odnosno 36,5 mmol, na manganov dioksid, za titraciju viška iona Fe^{2+} utrošeno je $V_1 = 30 \text{ cm}^3$ otopine kalijeva permanganata, $c(\text{KMnO}_4) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$. Odavde proizlazi da množina iona, $n_1(\text{Fe}^{2+})$, preostalih u otopini nakon oksidacije manganovim dioksidom iznosi:

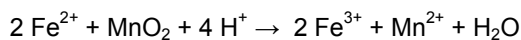
$$\begin{aligned} n_1(\text{Fe}^{2+}) &= 5 \times n(\text{MnO}_4^-) \\ &= 5 \times c(\text{otop.KMnO}_4) \times V_1(\text{otop.KMnO}_4) \\ &= 5 \times 0,1 \text{ mmol cm}^{-3} \times 30 \text{ cm}^3 = 15 \text{ mmol.} \end{aligned}$$

Prema tome, množina iona, $n_2(\text{Fe}^{2+})$, koja je oksidirana uzorkom piroluzita iznosi:

$$n_2(\text{Fe}^{2+}) = n(\text{Fe}^{2+}) - n_1(\text{Fe}^{2+}) = 36,5 \text{ mmol} - 15 \text{ mmol} = 21,5 \text{ mmol.}$$

Sada možemo odrediti množinu, masu i maseni udio manganova dioksida u uzorku piroluzita.

Napišimo najprije jedndžbu reakcije oksidacije iona Fe^{2+} manganovim dioksidom u kiseloj otopini.



Ioni Fe^{2+} i MnO_2 međusobno reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1, pa možemo pisati:

$$\begin{aligned} n(\text{MnO}_2) &= \frac{1}{2} \times n_2(\text{Fe}^{2+}) \\ m(\text{MnO}_2) &= n(\text{MnO}_2) \times M(\text{MnO}_2) = \frac{1}{2} \times n_2(\text{Fe}^{2+}) \times M(\text{MnO}_2) \\ &= \frac{1}{2} \times 21,5 \text{ mmol} \times 86,94 \text{ g mol}^{-1} \\ &= 0,934 \text{ g} \end{aligned}$$

Maseni udio MnO_2 u piroluzitu je:

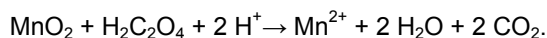
$$\begin{aligned} w(\text{MnO}_2) &= \frac{m(\text{MnO}_2)}{m(\text{piroluzit})} = \frac{\frac{1}{2} \times n_2(\text{Fe}^{2+}) \times M(\text{MnO}_2)}{m(\text{piroluzit})} \\ &= \frac{\frac{1}{2} \times 21,5 \text{ mmol} \times 86,94 \text{ g mol}^{-1}}{1,0866 \text{ g}} = \mathbf{0,860} \end{aligned}$$

5.42. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem je identičan onom u zadatku 5.39. i rješavamo ga jednakim postupkom.

Moramo doznati množinu oksalne kiseline utrošene u reakciji s manganovim dioksidom.

Iz jednadžbe reakcije



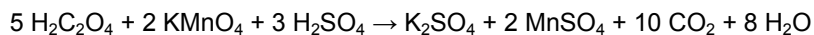
vidi se da manganov dioksid i oksalna kiselina reagiraju u molarnom omjeru 1 : 1. Zato vrijedi:

$$n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = n(\text{MnO}_2)$$

Na piroluzit je dodano $V_1 = 75 \text{ cm}^3$ otopine oksalne kiseline, $c_1(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,25 \text{ mmol cm}^{-3}$. Množina upotrijebljene oksalne kiseline je:

$$n_1(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = V_1(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) \times c_1(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$$

Višak oksalne kiseline titriran je otopinom kalijeva permanganata prema jednadžbi:



Iz jednadžbe reakcije proizlazi da oksalna kiselina i kalijev permanganat reagiraju u molarnom omjeru 5 : 2., pa vrijedi:

$$5 \times n(\text{KMnO}_4) = 2 \times n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$$

Oдавде proizlazi da višak oksalne kiseline iznosi:

$$n_2(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{5}{2} \times n(\text{KMnO}_4) = \frac{5}{2} \times V(\text{KMnO}_4) \times c(\text{KMnO}_4)$$

Kako je

$$n_1(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) - n_2(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = n(\text{MnO}_2)$$

konačno dobivamo:

$$\begin{aligned} n(\text{MnO}_2) &= V_1(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) \times c_1(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) - \frac{5}{2} \times V(\text{KMnO}_4) \times c(\text{KMnO}_4) \\ &= 75 \text{ cm}^3 \times 0,25 \text{ mmol cm}^{-3} - \frac{5}{2} \times 32 \text{ cm}^3 \times 0,1 \text{ mmol cm}^{-3} \\ &= 10,75 \text{ mmol} \end{aligned}$$

$$m(\text{MnO}_2) = n(\text{MnO}_2) \times M(\text{MnO}_2)$$

$$w(\text{MnO}_2) = \frac{m(\text{MnO}_2)}{m(\text{piroluzit})} = \frac{n(\text{MnO}_2) \times M(\text{MnO}_2)}{m(\text{piroluzit})} = \frac{10,75 \text{ mmol} \times 86,94 \text{ g mol}^{-1}}{1 \text{ g}} = \mathbf{0,935}$$

5.43. Vidi STEHIOMETRIJA

Npišimo najprije jednadžbu reakcije.



Kalijev permanganat i kalijev oksalat reagiraju u molarnom omjeru 2 : 3, pa vrijedi:

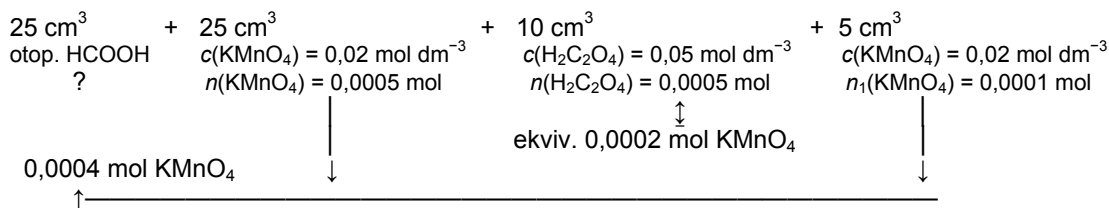
$$n(\text{HCOOH}) = \frac{3}{2} \times n(\text{MnO}_4^-) = \frac{3}{2} \times V(\text{KMnO}_4) \times c(\text{KMnO}_4)$$

$$\begin{aligned} m(\text{HCOOH}) &= n(\text{HCOOH}) \times M(\text{HCOOH}) \\ &= \frac{3}{2} \times V(\text{KMnO}_4) \times c(\text{KMnO}_4) \times M(\text{HCOOH}) \\ &= \frac{3}{2} \times 0,040 \text{ dm}^3 \times 0,2 \text{ mol dm}^{-3} \times 46 \text{ g mol}^{-1} \\ &= 0,552 \text{ g} \end{aligned}$$

$$w(\text{HCOOH}) = \frac{m(\text{HCOOH})}{m(\text{uzorak})} = \frac{0,552 \text{ g}}{25 \text{ g}} = \mathbf{0,0221}$$

5.44. Vidi STEHIOMETRIJA

Potrebno je doznati množinu kalijeva permanganata koja u kiseloj otopini reagira s mravljom kiselinom. Prikažimo tijek analize shemom:



Poznate su nam množine dodana kalijeva permanganata i oksalne kiseline. Odbijmo množinu kalijeva permanganata koja reagira s oksalnom kiselinom, pa ćemo dobiti ostatak, odnosno množinu kalijeva permanganata koja je reagirala s mravljom kiselinom.

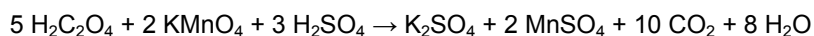
Ukupna množina upotrijebljena kalijeva permanganata, $n_1(\text{KMnO}_4)$

$$n_1(\text{KMnO}_4) = (25 + 5) \text{ cm}^3 \times 0,02 \text{ mol dm}^{-3} = 0,0006 \text{ mol.}$$

Množina dodane oksalne kiseline, $n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$

$$n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 10 \text{ cm}^3 \times 0,05 \text{ mol dm}^{-3} = 0,0005 \text{ mol.}$$

Prema jednadžbi reakcije



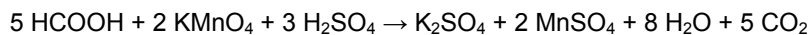
proizlazi da oksalna kiselina i kalijev permanganat reagiraju u molarnom omjeru 5 : 2, pa vrijedi:

$$n_2(\text{KMnO}_4) = \frac{2}{5} \times n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{2}{5} \times 0,0005 \text{ mol} = 0,0002 \text{ mol.}$$

Množina kalijeva permanganata utrošena za oksidaciju mravlje kiseline, $n_3(\text{KMnO}_4)$ je:

$$n_3(\text{KMnO}_4) = n_1(\text{KMnO}_4) - n_2(\text{KMnO}_4) = 0,0006 \text{ mol} - 0,0002 \text{ mol} = 0,0004 \text{ mol}$$

Mravlja kiselina i kalijev permanganat u kiseloj otopini reagiraju prema jednadžbi



pa se dobiva

$$n(\text{HCOOH}) = \frac{5}{2} \times n_3(\text{MnO}_4^-)$$

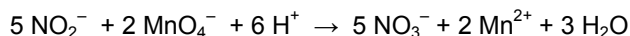
$$m(\text{HCOOH}) = \frac{5}{2} \times n_3(\text{MnO}_4^-) \times M(\text{HCOOH})$$

$$\gamma(\text{HCOOH}) = \frac{m(\text{HCOOH})}{V(\text{otop. HCOOH})} = \frac{\frac{5}{2} \times n_3(\text{MnO}_4^-) \times M(\text{HCOOH})}{V(\text{otop. HCOOH})}$$

$$= \frac{\frac{5}{2} \times 4,00 \times 10^{-4} \text{ mol} \times 46 \text{ g mol}^{-1}}{0,025 \text{ dm}^3} = 1,84 \text{ g dm}^{-3}$$

5.45. Vidi STEHIOMETRIJA

Napšimo jednadžbu reakcije



Nitritni i permanganatni ioni reagiraju u molarnom omjeru 5 : 2, pa vrijedi:

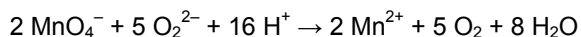
$$\begin{aligned} n(\text{NO}_2^-) &= \frac{5}{2} \times n(\text{MnO}_4^-) \\ &= \frac{5}{2} \times 0,004 \text{ mol} = 0,01 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$m(\text{NaNO}_2) = n(\text{NaNO}_2) \times M(\text{NaNO}_2)$$

$$\begin{aligned} c(\text{NaNO}_2) &= \frac{m(\text{NaNO}_2)}{V(\text{otop. NaNO}_2)} = \frac{n(\text{NaNO}_2) \times M(\text{NaNO}_2)}{V(\text{otop. NaNO}_2)} \\ &= \frac{0,01 \text{ mol} \times 69 \text{ g mol}^{-1}}{0,038 \text{ dm}^3} = \mathbf{18,16 \text{ g dm}^{-3}} \end{aligned}$$

5.46. Vidi STEHIOMETRIJA

Napšimo jednadžbu reakcije kalijeva permanganata i barijeva peroksida u kiseloj otopini



Iz jednadžbe reakcije vidimo da permanganatni i peroksidni ioni međusobno reagiraju u molarnom omjer 2 : 5, pa možemo pisati:

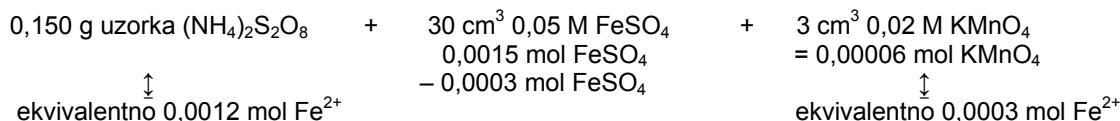
$$n(\text{BaO}_2) = \frac{5}{2} \times n(\text{KMnO}_4)$$

$$\begin{aligned} m(\text{BaO}_2) &= n(\text{BaO}_2) \times M(\text{BaO}_2) = \frac{5}{2} \times n(\text{KMnO}_4) \times M(\text{BaO}_2) \\ &= \frac{5}{2} \times V(\text{otop. KMnO}_4) \times c(\text{otop. KMnO}_4) \times M(\text{BaO}_2) \end{aligned}$$

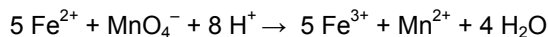
$$\begin{aligned} w(\text{BaO}_2) &= \frac{m(\text{BaO}_2)}{m(\text{uzorak})} = \frac{\frac{5}{2} \times V(\text{otop. KMnO}_4) \times c(\text{otop. KMnO}_4) \times M(\text{BaO}_2)}{m(\text{uzorak})} \\ &= \frac{\frac{5}{2} \times 0,030 \text{ cm}^3 \times 0,02 \text{ mol dm}^{-3} \times 169,34 \text{ g mol}^{-1}}{0,4 \text{ g}} = \mathbf{0,635} \end{aligned}$$

5.47. Vidi STEHIOMETRIJA

Načinimo shemu reakcije:



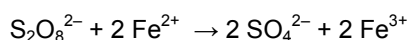
Na osnovi jednadžbe reakcije



vidimo da je

$$n(\text{Fe}^{2+}) = 5 \times n(\text{KMnO}_4) = 5 \times 0,00006 \text{ mol} = \mathbf{0,0003 \text{ mol}},$$

pa je s amonijevim persulfatom reagiralo $(0,0015 - 0,0003 = 0,0012)$ mol FeSO_4 prema sljedećoj jednadžbi reakcije:



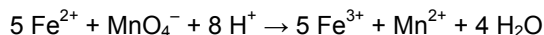
Odavde proizlazi

$$n((\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8) = \frac{1}{2} \times n(\text{FeSO}_4) = \frac{1}{2} \times 0,0012 \text{ mol} = 0,0006 \text{ mol}.$$

$$\begin{aligned}
 w((\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8) &= \frac{m((\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8)}{m(\text{uzorak})} = \frac{n((\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8) \times M((\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8)}{m(\text{uzorak})} \\
 &= \frac{0,0006 \text{ mol} \times 228 \text{ g mol}^{-1}}{0,150 \text{ g}} = \mathbf{0,912}
 \end{aligned}$$

5.48. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije množinu iona Fe^{2+} .



Ioni Fe^{2+} s permanganatnim ionima reagiraju u molarnom omjeru 5 : 1. Odavde proizlazi:

$$\begin{aligned}
 n(\text{Fe}^{2+}) &= 5 \times n(\text{MnO}_4^-) \\
 &= 5 \times c(\text{otop.KMnO}_4) \times V(\text{otop.KMnO}_4)
 \end{aligned}$$

Iz jednadžbe reakcije



vidimo da je

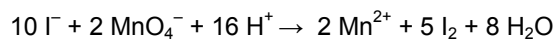
$$n(\text{NH}_2\text{OH}) = \frac{1}{2} \times n(\text{FeSO}_4)$$

$$m(\text{NH}_2\text{OH}) = \frac{1}{2} \times n(\text{FeSO}_4) \times M(\text{NH}_2\text{OH})$$

$$\begin{aligned}
 w(\text{NH}_2\text{OH}) &= \frac{m(\text{NH}_2\text{OH})}{m(\text{uzorak})} = \frac{\frac{1}{2} \times n(\text{FeSO}_4) \times M(\text{NH}_2\text{OH})}{m(\text{uzorak})} \\
 &= \frac{\frac{1}{2} \times 5 \times c(\text{otop.KMnO}_4) \times V(\text{otop.KMnO}_4) \times M(\text{NH}_2\text{OH})}{m(\text{uzorak})} \\
 &= \frac{\frac{1}{2} \times 5 \times 0,02 \text{ mol dm}^{-3} \times 0,025 \text{ dm}^3 \times 33 \text{ g mol}^{-1}}{0,1 \text{ g}} = \mathbf{0,4125}
 \end{aligned}$$

5.49. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Jodidni i permanganatni ioni međusobno reagiraju u molarnom omjeru 5 : 1. Odavde proizlazi:

$$n(\text{I}) = 5 \times n(\text{KMnO}_4)$$

$$m(\text{I}) = n(\text{I}) \times M(\text{I}) = 5 \times n(\text{KMnO}_4) \times M(\text{I})$$

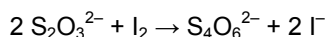
$$= 5 \times V(\text{otop. KMnO}_4) \times c(\text{KMnO}_4) \times M(\text{I})$$

$$= 5 \times 0,001 \text{ dm}^3 \times 0,02 \text{ mol dm}^{-3} \times 126,9 \text{ g mol}^{-1} = 0,01269 \text{ g} = \mathbf{12,69 \text{ mg}}$$



5.50. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



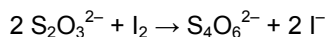
Tisulfatni ioni i jod reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1. Odavde proizlazi:

$$n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 2 \times n(\text{I}_2)$$

$$\begin{aligned} c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) &= \frac{n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})}{V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-})} = \frac{2 \times n(\text{I}_2)}{V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-})} = \frac{2 \times m(\text{I}_2)}{V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times M(\text{I}_2)} \\ &= \frac{2 \times 0,25 \text{ g}}{0,020 \text{ dm}^3 \times 253,8 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,0985 \text{ mol dm}^{-3}} \end{aligned}$$

5.51. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Tisulfatni ioni i jod reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1. Odavde proizlazi:

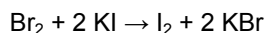
$$n(\text{I}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})$$

$$m(\text{I}_2) = n(\text{I}_2) \times M(\text{I}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) \times M(\text{I}_2) = \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times M(\text{I}_2)$$

$$\begin{aligned} \gamma(\text{I}_2) &= \frac{m(\text{I}_2)}{V(\text{otop. I}_2)} = \frac{\frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times M(\text{I}_2)}{V(\text{otop. I}_2)} \\ &= \frac{\frac{1}{2} \times 0,025 \text{ dm}^3 \times 0,05 \text{ mol dm}^{-3} \times 253,8 \text{ g mol}^{-1}}{0,020 \text{ dm}^3} = \mathbf{7,93 \text{ g dm}^{-3}} \end{aligned}$$

5.52. Vidi STEHIOMETRIJA

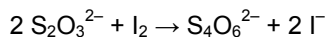
Napišimo jednadžbu reakcije



Odavde proizlazi

$$n(\text{Br}_2) = n(\text{I}_2)$$

Natrijev tiosulfat i izlučeni jod reagiraju prema jednadžbi



Tisulfatni ioni i jod reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1. Odavde proizlazi:

$$n(\text{I}_2) = n(\text{Br}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})$$

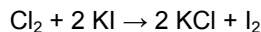
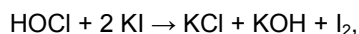
$$m(\text{Br}_2) = n(\text{Br}_2) \times M(\text{Br}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) \times M(\text{Br}_2) = \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times M(\text{Br}_2)$$

$$\gamma(\text{Br}_2) = \frac{m(\text{Br}_2)}{V(\text{otop. Br}_2)} = \frac{\frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times M(\text{Br}_2)}{V(\text{otop. Br}_2)}$$

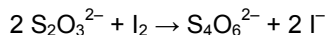
$$= \frac{\frac{1}{2} \times 0,030 \text{ dm}^3 \times 0,10 \text{ mol dm}^{-3} \times 159,8 \text{ g mol}^{-1}}{0,010 \text{ dm}^3} = 23,97 \text{ g dm}^{-3}$$

5.53. Vidi STEHIOMETRIJA

Kalijev jodid s otopinom klora i hipokloraste kiseline reagira prema jednadžbama:



Odredimo najprije ukupnu množinu joda na temelju utroška otopine $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.



Tisulfatni ioni i jod reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1. Odavde proizlazi:

$$\begin{aligned} n(\text{I}_2) &= \frac{1}{2} \times n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \\ &= \frac{1}{2} \times 0,038 \text{ dm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3} = 0,0019 \text{ mol.} \end{aligned}$$

Na temelju jednadžbe reakcije hipokloraste kiseline i kalijeva jodida, $\text{HOCl} + 2 \text{KI} \rightarrow \text{KCl} + \text{KOH} + \text{I}_2$, proizlazi $n(\text{HOCl}) = n(\text{KOH})$.

Množinu KOH, odnosno HOCl, odredit ćemo kao razliku množine dodane klorovodične kiseline, $n(\text{HCl})$ i množine natrijeva hidroksida, $n(\text{NaOH})$, utrošena za retitraciju viška HCl.

$$\begin{aligned} n(\text{HOCl}) &= n(\text{otop. HCl}) - n(\text{otop. NaOH}) \\ &= V(\text{otop. HCl}) \times c(\text{otop. HCl}) - V(\text{otop. NaOH}) \times c(\text{otop. NaOH}) \\ &= 0,025 \text{ dm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3} - 0,010 \text{ dm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3} = 0,0015 \text{ mol} \end{aligned}$$

Na temelju prvih dviju jednadžbi možemo zaključiti da je množina elementarnog klora sadržana u otopini jednaka razlici ukupne množine izlučena joda i množine hipokloraste kiseline.

$$n(\text{Cl}_2) = n(\text{I}_2) - n(\text{HOCl}) = 0,0019 \text{ mol} - 0,0015 \text{ mol} = 0,0004 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \gamma(\text{Cl}_2) &= m(\text{Cl}_2) / V(\text{otop}) = n(\text{Cl}_2) \times M(\text{Cl}_2) / V(\text{otop}) \\ &= 0,0004 \text{ mol} \times 70,9 \text{ g mol}^{-1} / 0,025 \text{ dm}^3 = 1,134 \text{ g dm}^{-3} \end{aligned}$$

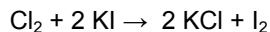
$$\begin{aligned} \gamma(\text{HOCl}) &= m(\text{HOCl}) / V(\text{otop}) = n(\text{HOCl}) \times M(\text{HOCl}) / V(\text{otop}) \\ &= 0,0015 \text{ mol} \times 52,45 \text{ g mol}^{-1} / 0,025 \text{ dm}^3 = 3,147 \text{ g dm}^{-3} \end{aligned}$$

5.54. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije manganova dioksida i klorovodične kiseline.



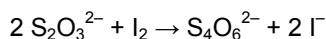
Dobiveni klor istiskuje jod iz otopine kalijeva jodida.



Odavde proizlazi

$$n(\text{I}_2) = n(\text{Cl}_2) = n(\text{MnO}_2)$$

Zadan nam je maksimalni volumen otopine natrijeva tiosulfata, $V(\text{otop. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 50 \text{ cm}^3$, koncentracije, $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$, koji smijemo utrošiti za titraciju izlučena joda. Na osnovi jednadžbe reakcije joda i otopine tiosulfata:



zaključujemo da tiosulfatni ioni i jod reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1. Odavde proizlazi:

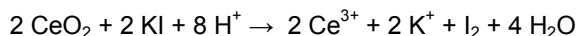
$$n(\text{I}_2) = n(\text{Cl}_2) = n(\text{MnO}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-})$$

Za maksimalnu masu piroluzita, odnosno čistog MnO_2 , dobivamo:

$$\begin{aligned} m(\text{MnO}_2) &= n(\text{MnO}_2) \times M(\text{MnO}_2) \\ &= \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times M(\text{MnO}_2) \\ &= \frac{1}{2} \times 0,050 \text{ dm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3} \times 86,94 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{0,217 \text{ g}} \end{aligned}$$

5.55. Vidi STEHIOMETRIJA

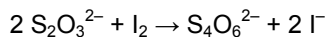
Napišimo jednadžbu reakcije cerijeva(IV) oksida i kalijeva jodida.



Odavde proizlazi

$$n(\text{I}_2) = 2 \times n(\text{CeO}_2)$$

Zadan nam je maksimalni volumen otopine natrijeva tiosulfata, $V(\text{otop. Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 50 \text{ cm}^3$, koncentracije, $c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$, koji smijemo utrošiti za titraciju izlučena joda. Na osnovi jednadžbe reakcije joda i otopine tiosulfata:



zaključujemo da tiosulfatni ioni i jod reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1. Odavde proizlazi:

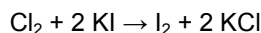
$$n(\text{I}_2) = 2 \times n(\text{CeO}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-})$$

Za maksimalnu masu CeO_2 , dobivamo:

$$\begin{aligned} m(\text{CeO}_2) &= 2 \times n(\text{CeO}_2) \times M(\text{CeO}_2) \\ &= 2 \times \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times M(\text{CeO}_2) \\ &= 0,050 \text{ dm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3} \times 172,1 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{0,860 \text{ g}} \end{aligned}$$

5.56. Vidi STEHIOMETRIJA

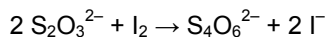
Klor istiskuje jod iz kalijeva jodida prema jednađbi:



Odavde proizlazi:

$$n(\text{Cl}_2) = n(\text{I}_2)$$

Izlučeni se jod titrira natrijevim tiosulfatom.



Tisulfatni ioni i jod reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1. Odavde proizlazi:

$$n(\text{I}_2) = n(\text{Cl}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-})$$

Zadanu masu klora, 10 mg, iskažimo množinom pa dobivamo:

$$n(\text{Cl}_2) = \frac{10 \text{ mg}}{M(\text{Cl}_2)}$$

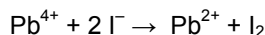
Uvrstimo ovaj rezultat u prethodnu jednađbu:

$$\frac{10 \text{ mg}}{M(\text{Cl}_2)} = \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-})$$

Odavde se za koncentraciju otopine natrijeva tiosulfata dobiva:

$$c(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = \frac{10 \text{ mg}}{M(\text{Cl}_2) \times \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-})} = \frac{0,010 \text{ g}}{71 \text{ g mol}^{-1} \times 0,0005 \text{ dm}^3} = \mathbf{0,282 \text{ mol dm}^{-3}}$$

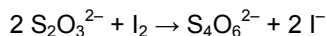
5.57. Vidi STEHIOMETRIJA



Odavde proizlazi:

$$n(\text{PbO}_2) = n(\text{I}_2)$$

Izlučeni se jod titrira natrijevim tiosulfatom.

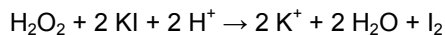


Tisulfatni ioni i jod reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1. Odavde proizlazi:

$$n(\text{I}_2) = n(\text{PbO}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-})$$

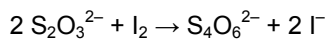
$$\begin{aligned} w(\text{PbO}_2) &= \frac{m(\text{PbO}_2)}{m(\text{uzorak})} = \frac{n(\text{PbO}_2) \times M(\text{PbO}_2)}{m(\text{uzorak})} \\ &= \frac{\frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times M(\text{PbO}_2)}{m(\text{uzorak})} \\ &= \frac{\frac{1}{2} \times 0,038 \text{ dm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3} \times 239,2 \text{ g mol}^{-1}}{0,5 \text{ g}} = \mathbf{0,909} \end{aligned}$$

5.58. Vidi STEHIOMETRIJA



$$n(\text{H}_2\text{O}_2) = n(\text{I}_2)$$

Izlučeni se jod titrira natrijevim tiosulfatom.

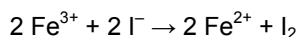


Tisulfatni ioni i jod reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1. Odavde proizlazi:

$$n(\text{I}_2) = n(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-})$$

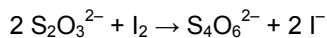
$$\begin{aligned} w(\text{H}_2\text{O}_2) &= \frac{m(\text{H}_2\text{O}_2)}{m(\text{uzorak})} = \frac{n(\text{H}_2\text{O}_2) \times M(\text{H}_2\text{O}_2)}{m(\text{uzorak})} \\ &= \frac{\frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times M(\text{H}_2\text{O}_2)}{m(\text{uzorak})} \\ &= \frac{\frac{1}{2} \times 0,036 \text{ dm}^3 \times 1 \text{ mol dm}^{-3} \times 34 \text{ g mol}^{-1}}{5 \text{ g}} = \mathbf{0,122} \end{aligned}$$

5.59. Vidi STEHIOMETRIJA



$$n(\text{Fe}^{3+}) = 2 \times n(\text{I}_2)$$

Izlučeni se jod titrira natrijevim tiosulfatom.

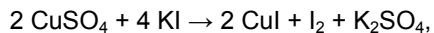


Tisulfatni ioni i jod reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1. Odavde proizlazi:

$$n(\text{I}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{Fe}^{3+}) = \frac{1}{2} \times n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-})$$

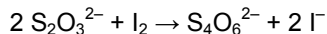
$$\begin{aligned} w(\text{Fe}^{3+}) &= \frac{m(\text{Fe}^{3+})}{m(\text{uzorak})} = \frac{n(\text{Fe}^{3+}) \times M(\text{Fe}^{3+})}{m(\text{uzorak})} \\ &= \frac{V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times M(\text{Fe}^{3+})}{m(\text{uzorak})} \\ &= \frac{0,025 \text{ dm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3} \times 55,85 \text{ g mol}^{-1}}{1 \text{ g}} = \mathbf{0,1396} \end{aligned}$$

5.60. Vidi STEHIOMETRIJA



$$n(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) = 2 \times n(\text{I}_2)$$

Izlučeni se jod titrira natrijevim tiosulfatom.

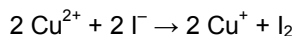


Tisulfatni ioni i jod reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1. Odavde proizlazi:

$$n(\text{I}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) = \frac{1}{2} \times n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-})$$

$$\begin{aligned} w(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) &= \frac{m(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O})}{m(\text{uzorak})} = \frac{n(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) \times M(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O})}{m(\text{uzorak})} \\ &= \frac{V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times M(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O})}{m(\text{uzorak})} \\ &= \frac{0,020 \text{ dm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3} \times 249,7 \text{ g mol}^{-1}}{0,5 \text{ g}} = \mathbf{0,9988} \end{aligned}$$

5.61. Vidi STEHIOMETRIJA

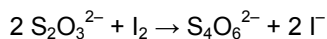


$$n(\text{I}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{Cu}^{2+})$$

Kako nam je zadana masa bakra, proizlazi:

$$n(\text{I}_2) = \frac{m(\text{Cu}^{2+})}{2 \times M(\text{Cu}^{2+})}$$

Izlučeni se jod titrira natrijevim tiosulfatom.

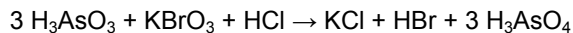


Tisulfatni ioni i jod reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1. Odavde proizlazi:

$$n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 2 \times n(\text{I}_2) = 2 \times \frac{m(\text{Cu}^{2+})}{2 \times M(\text{Cu}^{2+})}$$

$$\begin{aligned} c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) &= \frac{n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})}{V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-})} = \frac{m(\text{Cu}^{2+})}{V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times M(\text{Cu}^{2+})} \\ &= \frac{0,2 \text{ g}}{0,025 \text{ dm}^3 \times 63,55 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,126 \text{ mol dm}^{-3}} \end{aligned}$$

5.62. Vidi STEHIOMETRIJA



Ioni As^{3+} s bromatnim ionima, BrO_3^- , reagiraju u molarnom omjeru 3 : 1. Odavde proizlazi:

$$n(\text{As}^{3+}) = 3 \times n(\text{BrO}_3^-)$$

$$m(\text{As}^{3+}) = n(\text{As}^{3+}) \times M(\text{As}^{3+})$$

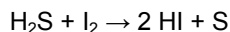
$$= 3 \times n(\text{BrO}_3^-) \times M(\text{As}^{3+})$$

$$= 3 \times V(\text{otop. BrO}_3^-) \times c(\text{BrO}_3^-) \times M(\text{As}^{3+})$$

$$= 3 \times 0,030 \text{ dm}^3 \times \frac{1}{60} \text{ mol dm}^{-3} \times 74,92 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{0,112 \text{ g}}$$

5.63. Vidi STEHIOMETRIJA

Otopine sumporovodika i joda međusobno reagiraju u molarnom omjeru 1:1.



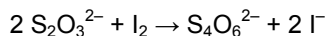
Odavde proizlazi

$$n(\text{I}_2) = n(\text{H}_2\text{S})$$

Množina joda, $n_1(\text{I}_2)$ dodanog u otopinu sumporovodika je:

$$n_1(\text{I}_2) = \frac{m(\text{I}_2)}{M(\text{I}_2)} = \frac{\gamma(\text{I}_2) \times V(\text{otop. I}_2)}{M(\text{I}_2)} = \frac{12,69 \text{ g dm}^{-3} \times 0,040 \text{ dm}^3}{253,8 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,002 \text{ mol}}$$

Višak joda, $n_2(\text{I}_2)$, koji nije reagirao sa sumporovodikom određen je titracijom s natrijevim tiosulfatom.



Tisulfatni ioni i jod reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1. Odavde proizlazi:

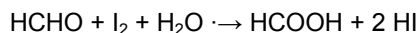
$$\begin{aligned} n_2(\text{I}_2) &= \frac{1}{2} \times n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \\ &= \frac{1}{2} \times 0,010 \text{ dm}^3 \times 0,05 \text{ mol dm}^{-3} = \mathbf{0,00025 \text{ mol}} \end{aligned}$$

Ako od ukupne množine dodanog joda, $n_1(\text{I}_2)$, odbijemo množinu viška joda, $n_2(\text{I}_2)$, dobit ćemo množinu joda koja je reagirala sa sumporovodikom, a ta je jednaka množini sumporovodika. Za koncentraciju sumporovodika u otopini konačno dobivamo:

$$\begin{aligned} c(\text{H}_2\text{S}) &= \frac{n(\text{H}_2\text{S})}{V(\text{otop. H}_2\text{S})} = \frac{n(\text{I}_2)}{V(\text{otop. H}_2\text{S})} = \frac{n_1(\text{I}_2) - n_2(\text{I}_2)}{V(\text{otop. H}_2\text{S})} \\ &= \frac{0,002 \text{ mol} - 0,00025 \text{ mol}}{0,020 \text{ dm}^3} = \mathbf{0,0875 \text{ mol dm}^{-3}} \end{aligned}$$

5.64. Vidi STEHIOMETRIJA

Formaldehid i jod reagiraju prema sljedećoj jednačbi reakcije:



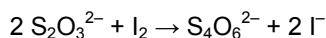
Odavde proizlazi da je

$$n(\text{HCHO}) = n(\text{I}_2)$$

Množina joda, $n_1(\text{I}_2)$ dodanog u razrijeđenu otopinu formalina je:

$$n_1(\text{I}_2) = V(\text{otop. I}_2) \times c(\text{otop. I}_2)$$

Višak joda, $n_2(\text{I}_2)$, koji nije reagirao s formalinom određen je titracijom s natrijevim tiosulfatom.



Tiosulfatni ioni i jod reagiraju u molarnom omjeru 2 : 1. Odavde proizlazi:

$$n_2(\text{I}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-})$$

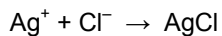
Ako od ukupne dodane množine joda, $n_1(\text{I}_2)$, odbijemo množinu viška joda, $n_2(\text{I}_2)$, dobit ćemo množinu joda koja je reagirala s 10 cm³ razrijeđene otopine formalina. Kako je $n(\text{HCHO}) = n(\text{I}_2)$, proizlazi:

$$\begin{aligned} n(\text{HCHO}) &= n(\text{I}_2) = n_1(\text{I}_2) - n_2(\text{I}_2) = V(\text{otop. I}_2) \times c(\text{otop. I}_2) - \frac{1}{2} \times V(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \times c(\text{otop. S}_2\text{O}_3^{2-}) \\ &= 0,040 \text{ dm}^3 \times 0,05 \text{ mol dm}^{-3} - \frac{1}{2} \times 0,010 \text{ dm}^3 \times 0,05 \text{ mol dm}^{-3} \\ &= 0,0020 \text{ mol} - 0,00025 \text{ mol} = \mathbf{0,00175 \text{ mol}} \end{aligned}$$

Prema uvjetima zadatka znamo da je 10 g kupovnog "formalina" razrijeđeno na volumen 400 cm³, i od te otopine za analizu uzeto 10 cm³. To znači da 10 g kupovnog formalina sadržava 400 puta veću množinu formaldehida pa je maseni udio formaldehida u kupovnom formalinu:

$$\begin{aligned} w(\text{HCHO}) &= \frac{40 \times m(\text{HCHO})}{m(\text{formalin})} = \frac{40 \times M(\text{HCHO}) \times n(\text{HCHO})}{m(\text{formalin})} \\ &= \frac{40 \times M(\text{HCHO}) \times [n_1(\text{I}_2) - n_2(\text{I}_2)]}{m(\text{formalin})} \\ &= \frac{40 \times 30 \text{ g mol}^{-1} \times 0,00175 \text{ mol}}{10 \text{ g}} = \mathbf{0,21} \end{aligned}$$

5.65. Vidi STEHIOMETRIJA



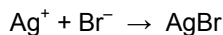
$$n(\text{Ag}^+) = n(\text{Cl}^-)$$



$$n_1(\text{Ag}^+) = n(\text{SCN}^-)$$

$$\begin{aligned} \gamma(\text{Cl}^-) &= \frac{m(\text{Cl}^-)}{V(\text{otop. Cl}^-)} = \frac{n(\text{Cl}^-) \times M(\text{Cl}^-)}{V(\text{otop. Cl}^-)} = \frac{[n(\text{Ag}^+) - n_1(\text{Ag}^+)] \times M(\text{Cl}^-)}{V(\text{otop. Cl}^-)} \\ &= \frac{[V(\text{otop. Ag}^+) \times c(\text{otop. Ag}^+) - V(\text{otop. SCN}^-) \times c(\text{otop. SCN}^-)] \times M(\text{Cl}^-)}{V(\text{otop. Cl}^-)} \\ &= \frac{[0,025 \text{ dm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3} - 0,010 \text{ dm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3}] \times 35,45 \text{ g mol}^{-1}}{0,025 \text{ dm}^3} = \mathbf{2,13 \text{ g dm}^{-3}} \end{aligned}$$

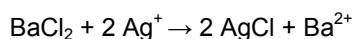
5.66. Vidi STEHIOMETRIJA



$$n(\text{Ag}^+) = n(\text{Br}^-)$$

$$\begin{aligned} \gamma(\text{Br}^-) &= \frac{n(\text{Br}^-) \times M(\text{Br}^-)}{V(\text{otop. Br}^-)} = \frac{V(\text{otop. Ag}^+) \times c(\text{otop. Ag}^+) \times M(\text{Br}^-)}{V(\text{otop. Br}^-)} \\ &= \frac{0,010 \text{ dm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3} \times 79,90 \text{ g mol}^{-1}}{0,025 \text{ dm}^3} = \mathbf{3,196 \text{ g dm}^{-3}} \end{aligned}$$

5.67. Vidi STEHIOMETRIJA



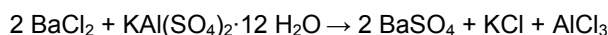
$$n(\text{Ag}^+) = 2 \times n(\text{Ba}^{2+})$$

$$n(\text{Ba}^{2+}) = \frac{m(\text{BaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O})}{M(\text{BaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O})}$$

$$n(\text{Ag}^+) = V(\text{otop. Ag}^+) \times c(\text{otop. Ag}^+)$$

$$\begin{aligned} V(\text{otop. Ag}^+) &= \frac{n(\text{Ag}^+)}{c(\text{otop. Ag}^+)} = \frac{2 \times n(\text{Ba}^{2+})}{c(\text{otop. Ag}^+)} = \frac{2 \times m(\text{BaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O})}{c(\text{otop. Ag}^+) \times M(\text{BaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O})} \\ &= \frac{2 \times 0,25 \text{ g}}{0,15 \text{ mol dm}^{-3} \times 244,25 \text{ g mol}^{-1}} \cdot 0,01365 \text{ dm}^3 = \mathbf{13,65 \text{ cm}^3}. \end{aligned}$$

5.68. Vidi STEHIOMETRIJA



Barijev klorid i alaun reagiraju u molarnom omjeru 2:1, pa vrijedi

$$n(\text{BaCl}_2) = 2 \times n(\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O})$$

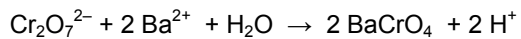
Kako je

$$n = V \times c$$

Za volumen otopine BaCl_2 dobivamo:

$$\begin{aligned} V(\text{otop. BaCl}_2) &= \frac{n(\text{BaCl}_2)}{c(\text{otop. BaCl}_2)} = \frac{2 \times n(\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O})}{c(\text{otop. BaCl}_2)} \\ &= \frac{2 \times m(\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O})}{c(\text{otop. BaCl}_2) \times M(\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O})} \\ &= \frac{2 \times 0,5 \text{ g}}{0,05 \text{ mol dm}^{-3} \times 474,4 \text{ g mol}^{-1}} = 0,04216 \text{ dm}^3 = \mathbf{42,16 \text{ cm}^3} \end{aligned}$$

5.69. Vidi STEHIOMETRIJA



Bikromatni i barijevi ioni reagiraju u molarnom omjeru 1 : 2. Odavde proizlazi:

$$n(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = \frac{1}{2} \times n(\text{Ba}^{2+})$$

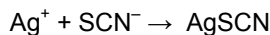
Kako je

$$n = V \times c$$

Za volumen otopine kalijeva bikromata dobivamo.

$$\begin{aligned} V(\text{otop. K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) &= \frac{n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{c(\text{otop. K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)} = \frac{\frac{1}{2} \times n(\text{BaCl}_2)}{c(\text{otop. K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)} = \frac{\frac{1}{2} \times m(\text{BaCl}_2)}{c(\text{otop. K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \times M(\text{BaCl}_2)} \\ &= \frac{\frac{1}{2} \times 0,244 \text{ g}}{\frac{1}{60} \text{ mol dm}^{-3} \times 244,28 \text{ g mol}^{-1}} = 0,02996 \text{ dm}^3 = \mathbf{29,96 \text{ cm}^3} \end{aligned}$$

5.70. Vidi STEHIOMETRIJA



$$n(\text{Ag}^+) = n(\text{SCN}^-)$$

Izračunajmo najprije množinu iona srebra, $n(\text{Ag}^+)$, upotrijebljenih za taloženje klorida i jodida iz smjese BaCl_2 i BaI_2 tako da od dodane množine iona, $n_1(\text{Ag}^+)$ odbijemo višak, odnosno onu množinu iona, $n_2(\text{Ag}^+)$, koja je reagirala s otopinom KSCN.

$$\begin{aligned} n(\text{Ag}^+) &= n_1(\text{Ag}^+) - n_2(\text{Ag}^+) = V(\text{otop. AgNO}_3) \times c(\text{otop. AgNO}_3) - V(\text{otop. KSCN}) \times c(\text{otop. KSCN}) \\ &= 0,040 \text{ dm}^3 \times 0,2 \text{ mol dm}^{-3} - 0,0133 \text{ dm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3} = \mathbf{0,00667 \text{ mol}} \end{aligned}$$

Možemo napisati dvije jednadžbe:

$$m(\text{BaCl}_2) + m(\text{BaI}_2) = 1 \text{ g}$$

$$n(\text{Cl}^-) + n(\text{I}^-) = 0,00667 \text{ mol}$$

uzmemo li da je

$$m(\text{BaCl}_2) = x$$

$$m(\text{BaI}_2) = y$$

i cijeli izraz podijelimo jedinicom mase dobivamo

$$x + y = 1 \quad (1)$$

Druga jednadžba mora uzeti u obzir množinu kloridnih i jodidnih iona. Ne zaboravimo da je množina kloridnih i jodidnih iona dva puta veća od množine barijeva klorida i jodida, pa vrijedi

$$\frac{2 \times m(\text{BaCl}_2)}{M(\text{BaCl}_2)} + \frac{2 \times m(\text{BaI}_2)}{M(\text{BaI}_2)} = 0,00667 \text{ mol}$$

Ako cjelu jednadžbu podijelimo s 2 i s jedinicom množine, te uvrstimo nepoznanice x i y, dobivamo:

$$\frac{x}{208,25} + \frac{y}{391,15} = 0,003335 \quad (2)$$

Izlučimo iz prve jednadžbe x i uvrstimo u drugu jednadžbu pa dobivamo:

$$\frac{1 - y}{208,25} + \frac{y}{391,15} = 0,003335$$

odnosno

$$0,004802 - 0,004802 y + 0,002556 y = 0,003335$$

Oдавde proizlazi

$$0,001467 = 0,002246 y$$

odnosno

$$y = \frac{0,001467}{0,002246} = 0,6532$$

Kako je $m(\text{BaI}_2) = y$

slijedi

$$m(\text{BaI}_2) = 0,653 \text{ g}$$

$$m(\text{BaCl}_2) = 0,347 \text{ g}$$

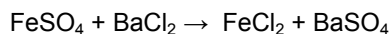
$$w(\text{I}) = \frac{m(\text{BaI}_2) \times M(\text{I}_2)}{m(\text{uzorak}) \times M(\text{BaI}_2)} = \frac{0,653 \text{ g} \times 253,8 \text{ g mol}^{-1}}{1,0 \text{ g} \times 391,15 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,424}$$

5.71. Vidi STEHIOMETRIJA

$$w(\text{Fe}, \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = \frac{M_r(\text{Fe})}{M_r(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})} = \frac{55,85}{278,05} = 0,2008 = 20,08 \%$$

Za taloženje je utrošeno $20,08 \text{ cm}^3$ otopine barijeva klorida, $c(\text{BaCl}_2) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$.

$$n(\text{BaCl}_2) = V(\text{otop. BaCl}_2) \times c(\text{otop. BaCl}_2) = 20,08 \text{ cm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3} = 0,002008 \text{ mol}.$$



Željezov(II) sulfat heptahidrat i barijev klorid reagiraju u molarnom omjeru 1 : 1. Odavde proizlazi:

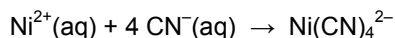
$$n(\text{BaCl}_2) = n(\text{FeSO}_4)$$

Za masu uzorka željezova(II) sulfata heptahidrata dobivamo:

$$\begin{aligned} m(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) &= n(\text{BaCl}_2) \times M(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) \\ &= 0,002008 \text{ mol} \times 278,05 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{0,5583 \text{ g}} \end{aligned}$$

5.72. Vidi STEHIOMETRIJA

$$m(\text{Ni}) = m(\text{uzorak}) \times w(\text{Ni}) = 0,50 \text{ g} \times 0,10 = 0,050 \text{ g}$$



Ioni Ni^{2+} i ioni CN^{-} međusobno reagiraju u molarnom omjeru 1 : 4. Odavde proizlazi:

$$n(\text{CN}^{-}) = 4 \times n(\text{Ni}) = 4 \times \frac{m(\text{Ni})}{M(\text{Ni})} = 4 \times \frac{0,050 \text{ g}}{58,69 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,003408 \text{ mol}}$$

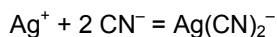
Množina dodanog kalijeva cijanida, iskazana kao $n_1(\text{CN}^{-})$ je:

$$n_1(\text{CN}^{-}) = V(\text{otop. KCN}) \times c(\text{otop. KCN}) = 0,0500 \text{ dm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3} = \mathbf{0,0050 \text{ mol}}$$

Višak cijanidnih iona, $n_2(\text{CN}^{-})$ je:

$$n_2(\text{CN}^{-}) = n_1(\text{CN}^{-}) - n(\text{CN}^{-}) = \mathbf{0,0050 \text{ mol} - 0,003408 \text{ mol} = 0,001592 \text{ mol}}$$

Srebrovi i cijanidni ioni reagiraju prema jednadžbi:



Dodatak sljedeća kapi otopine srebrova nitrata uzrokuje zamućenje otopin.

Odavde proizlazi:

$$n(\text{Ag}^{+}) = 2 n(\text{CN}^{-})$$

Volumen otopine srebrova nitrata potreban za taloženje viška cijanidnih iona je

$$V(\text{otop. Ag}^{+}) = \frac{n(\text{Ag}^{+})}{2 \times c(\text{otop. Ag}^{+})} = \frac{0,001592 \text{ mol}}{0,2 \text{ mol dm}^{-3}} = 0,00796 \text{ dm}^3 = \mathbf{7,96 \text{ cm}^3}$$

5.73. Vidi STEHIOMETRIJA

Masa smjese KCl i NaCl = 0,209 g

Množina klorida u smjesi određena je titracijom srebrovim nitratom prema jednažbi:

$\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl}$; Odavde proizlazi:

$$n(\text{Ag}^+) = n(\text{Cl}^-) = n(\text{Na}^+) + n(\text{K}^+) = 0,0314 \text{ dm}^3 \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3} = 0,00314 \text{ mol}.$$

Možemo napisati dvije jednažbe:

$$m(\text{NaCl}) + m(\text{KCl}) = 0,209 \text{ g}$$

$$n(\text{Na}^+) + n(\text{K}^+) = 0,00314 \text{ mol}$$

uzmemo li da je:

$$m(\text{NaCl}) = x, \quad m(\text{KCl}) = y,$$

i cijeli izraz podijelimo jedinicom mase dobivamo

$$x + y = 0,209 \quad (1)$$

Druga jednažba mora uzeti u obzir množinu natrijevih i kloridnih iona.

$$\frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} + \frac{m(\text{KCl})}{M(\text{KCl})} = 0,00314 \text{ mol}$$

Ako cjelu jednažbu podijelimo jedinicom množine, te uvrstimo nepoznanice x i y, dobivamo:

$$\frac{x}{58,44} + \frac{y}{74,56} = 0,00314 \quad (2)$$

Izlučimo iz prve jednažbe x i uvrstimo u drugu jednažbu pa dobivamo:

$$\frac{0,209 - y}{58,44} + \frac{y}{74,56} = 0,00314$$

odnosno

$$0,003576 - 0,01711 y + 0,013412 y = 0,00314$$

Odavde proizlazi

$$0,003698 y = 0,000436$$

odnosno

$$y = \frac{0,000436}{0,003698} = 0,1179$$

Kako je $m(\text{KCl}) = y$, slijedi

$$m(\text{KCl}) = 0,1179 \text{ g}$$

$$m(\text{NaCl}) = 0,209 \text{ g} - 0,1179 \text{ g} = 0,0911 \text{ g}$$

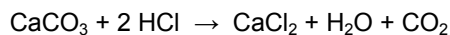
$$c(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{V(\text{otop. NaCl})} = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl}) \times V(\text{otop. NaCl})} = \frac{0,0911 \text{ g}}{58,44 \text{ g mol}^{-1} \times 0,025 \text{ dm}^3} = 0,06235 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$c(\text{KCl}) = \frac{n(\text{KCl})}{V(\text{otop. KCl})} = \frac{m(\text{KCl})}{M(\text{KCl}) \times V(\text{otop. KCl})} = \frac{0,1179 \text{ g}}{74,56 \text{ g mol}^{-1} \times 0,025 \text{ dm}^3} = 0,06325 \text{ mol dm}^{-3}$$

Zadatak je postavljen tako da su koncentracije NaCl i KCl jednake. Razlika koncentracija u rješenju uzrokovana je zaokruživanjem međurezultata s kojima se ušlo u rješavanje algebarske jednažbe.

5.74. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije otapanja kalcijeva karbonata (mineral kalcit) u klorovodičnoj kiselini.



Kalciti i klorovodična kiselina reagiraju u molarnom omjeru 1 : 2. Odavde proizlazi:

$$2 \times n(\text{CaCO}_3) = n(\text{HCl})$$

$$\text{Kako je } n(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaCO}_3)} = \frac{0,5 \text{ g}}{100 \text{ g mol}^{-1}} = 0,005 \text{ mol}$$

proizlazi

$$n(\text{HCl}) = 2 \times n(\text{CaCO}_3) = 2 \times 0,005 \text{ mol} = 0,010 \text{ mol}$$

Za koncentraciju klorovodične kiseline dobivamo:

$$c(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{V(\text{otop. HCl})} = \frac{0,010 \text{ mol}}{0,050 \text{ dm}^3} = \mathbf{0,20 \text{ mol dm}^{-3}}$$

Za taloženje klorida utrošeno je 40 cm³ otopine srebrova nitrata kojemu je koncentracija:

$$c(\text{AgNO}_3) = \frac{n(\text{HCl})}{V(\text{otop. AgNO}_3)} = \frac{0,010 \text{ mol}}{0,040 \text{ dm}^3} = \mathbf{0,25 \text{ mol dm}^{-3}}.$$

5.75. Vidi STEHIOMETRIJA

$$m(\text{NaCl}) = w(\text{NaCl}) \times m(\text{uzorak}) = 0,02 \times 0,1 \text{ g} = 0,002 \text{ g}$$

$$n(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})}$$

$$m(\text{KCl}) = w(\text{KCl}) \times m(\text{uzorak}) = 0,98 \times 0,1 \text{ g} = 0,098 \text{ g}$$

$$n(\text{KCl}) = \frac{m(\text{KCl})}{M(\text{KCl})}$$

Kloridni ioni i srebrovi ioni reagiraju u molarnom omjeru 1 : 1 pa slijedi da je množina srebrova nitrata potrebna za taloženje klorida

$$n(\text{AgNO}_3) = n(\text{KCl}) + n(\text{NaCl}) = n(\text{Cl}^-)$$

Volumen otopine srebrova nitrata potreban za taloženje kloridnih iona je:

$$\begin{aligned} V(\text{otop. AgNO}_3) &= \frac{n(\text{Cl}^-)}{c(\text{otop. AgNO}_3)} = \frac{n(\text{KCl}) + n(\text{NaCl})}{c(\text{otop. AgNO}_3)} \\ &= \frac{m(\text{KCl})}{M(\text{KCl}) \times c(\text{otop. AgNO}_3)} + \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl}) \times c(\text{otop. AgNO}_3)} \\ &= \frac{0,098 \text{ g}}{74,56 \text{ g mol}^{-1} \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3}} + \frac{0,002 \text{ g}}{58,44 \text{ g mol}^{-1} \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3}} = \mathbf{0,01349 \text{ dm}^3} \end{aligned}$$

5.76. Vidi STEHIOMETRIJA

Množinski udio elementa u spoju jednak je omjeru množine tog elementa prema ukupnoj množini svih elemenata u spoju ili formulskoj jedinki spoja.

$$\text{NaCl} \quad x(\text{Na}) = \frac{1}{2} = \mathbf{0,50} \quad x(\text{Cl}) = \frac{1}{2} = \mathbf{0,50}$$

$$\text{H}_3\text{PO}_4 \quad x(\text{H}) = \frac{3}{8} = \mathbf{0,375} \quad x(\text{P}) = \frac{1}{8} = \mathbf{0,125} \quad x(\text{O}) = \frac{4}{8} = \mathbf{0,50}$$

$$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} \quad x(\text{H}) = \frac{20}{43} = \mathbf{0,465} \quad x(\text{O}) = \frac{17}{43} = \mathbf{0,395}$$

$$x(\text{B}) = \frac{4}{43} = \mathbf{0,093} \quad x(\text{Na}) = \frac{2}{43} = \mathbf{0,047}$$

Zbroj svih udjela sastojaka smjese ili spoja mora biti 1.

5.77. Vidi STEHIOMETRIJA

Treba izračunati množinu vode i množinu alkohola. Djeljenjem množine vode (ili alkohola) s ukupnom množinom tvari u smjesi (vode i alkohola) dobivamo množinski udio vode (ili alkohola) u smjesi.

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{30 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} = 1,667 \text{ mol}$$

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})} = \frac{50 \text{ g}}{46 \text{ g mol}^{-1}} = 1,087 \text{ mol}$$

$$\hline 2,754 \text{ mol}$$

$$x(\text{H}_2\text{O}) = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{H}_2\text{O}) + n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})} = \frac{1,667 \text{ mol}}{2,754 \text{ mol}} = \mathbf{0,605}$$

$$x(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{n(\text{H}_2\text{O}) + n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})} = \frac{1,087 \text{ mol}}{2,754 \text{ mol}} = \mathbf{0,395}$$

5.78. Vidi STEHIOMETRIJA

Maseni udio sastojaka u smjesi jednak je omjeru mase pojedinog sastojka prema ukupnoj masi sastojaka smjese.

$$w(\text{Cu}) = \mathbf{0,745}$$

$$w(\text{Zn}) = 1 - w(\text{Cu}) = 1 - 0,745 = 0,255$$

Množinski udio sastojaka u smjesi jednak je omjeru množine pojedinog sastojka prema ukupnoj množini svih sastojaka smjese.

Primjerice, u 100 g zadane slitine (legure) za množinu bakra i cinka dobivamo:

$$n(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{M(\text{Cu})} = \frac{74,5 \text{ g}}{63,55 \text{ g mol}^{-1}} = 1,172 \text{ mol}$$

$$n(\text{Zn}) = \frac{m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})} = \frac{25,5 \text{ g}}{65,41 \text{ g mol}^{-1}} = 0,390 \text{ mol}$$

$$1,562 \text{ mol}$$

$$x(\text{Cu}) = \frac{n(\text{Cu})}{n(\text{Cu}) + n(\text{Zn})} = \frac{1,172 \text{ mol}}{1,562 \text{ mol}} = \mathbf{0,750}$$

$$x(\text{Zn}) = \frac{n(\text{Zn})}{n(\text{Cu}) + n(\text{Zn})} = \frac{0,390 \text{ mol}}{1,562 \text{ mol}} = 0,250$$

5.79. Vidi STEHIOMETRIJA

Vidi zadatke 5.76., 5.77. i 5.78.

$$x(\text{U}) = \frac{4}{12} = \mathbf{0,333} \quad x(\text{Mo}) = \frac{5}{12} = \mathbf{0,417} \quad x(\text{Si}) = \frac{3}{12} = \mathbf{0,250}$$

$$M_r(\text{U}_4\text{Mo}_5\text{Si}_3) = 4 A_r(\text{U}) + 5 A_r(\text{Mo}) + 3 A_r(\text{Si}) = 4 \times 238 + 5 \times 95,94 + 3 \times 28,09 = 1516$$

Da bismo doznali koliko treba odvagati pojedinih sastojaka za pripremu 100 g slitine (legure) moramo izračunati njihov maseni udio u spoju. Maseni udio pojedinog sastojka (elementa), iskazan u postotcima, brojčano je jednak masi tog sastojka potreban za pripremu 100 g slitine.

$$w(\text{U}) = \frac{4 A_r(\text{U})}{M_r(\text{U}_4\text{Mo}_5\text{Si}_3)} = \frac{4 \times 238}{1516} = 0,628 = 62,8 \% \quad m(\text{U}) = \mathbf{62,8 \text{ g}}$$

$$w(\text{Mo}) = \frac{5 A_r(\text{Mo})}{M_r(\text{U}_4\text{Mo}_5\text{Si}_3)} = \frac{5 \times 95,94}{1516} = 0,316 = 31,6 \% \quad m(\text{Mo}) = \mathbf{31,6 \text{ g}}$$

$$w(\text{Si}) = \frac{3 A_r(\text{Si})}{M_r(\text{U}_4\text{Mo}_5\text{Si}_3)} = \frac{3 \times 28,09}{1516} = 0,056 = 5,6 \% \quad m(\text{Si}) = \mathbf{5,6 \text{ g}}$$

100 g

5.80. Vidi STEHIOMETRIJA

$$x(\text{Fe}) = \frac{3}{4} = \mathbf{0,75}$$

$$x(\text{C}) = \frac{1}{4} = \mathbf{0,25}$$

$$M_r(\text{Fe}_3\text{C}) = 3 \times A_r(\text{Fe}) + A_r(\text{C}) = 3 \times 55,85 + 12 = 179,55$$

$$w(\text{Fe}) = \frac{3 \times A_r(\text{Fe})}{M_r(\text{Fe}_3\text{C})} = \frac{3 \times 55,85}{179,55} = \mathbf{0,933}$$

$$w(\text{C}) = \frac{3 \times A_r(\text{C})}{M_r(\text{Fe}_3\text{C})} = \frac{12}{179,55} = \mathbf{0,067}$$

1,000

6. PLINSKI ZAKONI

6.1. Vidi STEHIOMETRIJA

Primijenimo Boyle-Mariotteov zakon. Zadane uvjete označimo s p i V , a tražene s p_1 i V_1 .

$$p \times V = p_1 \times V_1$$

$$400 \text{ mmHg} \times 50 \text{ L} = p_1 \times 1 \text{ L}$$

$$p_1 = \frac{400 \text{ mmHg} \times 50 \text{ L}}{1 \text{ L}} = 20\,000 \text{ mmHg}$$

Kako je

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

proizlazi

$$p_1 = \frac{20\,000 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg atm}^{-1}} = \mathbf{26,3 \text{ atm}}$$

Isto tako vrijedi:

$$1 \text{ mmHg} \approx 133,322 \text{ Pa}$$

pa isti tlak iskazan jedinicom Pa ima vrijednost:

$$p_1 = 20\,000 \text{ mmHg} \times 133,322 \text{ Pa mmHg}^{-1} \approx \mathbf{2\,666 \text{ kPa}}$$

6.2. Vidi STEHIOMETRIJA

Primijenimo Boyle-Mariotteov zakon. Zadane uvjete označimo s p i V , a tražene s p_1 i V_1 .

$$p \times V = p_1 \times V_1$$

$$105 \text{ kPa} \times 2000 \text{ dm}^3 = p_1 \times 30 \text{ dm}^3$$

$$p_1 = \frac{105 \text{ kPa} \times 2000 \text{ dm}^3}{30 \text{ dm}^3} = \mathbf{7000 \text{ kPa}} \quad \approx 69 \text{ atm}$$

6.3. Vidi STEHIOMETRIJA

Normalni su uvjeti (n.u.) temperatura 0°C i tlak $101\,325 \text{ Pa}$. Kako je temperatura stalna, 0°C , možemo primijeniti Boyle-Mariotteov zakon. Zadane uvjete označimo s p i V , a tražene s p_1 i V_1 .

$$p \times V = p_1 \times V_1$$

$$101 \text{ kPa} \times 773 \text{ cm}^3 = 50 \text{ kPa} \times V_1$$

Odavde proizlazi:

$$V_1 = \frac{101\,325 \text{ Pa} \times 773 \text{ cm}^3}{50\,000 \text{ Pa}} = \mathbf{1566 \text{ cm}^3}$$

6.4. Vidi STEHIOMETRIJA

$$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa} \quad (\text{po definiciji})$$

Primijenimo Boyle-Mariotteov zakon

$$p \times V = p_1 \times V_1$$

Traži se omjer volumena, pa ćemo Boyle-Mariotteov zakon napisati u obliku:

$$\frac{V}{V_1} = \frac{p_1}{p} = \frac{140 \text{ bar}}{100 \text{ kPa}} = \frac{140\,000 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} = \mathbf{140}$$

6.5. Vidi STEHIOMETRIJA

Zadanu masu vodika treba iskazati jedinicom množine i potom primijeniti opću plinsku jednadžbu.

$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)} = \frac{2 \text{ g}}{2 \text{ g mol}^{-1}} = 1 \text{ mol}$$

$$p V = n R T$$

$$V = \frac{n R T}{p} = \frac{1 \text{ mol} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273 \text{ K}}{101\,325 \text{ Pa}} = 0,0224 \text{ m}^3 = \mathbf{22,4 \text{ dm}^3}$$

$$V_1 = \frac{n R T}{p} = \frac{1 \text{ mol} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 291 \text{ K}}{100\,000 \text{ Pa}} = 0,0242 \text{ m}^3 = \mathbf{24,2 \text{ dm}^3}$$

6.6. Vidi STEHIOMETRIJA

Tlak u mmHg treba iskazati u Pa, volumen u mm³, a potom primijeniti Boyle-Mariotteov zakon.

$$1 \text{ mmHg} = 133,322 \text{ Pa}$$

$$10^{-6} \text{ mmHg} = 10^{-6} \times 133,322 \text{ Pa}$$

$$p \times V = p_1 \times V_1$$

$$10^{-6} \times 133,322 \text{ Pa} \times 10 \text{ dm}^3 = 101\,325 \text{ Pa} \times V_1$$

$$V_1 = \frac{10^{-6} \times 133,322 \text{ Pa} \times 10^6 \text{ mm}^3}{101\,325 \text{ Pa}} = \mathbf{0,0132 \text{ mm}^3}$$

6.7. Vidi STEHIOMETRIJA

Traži se omjer volumena, pa ćemo Boyle-Mariotteov zakon napisati u obliku:

$$\frac{V}{V_1} = \frac{p_1}{p} = \frac{101\,325 \text{ Pa}}{133,332 \times 10^{-6} \text{ Pa}} = \mathbf{7,6 \times 10^8}$$

6.8. Vidi STEHIOMETRIJA

Primijenimo Gay-Lussacov zakon koji kaže: *tlak stalne količine plina pri konstantnom volumenu izravno je proporcionalan apsolutnoj temperaturi*. Tlak i temperaturu pri normalnim uvjetima označimo s p_0 i T_0 .

$$\frac{p}{T} = \frac{p_0}{T_0}$$

Odavde proizlazi:

$$T = \frac{p \times T_0}{p_0} = \frac{150\,000 \text{ Pa} \times 273,15 \text{ K}}{101\,325 \text{ Pa}} = \mathbf{404,4 \text{ K}}$$

6.9. Vidi STEHIOMETRIJA

Primijenimo Gay-Lussacov zakon koji kaže: *tlak stalne količine plina pri konstantnom volumenu izravno je proporcionalan apsolutnoj temperaturi*. Tlak i temperaturu pri zadanim uvjetima označimo s p i T , a pri traženim uvjetima s p_1 i T_1 .

$$\frac{p}{T} = \frac{p_1}{T_1}$$

Odavde proizlazi:

$$p = \frac{p_1 \times T}{T_1} = \frac{150 \text{ bar} \times 303,15 \text{ K}}{278,15 \text{ K}} = \mathbf{163,5 \text{ bar}}$$

6.10. Vidi STEHIOMETRIJA

Primijenimo Gay-Lussacov zakon koji kaže: *tlak stalne količine plina pri konstantnom volumenu izravno je proporcionalan apsolutnoj temperaturi*. Tlak i temperaturu pri zadanim uvjetima označimo s p i T , a pri traženim uvjetima s p_1 i T_1 .

$$\frac{p}{T} = \frac{p_1}{T_1}$$

Odavde proizlazi:

$$T = \frac{p \times T_1}{p_1} = \frac{100 \text{ kPa} \times 323,15 \text{ K}}{110 \text{ kPa}} = \mathbf{293,8 \text{ K} = 20,6 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

6.11. Vidi STEHIOMETRIJA

Primijenimo Gay-Lussacov zakon koji kaže: *tlak stalne količine plina pri konstantnom volumenu izravno je proporcionalan apsolutnoj temperaturi*. Tlak i temperaturu pri zadanim uvjetima označimo s p i T , a pri traženim uvjetima s p_1 i T_1 .

$$\frac{p}{T} = \frac{p_1}{T_1}$$

Oдавde proizlazi:

$$p = \frac{p_1 \times T}{T_1} = \frac{20 \text{ kPa} \times 1573,15 \text{ K}}{298,15 \text{ K}} = \mathbf{105,5 \text{ kPa}}$$

6.12. Vidi STEHIOMETRIJA

Primijenimo Gay-Lussacov zakon koji kaže: *tlak stalne količine plina pri konstantnom volumenu izravno je proporcionalan apsolutnoj temperaturi*. Tlak i temperaturu pri zadanim uvjetima označimo s p i T , a pri traženim uvjetima s p_1 i T_1 .

$$\frac{p}{T} = \frac{p_1}{T_1}$$

Oдавde proizlazi:

$$p = \frac{p_1 \times T}{T_1} = \frac{100 \text{ kPa} \times 293,15 \text{ K}}{1273,15 \text{ K}} = \mathbf{23 \text{ kPa}}$$

6.13. Vidi STEHIOMETRIJA

Traži se omjer tlakova, pa ćemo primijeniti Gay-Lussacov zakon: *tlak stalne količine plina pri konstantnom volumenu izravno je proporcionalan apsolutnoj temperaturi*. Tlak i temperaturu pri zadanim uvjetima označimo s p i T , a pri traženim uvjetima s p_1 i T_1 .

$$\frac{p}{T} = \frac{p_1}{T_1}$$

preuredimo jednadžbu pa dobivamo

$$T_1 = \frac{p_1}{p} \times T = \frac{5}{1} \times 373 \text{ K} = \mathbf{1865 \text{ K}} \text{ ili } \mathbf{1592 \text{ }^\circ\text{C}}.$$

6.14. Vidi STEHIOMETRIJA

Primijenimo Daltonov zakon parcijalnih tlakova kako bismo doznali parcijalni tlak suhog vodika pri 25 °C, a zatim preračunajmo dobivene vrijednosti na n.u. Iz tablice parcijalnih tlakova vodene pare doznajemo:

$$p(\text{H}_2\text{O}, 25\text{ °C}) = 3,169\text{ kPa}$$

Odavde proizlazi da je parcijalni tlak vodika pri 25 °C:

$$p(\text{H}_2, 25\text{ °C}) = p - p(\text{H}_2\text{O}, 25\text{ °C}) = 95\text{ kPa} - 3,2\text{ kPa} = 91,8\text{ kPa}$$

Primijenimo jednadžbu koja povezuje Boyleov i oba Gay-Lussacova zakona gdje p_0 , V_0 i T_0 označuju stanje plina pri n.u. (101 325 Pa, 273,15 K).

$$\frac{p V}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0}$$

Odavde proizlazi:

$$V_0 = \frac{p \times V \times T_0}{p_0 \times T} = \frac{91,8\text{ kPa} \times 120\text{ cm}^3 \times 273,15\text{ K}}{101,3\text{ kPa} \times 298,15\text{ K}} = \mathbf{99,6\text{ cm}^3}$$

6.15. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo istim postupkom kao u zadatku 6.14.

$$p(\text{H}_2\text{O}, 18\text{ °C}) = 2,064\text{ kPa}$$

Odavde proizlazi da je parcijalni tlak kisika pri 18 °C:

$$p(\text{O}_2, 18\text{ °C}) = p - p(\text{H}_2\text{O}, 18\text{ °C}) = 100\text{ kPa} - 2,1\text{ kPa} = 97,9\text{ kPa}$$

$$\frac{p V}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0}$$

Odavde proizlazi:

$$\text{a) } V_0 = \frac{p \times V \times T_0}{p_0 \times T} = \frac{97,9\text{ kPa} \times 200\text{ cm}^3 \times 273,15\text{ K}}{101,3\text{ kPa} \times 291,15\text{ K}} = \mathbf{181,3\text{ cm}^3}$$

$$\text{b) } V_0 = \frac{p \times V \times T_0}{p_0 \times T} = \frac{100\text{ kPa} \times 200\text{ cm}^3 \times 273,15\text{ K}}{101,3\text{ kPa} \times 291,15\text{ K}} = \mathbf{185,2\text{ cm}^3}$$

6.16. Vidi STEHIOMETRIJA

Preračunamo li tlak svakog sastojka na zadane uvjete, 400 cm³ i 20 °C, dobit ćemo njegov parcijalni tlak u smjesi.

Primijenimo jednadžbu koja povezuje Boyleov i oba Gay-Lussacova zakona gdje p_1 , V_1 i T_1 označuju stanje plina pri zadanim uvjetima ($V_1 = 400 \text{ cm}^3$, $T_1 = 293,15 \text{ K}$).

$$\frac{p V}{T} = \frac{p_1 V_1}{T_1}$$

$$p_1(\text{N}_2) = \frac{p \times V \times T_1}{V_1 \times T} = \frac{90 \text{ kPa} \times 100 \text{ cm}^3 \times 293,15 \text{ K}}{400 \text{ cm}^3 \times 288,15 \text{ K}} = \mathbf{22,9 \text{ kPa}}$$

$$p_1(\text{O}_2) = \frac{p \times V \times T_1}{V_1 \times T} = \frac{100 \text{ kPa} \times 150 \text{ cm}^3 \times 299,15 \text{ K}}{400 \text{ cm}^3 \times 288,15 \text{ K}} = \mathbf{38,9 \text{ kPa}}$$

$$p_1(\text{CO}_2) = \frac{p \times V \times T_1}{V_1 \times T} = \frac{80 \text{ kPa} \times 50 \text{ cm}^3 \times 290,15 \text{ K}}{400 \text{ cm}^3 \times 288,15 \text{ K}} = \mathbf{10,1 \text{ kPa}}$$

6.17. Vidi STEHIOMETRIJA

Mase zadanih plinova treba iskazati jedinicom množine, a potom upotrijebiti opću plinsku jednadžbu.

$$n(\text{H}_2) = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2)} = \frac{1 \text{ g}}{2 \text{ g mol}^{-1}} = 0,500 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2)}{M(\text{O}_2)} = \frac{1 \text{ g}}{32 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0313 \text{ mol}$$

$$n(\text{N}_2) = \frac{m(\text{N}_2)}{M(\text{N}_2)} = \frac{1 \text{ g}}{28 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0357 \text{ mol}$$

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{1 \text{ g}}{44 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0227 \text{ mol}$$

Opću plinsku jednadžbu, $pV = n R T$, preuredimo tako da se dobije volumen plina.

$$V(\text{H}_2) = \frac{n R T}{p} = \frac{0,500 \text{ mol} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}}{101\,325 \text{ Pa}} = 0,0112 \text{ m}^3 = \mathbf{11,2 \text{ dm}^3}$$

$$V(\text{O}_2) = \frac{n R T}{p} = \frac{0,0313 \text{ mol} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}}{101\,325 \text{ Pa}} = 0,0007 \text{ m}^3 = \mathbf{0,70 \text{ dm}^3}$$

$$V(\text{N}_2) = \frac{n R T}{p} = \frac{0,0357 \text{ mol} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}}{101\,325 \text{ Pa}} = 0,0008 \text{ m}^3 = \mathbf{0,80 \text{ dm}^3}$$

$$V(\text{CO}_2) = \frac{n R T}{p} = \frac{0,0227 \text{ mol} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}}{101\,325 \text{ Pa}} = 0,0008 \text{ m}^3 = \mathbf{0,51 \text{ dm}^3}$$

6.18. Vidi STEHIOMETRIJA

Primijenimo opću plinsku jednadžbu, $pV = n R T$,

$$V(\text{N}_2) = \frac{n R T}{p} = \frac{m R T}{M \times p} = \frac{100 \text{ g} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 290,15 \text{ K}}{28 \text{ g mol}^{-1} \times 105 \text{ kPa}} = 0,08205 \text{ m}^3 = \mathbf{82,05 \text{ dm}^3}$$

6.19. Vidi STEHIOMETRIJA

Primijenimo opću plinsku jednadžbu,

$$pV = n R T = \frac{m}{M} R T$$

Odavde proizlazi

$$m(\text{O}_2) = \frac{M p V}{R T} = \frac{(32 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}) \times (150 \times 10^5 \text{ Pa}) \times 0,030 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293,15 \text{ K}} = 5,908 \text{ kg} = \mathbf{5\,908 \text{ g}}$$

6.20. Vidi STEHIOMETRIJA

Primijenimo opću plinsku jednadžbu,

$$pV = n R T = \frac{m}{M} R T$$

Odavde proizlazi

$$p(\text{O}_2) = \frac{m R T}{M V} = \frac{1 \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300 \text{ K}}{(32 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}) \times 0,030 \text{ m}^3} = 25,98 \times 10^5 \text{ Pa} = \mathbf{25,98 \text{ bar}}$$

6.21. Vidi STEHIOMETRIJA

Primijenimo opću plinsku jednadžbu,

$$pV = n R T = \frac{m}{M} R T$$

Odavde proizlazi

$$m(\text{H}_2) = \frac{M p V}{R T} = \frac{(2 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}) \times (25,98 \times 10^5 \text{ Pa}) \times 0,030 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300 \text{ K}} = 0,0625 \text{ kg} = \mathbf{62,5 \text{ g}}$$

(Molarna masa vodika je 16 puta manja od molarne mase kisika. Zato su mase kisika i vodika u omjeru 16 : 1.)

6.22. Vidi STEHIOMETRIJA

Molarni volumen idealnog plina pri n.u. je: $V_m^n = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$

$$n = \frac{V^n}{V_m^n} = \frac{1 \text{ dm}^3}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = \mathbf{0,0446 \text{ mol}}$$

U ovom izrazi V^n označuje volumen plina pri n.u., dok V_m^n označuje molarni volumen plina pri n.u.

6.23. Vidi STEHIOMETRIJA

Primijenimo opću plinsku jednačbu, $pV = n R T$, i napišimo je u obliku

$$p = \frac{n}{V} \times R \times T$$

Omjer množine i volumena plina je njegova koncentracija, pa slijedi:

$$p = 6000 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 330,15 \text{ K} = 164,7 \times 10^5 \text{ Pa} = \mathbf{164,7 \text{ bar}}$$

6.24. Vidi STEHIOMETRIJA

Izrazimo najprije množinu plina pomoću opće plinske jednačbe, $pV = n R T$.

$$n = \frac{p \times V}{R \times T}$$

Odnos broja molekula i množine tvari dan je Avogadrovom konstantom.

$$L = N_A = \text{Avogadrova konstanta} = \frac{\text{broj molekula}}{\text{množina tvari}} = \frac{N}{n} = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Odavde proizlazi:

$$N = n \times N_A = \frac{p \times V}{R \times T} \times N_A = \frac{10^5 \text{ Pa} \times 0,001 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293,15 \text{ K}} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = \mathbf{2,47 \times 10^{22}}$$

6.25. Vidi STEHIOMETRIJA

Izrazimo najprije množinu plina pomoću opće plinske jednadžbe, $pV = n R T$.

$$n = \frac{p \times V}{R \times T}$$

Odnos broja molekula i množine tvari dan je Avogadrovom konstantom.

$$L = N_A = \text{Avogadrova konstanta} = \frac{\text{broj molekula}}{\text{množina tvari}} = \frac{N}{n} = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Odavde proizlazi:

$$N = n \times N_A = \frac{p \times V}{R \times T} \times N_A = \frac{2339 \text{ Pa} \times 10^{-6} \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293,15 \text{ K}} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = \mathbf{5,78 \times 10^{17}}$$

6.26. Vidi STEHIOMETRIJA

Izrazimo brojnost molekula plina, N , jedinicom množine, n .

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{10^6}{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 1,66 \times 10^{-18} \text{ mol}$$

Iz opće plinske jednadžbe proizlazi:

$$V = \frac{n R T}{p} = \frac{N R T}{N_A \times p} = \frac{10^6 \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 323,15 \text{ K}}{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times 1 \text{ Pa}} = 4,46 \times 10^{-15} \text{ m}^3 = \mathbf{4,46 \times 10^{-6} \text{ mm}^3}$$

6.27. Vidi STEHIOMETRIJA

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{10^{10}}{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = \mathbf{1,66 \times 10^{-14} \text{ mol}}$$

6.28. Vidi STEHIOMETRIJA

$$m(\text{O}_2) = \frac{M(\text{O}_2)}{N_A} = \frac{32 \text{ g mol}^{-1}}{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = \mathbf{5,3 \times 10^{-23} \text{ g}}$$

Masu molekule kisika mogli smo izračunati i tako da relativnu molekulsku masu kisika pomnožimo jedinicom atomske mase.

$$m(\text{O}_2) = M_r(\text{O}_2) \times \text{Da} = 32 \times 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg} = \mathbf{5,3 \times 10^{-23} \text{ g}}$$

6.29. Vidi STEHIOMETRIJA

Masu sumporova trioksida najprije treba izraziti jedinicom mol.

$$n(\text{SO}_3) = \frac{m(\text{SO}_3)}{M(\text{SO}_3)} = \frac{10^{-3} \text{ g}}{80,6 \text{ g mol}^{-1}} = 1,24 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

Za brojnost molekula SO_3 dobivamo:

$$N(\text{SO}_3) = n(\text{SO}_3) \times N_A = \frac{m(\text{SO}_3)}{M(\text{SO}_3)} \times N_A = \frac{10^{-3} \text{ g}}{80,6 \text{ g mol}^{-1}} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 7,47 \times 10^{18}$$

6.30. Vidi STEHIOMETRIJA

Primjenimo opću plinsku jednadžbu, $pV = n R T$, i napišimo je u obliku

$$pV = n R T = \frac{m}{M} \times R \times T$$

Oдавде proizlazi:

$$M = \frac{m \times R \times T}{p \times V} = \frac{63 \times 10^{-6} \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300,15 \text{ K}}{5 \times 10^4 \text{ Pa} \times 10^{-4} \text{ m}^3} = 0,0314 \text{ kg mol}^{-1} = 31,4 \text{ g mol}^{-1}$$

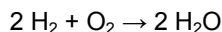
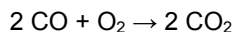
6.31. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo istim postupkom kao u zadatku 6.30.

$$M = \frac{m \times R \times T}{p \times V} = \frac{179 \times 10^{-6} \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293,15 \text{ K}}{10^5 \text{ Pa} \times 254 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 0,0172 \text{ kg mol}^{-1} = 17,2 \text{ g mol}^{-1}$$

6.32. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbe kemijskih reakcija



Prema Avogadrovu zakonu jednaki volumeni različitih plinova pri istom tlaku i temperaturi sadržavaju jednak broj čestica. Pretpostavlja se da su vodeni plin i zrak pri istim uvjetima tlaka i temperature. Volumni udjeli dušika i ugljikova dioksida ne utječu na rezultat. Prema tome treba izračunati volumen kisika potreban za spaljivanje 400 dm³ ugljikova monoksida i 500 dm³ vodika.

Na temelju jednadžbi kemijskih reakcija možemo zaključiti da je za spaljivanje 400 dm³ ugljikova monoksida potrebno 200 dm³ kisika, a za spaljivanje 500 dm³ vodika potrebno je 250 dm³ kisika.

Oдавде proizlazi da je za spaljivanje ugljikova monoksida i vodika u 1 m³ vodenog plina potrebno 450 dm³ kisika. Kako je volumni udio kisika u zraku, $\varphi(\text{O}_2) = 0,2095$, proizlazi:

$$V(\text{zrak}) = 0,450 \text{ dm}^3 / 0,2095 = 2,15 \text{ m}^3$$

6.33. Vidi STEHIOMETRIJA

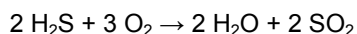
a) Primjenimo opću plinsku jednadžbu, $pV = n R T$, i napišimo je u obliku

$$pV = n R T = \frac{m}{M} \times R \times T$$

Odavde proizlazi:

$$V(\text{H}_2\text{S}) = \frac{m \times R \times T}{M \times p} = \frac{50 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 323,15 \text{ K}}{0,034 \text{ kg mol}^{-1} \times 66 \times 10^3 \text{ Pa}} = 0,0599 \text{ m}^3 = \mathbf{59,9 \text{ dm}^3}$$

b) Napišimo jednadžbu reakcije spaljivanja sumporovodika u kisiku.



Na temelju jednadžbe proizlazi da spaljivanjem 1 mol sumporovodika nastaje 1 mol sumporova dioksida. Prema tome vrijedi:

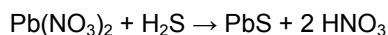
$$n(\text{H}_2\text{S}) = n(\text{SO}_2) = \frac{m(\text{H}_2\text{S})}{M(\text{H}_2\text{S})} = \frac{50 \text{ g}}{34 \text{ g mol}^{-1}} = 1,47 \text{ mol}$$

Pri n.u. ta množina plina ima volumen:

$$V(\text{SO}_2) = n(\text{SO}_2) \times V_m = \frac{50 \text{ g}}{34 \text{ g mol}^{-1}} \times 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} = \mathbf{32,9 \text{ dm}^3}$$

6.34. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije.



Iz jednadžbe reakcije proizlazi:

$$n(\text{H}_2\text{S}) = n(\text{PbS}) = \frac{m(\text{PbS})}{M(\text{PbS})} = \frac{10 \text{ g}}{239,25 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0418 \text{ mol}$$

Za masu sumporovodika dobivamo:

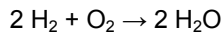
$$m(\text{H}_2\text{S}) = n(\text{H}_2\text{S}) \times M(\text{H}_2\text{S}) = \frac{m(\text{PbS})}{M(\text{PbS})} \times M(\text{H}_2\text{S}) = \frac{10 \text{ g} \times 34 \text{ g mol}^{-1}}{239,25 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{1,42 \text{ g}}$$

Za volumen sumporovodika dobivamo:

$$V(\text{H}_2\text{S}) = \frac{m \times R \times T}{M \times p} = \frac{10 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300 \text{ K}}{0,239 \text{ kg mol}^{-1} \times 1,03 \times 10^5 \text{ Pa}} = 0,001013 \text{ m}^3 = \mathbf{1,013 \text{ dm}^3}$$

6.35. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Prema Avogadrovu zakonu jednaki volumeni različitih plinova pri istom tlaku i temperaturi sadržavaju jednak broj čestica. Pretpostavlja se da su vodik i zrak pri istim uvjetima tlaka i temperature. Prema tome za spaljivanje 10 dm^3 vodika potrebno je 5 dm^3 kisika.

Kako je volumni udio kisika u zraku, $\varphi(\text{O}_2) = 0,2095$, proizlazi:

$$V(\text{zrak}) = 5 \text{ dm}^3 / 0,2095 = \mathbf{23,9 \text{ dm}^3}$$

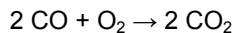
Pri n.u.. volumen vodika bio bi:

$$V_0(\text{H}_2, \text{n.u.}) = \frac{p V T_0}{p_0 T} = \frac{100 \text{ kPa} \times 10 \text{ dm}^3 \times 273 \text{ K}}{101,3 \text{ kPa} \times 290 \text{ K}} = 9,29 \text{ dm}^3$$

$$V(\text{zrak, n.u.}) = 9,29 \text{ dm}^3 / 2 \times 0,2095 = \mathbf{22,2 \text{ dm}^3}$$

6.36. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo jednakim postupkom kao u zadatku 6.35.



Prema Avogadrovu zakonu jednaki volumeni različitih plinova pri istom tlaku i temperaturi sadržavaju jednak broj čestica. Pretpostavlja se da su ugljikov monoksid i zrak pri istim uvjetima tlaka i temperature. Prema tome za spaljivanje 10 dm^3 ugljikova monoksida potrebno je 5 dm^3 kisika.

Kako je volumni udio kisika u zraku, $\varphi(\text{O}_2) = 0,2095$, proizlazi:

$$V(\text{zrak}) = 5 \text{ dm}^3 / 0,2095 = \mathbf{23,9 \text{ dm}^3}$$

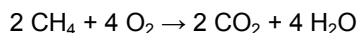
Pri n.u.. volumen ugljikova monoksida bio bi:

$$V_0(\text{CO, n.u.}) = \frac{p V T_0}{p_0 T} = \frac{100 \text{ kPa} \times 10 \text{ dm}^3 \times 273 \text{ K}}{101,3 \text{ kPa} \times 290 \text{ K}} = 9,29 \text{ dm}^3$$

$$V(\text{zrak, n.u.}) = 9,29 \text{ dm}^3 / 2 \times 0,2095 = \mathbf{22,2 \text{ dm}^3}$$

6.37. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo jednakim postupkom kao u zadatku 6.35.



Prema Avogadrovu zakonu jednaki volumeni različitih plinova pri istom tlaku i temperaturi sadržavaju jednak broj čestica. Pretpostavlja se da su metan i zrak pri istim uvjetima tlaka i temperature. Prema tome za spaljivanje 10 dm^3 metana potrebno je 20 dm^3 kisika.

Kako je volumni udio kisika u zraku, $\varphi(\text{O}_2) = 0,2095$, proizlazi:

$$V(\text{zrak}) = 20 \text{ dm}^3 / 0,2095 = \mathbf{95,5 \text{ dm}^3}$$

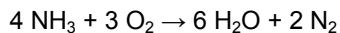
Pri n.u.. volumen metana bio bi:

$$V_0(\text{CH}_4, \text{n.u.}) = \frac{p \ V \ T_0}{p_0 \ T} = \frac{100 \text{ kPa} \times 10 \text{ dm}^3 \times 273 \text{ K}}{101,3 \text{ kPa} \times 290 \text{ K}} = 9,29 \text{ dm}^3$$

$$V(\text{zrak, n.u.}) = 2 \times 9,29 \text{ dm}^3 / 0,2095 = \mathbf{88,8 \text{ dm}^3}$$

6.38. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Primjenimo opću plinsku jednadžbu, $pV = nRT$, i napišimo je u obliku:

$$pV = \frac{m}{M} \times R \times T$$

Odavde proizlazi:

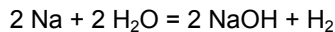
$$V(\text{NH}_3) = \frac{m \times R \times T}{M \times p} = \frac{100 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 290 \text{ K}}{0,017 \text{ kg mol}^{-1} \times 10^5 \text{ Pa}} = 0,1418 \text{ m}^3 = \mathbf{141,8 \text{ dm}^3}$$

Pri toj je temperaturi voda u tekućem stanju, pa je volumen dušika, kao jedinog plinovitog proizvoda jednak polovini volumena amonijaka, odnosno:

$$V(\text{N}_2) = \frac{1}{2} \times V(\text{NH}_3) = \frac{1}{2} \times 141,8 \text{ dm}^3 = \mathbf{70,9 \text{ dm}^3}$$

6.39. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije:



Primjenimo opću plinsku jednadžbu, $pV = nRT$, i izračunajmo množinu vodika nastala reakcijom natrija s vodom.:

$$n(\text{H}_2) = \frac{p V}{R T}$$

Kako smo na osnovi jednadžbe reakcije ustvrdili da reakcijom 2 mola natrija nastaje jedan mol vodika, možemo pisati:

$$: \quad n(\text{Na}) = 2 \times n(\text{H}_2) = \frac{2 \times p(\text{H}_2) \times V(\text{H}_2)}{R \times T(\text{H}_2)}$$

Kako je $n(\text{Na}) = m(\text{Na}) / M(\text{Na})$, slijedi

$$: \quad n(\text{Na}) = \frac{m(\text{Na})}{M(\text{Na})} = \frac{2 \times p(\text{H}_2) \times V(\text{H}_2)}{R \times T(\text{H}_2)}$$

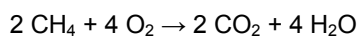
Oдавде proizlazi:

$$: \quad m(\text{Na}) = \frac{M(\text{Na}) \times 2 \times p(\text{H}_2) \times V(\text{H}_2)}{R \times T(\text{H}_2)} = \frac{0,023 \text{ kg mol}^{-1} \times 2 \times 90 \times 10^3 \text{ Pa} \times 0,001 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 290 \text{ K}} = \mathbf{1,717 \text{ g}}$$

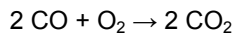
6.40. Vidi STEHIOMETRIJA

Jednadžbe reakcija gorenja

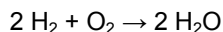
Volumen kisika



$$V(\text{O}_2) = 1 \text{ dm}^3 \times 2 \times \varphi(\text{CH}_4) = 1 \text{ dm}^3 \times 2 \times 0,80 = 1,600 \text{ dm}^3$$



$$V(\text{O}_2) = 1 \text{ dm}^3 \times \frac{1}{2} \times \varphi(\text{CO}) = 1 \text{ dm}^3 \times \frac{1}{2} \times 0,15 = 0,075 \text{ dm}^3$$



$$V(\text{O}_2) = 1 \text{ dm}^3 \times \frac{1}{2} \times \varphi(\text{H}_2) = 1 \text{ dm}^3 \times \frac{1}{2} \times 0,05 = 0,025 \text{ dm}^3$$

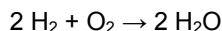
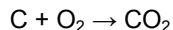
Volumen kisika potreban za spaljivanje 1 dm³ smjese plinova:

$$V(\text{O}_2, \text{ukupno}) = 1,700 \text{ dm}^3$$

$$V(\text{zrak}) = V(\text{O}_2, \text{ukupno}) / \varphi(\text{O}_2, \text{zrak}) = 1,700 \text{ dm}^3 / 0,21 = \mathbf{8,1 \text{ dm}^3}$$

6.41. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbe reakcije



Iz jednadžbi reakcija vidimo da je za spaljivanje 1 mola ugljika potreban 1 mol kisika, a za spaljivanje dva mola vodika potreban je jedan mol kisika. Odavde proizlazi:

$$n_1(\text{O}_2) = n(\text{C}) = m(\text{C}) / M(\text{C}) = 850 \text{ g} / 12 \text{ g mol}^{-1} = 70,83 \text{ mol}$$

$$n_2(\text{O}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} \times m(\text{H}_2) / M(\text{H}_2) = \frac{1}{2} \times 140 \text{ g} / 2 \text{ g mol}^{-1} = 35,00 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}_2, \text{ ukupno}) = 105,83 \text{ mol}$$

Za spaljivanje 1 kg nafte zadanog sastava potrebno je 105,8 mol kisika. Kako je volumni udio kisika u zraku, $w(\text{O}_2, \text{zrak}) = 0,2095$, proizlazi:

$$n(\text{zrak}) = n(\text{O}_2, \text{ ukupno}) / w(\text{O}_2, \text{zrak}) = 105,83 \text{ mol} / 0,2095 = 505,15 \text{ mol}$$

Volumen zraka pri zadanim uvjetima izračunat ćemo pomoću opće plinske jednadžbe, $pV = nRT$.

$$V(\text{zrak}) = \frac{n R T}{p} = \frac{505,15 \text{ mol} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 303,15 \text{ K}}{10^5 \text{ Pa}} = 12,732 \text{ m}^3$$

6.42. Vidi STEHIOMETRIJA

Prvo što moramo izračunati jest tlak suhog plina. Od izmjerene atmosfere tlaka treba odbiti tlak vodene pare i uzeti u obzir razliku razina vode u plinskoj bireti i pneumatskoj kadi. Prema tome za tlak suhog plina dobivamo:

$$p(\text{plin}, 27^\circ \text{C}) = p(\text{zrak}) - p(\text{H}_2\text{O}, 27^\circ \text{C}) - p(\text{hidrostatski})$$

Hidrostatski tlak stupca vode iznosi:

$$p(\text{hidrostatski}) = h \times \rho \times g_N = 0,210 \text{ m} \times 1000 \text{ kg m}^{-3} \times 9,806 \text{ m s}^{-2} = 2059 \text{ N m}^{-2} = 2059 \text{ Pa}$$

Konačno za tlak suha plina dobivamo:

$$p(\text{plin}, 27^\circ \text{C}) = 100\,000 \text{ Pa} - 3565 \text{ Pa} - 2059 \text{ Pa} = 94\,376 \text{ Pa}$$

Relativnu molekulsku masu plina izračunat ćemo pomoću opće plinske jednadžbe:

$$pV = \frac{m}{M} \times R \times T$$

Odavde proizlazi

$$M(\text{plin}) = \frac{m \times R \times T}{p \times V} = \frac{0,115 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300,15 \text{ K}}{94\,376 \text{ Pa} \times 22 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 0,1382 \text{ kg mol}^{-1}$$

6.43. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije empirijsku formulu ugljikovodika.

$$n(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{85,6 \text{ g}}{12 \text{ g mol}^{-1}} = 7,13$$

$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{14,4 \text{ g}}{1 \text{ g mol}^{-1}} = 14,4$$

Odavde proizlazi:

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) = N(\text{C}) : N(\text{H}) = 1 : 2$$

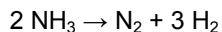
Empirijska formula spoja je CH_2 . Pravu formulu tog ugljikovodika doznat ćemo na osnovi relativne molekulske mase koju ćemo izračunati pomoću opće plinske jednadžbe:

$$M(\text{plin}) = \frac{m \times R \times T}{p \times V} = \frac{0,00126 \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}}{101\,325 \text{ Pa} \times 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3} = \mathbf{28,2 \text{ g mol}^{-1}}$$

Molekulska je formula tog ugljikovodika C_2H_4 .

6.44. Vidi STEHIOMETRIJA

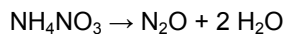
Napišimo jednadžbu reakcije:



Na osnovi jednadžbe reakcije proizlazi da iz 2 mola reaktanata nastaju 4 mola produkata. Prema tome tlak je porastao **2 puta**.

6.45. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Iz jednadžbe reakcije vidimo da iz jednog mola NH_4NO_3 nastaje jedan mol N_2O . Zadanu količinu dušikova monoksida treba izraziti jedinicom množine.

$$n(\text{N}_2\text{O}) = n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = \frac{p V}{R T}$$

Masa amonijeva nitrata je:

$$\begin{aligned} m(\text{NH}_4\text{NO}_3) &= n(\text{NH}_4\text{NO}_3) \times M(\text{NH}_4\text{NO}_3) = \frac{p V}{R T} \times M(\text{NH}_4\text{NO}_3) \\ &= \frac{90\,000 \text{ Pa} \times 0,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 290,15 \text{ K}} \times 80 \times 10^{-3} \text{ kg} = 0,00149 \text{ kg} = \mathbf{1,49 \text{ g}} \end{aligned}$$

6.46. Vidi STEHIOMETRIJA

Relativna gustoća plina je omjer gustoće toga plina i gustoće nekoga referentnog plina pri istoj temperaturi i tlaku. Gustoće plinova odnose se kao i njihove relativne molekulske mase. Relativna molekulska masa zraka je, $M_r(\text{zrak}) = 28,96$. Ta se vrijednost obično zaokružuje na 29.

Relativna molekulska masa dušikova dioksida je 46. Prema tome za relativnu gustoću dušikova dioksida prema zraku dobivamo:

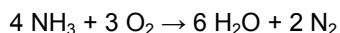
$$d_{\text{zrak}}(\text{NO}_2) = \frac{\rho(\text{NO}_2)}{\rho(\text{zrak})} = \frac{M_r(\text{NO}_2)}{M_r(\text{zrak})} = \frac{46}{29} = \mathbf{1,59}$$

6.47. Vidi STEHIOMETRIJA

$$d_{\text{H}_2}(\text{N}_2\text{O}) = \frac{\rho(\text{N}_2\text{O})}{\rho(\text{H}_2)} = \frac{M_r(\text{N}_2\text{O})}{M_r(\text{H}_2)} = \frac{44}{2} = \mathbf{22.}$$

6.48. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije

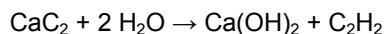


Pretpostavljamo da je voda u tekućem stanju.

Prema uvjetima zadatka reakcijska smjesa sadržava višak kisika. Tijekom eksplozije smjese iz 1 dm^3 amonijaka nastalo je $0,5 \text{ dm}^3$ dušika. Pritom je utrošeno $0,75 \text{ dm}^3$ kisika. Pri početnim uvjetima tlaka i temperature reakcijska smjesa sadržava $0,5 \text{ dm}^3$ dušika i $0,25 \text{ dm}^3$ kisika, pa je ukupan volumen plinova nakon provedene eksplozije **$0,75 \text{ dm}^3$** .

6.49. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Iz jednadžbe reakcije vidimo da je:

$$n(\text{CaC}_2) = n(\text{C}_2\text{H}_2)$$

Odavde proizlazi

$$m(\text{CaC}_2) = n(\text{CaC}_2) \times M(\text{CaC}_2) = n(\text{C}_2\text{H}_2) \times M(\text{CaC}_2) = \frac{p(\text{C}_2\text{H}_2) \times V(\text{C}_2\text{H}_2)}{R T} \times M(\text{CaC}_2)$$

$$= \frac{101\,325 \text{ Pa} \times 0,300 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}} \times 64,1 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1} = 0,858 \text{ kg}$$

$$w(\text{CaC}_2) = 0,858 \text{ ili } \mathbf{85,8 \%}$$

6.50. Vidi STEHIOMETRIJA

Gustoća je definirana kao omjer mase i volumena. Molar

Pri n.u. gustoća zraka je definirana omjerom molarne mase i molarnog volumena,

$$\rho(\text{zrak, n.u.}) = \frac{M(\text{zrak})}{V_m} = \frac{29 \text{ g mol}^{-1}}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 1,295 \text{ g dm}^{-3}$$

Pri zadanim uvjetima, 30 °C i 110 kPa, molarni volumen zraka je

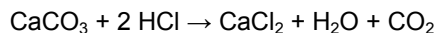
$$V_m = \frac{n R T}{p} = \frac{1 \text{ mol} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 303,15 \text{ K}}{110\,000 \text{ Pa}} = 22,9 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

pa je gustoća zraka pri tim uvjetima

$$\rho(303 \text{ K, } 110 \text{ kPa}) = \frac{M(\text{zrak})}{V_m} = \frac{29 \text{ g mol}^{-1}}{22,9 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = \mathbf{1,266 \text{ g dm}^{-3}}$$

6.51. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Iz jednadžbe reakcije proizlazi da je $n(\text{CaCO}_3) = n(\text{CO}_2)$, jer iz jednog mola mramora reakcijom s klorovodičnom kiselinom nastaje jedan mol ugljikova dioksida. Prema tome za masu mramora dobivamo:

$$\begin{aligned} m(\text{CaCO}_3) &= n(\text{CaCO}_3) \times M(\text{CaCO}_3) = n(\text{CO}_2) \times M(\text{CaCO}_3) = \frac{p(\text{CO}_2) \times V(\text{CO}_2)}{R T} \times M(\text{CaCO}_3) \\ &= \frac{100\,000 \text{ Pa} \times 0,010 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293,15 \text{ K}} \times 0,100 \text{ kg mol}^{-1} = 0,041 \text{ kg} = \mathbf{41 \text{ g}} \end{aligned}$$

Iz jednadžbe reakcije proizlazi da je $n(\text{HCl}) = 2 \times n(\text{CO}_2)$, jer se za dobivanje jednog mola ugljikova dioksida utroše dva mola klorovodične kiseline. Za volumen klorovodične kiseline dobivamo:

$$\begin{aligned} V(\text{HCl}) &= \frac{n(\text{HCl}) \times M(\text{HCl})}{\rho(\text{HCl}) \times w(\text{HCl})} = \frac{2 \times n(\text{CO}_2) \times M(\text{HCl})}{\rho(\text{HCl}) \times w(\text{HCl})} = \frac{2 \times p(\text{CO}_2) \times V(\text{CO}_2) \times M(\text{HCl})}{\rho(\text{HCl}) \times w(\text{HCl}) \times R \times T} \\ &= \frac{2 \times 100\,000 \text{ Pa} \times 0,010 \text{ m}^3 \times 0,0365 \text{ kg mol}^{-1}}{1100 \text{ kg m}^{-3} \times 0,20 \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293,15 \text{ K}} = 0,000136 \text{ m}^3 = \mathbf{0,136 \text{ dm}^3} \end{aligned}$$

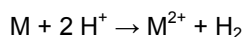
Gustoću klorovodične kiseline odredili smo na osnovi empirijskog pravila, $\rho(20\%, \text{HCl}) = 1,10 \text{ g cm}^{-3}$.

6.52. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo množinu vodika. Pri n.u. molarni volumen plina je $22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$, pa vrijedi:

$$n(\text{H}_2) = \frac{V^n(\text{H}_2)}{V_m^n} = \frac{0,420 \text{ dm}^3}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 0,0187 \text{ mol}$$

Divalentan metal s kiselinom reagira prema jednadžbi:



Oдавде proizlazi да је $n(\text{M}) = n(\text{H}_2)$, па се за моларну масу метала добива:

$$M(\text{M}) = \frac{m(\text{M})}{n(\text{M})} = \frac{m(\text{M})}{n(\text{H}_2)} = \frac{m(\text{M}) \times V_m^n}{V^n(\text{H}_2)} = \frac{0,75 \text{ g} \times 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}}{0,420 \text{ dm}^3} = 40 \text{ g mol}^{-1}$$

Na osnovi periodnog sustava elemenata možemo zaključiti da je taj divalentni metal **kalcij**.

6.53. Vidi STEHIOMETRIJA

Gustoće plinova u istom su odnosu kao njihove relativne molekulske mase.

$$d_{\text{kisik}}(\text{O}_3) = \frac{M_r(\text{O}_3)}{M_r(\text{O}_2)} = \frac{48}{32} = 1,5$$

6.54. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo množinu helije koju izluči 1 g radija tijekom 24 sata:

$$n(\text{He}) = \frac{V^n(\text{He})}{V_m^n} = \frac{46 \times 10^{-8} \text{ dm}^3}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 2,053 \times 10^{-8} \text{ mol}$$

Broj alfa-čestica koje bi izlučio 1 g radija tijekom 24 sata bio bi:

$$N(\text{He}) = 1000 \times 1,46 \times 10^8 \times 86400 = 1,26 \times 10^{16}$$

$$N_A = \frac{N(\text{He})}{n(\text{He})} = \frac{1000 \times 1,46 \times 10^8 \times 86400 \times 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}}{46 \times 10^{-8} \text{ dm}^3} = 6,143 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

6.55. Vidi STEHIOMETRIJA

Primjenimo opću plinsku jednadžbu, $pV = nRT$, i napišimo je u obliku:.

$$M(\text{plin}) = \frac{m \times R \times T}{p \times V} = \frac{m}{V} \times \frac{R \times T}{p} = \rho(\text{plin}) \times \frac{R \times T}{p}$$
$$= 2,35 \text{ kg m}^{-3} \times \frac{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 1073 \text{ K}}{100\,000 \text{ Pa}} = \mathbf{0,2096 \text{ kg mol}^{-1}}$$

Kako je $M_r(\text{P}_2\text{O}_3) = 110$, proizlazi da je prava formula fosforova(III) oksida u parama **P₄O₆**.

6.56. Vidi STEHIOMETRIJA

$$n(\text{plin}) = \frac{V^n(\text{plin})}{V_m^n} = \frac{1 \text{ dm}^3}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 0,0446 \text{ mol}$$

$$M(\text{plin}) = \frac{m(\text{plin})}{n(\text{plin})} = \frac{m(\text{plin}) \times V_m^n}{V^n(\text{plin})} = \frac{3,01 \text{ g} \times 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}}{1 \text{ dm}^3} = \mathbf{67,4 \text{ g mol}^{-1}}$$

Odredimo empirijsku formulu tog oksida klora.

$$n(\text{Cl}) : n(\text{O}) = N(\text{Cl}) : N(\text{O}) = \frac{w(\text{Cl})}{M_r(\text{Cl})} : \frac{w(\text{O})}{M_r(\text{O})} = \frac{0,526}{35,5} : \frac{0,474}{16} = 0,0148 : 0,0296 = \mathbf{1 : 2}$$

Formula istraživnog oksida klora je **ClO₂**

6.57. Vidi STEHIOMETRIJA

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) = N(\text{C}) : N(\text{H}) = \frac{w(\text{C})}{M_r(\text{C})} : \frac{w(\text{H})}{M_r(\text{H})} = \frac{0,9225}{12} : \frac{0,0775}{1} = 0,0769 : 0,0775 = \mathbf{1 : 1}$$

Empirijska formula istraživnog ugljikovodika je CH. Molekulsku formulu doznat ćemo na temelju gustoće njegovih para. Gustoće plinova odnose se kao njihove relativne molekulske mase.

$$\rho(\text{plin}) : \rho(\text{kisik}) = M_r(\text{plin}) : M_r(\text{O}_2) = 2,47$$

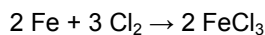
Odavde proizlazi:

$$M_r(\text{plin}) = 2,47 \times M_r(\text{O}_2) = 2,47 \times 32 = 79$$

Molekulska formula istraživnog ugljikovodika je **C₆H₆**, jer je $79/13 \approx 6$

6.58. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije.



Odavde proizlazi da je

$$n(\text{Cl}_2) = \frac{3}{2} \times n(\text{Fe}) = \frac{3}{2} \times \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})} = \frac{3}{2} \times \frac{1 \text{ g}}{55,85 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0268 \text{ mol}$$

Volumen klora izračunat ćemo pomoću opće plinske jednadžbe, $pV = nRT$.

$$\begin{aligned} V(\text{Cl}_2) &= \frac{n(\text{Cl}_2) \times R \times T}{p} = \frac{\frac{3}{2} \times n(\text{Fe}) \times R \times T}{p} = \frac{\frac{3}{2} \times m(\text{Fe}) \times R \times T}{M(\text{Fe}) \times p} \\ &= \frac{\frac{3}{2} \times 0,001 \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293 \text{ K}}{0,05585 \text{ kg mol}^{-1} \times 100\,000 \text{ Pa}} = 0,000654 \text{ m}^3 = \mathbf{0,654 \text{ dm}^3} \end{aligned}$$

6.59. Vidi STEHIOMETRIJA

Gustoće plinova u istom su odnosu kao njihove relativne molekulske mase.

$$d_{\text{zrak}}(\text{Hg}) = \frac{M_r(\text{Hg})}{M_r(\text{zrak})} = \frac{M_r(\text{Hg})}{29} = 6,92$$

Odavde proizlazi:

$$M_r(\text{Hg}) = 29 \times 6,92 = 200,7$$

Živine su pare **jednoatomne**.

6.60. Vidi STEHIOMETRIJA

Gustoće plinova u istom su odnosu kao njihove relativne molekulske mase.

$$d_{\text{zrak}}(\text{P}_x) = \frac{M_r(\text{P}_x)}{M_r(\text{zrak})} = \frac{M_r(\text{P}_x)}{29} = 4,28$$

Odavde proizlazi:

$$M_r(\text{P}_x) = 29 \times 4,28 = 124$$

Relativna atomska masa fosfora je 31, pa proizlazi da se pare fosfora sastoje od **molekula P₄**.

6.61. Vidi STEHIOMETRIJA

Polazimo od sljedećih definicija:

$$V = V_m^n \times n$$

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

Supstitucijom dobivamo:

$$V = V_m^n \times \frac{m}{M}$$

Odavde proizlazi

$$M = \frac{V_m^n \times m}{V} = \frac{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times 3,612 \text{ g}}{1 \text{ dm}^3} = \mathbf{80,9 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$d_{\text{zrak}} = \frac{M_r(\text{plin})}{M_r(\text{zrak})} = \frac{80,9}{29} = \mathbf{2,79}$$

6.62. Vidi STEHIOMETRIJA

Polazimo od opće plinske jednačbe, $pV = nRT$.

$$V = n \times \frac{RT}{p} = \frac{m}{M} \times \frac{RT}{p} = \frac{1 \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293 \text{ K}}{0,029 \text{ kg mol}^{-1} \times 95 \text{ 000 Pa}} = \mathbf{0,884 \text{ m}^3}$$

6.63. Vidi STEHIOMETRIJA

Polazimo od opće plinske jednačbe:

$$pV = \frac{m}{M} \times RT$$

Odavde proizlazi:

$$m = \frac{pVM}{RT} = \frac{80 \text{ 000 Pa} \times 0,0002 \text{ m}^3 \times 0,0709 \text{ kg mol}^{-1}}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 303 \text{ K}} = 0,00045 \text{ kg} = \mathbf{4,5 \text{ g}}$$

6.64. Vidi STEHIOMETRIJA

Polazimo od opće plinske jednačbe

$$pV = nRT$$

$$T = \frac{pV}{nR} = \frac{MpV}{mR} = \frac{0,0709 \text{ kg mol}^{-1} \times 100\,000 \text{ Pa} \times 0,0002 \text{ m}^3}{0,0002 \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}} = \mathbf{853 \text{ K}}$$

.

6.65. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo zasebno mase suhog vodika i vodene pare. Njihov zbroj daje masu 1 dm³ vodika zasićenog vodenom parom. Polazimo od opće plinske jednačbe:

$$m(\text{H}_2) = \frac{pVM}{RT} = \frac{(92\,000 - 4243) \text{ Pa} \times 0,001 \text{ m}^3 \times 0,002 \text{ kg mol}^{-1}}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 303 \text{ K}} = 0,0000697 \text{ kg} = 0,0697 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{pVM}{RT} = \frac{4243 \text{ Pa} \times 0,001 \text{ m}^3 \times 0,018 \text{ kg mol}^{-1}}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 303 \text{ K}} = 0,0000303 \text{ kg} = 0,0303 \text{ g}$$

0,1000 g

1 dm³ vodika zasićenog vodenom parom pri 30 °C i 92 kPa ima masu **0,100 g**.

6.66. Vidi STEHIOMETRIJA

Potrebno je samo izračunat volumen čistog kisika pri tlaku $p - p(\text{H}_2\text{O})$ i 30 °C. Polazimo od opće plinske jednačbe, $pV = nRT$.

$$V = n \times \frac{RT}{p} = \frac{m}{M} \times \frac{RT}{p} = \frac{0,001 \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 303 \text{ K}}{0,032 \text{ kg mol}^{-1} \times (100\,000 - 4243) \text{ Pa}} = 0,000822 \text{ m}^3 = \mathbf{0,822 \text{ dm}^3}$$

6.67. Vidi STEHIOMETRIJA

Polazimo od opće plinske jednačbe, $pV = nRT$.

$$n(\text{O}_2, \text{ zrak}) = w(\text{O}_2, \text{ zrak}) \frac{pV}{RT} = 0,2095 \times \frac{100\,000 \text{ Pa} \times 1 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300 \text{ K}} = \mathbf{8,40 \text{ mol}}$$

6.68. Vidi STEHIOMETRIJA

Polazimo od opće plinske jednadžbe, $pV = nRT$. Koncentracija plina određena je omjerom množine i volumena plina. Iz uvjeta zadatka proizlazi da je $n/V = 1 \text{ mol dm}^{-3}$, pa vrijedi:

$$\frac{n}{V} = \frac{p}{RT} = 1 \text{ mol dm}^{-3}$$

Odavde proizlazi:

$$p = \frac{n}{V} \times R T = 1000 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293,15 \text{ K} = 2437249 \text{ Pa} = \mathbf{24,37 \text{ bar}}$$

6.69. Vidi STEHIOMETRIJA

Polazimo od opće plinske jednadžbe, $pV = nRT$.

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{pVM}{RT} = \frac{200\,000 \text{ Pa} \times 0,001 \text{ m}^3 \times 0,018 \text{ kg mol}^{-1}}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 433 \text{ K}} = 0,0010 \text{ kg} = \mathbf{1,0 \text{ g}}$$

6.70. Vidi STEHIOMETRIJA

Polazimo od opće plinske jednadžbe, $pV = nRT$

$$V = n \times \frac{RT}{p} = \frac{N}{N_A} \times \frac{RT}{p} = \frac{10^{20} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293 \text{ K}}{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times 80\,000 \text{ Pa}} = 5,06 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = \mathbf{5,06 \text{ cm}^3}$$

6.71. Vidi STEHIOMETRIJA

Gustoća je definirana kao omjer mase i volumena. Pri n.u. vrijedi:

$$\rho(\text{H}_2) = \frac{M(\text{H}_2)}{V_m} = \frac{2 \text{ g mol}^{-1}}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 0,089 \text{ g dm}^{-3} = \mathbf{0,089 \text{ kg m}^{-3}}$$

$$\rho(\text{N}_2) = \frac{M(\text{N}_2)}{V_m} = \frac{28 \text{ g mol}^{-1}}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 1,250 \text{ g dm}^{-3} = \mathbf{1,250 \text{ kg m}^{-3}}$$

$$\rho(\text{O}_2) = \frac{M(\text{O}_2)}{V_m} = \frac{32 \text{ g mol}^{-1}}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 1,428 \text{ g dm}^{-3} = \mathbf{1,428 \text{ kg m}^{-3}}$$

$$\rho(\text{Cl}_2) = \frac{M(\text{Cl}_2)}{V_m} = \frac{71 \text{ g mol}^{-1}}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 3,170 \text{ g dm}^{-3} = \mathbf{3,170 \text{ kg m}^{-3}}$$

6.72. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\rho(\text{AsH}_3) = 38,9 \times \rho(\text{H}_2) = 38,9 \times \frac{M(\text{H}_2)}{V_m} = 38,9 \times \frac{2,016 \text{ g mol}^{-1}}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = \mathbf{3,50 \text{ g dm}^{-3}}$$

$$M(\text{AsH}_3) = \rho(\text{AsH}_3) \times V_m = 3,50 \text{ g dm}^{-3} \times 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} = \mathbf{78,4 \text{ g mol}^{-1}}$$

6.73. Vidi STEHIOMETRIJA

Prvo što moramo izračunati jest tlak suhog plina. Od izmjerene atmosfere tlaka treba odbiti tlak vodene pare i uzeti u obzir razliku razina vode u plinskoj bireti i pneumatskoj kadi. Prema tome za tlak suhog plina dobivamo:

$$p(\text{plin}, 27^\circ\text{C}) = p(\text{zrak}) - p(\text{H}_2\text{O}, 16^\circ\text{C}) - p(\text{hidrostatski})$$

Hidrostatski tlak stupca vode iznosi:

$$p(\text{hidrostatski}) = h \times \rho \times g_N = 0,306 \text{ m} \times 1000 \text{ kg m}^{-3} \times 9,806 \text{ m s}^{-2} = 3000 \text{ N m}^{-2} = 3000 \text{ Pa}$$

Konačno za tlak suha plina dobivamo:

$$p(\text{plin}, 27^\circ\text{C}) = 97\,325 \text{ Pa} - 1818 \text{ Pa} - 3000 \text{ Pa} = 92\,507 \text{ Pa}$$

Relativnu molekulsku masu plina izračunat ćemo pomoću opće plinske jednadžbe:

$$pV = \frac{m}{M} \times R \times T$$

Odatavde proizlazi

$$M(\text{plin}) = \frac{m \times R \times T}{p \times V} = \frac{0,504 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 289,65 \text{ K}}{92\,507 \text{ Pa} \times 110 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = \mathbf{0,1193 \text{ kg mol}^{-1}}$$

6.74. Vidi STEHIOMETRIJA

Parcijalni tlak suhog plina je:

$$p(\text{plin}) = 100\,000 \text{ Pa} - 3565 \text{ Pa} = 96\,435 \text{ Pa}$$

Volumen plina u aparatu Viktora Meyera je:

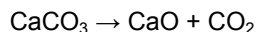
$$V = \frac{m R T}{p M} = \frac{200 \times 10^{-6} \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300,15 \text{ K}}{96\,435 \text{ Pa} \times 32 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} = 161,7 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = \mathbf{161,7 \text{ cm}^3}$$

6.75. Vidi STEHIOMETRIJA

$$V = \frac{m R T}{p M} = \frac{100 \times 10^{-6} \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 373,15 \text{ K}}{100\,000 \text{ Pa} \times 46 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} = 67,4 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = \mathbf{67,4 \text{ cm}^3}$$

6.76. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije.



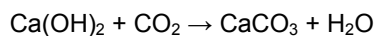
Iz jednog mola CaCO_3 žarenjem nastaje jedan mol CO_2 , pa vrijedi:

$$n(\text{CaCO}_3) = n(\text{CO}_2)$$

$$\begin{aligned} V(\text{CO}_2) &= n(\text{CO}_2) \times \frac{R T}{p} = n(\text{CaCO}_3) \times \frac{R T}{p} = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaCO}_3)} \times \frac{R T}{p} \\ &= \frac{0,98 \times 1000 \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273 \text{ K}}{101\,325 \text{ Pa} \times 100 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} = \mathbf{219,5 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

6.77. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Jedan mol Ca(OH)_2 reagira s jednim molom CO_2 pri čemu nastaje jedan mol H_2O . Prema tome vrijedi:

$$n(\text{Ca(OH)}_2) = n(\text{CO}_2) = n(\text{H}_2\text{O})$$

$$\begin{aligned} V(\text{CO}_2) &= n(\text{CO}_2) \times \frac{R T}{p} = n(\text{Ca(OH)}_2) \times \frac{R T}{p} = \frac{m(\text{Ca(OH)}_2)}{M(\text{Ca(OH)}_2)} \times \frac{R T}{p} \\ &= \frac{0,50 \times 200 \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}}{101\,325 \text{ Pa} \times 74 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} = \mathbf{30,3 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

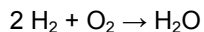
$$m(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \times M(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{Ca(OH)}_2) \times M(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{Ca(OH)}_2)}{M(\text{Ca(OH)}_2)} \times M(\text{H}_2\text{O})$$

$$= \frac{0,50 \times 200 \text{ kg}}{74 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}} \times 18 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1} = \mathbf{24,3 \text{ kg}}$$

$$V(\text{zrak}) = \frac{V(\text{CO}_2)}{w(\text{CO}_2, \text{zrak})} = \frac{30,3 \text{ m}^3}{0,0004} = \mathbf{75\,750 \text{ m}^3}$$

6.78. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Vodik i kisik reagiraju u volumnom omjeru 2 : 1. Volumni udio kisika u zraku je 0,2095. Prema tome 10 dm³ zraka sadržava 2,095 dm³ kisika pri 18 °C i 100 kPa.

Za količinu vode dobivamo:

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{O}) &= n(\text{H}_2\text{O}) \times M(\text{H}_2\text{O}) = 2 \times n(\text{O}_2) \times M(\text{H}_2\text{O}) = 2 \times \frac{p(\text{O}_2) \times V(\text{O}_2)}{R T} \times M(\text{H}_2\text{O}) \\ &= 2 \times \frac{100\,000 \text{ Pa} \times 0,002095 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 291,15 \text{ K}} \times 0,018 \text{ kg mol}^{-1} = 0,003116 \text{ kg} = \mathbf{3,116 \text{ g}} \end{aligned}$$

Međusobno je reagiralo 2,095 dm³ kisika (iz zraka) i 2 × 2,095 dm³ vodika. Prema tome volumen preostalih plinova pri 18 °C i 100 kPa: iznosi

$$V(18\,^\circ\text{C}, 100 \text{ kPa}) = 20 \text{ dm}^3 - 3 \times 2,095 \text{ dm}^3 = 13,715 \text{ dm}^3.$$

Volumen preostalih plinova pri 50 °C i 100 kPa izračunat ćemo pomoću jednadžbe:

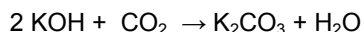
$$\frac{p V}{T} = \frac{p_1 V_1}{T_1}$$

Oдавде proizlazi:

$$V_1 = \frac{p V T_1}{p_1 T} = \frac{100\,000 \text{ Pa} \times 13,715 \text{ dm}^3 \times 323,15 \text{ K}}{100\,000 \text{ Pa} \times 291,15 \text{ K}} = \mathbf{15,22 \text{ dm}^3}$$

6.79. Vidi STEHIOMETRIJA

Propuštanjem generatorskog plina kroz otopinu KOH apsorbira se ugljikov dioksid prema jednadžbi:



Nakon propuštanja plina, $V(\text{smjesa}) = 200 \text{ cm}^3$, kroz otopinu KOH volumen preostale smjese plinova, $V_1(\text{smjesa})$, iznosi:

$$\begin{aligned} V_1(\text{smjesa}) &= V(\text{smjesa}) - V(\text{CO}_2) = V(\text{smjesa}) - \varphi(\text{CO}_2) \times V(\text{smjesa}) \\ &= 200 \text{ cm}^3 - 0,105 \times 200 \text{ cm}^3 = \mathbf{179 \text{ cm}^3}. \end{aligned}$$

Preostala plinska smjesa sadržava:

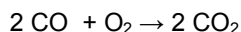
$$V(\text{CO}) = \varphi(\text{CO}) \times V(\text{smjesa}) = 0,288 \times 200 \text{ cm}^3 = 57,6 \text{ cm}^3,$$

$$V(\text{H}_2) = \varphi(\text{H}_2) \times V(\text{smjesa}) = 0,035 \times 200 \text{ cm}^3 = 7,0 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{N}_2) = \varphi(\text{N}_2) \times V(\text{smjesa}) = 0,572 \times 200 \text{ cm}^3 = 114,4 \text{ cm}^3$$

$$\text{Ukupno:} \qquad \qquad \qquad \underline{179,0 \text{ cm}^3}$$

Kad se u 50 cm^3 preostale plinske smjese doda 25 cm^3 kisika i smjesa dovede do eksplozije dolazi do sljedećih reakcija:



odnosno

$$\frac{57,6}{179} \times 50 \text{ cm}^3 = 16,09 \text{ cm}^3 \text{ CO reagira s } 8,045 \text{ cm}^3 \text{ kisika pri čemu nastaje } 16,09 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2$$

$$\frac{7}{179} \times 50 \text{ cm}^3 = 1,96 \text{ cm}^3 \text{ H}_2 \text{ reagira s } 0,98 \text{ cm}^3 \text{ kisika pri čemu nastaje voda u tekućem stanju.}$$

Preostala plinska smjesa sadržava:

$$\frac{114,4}{179} \times 50 \text{ cm}^3 = 31,95 \text{ cm}^3 \text{ N}_2.$$

$$\frac{57,6}{179} \times 50 \text{ cm}^3 = 16,09 \text{ cm}^3 \text{ CO}_2$$

$$25 \text{ cm}^3 - 8,045 \text{ cm}^3 - 0,98 \text{ cm}^3 = \underline{15,98 \text{ cm}^3 \text{ O}_2}$$

Volumen smjese nakon eksplozije $64,0 \text{ cm}^3$

Odavde proizlaze sljedeći volumni udjeli plinova u smjesi nakon eksplozije:

$$\varphi(\text{N}_2) = \frac{32 \text{ cm}^3}{64 \text{ cm}^3} = \mathbf{0,50}$$

$$\varphi(\text{CO}_2) = \frac{16 \text{ cm}^3}{64 \text{ cm}^3} = \mathbf{0,25}$$

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{16 \text{ cm}^3}{64 \text{ cm}^3} = \mathbf{0,25}$$

6.80. Vidi STEHIOMETRIJA

Gay-Lussacov zakon glasi: *volumen stalne količine plina pri stalnom tlaku povećava se pri zagrijavanju za svaki °C za 1/273,15 volumena što ga je plin zapremao pri 0 °C.*

Dakle, **volumena što ga je plin zapremao pri 0 °C**, a ne: *svojega prvobitnog volumena.*

6.81. Vidi STEHIOMETRIJA

Polazimo od jednadžbe koja ujedinjuje Boyleov i oba Gay-Lussacova zakona:

$$\frac{p V}{T} = \frac{p_1 V_1}{T_1}$$

Prema uvjetima zadatka tlak ostaje nepromijenjen pa vrijedi:

$$\frac{V}{T} = \frac{V_1}{T_1}$$

Oдавде proizlazi:

$$T_1 = \frac{V_1 T}{V} = \frac{2 \times 303 \text{ K}}{1} = \mathbf{606 \text{ K} = 333 \text{ °C}}$$

6.82. Vidi STEHIOMETRIJA

Možemo izračunati tlak plina iz posude A u posudi volumena $(3500 + 500) \text{ cm}^3$ i tome pribojiti tlak plina iz posude B kad se proširi na ukupan volumen od $(3500 + 500) \text{ cm}^3$. Zbroj ovih tlakova daje tlak u spojenim posudama nakon otvaranja pipca. Primjenjujemo Boyleov zakon, $pV = p_1 V_1$.

$$p(\text{ukupni}) = \frac{p_A \times V_A}{V_1} + \frac{p_B \times V_B}{V_1} = \frac{40 \text{ kPa} \times 3 \text{ dm}^3}{3,5 \text{ dm}^3} + \frac{60 \text{ kPa} \times 0,5 \text{ dm}^3}{3,5 \text{ dm}^3} = \mathbf{42,86 \text{ kPa}}$$

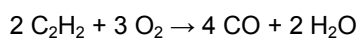
6.83. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije.



6.84. Vidi STEHIOMETRIJA

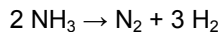
Napišimo jednadžbu reakcije



$$V(\text{C}_2\text{H}_2) : V(\text{O}_2) = 2 : 3$$

6.85. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Na osnovi jednadžbe reakcije zaključujemo da razlaganjem jednog volumnog dijela amonijaka nastaju dva volumna dijela produkata.

Možemo postaviti dvije jednadžbe s dvije nepoznanice u kojima varijabla x predstavlja volumen razloženih reaktanata, a varijabla y volumen nastalih produkata. Podijelimo sve članove u jednadžbama jedinicom volumena, cm^3 , pa dobivamo obične algebarske jednadžbe.

$$\begin{array}{ccccc} (50 - x) & + & y & = & 70 \\ \text{reaktanti} & & \text{produkti} & & \text{reaktanti} \\ & & & & + \text{produkti} \end{array}$$

$$y = 2x \quad (\text{volumen produkata dva je puta veći od volumena reaktanata})$$

supstitucijom dobivamo:

$$50 - x + 2x = 70$$

odnosno

$$x = 70 - 50 = 20$$

Oдавde proizlazi

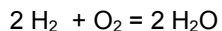
Volumen razloženih reaktanata: $x = 20 \text{ cm}^3$

Volumen nastalih produkata: $y = 40 \text{ cm}^3$

$$\text{Udio razloženog amonijaka} = \frac{\text{volumen razloženog amonijaka}}{\text{početni volumen amonijaka}} = \frac{20 \text{ cm}^3}{50 \text{ cm}^3} = 0,40$$

6.86. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije.



Na osnovi jednadžbe reakcije zaključujemo da jedan volumni dio kisika troši 2 volumna dijela vodika. Smjesa zraka i vodika ima volumen 75 cm^3 . Nakon eksplozije volumen smjese preostalih plinova je 44 cm^3 . Prema tome, smanjenje volumena iznosi: $75 \text{ cm}^3 - 44 \text{ cm}^3 = 31 \text{ cm}^3$. Oдавde proizlazi da je smjesa prije eksplozije sadržavala trećinu od 31 cm^3 kisika. Za volumni udio kisika u zraku dobivamo:

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V(\text{zrak})} = \frac{31 \text{ cm}^3}{3 \times 50 \text{ cm}^3} = 0,2066 \text{ ili } 20,66 \%$$

6.87. Vidi STEHIOMETRIJA

Prirast mase cjevčice jednak je masi ugljikova dioksida. Najprije treba izračunati masu ugljika u toj količini ugljikova dioksida. Možemo napisati:

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2)$$

Odavde proizlazi:

$$\frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)}$$

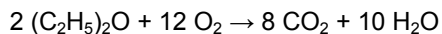
$$m(\text{C}) = \frac{m(\text{CO}_2) \times M(\text{C})}{M(\text{CO}_2)}$$

Za maseni udio ugljika u željezu dobivamo:

$$x(\text{C}, \text{uzorak}) = \frac{m(\text{C})}{m(\text{uzorak})} = \frac{m(\text{CO}_2) \times M(\text{C})}{m(\text{uzorak}) \times M(\text{CO}_2)} = \frac{0,0646 \text{ g} \times 12 \text{ g mol}^{-1}}{1 \text{ g} \times 44 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0175 = \mathbf{1,75 \%}$$

6.88. Vidi STEHIOMETRIJA

Pod pojmom eter podrazumijeva se dietil eter, $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$. Kad je riječ o nekom drugom eteru, to se posebno naglašava. Napišimo jednadžbu reakcije eksplozije stehiometrijske smjese etera i kisika.



Ako je volumni udio kisika u zraku 0,20, tada do najžešće eksplozije dolazi kada su eter i zrak u molarnom omjeru 2 : 60.

Množina svih plinova, etera i sastojaka zraka, u 1 m³ zraka pri 30 °C i 1 atm je:

$$n = \frac{p V}{R T} = \frac{101\,325 \text{ Pa} \times 1 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 303 \text{ K}} = 40,2 \text{ mol}$$

Iz molarnog omjera etera i zraka, 2 : 60, proizlazi da je množinski udio etera u smjesi:

$$x(\text{eter}, \text{smjesa}) = \frac{2 \text{ mol}}{60 \text{ mol} + 2 \text{ mol}} = \frac{2}{62}$$

Za množinu etera u 1 m³ smjese etera i zraka dobivamo:

$$n(\text{eter}, \text{zrak}) = \frac{2}{62} \times 40,2 \text{ mol} = 1,3 \text{ mol}$$

Masa te množine etera je:

$$m(\text{eter}) = n(\text{eter}) \times M(\text{eter}) = \frac{2}{62} \times 40,2 \text{ mol} \times 74,12 \text{ g mol}^{-1} = 96 \text{ g}$$

Odavde proizlazi da je masena koncentracija etera u zraku:

$$\gamma(\text{eter}, \text{zrak}) = \mathbf{96 \text{ g m}^{-3}}$$

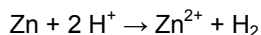
6.89. Vidi STEHIOMETRIJA

pod pojmom koncentracija uvijek se misli na množinsku koncentraciju. Prema tome treba izračunati množinsku koncentraciju plinovitog amonijaka u danim uvjetima. Pri 20 °C i 100 kPa.

$$c(\text{NH}_3) = \frac{n(\text{NH}_3)}{V} = \frac{p V}{V R T} = \frac{p}{R T} = \frac{100\,000 \text{ Pa}}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293 \text{ K}} = 41,05 \text{ mol m}^{-3} = \mathbf{0,041 \text{ mol dm}^{-3}}$$

6.90. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije.



Odavde proizlazi:

$$n(\text{Zn}) = n(\text{H}_2)$$

Otapanjem 0,5 mola cinka u kiselini nastaje 0,5 mola vodika, odnosno

$$V(\text{H}_2, \text{n.u.}) = \mathbf{11,2 \text{ dm}^3}$$

6.91. Vidi STEHIOMETRIJA

Omjer gustoća plinova jednak je omjeru njihovih realativnih molekulskih masa.

$$\frac{\rho(\text{As-para})}{\rho(\text{H}_2)} = \frac{150}{1} = \frac{M_r(\text{As-para})}{M_r(\text{H}_2)}$$

Odavde proizlazi:

$$M_r(\text{As-para}) = \frac{150 \times M_r(\text{H}_2)}{1} = 150 \times 2 = 300$$

Iz periodnog sustava elemenata vidimo da je relativna atomska masa arsena, $A_r(\text{As}) = 74,92$. Možemo zaključiti da se u arsenske pare sastoje od molekula **As₄**.

6.92. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo jednakim postupkom kao u zadatku 6.91.

$$\frac{\rho(\text{S-para})}{\rho(\text{H}_2)} = \frac{M_r(\text{S-para})}{M_r(\text{H}_2)}$$

Iz rezultata Cannizzarovih mjerenja proizlazi:

$$M_r(\text{S-para}, < 1000\text{ }^\circ\text{C}) = \frac{96 \times M_r(\text{H}_2)}{1} = 96 \times 2 = 192$$

$$M_r(\text{S-para}, > 1000\text{ }^\circ\text{C}) = \frac{32 \times M_r(\text{H}_2)}{1} = 32 \times 2 = 64$$

Iz periodnog sustava elemenata vidimo da je relativna atomska masa sumpora, $A_r(\text{S}) = 32$. Možemo zaključiti da se pare sumpora ispod $1000\text{ }^\circ\text{C}$ sastoje od smjese molekula S_2 i S_8 , dok se iznad $1000\text{ }^\circ\text{C}$ sastoje pretežito od molekula S_2 .

6.93. Vidi STEHIOMETRIJA

Da bismo doznali masu uzorka moramo uzeti u obzir uzgon koji djeluje na tikvicu čiji nam je volumen poznat, 178 cm^3 . Uzgon kojim zrak djeluje na tikvicu s uzorkom jednak masi zraka koji stane u tu tikvicu.

Polazimo od opće plinske jednadžbe, $pV = nRT$.

$$m(\text{zrak}) = \frac{M(\text{zrak}) \times p \times V}{R \times T} = \frac{29 \times 10^{-3}\text{ kg mol}^{-1} \times 101192\text{ Pa} \times 178 \times 10^{-6}\text{ m}^3}{8,314\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1} \times 288\text{ K}} = 0,218 \times 10^{-3}\text{ kg}$$

Ako razlici masa tikvice s parama heksana pribrojimo masu istisnutog zraka (uzgon) dobit ćemo masu heksana sadržanu u tikvici pri danim uvjetima tlaka i temperature.

masa tikvice napunjene heksanom	23,717 g
masa tikvice sa zrakom pri $15\text{ }^\circ\text{C}$ i 101 192 Pa	– 23,449 g
	<hr/>
	0,268 g
uzgon (masa istisnutog zraka)	+ 0,218 g
	<hr/>
masa para heksana	0,486 g

Sada znamo da tikvica volumena 178 cm^3 sadržava 0,486 g heksana pri $110\text{ }^\circ\text{C}$ i 101 192 Pa. Pomoću opće plinske jednadžbe za molarnu masu heksana dobivamo:

$$M(\text{heksan}) = \frac{mRT}{pV} = \frac{0,486 \times 10^{-3}\text{ kg} \times 8,314\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1} \times 383\text{ K}}{101\text{ 192 Pa} \times 178 \times 10^{-6}\text{ m}^3} = 0,0859\text{ kg mol}^{-1}$$

6.94. Vidi STEHIOMETRIJA

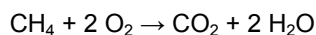
Iz podataka danih u zadatku i volumena preostalog plina nakon obrade otopinom natrijeva hidroksida proizlazi:

Volumen plinovitog ugljikovodika	15 cm ³
Volumen kisika utrošena u eksploziji	30 cm ³
Volumen nastala ugljikova dioksida	15 cm ³
Volumen neizreagiranog kisika	5 cm ³

Odavde proizlazi

Za izgaranje ugljika i nastajanje ugljikova dioksida utrošeno je	15 cm ³ kisika
Za izgaranje vodika i nastajanje vode utrošeno je	15 cm ³ kisika

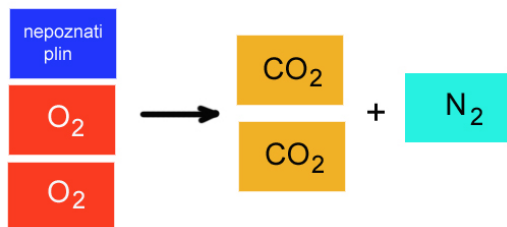
Formula ugljikovodika je **CH₄**, jer on jedini izgara prema jednadžbi:



pri čemu se jednake množine kisika utroše za nastajanje ugljikova dioksida i vode. Svi drugi ugljikovodici gore tako da se više kisika utroši za nastajanje ugljikova dioksida nego vode.

6.95. Vidi STEHIOMETRIJA

Predložimo grafički odnose volumena reaktanata i produkata.



Očito je da se ugljik i dušik u nepoznatom plinu nalaze u omjeru 1:1. Odavde proizlazi da je empirijska formula nepoznatog plina CN. Molekulska formula tog plina je **(CN)₂**, a naziva se **dicijan**. Može se dobiti zagrijavanjem srebrova cijanida, AgCN.

6.96. Vidi STEHIOMETRIJA

Treba izračunati masu žive sadržane 1 m³ pri 20 °C i 0,173 Pa

$$m(\text{Hg}) = \frac{M(\text{Hg}) \times p \times V}{R \times T} = \frac{200,6 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1} \times 0,173 \text{ Pa} \times 1 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293 \text{ K}} = 1,42 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

$$\gamma(\text{Hg}, \text{zrak}) = 0,0142 \text{ g m}^{-3}$$

7. FIZIKALNA SVOJSTVA OTOPINA

7.1. Vidi STEHIOMETRIJA

Maseni udio neke tvari u smjesi ili otopini jednak je omjeru mase te tvari prema ukupnoj masi svih tvari u smjesi ili otopini.

Maseni udio CaCl_2 u otopini pri $0\text{ }^\circ\text{C}$ jednak je omjeru mase otopljena kalcijeva klorida, $m(\text{CaCl}_2)$, i ukupne mase kalcijeva klorida i vode u otopini, $m(\text{CaCl}_2) + m(\text{H}_2\text{O})$.

$$w(\text{CaCl}_2, 0\text{ }^\circ\text{C}) = \frac{m(\text{CaCl}_2)}{m(\text{CaCl}_2) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{49,6\text{ g}}{49,6\text{ g} + 100\text{ g}} = \frac{49,6\text{ g}}{149,6\text{ g}} = \mathbf{0,331}$$

Molalitet otopljene tvari izražava se omjerom množine otopljene tvari i mase otapala.

Molalitet otopine kalcijeva klorida u otopini pri $0\text{ }^\circ\text{C}$ jednak je omjeru množine kalcijeva klorida, $n(\text{CaCl}_2) = m(\text{CaCl}_2) / M(\text{CaCl}_2)$, i mase otapala, odnosno u našem slučaju, $0,100\text{ kg}$ vode.

$$b(\text{CaCl}_2) = \frac{m(\text{CaCl}_2)}{M(\text{CaCl}_2) \times m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{49,6\text{ g}}{111\text{ g mol}^{-1} \times 0,100\text{ kg}} = \mathbf{4,469\text{ mol kg}^{-1}}$$

Jednakim se postupkom izračunaju maseni udjeli otopljenih soli i molaliteti otopina pri drugim temperaturama.

7.2. Vidi STEHIOMETRIJA

Mase nabrojanih bezvodnih soli treba izraziti jedinicom množine kako bismo na temelju formule kristalohidrata mogli odrediti množinu kristalizacijske vode.

$$n(\text{CaCl}_2) = \frac{m(\text{CaCl}_2)}{M(\text{CaCl}_2)} = \frac{10 \text{ g}}{111 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0901 \text{ mol}$$

Kalijev klorid kristalizira sa šest molekula vode, pa je množina kristalizacijske $6 \times 0,0901 \text{ mol}$. Dobivenu množinu vode treba iskazati jedinicom mase. Za masu vode dobivamo:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) \times M(\text{H}_2\text{O}) = 6 \times 0,0901 \text{ mol} \times 18 \text{ g mol}^{-1} = 9,73 \text{ g}.$$

Do rješenja možemo doći i tako da zadanu masu bezvodne soli, 10 g, preračunamo na masu kristalohidrata. Razlika mase kristalohidrata i bezvodne soli daje nam masu vode.

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{O}, \text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}) &= m(\text{CaCl}_2) \times \frac{M(\text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O})}{M(\text{CaCl}_2)} - m(\text{CaCl}_2) \\ &= 10 \text{ g} \times \frac{219 \text{ g mol}^{-1}}{111 \text{ g mol}^{-1}} - 10 \text{ g} = \mathbf{9,73 \text{ g}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}) &= m(\text{Na}_2\text{SO}_4) \times \frac{M(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O})}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4)} - m(\text{Na}_2\text{SO}_4) \\ &= 10 \text{ g} \times \frac{322 \text{ g mol}^{-1}}{142 \text{ g mol}^{-1}} - 10 \text{ g} = \mathbf{12,67 \text{ g}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{O}, \text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) &= m(\text{CuSO}_4) \times \frac{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O})}{M(\text{CuSO}_4)} - m(\text{CuSO}_4) \\ &= 10 \text{ g} \times \frac{249,7 \text{ g mol}^{-1}}{159,6 \text{ g mol}^{-1}} - 10 \text{ g} = \mathbf{5,64 \text{ g}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m(\text{H}_2\text{O}, \text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}) &= m(\text{MgSO}_4) \times \frac{M(\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O})}{M(\text{MgSO}_4)} - m(\text{MgSO}_4) \\ &= 10 \text{ g} \times \frac{246,5 \text{ g mol}^{-1}}{120,4 \text{ g mol}^{-1}} - 10 \text{ g} = \mathbf{10,47 \text{ g}} \end{aligned}$$

7.3. Vidi STEHIOMETRIJA

Na ordinati grafikona 13.15. najprije treba odčitati masu bezvodne soli koja se pri 20 °C otapa u 100 g vode. Potom treba izračunati u koliko se vode otapa 10 g bezvodne soli. Možemo postaviti sljedeći omjer:

$$m(\text{sol}) : m(\text{H}_2\text{O}) = m_1(\text{sol}) : m_1(\text{H}_2\text{O})$$

gdje su $m(\text{sol})$ i $m(\text{H}_2\text{O})$ podaci dobiveni iz grafikona 13.15., a $m_1(\text{sol})$ i $m_1(\text{H}_2\text{O})$ traženi podatci.

U slučaju amonijeva klorida iz grafikona 13.15. možemo odčitati da se pri 20 °C u 100 g vode otapa 37 g amonijeva klorida. Količina vode, $m_1(\text{H}_2\text{O})$, potrebna za otapanje 10 g amonijeva klorida, $m_1(\text{sol})$, je:

$$m_1(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m_1(\text{sol}) \times m(\text{H}_2\text{O})}{m(\text{sol})} = \frac{10 \text{ g} \times 100 \text{ g}}{37 \text{ g}} = \mathbf{27 \text{ g}}$$

Jednakim postupkom izračunavamo masu vode potrebnu za otapanje 10 g drugih bezvodnih soli. Manja odstupanja od podataka u rješenjima uzrokovana su malom preciznošću grafičkog prikaza.

7.4. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz grafikona 13.15. odčitavamo da se pri 40 °C u 100 g vode otapa 64 g kalijeva nitrata. Masa otopine, $m(\text{otopina})$, jednaka je zbroju mase vode i mase otopljene soli, $[m(\text{KNO}_3) + m(\text{H}_2\text{O})]$, odnosno 164 g. Masu bezvodnog kalijeva nitrata koji možemo dobiti iz 100 g otopine izračunavamo iz omjera:

$$\frac{m(\text{KNO}_3)}{m(\text{otopina})} = \frac{m_1(\text{KNO}_3)}{m_1(\text{otopina})}$$

gdje su $m(\text{KNO}_3)$ i $m(\text{otopina})$ podaci dobiveni iz grafikona 13.15., a $m_1(\text{KNO}_3)$ i $m_1(\text{otopina})$ traženi podatci. Odavde proizlazi:

$$m_1(\text{KNO}_3) = \frac{m(\text{KNO}_3) \times m_1(\text{otopina})}{m(\text{otopina})} = \frac{64 \text{ g} \times 100 \text{ g}}{164 \text{ g}} = \mathbf{39 \text{ g}}$$

Manja odstupanja od podataka u rješenjima uzrokovana su malom preciznošću grafičkog prikaza.

7.5. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz grafičkog prikaza 13.15. vidimo da se topljivost natrijeva klorida malo mijenja s promjenom temperature dok topljivost kalijeva nitrata naglo raste s porastom temperature.

Načelno, uparavanjem otopine kristalizira se natrijev klorid, dok kalijev nitrat ostaje u otopini. Kad iskristalizira većina natrijeva klorida preostaloj se vrčoj matičnici doda oko 10 % vode. Hlađenjem u vodi s ledom iskristalizirat će većina kalijeva nitrata, dok natrijev klorid ostaje u otopini.

7.6. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz grafičkog prikaza 13.15. vidimo da se prekrizacijom mogu odvojiti natrijev klorid i amonijev klorid, ali ne tako efikasno kao natrijev klorid i kalijev nitrat. Za razdvajanje smjese amonijeva klorida i natrijeva klorida bolje je upotrijebiti metodu sublimacije. Amonijev klorid sublimira, a natrijev klorid ostaje na dnu pribora za sublimaciju.

7.7. Vidi STEHIOMETRIJA

Zasićena otopina u kojoj je maseni udio otopljene soli 0,20 sastoji se od 20 g otopljene soli i 80 g vode. Iz krivulja topljivosti možemo iščitati masu soli koja se otapa u 100 g vode. Da bismo odgovorili na pitanje moramo izračunati masu soli topljive u 100 g vode. Polazimo od omjera:

$$\frac{m(\text{sol})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{m_1(\text{sol})}{m_1(\text{H}_2\text{O})}$$

gdje su $m(\text{sol})$ i $m(\text{H}_2\text{O})$ podaci dobiveni iz grafikona 13.15., a $m_1(\text{sol})$ i $m_1(\text{H}_2\text{O})$ traženi podatci.

Odavde proizlazi:

$$m_1(\text{sol}) = \frac{m(\text{sol}) \times m_1(\text{H}_2\text{O})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{20 \text{ g} \times 100 \text{ g}}{80 \text{ g}} = \mathbf{25 \text{ g}}$$

Iz grafičkog prikaza 13.15. možemo iščitati da se u 100 g vode otapa 25 g KNO_3 pri 15 °C , 25 g CuSO_4 pri 33 °C i 25 g KClO_3 pri 60 °C.

U navedenim je otopinama maseni udio otopljenih soli 0,20.

$$w(\text{sol}) = \frac{m(\text{sol})}{m(\text{sol}) + m(\text{voda})} = \frac{25 \text{ g}}{25 \text{ g} + 100 \text{ g}} = \frac{25 \text{ g}}{125 \text{ g}} = 0,20 \text{ ili } 20 \%$$

7.8. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz grafičkog prikaza topljivosti bezvodnih soli možemo iščitati da se pri 90 °C u 100 g vode otapa 45 g HgCl_2 , a pri 20 °C samo 7 g HgCl_2 .

Masa HgCl_2 sadržana u 100 g otopine zasićene pri 90 °C je:

$$m(\text{HgCl}_2, 100 \text{ g otop. } 90 \text{ °C}) = 45 \text{ g} \times \frac{100 \text{ g}}{145 \text{ g}} = \mathbf{31 \text{ g}}$$

Dakle, 100 g otopine žibvina(II) klorida zasićene pri 90 °C sadržava 31 g HgCl_2 i 69 g vode. Hlađenjem na 20 °C topljivost se smanji i iznosi 7 g HgCl_2 na 100 g vode. U 69 g vode tada je otopljeno

$$m(\text{HgCl}_2, 69 \text{ g vode, } 20 \text{ °C}) = 7 \text{ g} \times \frac{69 \text{ g}}{100 \text{ g}} = \mathbf{4,8 \text{ g}}$$

Iskristaliziralo: 31 g – 4,8 g = **26,2 g HgCl_2**

Manja odstupanja od podataka u rješenjima uzrokovana su malom preciznošću grafičkog prikaza.

7.9. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz krivulje topljivosti (tablica 13.15.) vidimo da se pri 100 °C u 100 g vode otapa 60 g HgCl_2 , a pri 80 °C 30 g HgCl_2 . To znači da će hlađenjem od **100 °C na 80 °C** iz zasićene otopine iskristalizirati polovica otopljene soli.

7.10. Vidi STEHIOMETRIJA

Podatci o topljivostima odnose se na bezvodne soli. Zato u prvom koraku moramo izračunati koliko je bezvodnog bakrova(II) sulfata sadržano u 500 g bakrova(II) sulfata pentahidrata.

$$m(\text{CuSO}_4) = \frac{M_r(\text{CuSO}_4)}{M_r(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O})} \times m(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) = \frac{159,60}{249,68} \times 500 \text{ g} \approx 320 \text{ g}$$

Iz grafičkog prikaza (tablica 13.15.) vidimo da se pri 40 °C u 100 g vode otapa oko 28 g bezvodnog bakrova(II) sulfata a pri 30 °C oko 24 g. Iz 128 g otopine zasićene pri 40 °C hlađenjem do 30 °C iskristalizirat će oko 4 g CuSO_4 . Za kristalizaciju 320 g CuSO_4 (odnosno 500 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) potrebno je uzeti oko **8000 g** otopine zasićene pri 40 °C

Manja odstupanja od podataka u rješenjima uzrokovana su malom preciznošću grafičkog prikaza. Važno je upamtiti da oznaka $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ iznad krivulje topljivosti kazuje da je zasićena otopina u ravnoteži s kristalima čiji je sastav $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$. Podatci koje odčitavamo na ordinati odnose se na masu bezvodne soli.

7.11. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz krivulje topljivosti (tablica 13.15.) vidimo da se pri 60 °C u 100 g vode otapa oko 46 g Na_2CO_3 . Najprije treba izračunati masu Na_2CO_3 sadržanu u 300 g otopine zasićene pri 60 °C.

$$m_1(\text{Na}_2\text{CO}_3, 300 \text{ g otop. } 60^\circ\text{C}) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{m(\text{otopina})} \times m_1(\text{otopina}) = \frac{46 \text{ g}}{146 \text{ g}} \times 300 \text{ g} \approx 95 \text{ g}$$

Za masu natrijeva karbonata dekahidrata dobivamo:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}) = \frac{M_r(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O})}{M_r(\text{Na}_2\text{CO}_3)} \times m_1(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{286}{106} \times 95 \text{ g} \approx \mathbf{256 \text{ g}}$$

Manja odstupanja od podataka u rješenjima uzrokovana su malom preciznošću grafičkog prikaza. Važno je upamtiti da se oznake $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ i $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ iznad krivulje topljivosti kazuju da je zasićena otopina u tom temperaturnom području u ravnoteži s kristalima sastava $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$, odnosno, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Podatci koje odčitavamo na ordinati odnose se na masu bezvodne soli.

7.12. Vidi STEHIOMETRIJA

Ako je maseni udio kalijeva nitrata u otopini, $w(\text{KNO}_3) = 0,40$, tada to znači da 100 g otopine sadržava 40 g KNO_3 i 60 g vode. Treba izračunati koliko se KNO_3 otapa u 100 g vode.

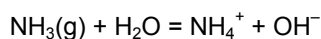
$$m_1(\text{KNO}_3) = \frac{m_1(\text{H}_2\text{O})}{m(\text{H}_2\text{O})} \times m(\text{KNO}_3) = \frac{100 \text{ g}}{60 \text{ g}} \times 40 \text{ g} = 66,7 \text{ g}$$

Iz krivulje topljivosti (tablica 13.15) iščitavamo da pri oko **42 °C** zasićena otopina KNO_3 sadržava približno 67 g KNO_3 , odnosno da je pri toj temperaturi maseni udio kalijeva nitrata u otopini 40 %.

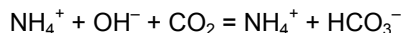
Manja odstupanja od podataka u rješenjima uzrokovana su malom preciznošću grafičkog prikaza.

7.13. Vidi STEHIOMETRIJA

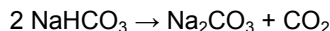
Proces se provodi tako da se u zasićenu otopinu NaCl uvodi NH_3 . Time otopina postaje lužnata.



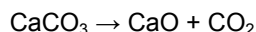
Otopina se neutralizira uvođenjem CO_2 do zasićenja. Tako se dobije otopina koja sadržava ione Na^+ , NH_4^+ , Cl^- i HCO_3^-



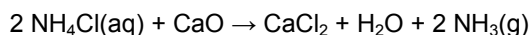
Iz te se otopine hlađenjem taloži NaHCO_3 , jer je njegova topljivost najmanja (vidi tablicu 13.15.). Zagrijavanjem NaHCO_3 dobije se Na_2CO_3 i CO_2 .



Oslobođeni se CO_2 vraća natrag u proces, a utrošeni se CO_2 nadoknađuje prženjem CaCO_3 .



Dobiveno se vapno rabi za oslobađanje NH_3 iz otopine NH_4Cl .



Oslobođeni se amonijak opet uvodi u zasićenu otopinu natrijeva klorida čime se proces ponavlja.

Sirovine su NaCl i CaCO_3 a produkt Na_2CO_3 i CaCl_2

7.14. Vidi STEHIOMETRIJA

Topljivost soli može se određivati na više načina, ovisno o topljivosti pojedine soli. Topljivost u vodi dobro topljivih soli (vidi tablicu 13.15.) određuje se tako da se otopina zasiti pri nekoj odabranoj temperaturi. Dio zasićene otopine najčešće se pipetom prenese u prethodno izvaganu porculansku zdjelicu za uparavanje. Zdjelica sa zasićenom otopinom se izvaže.

Pažljivim zgrijavanjem voda se ipari, a ohlađena zdjelica s bezvodnom soli ponovno izvaže. Tako doznajemo masu otopljene soli.

Masa zdjelice s bezvodnom soli
– Masa čiste suhe zdjelice

Masa bezvodne soli

Razlika masa, mase zdjelice sa zasićenom otopinom i mase zdjelice s bezvodnom soli daje nam masu vode u kojoj je ta sol bila otopljena.

Masa zdjelice sa zasićenom otopinom
– Masa zdjelice s bezvodnom soli

Masa vode

Tako doznajemo masu bezvodne soli i masu vode. Dobivene podatke treba preračunati na masu soli koja se otapa u 100 g vode. Tako za topljivost soli dobivamo:

$$\text{Topljivost bezvodne soli} = \frac{m(\text{sol})}{m(\text{voda})} \times 100$$

7.15. Vidi STEHIOMETRIJA

Neke su tvari praktično netopljive. To znači da se ne može pripremiti otopina bilo koje tvari u kojoj bi koncentracija te tvari bila 1 mol dm^{-3} . Primjerice, barijevi su spojevi otrovni, ali je BaSO_4 tako slabo topljiv da se rabi pri rendgenskom pregledu probavnog trakta. Pacijent popije zaslađenu kašu barijeva sulfata. Kaša putuje kroz probavni trakt što se može pratiti na medicinskom rendgenskom uređaju. Barijev sulfat jako apsorbira rendgenske zrake pa tako dijelovi probavnog trakta postaju vidljivi. Inače, mekana tkiva slabo apsorbiraju rendgenske zrake pa su praktično nevidljiva na običnom medicinskom rendgenskom uređaju. Popiti otopinu nekog lako topljivog barijeva spoja bilo bi smrtonosno.

7.16. Vidi STEHIOMETRIJA

Postupamo na način opisan u zadatku 7.14.

masa vodene otopine KI	20,0 g
– masa bezvodnog KI	12,3 g
<hr/>	
masa vode	7,7 g

$$\text{Topljivost KI u vodi} = \frac{m(\text{KI})}{m(\text{voda})} \times 100 = \frac{12,3 \text{ g KI}}{7,7 \text{ g H}_2\text{O}} \times 100 = \frac{159,7 \text{ g KI}}{100 \text{ g H}_2\text{O}}$$

Bolje je topljivost iskazati masenim udjelom KI u otopini. Takav se način iskazivanja topljivosti preporuča.

$$w(\text{KI}) = \frac{m(\text{KI})}{m(\text{otopina})} = \frac{12,3 \text{ g}}{20,0 \text{ g}} = \mathbf{0,615}$$

Topljivost se može iskazati i molalitetom otopine, tj. brojem molova soli otopljenih u 1 kg otapala.

$$b(\text{KI}) = \frac{n(\text{KI})}{m(\text{voda})} = \frac{m(\text{KI})}{M(\text{KI}) \times m(\text{voda})} = \frac{12,3 \text{ g}}{166 \text{ g mol}^{-1} \times 7,7 \times 10^{-3} \text{ kg}} = \mathbf{9,62 \text{ mol kg}^{-1}}$$

7.17. Vidi STEHIOMETRIJA

Postupamo na način opisan u zadatku 7.14. i 7.16.

masa vodene otopine $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	50,0 g
– masa bezvodnog $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	25,0 g
<hr/>	
masa vode	25,0 g

$$\text{Topljivost } \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \text{ u vodi} = \frac{m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)}{m(\text{voda})} \times 100 = \frac{25 \text{ g Pb}(\text{NO}_3)_2}{25 \text{ g H}_2\text{O}} \times 100 = \frac{100 \text{ g Pb}(\text{NO}_3)_2}{100 \text{ g H}_2\text{O}}$$

$$w(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = \frac{m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)}{m(\text{otopina})} = \frac{25 \text{ g}}{50 \text{ g}} = \mathbf{0,50}$$

$$b(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = \frac{n(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)}{m(\text{voda})} = \frac{m(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2)}{M(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) \times m(\text{voda})} = \frac{25 \text{ g}}{331 \text{ g mol}^{-1} \times 25 \times 10^{-3} \text{ kg}} = \mathbf{3,02 \text{ mol kg}^{-1}}$$

7.18. Vidi STEHIOMETRIJA

Općenito treba upamtiti, i to nećemo više ponavljati:

$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3$$

$$m(1 \text{ L}, \text{H}_2\text{O}) = m(1 \text{ dm}^3, \text{H}_2\text{O}) = \rho(\text{H}_2\text{O}) \times V(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ kg dm}^{-3} \times 1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ kg}$$

To znači da ćemo uvijek za 1 cm³ vode podrazumijevati da ima masu 1 g.

Otopina bakrova(II) sulfata zasićena pri 100 °C sadržava 4,72 mol bakrova(II) sulfata otopljena u 1 kg vode. Masa otopljena bakrova(II) sulfata je::

$$m(\text{CuSO}_4) = n(\text{CuSO}_4) \times M(\text{CuSO}_4) = 4,72 \text{ mol} \times 159,60 \text{ g mol}^{-1} = 753 \text{ g}$$

Budući da je 753 g CuSO₄ otopljeno u 1000 g vode, ukupna masa vode i otopljene soli je 1753 g, a u 300 g te otopine sadržano je proporcionalno manja masa bakrova(II) sulfata, $m_1(\text{CuSO}_4)$:

$$m_1(\text{CuSO}_4) = 753 \text{ g} \times \frac{300}{1753}$$

Ekvivalentna masa bakrova(II) sulfata pentahidrata sadržana u 300 g otopine zasićene pri 100 °C je:

$$\begin{aligned} m(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) &= m_1(\text{CuSO}_4) \times \frac{M_r(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O})}{M_r(\text{CuSO}_4)} \\ &= 753 \text{ g} \times \frac{300}{1753} \times \frac{249,68 \text{ g mol}^{-1}}{159,60 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{201,6 \text{ g}} \end{aligned}$$

7.19. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo masu i množinu amonijaka koja se otapa u 1 cm³ vode.

$$n(\text{NH}_3) = \frac{pV}{RT} = \frac{100\,000 \text{ Pa} \times 702 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293,15 \text{ K}} = 0,0288 \text{ mol}$$

Za molalitet otopine dobivamo:

$$b(\text{NH}_3) = \frac{n(\text{NH}_3)}{m(\text{otapalo})} = \frac{n(\text{NH}_3)}{\rho(\text{otapalo}) \times V(\text{otapalo})} = \frac{0,0288 \text{ mol}}{1 \text{ kg dm}^{-3} \times 0,001 \text{ dm}^3} = \mathbf{28,8 \text{ mol kg}^{-1}}$$

Masa otopljena amonijaka je:

$$m(\text{NH}_3) = n(\text{NH}_3) \times M(\text{NH}_3) = 0,0288 \text{ mol} \times 17 \text{ g mol}^{-1} = 0,49 \text{ g}$$

Budući da je masa 1 cm³ vode 1 g, maseni udio amonijaka u otopini je:

$$w(\text{NH}_3) = \frac{m(\text{NH}_3)}{m(\text{NH}_3) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,49 \text{ g}}{0,49 \text{ g} + 1 \text{ g}} = \mathbf{0,329}$$

7.20. Vidi STEHIOMETRIJA

Izrazimo volumen suporovodika otopljenog u 1 L vode (1 kg vode) jedinicom množine.

$$n(\text{H}_2\text{S}) = \frac{p V}{R T} = \frac{101325 \text{ Pa} \times 4,62 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}} = 0,206 \text{ mol}$$

Kako je navedena množina sumporovodika otopljena u 1 kg vode, proizlazi da je molalitet otopine:

$$b(\text{H}_2\text{S}) = 0,206 \text{ mol kg}^{-1}.$$

Henryjev zakon: *Topljivost plina u tekućini proporcionalna je parcijalnom tlaku tog plina iznad otopine*

Ako topljivost sumporovodik u vodi pri tlaku 1 atm iznosi 0,206 mol kg⁻¹, tada sukladno Henryjevu zakonu vrijedi:

$$\frac{p(\text{H}_2\text{S})}{b(\text{H}_2\text{S})} = \frac{p_1(\text{H}_2\text{S})}{b_1(\text{H}_2\text{S})}$$

Odavde proizlazi:

$$p_1(\text{H}_2\text{S}) = \frac{p(\text{H}_2\text{S}) \times b_1(\text{H}_2\text{S})}{b(\text{H}_2\text{S})} = \frac{101\,325 \text{ Pa} \times 0,25 \text{ mol kg}^{-1}}{0,206 \text{ mol kg}^{-1}} \approx 1,23 \text{ atm} \approx \mathbf{1,23 \text{ bar}}$$

Sumporovodik reagira s vodom pa se samo približno ponaša sukladno Henryjevu zakonu. Henryjev zakon strogo vrijedi samo za plinove koji kemijski ne reagiraju s otapalom.

7.21. Vidi STEHIOMETRIJA

Topljivost pojedinog plina u otapalu proporcionalna je njegovu parcijalnom tlaku. Prema tome parcijalni tlak vodika je: $p(\text{H}_2) = 40 \text{ kPa}$, a kisika, $p(\text{O}_2) = 60 \text{ kPa}$.

$$m(\text{H}_2) = \frac{p(\text{H}_2)}{p(\text{n.u})} \times V(\text{otop.}) \times \gamma(\text{H}_2) = \frac{40 \text{ kPa}}{101,3 \text{ kPa}} \times 1 \text{ dm}^3 \times 0,001\,935 \text{ g dm}^{-3} = \mathbf{0,000764 \text{ g}}$$

$$V(\text{H}_2) = \frac{m R T}{M p} = \frac{0,764 \times 10^{-6} \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}}{2 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1} \times 101\,325 \text{ Pa}} = 8,8 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = \mathbf{8,56 \text{ cm}^3}$$

$$m(\text{O}_2) = \frac{p(\text{O}_2)}{p(\text{n.u})} \times V(\text{otop.}) \times \gamma(\text{O}_2) = \frac{60 \text{ kPa}}{101,3 \text{ kPa}} \times 1 \text{ dm}^3 \times 0,0700 \text{ g dm}^{-3} = \mathbf{0,0415 \text{ g}}$$

$$V(\text{O}_2) = \frac{m R T}{M p} = \frac{0,0415 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}}{32 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1} \times 101\,325 \text{ Pa}} = 29,4 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = \mathbf{29,0 \text{ cm}^3}$$

7.22. Vidi STEHIOMETRIJA

Pretpostavljamo da je topljivost ugljikova dioksida u vodi proporcionalna njegovu parcijalnom tlaku. Volumen ugljikova dioksida sveden na n.u., koji se u 1000 cm³ vode apsorbira pri tlaku, $p_1(\text{CO}_2) = 150 \text{ kPa}$, bit će za faktor $(150 \text{ kPa} / 101,3 \text{ kPa})$ puta veći nego pri n.u.

U 1000 cm³ vode, pri n.u., apsorbira se, $V(\text{CO}_2) = 171,3 \text{ cm}^3$ ugljikova dioksida. Odavde proizlazi da volumen ugljikova dioksida, $V_1(\text{CO}_2, \text{n.u.})$, koji se pri tlaku 150 kPa apsorbira u 250 cm³ vode iznosi:

$$V_1(\text{CO}_2, \text{n.u.}) = \frac{p_1(\text{CO}_2)}{p(\text{n.u.})} \times \frac{V_1(\text{otop})}{V(\text{otop})} \times V(\text{CO}_2) = \frac{150 \text{ kPa}}{101,3 \text{ kPa}} \times \frac{250 \text{ cm}^3}{1000 \text{ cm}^3} \times 171,3 \text{ cm}^3 = \mathbf{63,4 \text{ cm}^3}$$

Masu ugljikova dioksida izračunat ćemo pomoću opće plinske jednadžbe.

$$m(\text{CO}_2) = \frac{pVM}{RT} = \frac{101\,325 \text{ Pa} \times 63,4 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \times 44 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}} = 124 \times 10^{-6} \text{ kg} = \mathbf{124 \text{ mg}}$$

7.23. Vidi STEHIOMETRIJA

Topljivost pojedinog plina u otapalu proporcionalna je njegovu parcijalnom tlaku.

$$m_1(\text{N}_2) = m(\text{N}_2) \times \frac{V_1(\text{otop})}{V(\text{otop})} \times \frac{p_1(\text{CO}_2)}{p(\text{CO}_2)} = 29 \text{ mg} \times \frac{100 \text{ cm}^3}{1000 \text{ cm}^3} \times \frac{15 \text{ bar}}{1 \text{ bar}} = \mathbf{43,5 \text{ mg}}$$

$$V(\text{N}_2, \text{n.u.}) = \frac{nRT}{p} = \frac{mRT}{Mp} = \frac{43,5 \times 10^{-6} \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}}{0,028 \text{ kg mol}^{-1} \times 101\,325 \text{ Pa}} = \mathbf{34,8 \text{ cm}^3}$$

7.24. Vidi STEHIOMETRIJA

Ako se u zadanim uvjetima u 1 cm³ vode otapa 0,034 cm³ kisika (n.u), tada se u 1000 cm³ vode otapa 34 cm³ kisika. Ako taj volumen kisika izrazimo jedinicom mol, tada dobivamo:

$$n(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_m(\text{O}_2)} = \frac{0,034 \text{ dm}^3}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 1,52 \times 10^{-3} \text{ mol} = \mathbf{1,52 \text{ mmol}}$$

$$c(\text{O}_2) = \frac{n(\text{CO}_2)}{V(\text{otop})} = \frac{1,52 \text{ mmol}}{1 \text{ dm}^3} = \mathbf{1,52 \text{ mmol dm}^{-3}}$$

7.25. Vidi STEHIOMETRIJA

Pretpostavljamo da je topljivost plina u otapalu proporcionalna njegovu tlaku. Problem možemo promatrati kao smanjenje tlaka plina zbog povećanja volumena posude s plinom. U otopini će se naći 2/3 plina dok će u plinovitu stanju ostati samo 1/3 plina. To znači da će i tlak plina iznad vode biti jednak 1/3 prvotnog tlaka odnosno **40 kPa**.

7.26. Vidi STEHIOMETRIJA

Na temelju gustoće plina prema zraku, $d_{\text{zrak}} = 1,22$, možemo izračunati molarnu masu plina.

$$M(\text{plin}) = M(\text{zrak}) \times d_{\text{zrak}} = 29 \text{ g mol}^{-1} \times 1,22 = 35,4 \text{ g mol}^{-1}$$

Za masu otopljena plina dobivamo:

$$m(\text{plin}) = n(\text{plin}) \times M(\text{plin}) = 0,67 \text{ mol} \times 35,4 \text{ g mol}^{-1} = 23,7 \text{ g}$$

Za maseni udio plina u otopini proizlazi:

$$w(\text{plin}) = \frac{m(\text{plin})}{m(\text{otopina})} = \frac{23,7 \text{ g}}{1023,7 \text{ g}} = \mathbf{0,023}$$

7.27. Vidi STEHIOMETRIJA

Pretpostavimo da je topljivost ugljikova dioksida u etanolu proporcionalna njegovu tlaku.

$$V_1(\text{CO}_2) = \frac{p_1(\text{CO}_2)}{p(\text{CO}_2)} \times \frac{V_1(\text{etanol})}{V(\text{etanol})} \times V(\text{CO}_2) = \frac{500 \text{ kPa}}{101,3 \text{ kPa}} \times \frac{5000 \text{ cm}^3}{1 \text{ cm}^3} \times 2,7 \text{ cm}^3 = \mathbf{66,6 \text{ dm}^3}$$

7.28. Vidi STEHIOMETRIJA

Na početku pokusa parcijalni tlak dušika bio je 48 kPa, a ugljikova dioksida 32 kPa. Problem dalje rješavamo za svaki plin posebno, jer je topljivost pojedinog plina proporcionalna njegovu parcijalnom tlaku.

a) Volumen N_2 koji se pri 10 °C otapa u 0,1 kg vode, preračunano na n.u. je:

$$\begin{aligned} V(\text{N}_2) &= b(\text{N}_2) \times m(\text{H}_2\text{O}) \times V_m^n \\ &= 0,875 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1} \times 0,1 \text{ kg} \times 22400 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1} = 1,96 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Pri 10 °C ta množina plina ima nešto veći volumen, što ćemo izračunati pomoću Gay-Lussacova zakona, $V/T = V_1/T_1$.

$$V_1 = V T_1/T = 1,96 \text{ cm}^3 \times 283 \text{ K} / 273 \text{ K} = 2,03 \text{ cm}^3$$

Prema Henryjevu zakonu volumen plina koji se otapa u određenoj količini (masi) tekućine ne ovisi o parcijalnom pritisku plina iznad tekućine. Naprotiv, množina plina otopljena u određenoj količini (masi) tekućine proporcionalna je parcijalnom pritisku plina iznad tekućine.

Topljivost plinova smanjuje se s porastom temperature i zato se iskazuje molalitetom otopine u ovisnosti o temperaturi. Pri stalnoj temperaturi množina otopljena plina, odnosno molalitet otopine, proporcionalan je tlaku. Pri dvostruko većem tlaku množina otopljena plina bit će dva puta veća. Međutim volumen otopljena plina uvijek je isti, bez obzira na tlak, jer pri dvostruko većem tlaku u jednakom volumenu sadržana je dvostruko veća množina plina. Zato je volumen N_2 otopljen u 100 cm^3 vode pri 10 °C, uvijek isti, 2,03 cm^3 , bez obzira na tlak.

Prema uvjetima zadatka iznad 100 cm^3 vode nalazi se 400 cm^3 dušika. Otapanje N_2 u vodi rezultira smanjenjem tlaka jer se u 100 cm^3 vode otapa 2,03 cm^3 N_2 . Sustav se ponaša kao da mu se volumen povećao od $V = 400 \text{ cm}^3$ na $V_1 = 402,03 \text{ cm}^3$. Na osnovi takva razmišljanja možemo zaključiti da se početni tlak, $p(\text{N}_2)$, iznad otopine, nakon uspostavljanja ravnoteže, smanji na vrijednost $p_1(\text{N}_2)$ sukladno Boyleovom zakonu, $pV = p_1V_1$. Odavde proizlazi:

$$p_1(\text{N}_2) = \frac{p V}{V_1} = \frac{48 \text{ kPa} \times 400 \text{ cm}^3}{402,03 \text{ cm}^3} = 47,72 \text{ kPa}$$

Dušik otopljen u 100 g vode pri 10 °C i tlaku 47,76 kPa zaprema volumen 2,03 cm^3 . Preračunamo li volumen otopljena plina na n.u., kao što se u zadatku traži, dobivamo:

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_1 V_1}{T_1}$$

$$V_o(N_2) = \frac{p_1 V_1 T_o}{p_o T_1} = \frac{47,76 \text{ kPa} \times 2,03 \text{ cm}^3 \times 273,15 \text{ K}}{101,3 \text{ kPa} \times 283,15 \text{ K}} = 0,923 \text{ cm}^3$$

b) Volumen CO₂ koji se pri 10 °C otapa u 0,1 kg vode, preračunan na n.u. je:

$$V(\text{CO}_2) = b(\text{CO}_2) \times m(\text{H}_2\text{O}) \times V_m^n \\ = 0,072 \text{ mol kg}^{-1} \times 0,1 \text{ kg} \times 22400 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1} = 161,3 \text{ cm}^3$$

Pri 10 °C ta množina plina zauzima volumen:

$$V_1 = V T_1/T = 161,3 \text{ cm}^3 \times 283 \text{ K} / 273 \text{ K} = 167,2 \text{ cm}^3$$

Pretpostavimo li da je topljivost CO₂ proporcionalna njegovu tlaku, volumen CO₂ otopljen u 100 cm³ vode pri 10 °C, uvijek će biti isti, 167,2 cm³.

Prema uvjetima zadatka iznad 100 cm³ vode nalazi se 400 cm³ ugljikova dioksida. Otapanje CO₂ u vodi rezultira smanjenjem tlaka jer se u 100 cm³ vode otapa 167,2 cm³ CO₂. Sustav se ponaša kao da mu se volumen povećao od V = 400 cm³ na V₁ = 567,2 cm³. Na osnovi takva razmišljanja možemo zaključiti da se početni tlak, p(CO₂), iznad otopine, nakon uspostavljanja ravnoteže, smanji na vrijednost p₁(CO₂) sukladno Boyleovom zakonu, pV = p₁V₁. Odavde proizlazi:

$$p_1(\text{CO}_2) = \frac{p V}{V_1} = \frac{32 \text{ kPa} \times 400 \text{ cm}^3}{567,2 \text{ cm}^3} = 22,6 \text{ kPa}$$

Ugljikov dioksid otopljen u 100 g vode pri 10 °C i tlaku 22,6 kPa zaprema volumen 167,2 cm³. Preračnemo li volumen otopljena plina na n.u., kao što se u zadatku traži, dobivamo:

$$\frac{p_o V_o}{T_o} = \frac{p_1 V_1}{T_1}$$

$$V_o(\text{CO}_2) = \frac{p_1 V_1 T_o}{p_o T_1} = \frac{22,6 \text{ kPa} \times 167,2 \text{ cm}^3 \times 273,15 \text{ K}}{101,3 \text{ kPa} \times 283,15 \text{ K}} = 35,9 \text{ cm}^3$$

Treba naglasiti da se ugljikov dioksid, kao i drugi plinovi koji kemijski reagiraju s otapalom, ne ponašaju po Henryjevu zakonu.

7.29. Vidi STEHIOMETRIJA

Izrazimo masu kisika otopljena u 1 kg vode molalitetom otopine.

$$b(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2)}{M(\text{O}_2) \times m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,1 \text{ g}}{32 \text{ g mol}^{-1} \times 1 \text{ kg}} = 3,125 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1}$$

Množina otopljena plina proporcionalna je njegovu parcijalnom tlaku. Prema tome tlakovi se odnose kao molaliteti otopina, pa vrijedi:

$$\frac{p_1(\text{O}_2)}{p(\text{O}_2)} = \frac{b_1(\text{O}_2)}{b(\text{O}_2)}$$

Odavde proizlazi:

$$p_1(\text{O}_2) = \frac{b_1(\text{O}_2) \times p(\text{O}_2)}{b(\text{O}_2)} = \frac{3,125 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1} \times 101,3 \text{ kPa}}{1,38 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1}} = 229 \text{ kPa}$$

7.30. Vidi STEHIOMETRIJA

a) Izrazimo masu otopljena kisika molalitetom otopine: ($1 \text{ dm}^3 \text{ vode} = 1 \text{ kg}$)

$$b(\text{O}_2) = \frac{m(\text{O}_2)}{M(\text{O}_2) \times m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,05 \text{ g}}{32 \text{ g mol}^{-1} \times 1 \text{ kg}} = 1,5625 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1}$$

Množina otopljena plina proporcionalna je njegovu parcijalnom tlaku. Prema tome tlakovi se odnose kao molaliteti otopina, pa vrijedi:

$$\frac{p_1(\text{O}_2)}{p(\text{O}_2)} = \frac{b_1(\text{O}_2)}{b(\text{O}_2)}$$

Odavde proizlazi:

$$p_1(\text{O}_2) = \frac{b_1(\text{O}_2) \times p(\text{O}_2)}{b(\text{O}_2)} = \frac{1,5625 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1} \times 101,3 \text{ kPa}}{1,384 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1}} = \mathbf{114,4 \text{ kPa}}$$

b) Izrazimo masu otopljena dušika molalitetom otopine: ($1 \text{ dm}^3 \text{ vode} = 1 \text{ kg}$)

$$b(\text{N}_2) = \frac{m(\text{N}_2)}{M(\text{N}_2) \times m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,05 \text{ g}}{28 \text{ g mol}^{-1} \times 1 \text{ kg}} = 1,7857 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1}$$

Množina otopljena plina proporcionalna je njegovu parcijalnom tlaku. Prema tome tlakovi se odnose kao molaliteti otopina, pa vrijedi:

$$\frac{p_1(\text{N}_2)}{p(\text{N}_2)} = \frac{b_1(\text{N}_2)}{b(\text{N}_2)}$$

Odavde proizlazi:

$$p_1(\text{N}_2) = \frac{b_1(\text{N}_2) \times p(\text{N}_2)}{b(\text{N}_2)} = \frac{1,7857 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1} \times 101,3 \text{ kPa}}{0,645 \times 10^{-3} \text{ mol kg}^{-1}} = \mathbf{280,5 \text{ kPa}}$$

7.31. Vidi STEHIOMETRIJA

Topljivost plina u otapalu proporcionalna je njegovu parcijalnom tlaku. Parcijalni tlak proporcionalan je volumnom udjelu plina u smjesi. Za koncentraciju kisika i dušika u vodi pri zadanim uvjetima ($t = 15^\circ\text{C}$, $\varphi(\text{O}_2) = 0,20$, $\varphi(\text{N}_2) = 0,80$) dobivamo:

$$c_1(\text{O}_2) = \varphi(\text{O}_2) \times c(\text{O}_2) = 0,20 \times 1,52 \text{ mol m}^{-3} = 0,304 \text{ mol m}^{-3}$$

$$c_1(\text{N}_2) = \varphi(\text{N}_2) \times c(\text{N}_2) = 0,80 \times 0,80 \text{ mol m}^{-3} = 0,640 \text{ mol m}^{-3}$$

Koncentracije plinova u otopini nalaze se u omjeru $c_1(\text{O}_2) : c_1(\text{N}_2) = 0,304 : 0,640$. Desorpcijom plinova iz otopine dobit ćemo proporcionalne množine kisika i dušika. Volumni udjeli plinova u "zraku", dobivenom desorpcijom iz vode, bit će:

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{c_1(\text{O}_2)}{c_1(\text{O}_2) + c_1(\text{N}_2)} = \frac{0,304}{0,304 + 0,640} = \mathbf{0,322}$$

$$\varphi(\text{N}_2) = \frac{c_1(\text{N}_2)}{c_1(\text{O}_2) + c_1(\text{N}_2)} = \frac{0,640}{0,304 + 0,640} = \mathbf{0,678}$$

7.32. Vidi STEHIOMETRIJA

Da bismo izračunali masu CO₂ sadržanu u jednoj boci treba razlikovati dva dijela; 0,25 dm³ plina pod tlakom od 2 bara, i, 1 dm³ vode u kojemu je otopljen CO₂ pod tlakom 2 bara.

Pretpostavimo da je topljivost CO₂ u vodi proporcionalna njegovu parcijalnom tlaku, pa se za koncentraciju CO₂ otopljena u vodi dobiva

$$c(\text{CO}_2, \text{voda}) = 2 \times 0,0723 \text{ mol dm}^{-3} \times \frac{100 \text{ kPa}}{101,3 \text{ kPa}}$$

Za masu CO₂ sadržanu u 1 boci soda-vode dobivamo:

$$\begin{aligned} m(\text{CO}_2) &= M(\text{CO}_2) \times n(\text{CO}_2) = M(\text{CO}_2) \times [n(\text{CO}_2, \text{plin}) + n(\text{CO}_2, \text{voda})] \\ &= M(\text{CO}_2) \times \left[\frac{p \times V(\text{CO}_2, \text{plin})}{RT} + V(\text{otop.}) \times c(\text{CO}_2, \text{voda}) \right] \\ &= 44 \text{ g mol}^{-1} \times \left[\frac{200\,000 \text{ Pa} \times 0,00025 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 283,15 \text{ K}} + 1 \text{ dm}^3 \times 2 \times 0,0723 \text{ mol dm}^{-3} \times \frac{100 \text{ kPa}}{101,3 \text{ kPa}} \right] \\ &= 7,215 \text{ g} \end{aligned}$$

Za broj boca sooda-vode koji se može napuniti sa 20 kg CO₂ dobivamo:

$$N = \frac{20\,000 \text{ g}}{7,215 \text{ g}} = \mathbf{2772}$$

7.33. Vidi STEHIOMETRIJA

Suvišan je podatak o tlaku plina jer je omjer u kojem se kisik i dušik otapaju u vodi uvijek isti, i, ne ovisi o tlaku. Koncentracija pojedinog plina u otopini ovisi o njegovu parcijalnom tlaku, pa za omjer množina plinova u otopini dobivamo:

$$\frac{c_1(\text{O}_2)}{c_1(\text{N}_2)} = \frac{\varphi(\text{O}_2) \times c(\text{O}_2)}{\varphi(\text{N}_2) \times c(\text{N}_2)} = \frac{0,20 \times 1,70 \text{ mol m}^{-3}}{0,80 \times 0,88 \text{ mol m}^{-3}} = \frac{0,34}{0,704} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2,07}}$$

7.34. Vidi STEHIOMETRIJA

Koeficijent razdjeljenja je omjer koncentracija iste tvari u različitim otapalima.

Pri određivanju neke fizikalne veličine treba načiniti što više mjerenja, a za konačan rezultat uzima se srednja vrijednost svih mjerenja koja ne odstupaju više od 3 standardne devijacije. Kako je u ovom primjeru načinjen relativno malen broj mjerenja uključiti ćemo sve rezultate mjerenja unutar prosječne devijacije δ , koju računamo po izrazu:

$$\delta = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n}$$

gdje je: x_i rezultat pojedinačnog mjerenja, \bar{x} srednja vrijednost svih mjerenja, n broj mjerenja.

Prikažimo rezultate mjerenja u obliku tablice

r.br.	$\{\gamma(I_2)/g\ cm^{-3}\}_{(CS_2)}$	$\{\gamma(I_2)/g\ cm^{-3}\}_{(H_2O)}$	K	$ K_i - \bar{K} $
1	174	0,41	424,4	5,0
2	129	0,32	403,1	16,3
3	66	0,16	412,5	6,9
4	41	0,10	410,0	9,4
5	7,6	0,017	447,0	27,6
Prosječno			419,4	13

Niti jedan rezultat pojedinačnog mjerenja ne odstupi više od 3 prosječne devijacije od srednje vrijednosti koeficijenta razdjeljenja. Prema tome se svi rezultati pojedinačnih mjerenja mogu uključiti u izračun koeficijenta razdjeljenja. Tako dobivamo da je $K \approx 420$.

7.35. Vidi STEHIOMETRIJA

Upotrijebit ćemo **ugljkov disulfid** jer je koeficijent razdjeljenja joda između ugljikova disulfida i vode oko 375 puta veći nego između kloroforma i vode. CS_2 manje je prikladno otapalo u odnosu na kloroform jer je otrovniji i ima niže vrelište, 46 °C, u odnosu na kloroform, 61°C.

7.36. Vidi STEHIOMETRIJA

Koeficijent ekstrakcije, E , računamo po formuli

$$E = \frac{K}{K + V_b/V_a}$$

gdje je: K - koeficijent razdjeljenja, V_a - volumen faze a, V_b - volumen faze b. Prema uvjetima zadatka volumeni benzena i vode su jednaki, pa se za koeficijent ekstrakcije dobiva:

$$E = \frac{K}{K + V_b/V_a} = \frac{K}{K + 1} = \frac{16}{16 + 1} = 0,94 \text{ ili } 94 \%$$

7.37. Vidi STEHIOMETRIJA

Amilacetat kao otapalo označimo s "a" a vodu s "b". Zadan nam je koeficijent razdjeljenja između amilacetata i vode, $K = 99$. Da bismo doznali omjer koncentracija u amilacetatu i vodi upotrijebimo izraz za koeficijent ekstrakcije.

$$E = \frac{K}{K + \frac{V_a}{V_b}} = \frac{99}{99 + \frac{100}{10}} = \frac{99}{109} = 0,908$$

To znači da amilacetat sadržava 0,908 dijelova, a voda 0,092 dijela, od polazne množine iona molibdena(VI). Kako je u eksperimentu upotrijebljen 0,1 mol molibdenova spoja, proizlazi.

$$n(\text{Mo(VI),amilacetat}) = 0,908 \times 0,1 \text{ mol} = 0,0908 \text{ mol}$$

$$n(\text{Mo(VI),voda}) = 0,092 \times 0,1 \text{ mol} = 0,0092 \text{ mol}$$

Za koncentracije Mo(VI) u amilacetatu i vodi dobivamo:

$$c(\text{Mo(VI),amilacetat}) = \frac{n}{V} = \frac{0,0908 \text{ mol}}{0,01 \text{ dm}^3} = \mathbf{9,08 \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$c(\text{Mo(VI),voda}) = \frac{n}{V} = \frac{0,0092 \text{ mol}}{0,1 \text{ dm}^3} = \mathbf{0,092 \text{ mol dm}^{-3}}$$

7.38. Vidi STEHIOMETRIJA

Koeficijent ekstrakcije definiran je izrazom:

$$E = \frac{K}{K + \frac{V_a}{V_b}}$$

Preuredimo gornji izraz pa dobivamo:

$$\frac{V_a}{V_b} = \frac{K}{E} - K = \frac{2,40}{0,50} - 2,40 = \mathbf{2,40}$$

U stanju ravnoteže koncentracija živina(II) klorida u vodi je 2,4 puta veća nego u butanolu.

($K = c_{\text{voda}}/c_{\text{butanol}} = 2,40$). Uzme li se 1 volumni dio vode i 2,4 volumna dijela butanola, živin(II) klorid će se između ova dva otapala raspodijeliti tako da svako otapalo sadržava jednaku množinu živina(II) klorida. (Prisjetite se: $n = V \times c$)

7.39. Vidi STEHIOMETRIJA

Osmotski tlak slijedi izraz:

$$\begin{aligned}\Pi = cRT &= \frac{n}{V} \times RT = \frac{m}{MV} \times RT \\ &= \frac{0,050 \text{ kg}}{0,092 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,001 \text{ m}^3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K} = \mathbf{1234 \text{ kPa} = 12,34 \text{ bar}}\end{aligned}$$

7.40. Vidi STEHIOMETRIJA

Osmotski tlak slijedi izraz:

$$\begin{aligned}\Pi = cRT &= \frac{n}{V} \times RT = \frac{m}{MV} \times RT \\ &= \frac{0,005 \text{ kg}}{0,342 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,001 \text{ m}^3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293,15 \text{ K} = \mathbf{35,63 \text{ kPa}}\end{aligned}$$

7.41. Vidi STEHIOMETRIJA

Prema uvjetima zadatka koncentracija je stalna a mjenja se samo temperatura. Osmotski tlak slijedi izraz: $\Pi = cRT$

$t/^{\circ}\text{C}$	$\Pi = cRT$	Izračunano: p/bar	Izmjereno: p/bar
6,8	$\Pi = 29 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 279,95 \text{ K}$	0,675	0,673
14,2	$\Pi = 29 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 287,35 \text{ K}$	0,693	0,680
22,0	$\Pi = 29 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 295,15 \text{ K}$	0,712	0,730
32,0	$\Pi = 29 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 305,15 \text{ K}$	0,736	0,725
36,0	$\Pi = 29 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 309,15 \text{ K}$	0,745	0,756

7.42. Vidi STEHIOMETRIJA

Prema uvjetima zadatka temperatura je stalna a mjenja se koncentracija otopine šećera. Osmotski tlak slijedi izraz: $\Pi = cRT$

$\Pi = cRT$	Izračunano: p/bar	Izmjereno: p/bar
$\Pi = 98 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}$	2,22	2,43
$\Pi = 192 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}$	4,36	4,78
$\Pi = 370 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}$	8,40	9,56
$\Pi = 533 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}$	12,10	14,57
$\Pi = 688 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}$	15,62	19,74
$\Pi = 827 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}$	18,78	25,16

7.43. Vidi STEHIOMETRIJA

Osmotski tlak slijedi izraz: $\Pi = cRT$. Koncentraciju izrazimo omjerom množine i volumena, pa dobivamo: $\Pi V = nRT$. Množinu tvari možemo izraziti omjerom mase i molarne mase pa ćemo dobiti:

$$\Pi V = \frac{m}{M} RT$$

Oдавде proizlazi:

$$M = \frac{mRT}{\Pi V} = \frac{0,0045 \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}}{4000 \text{ Pa} \times 0,001 \text{ m}^3} = 2,555 \text{ kg mol}^{-1} = \mathbf{2555 \text{ g mol}^{-1}}$$

7.44. Vidi STEHIOMETRIJA

Osmotski tlak slijedi izraz: $\Pi = cRT$. Kako se ne traži vrijednost osmotskog tlaka to je dovoljno iskazati masene koncentracije jedinicom množinske koncentracije. Ona otopina koja ima veću množinskui koncentraciju ima i veći osmotski tlak. Sve nabrojane tvari u vodenim otopinama ne disociraju,

:

Uzorak	Otopina	$\gamma/\text{g dm}^{-3}$	$M/\text{g mol}^{-1}$	$c/\text{mol dm}^{-3}$	Π/kPa
a	otopina saharoze $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	10	342,3	0,0292	66,3
b	otopina glicerola	3	92,1	0,0326	74,0
c	otopina karbamida	2	60,1	0,0333	75,6
d	otopina glikola	2	62	0,0322	73,1

7.45. Vidi STEHIOMETRIJA

Mješanjem otopina smanjuje se koncentracija a time i osmotski tlak svakog sastojka u smjesi. Mješanjem 3 volumna dijela otopine glicerola i 2 volumna dijela otopine glikola dobije se 5 volumnih dijelova otopine. Osmotski tlak glicerola u smjesi je manji i iznosi 3/5 prvotnog tlaka, a osmotski tlak glikola također se smanji i iznosi 2/5 prvotnog tlaka. Za osmotski tlak smjese dobivamo:

$$\Pi(\text{smjesa}) = \frac{3}{5} \times \Pi(\text{glicerol}) + \frac{2}{5} \times \Pi(\text{glikol}) = \frac{3}{5} \times 0,5 \text{ bar} + \frac{2}{5} \times 0,1 \text{ bar} = \mathbf{0,34 \text{ bar}}$$

Koncentracije ishodnih otopina su:

$$c(\text{glicerol}) = \frac{\Pi(\text{glicerol})}{RT} = \frac{50\,000 \text{ Pa}}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 298,15 \text{ K}} = 20,2 \text{ mol m}^{-3} = \mathbf{0,020 \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$c(\text{glikol}) = \frac{\Pi(\text{glikol})}{RT} = \frac{10\,000 \text{ Pa}}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 298,15 \text{ K}} = 4,0 \text{ mol m}^{-3} = \mathbf{0,004 \text{ mol dm}^{-3}}$$

7.46. Vidi STEHIOMETRIJA

U omjeru molarnih masa ili relativnih atomskih težina

7.47. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\frac{M_r(\text{glicerol})}{M_r(\text{etanol})} = \frac{92,1}{46} \approx \mathbf{2}$$

Otopina etanola ima dva puta veći osmotski tlak u odnosu na otopinu etanola

7.48. Vidi STEHIOMETRIJA

$$c(\text{neelektrolit}) = \frac{\Pi(\text{neelektrolit})}{RT} = \frac{100\,000 \text{ Pa}}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}} = 44 \text{ mol m}^{-3} = \mathbf{0,044 \text{ mol dm}^{-3}}$$

7.49. Vidi STEHIOMETRIJA

$$c(\text{glukoza}) = \frac{\Pi(\text{glukoza})}{RT} = \frac{67\,500 \text{ Pa}}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}} = 29,7 \text{ mol m}^{-3} = \mathbf{0,0297 \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$m(\text{glukoza}) = n \times M = 0,0297 \times 180,16 = \mathbf{5,35 \text{ g}}$$

7.50. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\Pi V = \frac{m}{M} RT$$

Odavde proizlazi:

$$M = \frac{mRT}{\Pi V} = \frac{0,003 \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300,15 \text{ K}}{249\,000 \text{ Pa} \times 0,001 \text{ m}^3} = 0,030 \text{ kg mol}^{-1} = \mathbf{30 \text{ g mol}^{-1}}$$

7.51. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\begin{aligned} \Pi &= cRT = \frac{n}{V} \times RT = \frac{m}{M V} \times RT \\ &= \frac{0,0015 \text{ kg}}{0,030 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,001 \text{ m}^3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K} = \mathbf{113 \text{ kPa}} \end{aligned}$$

7.52. Vidi STEHIOMETRIJA

$$M = \frac{mRT}{\Pi V} = \frac{0,003 \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 285,15 \text{ K}}{41\,500 \text{ Pa} \times 0,0005 \text{ m}^3} = 0,342 \text{ kg mol}^{-1} = \mathbf{342 \text{ g mol}^{-1}}$$

7.53. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\begin{aligned} \Pi &= cRT = \frac{n}{V} \times RT = \frac{m}{M V} \times RT \\ &= \frac{0,006 \text{ kg}}{0,128 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,00015 \text{ m}^3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293,15 \text{ K} = \mathbf{762 \text{ kPa}} \\ \Delta T_t &= K_{kr} b_B = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} = \frac{5,07 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,006 \text{ kg}}{0,078 \text{ kg mol}^{-1} \times 150 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \times 879 \text{ kg m}^{-3}} = 2,96 \text{ K} \approx \mathbf{3 \text{ K}} \end{aligned}$$

$$t.t. = 5,5 \text{ }^{\circ}\text{C} - 3 \text{ }^{\circ}\text{C} = \mathbf{2,5 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

7.54. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\Pi_1 = cRT = 1000 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K} \approx \mathbf{22,7 \text{ bar}}$$

$$\Pi_2 = cRT = 100 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K} \approx \mathbf{2,27 \text{ bar}}$$

$$\Pi_3 = cRT = 10 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K} \approx \mathbf{0,227 \text{ bar}}$$

7.55. Vidi STEHIOMETRIJA

$$M = \frac{mRT}{\Pi V} = \frac{0,0002 \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293,15 \text{ K}}{57\,000 \text{ Pa} \times 0,000034 \text{ m}^3} = 0,251 \text{ kg mol}^{-1} \approx \mathbf{252 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$N(\text{S}) = \frac{M_r(\text{S}_N)}{A_r(\text{S})} = \frac{252}{32} = 7,9 = \mathbf{8}$$

$$\Delta T_v = K_{\text{eb}} b_B = \frac{K_{\text{eb}} \times m(\text{B})}{M(\text{B}) \times m(\text{A})} = \frac{2,64 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,0002 \text{ kg}}{0,256 \text{ kg mol}^{-1} \times 34 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \times 879 \text{ kg m}^{-3}} = 0,069 \text{ K} \approx \mathbf{0,07 \text{ K}}$$

$$t.v. = 80,15 \text{ }^\circ\text{C} + 0,07 \text{ }^\circ\text{C} = \mathbf{80,22 \text{ }^\circ\text{C}}$$

7.56. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\Pi = cRT = \frac{n(\text{P}_4) \times RT}{V(\text{otapalo})} = \frac{m(\text{P}_4) \times RT}{M(\text{P}_4) \times V(\text{otapalo})} = \frac{0,010 \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}}{0,124 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,001 \text{ m}^3} \approx \mathbf{183 \text{ kPa}}$$

7.57. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\Pi = \frac{n(\text{P}_4\text{O}_{10}) \times RT}{V(\text{otapalo})} = \frac{m(\text{P}_4\text{O}_{10}) \times RT}{M(\text{P}_4\text{O}_{10}) \times V(\text{otapalo})} = \frac{0,010 \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}}{0,284 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,001 \text{ m}^3} \approx \mathbf{80 \text{ kPa}}$$

7.58. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\Delta T_v = K_{eb} b_B$$

$$b_B = \frac{\Delta T_v}{K_{eb}} = \frac{m_B}{M_B \times m_A}$$

$$M_B = \frac{K_{eb} \times m_B}{\Delta T_v \times m_A} = \frac{1,23 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,003 \text{ kg}}{0,3 \text{ K} \times 0,050 \text{ kg}} = 0,246 \text{ kg mol}^{-1} = \mathbf{246 \text{ g mol}^{-1}}$$

$$N(I) = \frac{M_r(I_N)}{A_r(I)} = \frac{246}{127} = \mathbf{2}$$

7.59. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} = \frac{5,07 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,005 \text{ kg}}{0,1282 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,100 \text{ kg}} = \mathbf{1,98 \text{ K}}$$

7.60. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} = \frac{1,86 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,150 \text{ kg}}{0,032 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,850 \text{ kg}} = \mathbf{10,2 \text{ K}} \quad t_t = \mathbf{-10,2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

b)

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} = \frac{1,86 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,150 \text{ kg}}{0,046 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,850 \text{ kg}} = \mathbf{7,1 \text{ K}} \quad t_t = \mathbf{-7,1 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

c)

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} = \frac{1,86 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,150 \text{ kg}}{0,062 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,850 \text{ kg}} = \mathbf{5,3 \text{ K}} \quad t_t = \mathbf{-5,3 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

d)

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} = \frac{1,86 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,150 \text{ kg}}{0,092 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,850 \text{ kg}} = \mathbf{3,6 \text{ K}} \quad t_t = \mathbf{-3,6 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

7.61. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)}$$

a)

$$m(B) = \frac{\Delta T_t \times M(B) \times m(A)}{K_{kr}} = \frac{15 \text{ K} \times 0,032 \text{ kg mol}^{-1} \times 10 \text{ kg}}{1,86 \text{ K kg mol}^{-1}} = \mathbf{2,6 \text{ kg}}$$

b)

$$m(B) = \frac{\Delta T_t \times M(B) \times m(A)}{K_{kr}} = \frac{15 \text{ K} \times 0,046 \text{ kg mol}^{-1} \times 10 \text{ kg}}{1,86 \text{ K kg mol}^{-1}} = \mathbf{3,7 \text{ kg}}$$

c)

$$m(B) = \frac{\Delta T_t \times M(B) \times m(A)}{K_{kr}} = \frac{15 \text{ K} \times 0,062 \text{ kg mol}^{-1} \times 10 \text{ kg}}{1,86 \text{ K kg mol}^{-1}} = \mathbf{5,0 \text{ kg}}$$

d)

$$m(B) = \frac{\Delta T_t \times M(B) \times m(A)}{K_{kr}} = \frac{15 \text{ K} \times 0,092 \text{ kg mol}^{-1} \times 10 \text{ kg}}{1,86 \text{ K kg mol}^{-1}} = \mathbf{7,4 \text{ kg}}$$

7.62. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

$$\Pi = cRT = \frac{nRT}{V} = \frac{m RT}{M V} = \frac{0,050 \text{ kg} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293,15 \text{ K}}{0,342 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,00095 \text{ m}^3} = \mathbf{375 \text{ kPa}}$$

b)

$$x(\text{H}_2\text{O}) = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{H}_2\text{O}) + n(\text{šećer})} = \frac{\frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})}}{\frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} + \frac{m(\text{šećer})}{M(\text{šećer})}} = \frac{\frac{95}{18}}{\frac{95}{18} + \frac{5}{342}} = 0,997$$

$$p(\text{H}_2\text{O}) = x(\text{H}_2\text{O}) \times p^*(\text{H}_2\text{O}) = 0,997 \times 2338,8 \text{ Pa} = \mathbf{2332 \text{ Pa}}$$

c)

$$\Delta T_v = K_{eb} b_B = \frac{K_{eb} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} = \frac{0,513 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,050 \text{ kg}}{0,342 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,950 \text{ kg}} = \mathbf{0,08 \text{ K}} \quad t_v = \mathbf{100,08 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

d)

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} = \frac{1,86 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,050 \text{ kg}}{0,342 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,950 \text{ kg}} = \mathbf{0,29 \text{ K}} \quad t_t = \mathbf{-0,29 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

7.63. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} = \frac{34,5 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,200 \text{ kg}}{0,0635 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,800 \text{ kg}} = \mathbf{136 \text{ K}} \quad t_t = \mathbf{826 \text{ }^\circ\text{C}}$$

b)

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} = \frac{34,5 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,280 \text{ kg}}{0,0635 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,720 \text{ kg}} = \mathbf{211 \text{ K}} \quad t_t = \mathbf{750 \text{ }^\circ\text{C}}$$

7.64. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

$$c(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{V(\text{otop})} = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} \times \frac{\rho(\text{otop})}{m(\text{otop})} = \frac{0,010 \text{ kg}}{0,0584 \text{ kg mol}^{-1}} \times \frac{1005,3 \text{ kg m}^{-3}}{1,010 \text{ kg}} = 170,4 \text{ mol m}^{-3}$$

NaCl disocira na dva iona pa je množina iona u otopini $2 \times n(\text{NaCl})$, odnosno $c_i = 2 \times c(\text{NaCl})$

$$\Pi = c_i RT = 2 \times c(\text{NaCl}) \times R \times T = 2 \times 170,4 \text{ mol m}^{-3} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 288,15 \text{ K} = \mathbf{816,4 \text{ kPa}}$$

b)

$$x(\text{H}_2\text{O}) = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{H}_2\text{O}) + n(\text{NaCl})} = \frac{\frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})}}{\frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} + \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})}} = \frac{\frac{1000}{18}}{\frac{1000}{18} + \frac{10}{58,4}} = 0,997$$

$$p(\text{H}_2\text{O}) = x(\text{H}_2\text{O}) \times p^*(\text{H}_2\text{O}) = 0,997 \times 1707,6 \text{ Pa} = \mathbf{1702 \text{ Pa}}$$

c)

$$\Delta T_v = K_{eb} b_B N_i = \frac{K_{eb} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} \times 2 = \frac{0,513 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,010 \text{ kg}}{0,0584 \text{ kg mol}^{-1} \times 1,000 \text{ kg}} \times 2 = \mathbf{0,18 \text{ K}} \quad t_v = \mathbf{100,18 \text{ }^\circ\text{C}}$$

d)

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B N_i = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} \times 2 = \frac{1,86 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,010 \text{ kg}}{0,0584 \text{ kg mol}^{-1} \times 1,000 \text{ kg}} \times 2 = \mathbf{0,64 \text{ K}} \quad t_t = \mathbf{-0,64 \text{ }^\circ\text{C}}$$

7.65. Vidi STEHIOMETRIJA

NaCl disocira na dva iona pa je množina iona u otopini $2 \times n(\text{NaCl})$, odnosno $c_i = 2 \times c(\text{NaCl})$

$$\Pi = c_i a_i R T = 2 \times 100 \text{ mol m}^{-3} \times 0,80 \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K} = \mathbf{363 \text{ kPa}}$$

Potrebno je najprije odrediti molalitet otopine NaCl.

$$m(\text{H}_2\text{O, otop}) = m(\text{otop}) - m(\text{NaCl}) = V(\text{otop}) \times \rho(\text{otop}) - n(\text{NaCl}) \times M(\text{NaCl})$$

$$= 1 \text{ dm}^3 \times 1041 \text{ g. dm}^{-3} - 0,1 \text{ mol} \times 58,4 \text{ g mol}^{-1} = 1035 \text{ g}$$

$$b(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{m(\text{voda})} = \frac{0,1 \text{ mol}}{1,035 \text{ kg}} = 0,0966 \text{ mol kg}^{-1}$$

Natrijev klorid disocira na 2 iona pa je potrebno uvesti faktor $N_i = 2$.

Koeficijent aktiviteta iona je: $a_i = 0,80$. Odavde proizlazi:

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B N_i a_i = 1,86 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,0966 \text{ mol kg}^{-1} \times 2 \times 0,80 = \mathbf{0,287 \text{ K}} \quad t_t \approx \mathbf{-0,3 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$\Delta T_v = K_{eb} b_B N_i a_i = 0,513 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,0966 \text{ mol kg}^{-1} \times 2 \times 0,80 = \mathbf{0,079 \text{ K}} \quad t_v \approx \mathbf{100,8 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

7.66. Vidi STEHIOMETRIJA

LiCl disocira na dva iona pa je potrebno uvesti faktor $N_i = 2$.

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B N_i a_i$$

$$a_i = \frac{\Delta T_t}{K_{kr} b_B N_i} = \frac{0,345 \text{ K}}{1,86 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,1 \text{ mol kg}^{-1} \times 2} = \mathbf{0,93}$$

7.67. Vidi STEHIOMETRIJA

$$p(\text{H}_2\text{O}) = x(\text{H}_2\text{O}) \times p^*(\text{H}_2\text{O})$$

$$x(\text{H}_2\text{O}) = \frac{p(\text{H}_2\text{O})}{p^*(\text{H}_2\text{O})} = \frac{90 \text{ mmHg} \times 133,3 \text{ Pa mmHg}^{-1}}{12\,344 \text{ Pa}} = 0,9719$$

$$x(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 1 - 0,9719 = 0,0281$$

$$b(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,0281 \text{ mol}}{0,9719 \text{ mol} \times 0,018 \text{ kg mol}^{-1}} = \mathbf{1,606 \text{ mol kg}^{-1}}$$

7.68. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} = \frac{40 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,135 \times 10^{-3} \text{ kg}}{0,1352 \text{ kg mol}^{-1} \times 1 \times 10^{-3} \text{ kg}} \approx 40 \text{ K} \quad t_t \approx 134^\circ \text{C}$$

b)

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} = \frac{40 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,100 \times 10^{-3} \text{ kg}}{0,1282 \text{ kg mol}^{-1} \times 1 \times 10^{-3} \text{ kg}} \approx 31,2 \text{ K} \quad t_t \approx 143^\circ \text{C}$$

c)

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} = \frac{40 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,148 \times 10^{-3} \text{ kg}}{0,1482 \text{ kg mol}^{-1} \times 4 \times 10^{-3} \text{ kg}} \approx 10 \text{ K} \quad t_t \approx 164^\circ \text{C}$$

d)

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)} = \frac{40 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,100 \times 10^{-3} \text{ kg}}{0,1782 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,5 \times 10^{-3} \text{ kg}} \approx 45 \text{ K} \quad t_t \approx 129^\circ \text{C}$$

7.69. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B = \frac{K_{kr} \times m(B)}{M(B) \times m(A)}$$

$$M(B) = \frac{K_{kr} \times m(B)}{\Delta T_t \times m(A)} = \frac{40 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,060 \times 10^{-3} \text{ kg}}{39 \text{ K} \times 0,125 \times 10^{-3} \text{ kg}} = 0,492 \text{ kg mol}^{-1}$$

7.70. Vidi STEHIOMETRIJA

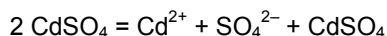
Vidi zadatke 7.65. i 7.66.

$$b(\text{CdSO}_4) = \frac{n(\text{CdSO}_4)}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{m(\text{CdSO}_4)}{M(\text{CdSO}_4) \times m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,002 \text{ kg}}{0,2085 \text{ kg mol}^{-1} \times 0,100 \text{ kg}} = 0,09592 \text{ mol kg}^{-1}$$

$$\Delta T_t = K_{kr} b_B N_i$$

$$N_i = \frac{\Delta T_t}{K_{kr} b_B} = \frac{0,270 \text{ K}}{1,86 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,09592 \text{ mol kg}^{-1}} \approx 1,5$$

Disocijacijom 1 mola CdSO_4 trebala bi nastati dva mola čestica (iona). Na osnovi sniženja leđišta zaključujemo da otopina sadrži 1,5 puta više čestica. To znači da je **disociralo 50 %** CdSO_4 , dok je 50 % nedisocirano, što možemo prikazati jednadžbom:



Iz dva mola CdSO_4 nastaju 3 mola čestica, odnosno iz 1 mola CdSO_4 nastaje 1,5 mol čestica.

7.71. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\Delta T_t = K_{kr} \frac{m_B}{m_A M_B} \quad A = \text{otapalo}, \quad B = \text{otopljena tvar}$$

$$K_{kr} = \frac{m_A M_B \Delta T_t}{m_B}$$

$$K_{kr}(\text{Pb}) = \frac{m(\text{Pb}) \times M(\text{Sn}) \times \Delta T_t}{m(\text{Sn})} = \frac{0,400 \text{ kg} \times 0,1187 \text{ kg mol}^{-1} \times 144 \text{ K}}{0,600 \text{ kg}} = 11,4 \text{ K kg mol}^{-1}$$

$$K_{kr}(\text{Sn}) = \frac{m(\text{Sn}) \times M(\text{Pb}) \times \Delta T_t}{m(\text{Pb})} = \frac{0,600 \text{ kg} \times 0,2072 \text{ kg mol}^{-1} \times 49 \text{ K}}{0,400 \text{ kg}} = 15,2 \text{ K kg mol}^{-1}$$

7.72. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\Delta T_t = K_{kr} \frac{m_B}{m_A M_B} \quad A = \text{otapalo}, \quad B = \text{otopljena tvar}$$

Pb kao otapalo:

$$\Delta T_t(w_{\text{Sn}}=0,30) = \frac{K_{kr}(\text{Pb}) \times m(\text{Sn})}{m(\text{Pb}) \times M(\text{Sn})} = \frac{11,4 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,30 \text{ kg}}{0,70 \text{ kg} \times 0,1187 \text{ kg mol}^{-1}} \approx 41 \text{ K} \quad t_t \approx (327 - 41) ^\circ\text{C} = 286 ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_t(w_{\text{Sn}}=0,40) = \frac{K_{kr}(\text{Pb}) \times m(\text{Sn})}{m(\text{Pb}) \times M(\text{Sn})} = \frac{11,4 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,40 \text{ kg}}{0,60 \text{ kg} \times 0,1187 \text{ kg mol}^{-1}} \approx 64 \text{ K} \quad t_t \approx (327 - 64) ^\circ\text{C} = 263 ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_t(w_{\text{Sn}}=0,50) = \frac{K_{kr}(\text{Pb}) \times m(\text{Sn})}{m(\text{Pb}) \times M(\text{Sn})} = \frac{11,4 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,50 \text{ kg}}{0,50 \text{ kg} \times 0,1187 \text{ kg mol}^{-1}} \approx 96 \text{ K} \quad t_t \approx (327 - 96) ^\circ\text{C} = 231 ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_t(w_{\text{Sn}}=0,60) = \frac{K_{kr}(\text{Pb}) \times m(\text{Sn})}{m(\text{Pb}) \times M(\text{Sn})} = \frac{11,4 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,60 \text{ kg}}{0,40 \text{ kg} \times 0,1187 \text{ kg mol}^{-1}} \approx 144 \text{ K} \quad t_t \approx 327 - 144) ^\circ\text{C} = 183 ^\circ\text{C}$$

Sn kao otapalo:

$$\Delta T_t(w_{\text{Sn}}=0,60) = \frac{K_{kr}(\text{Sn}) \times m(\text{Pb})}{m(\text{Sn}) \times M(\text{Pb})} = \frac{15,2 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,40 \text{ kg}}{0,60 \text{ kg} \times 0,2072 \text{ kg mol}^{-1}} \approx 49 \text{ K} \quad t_t \approx (232 - 49) ^\circ\text{C} = 183 ^\circ\text{C}$$

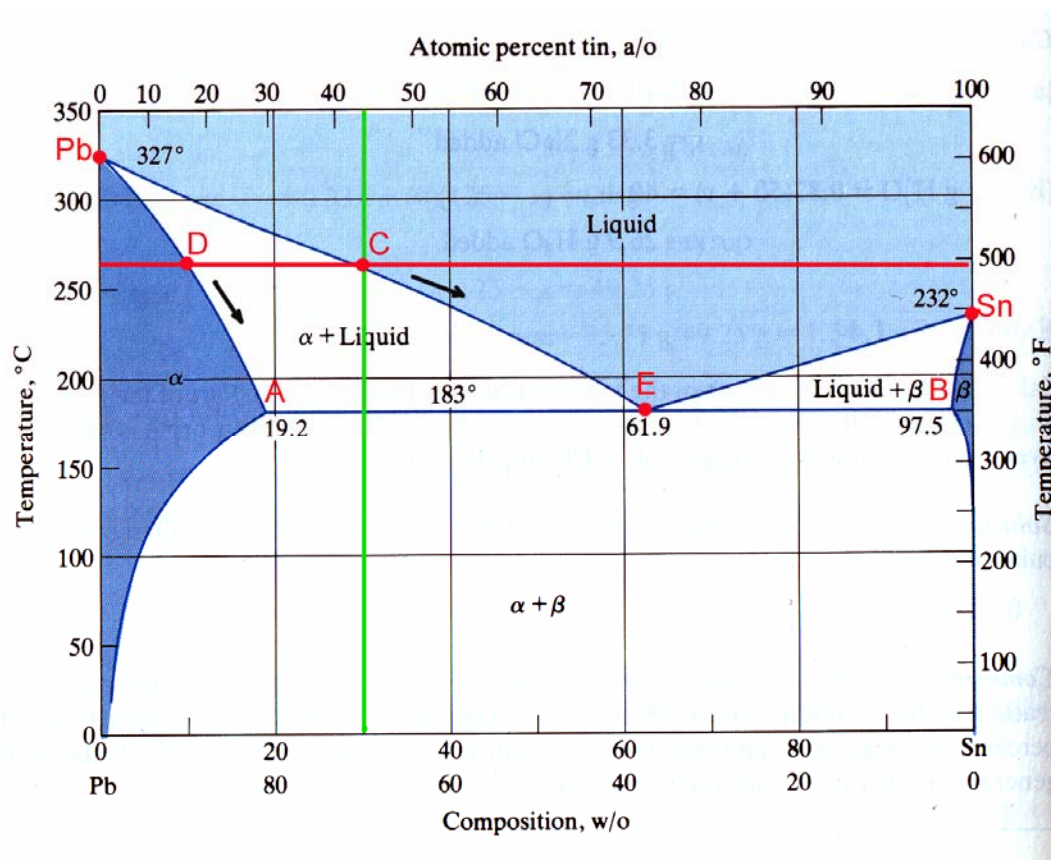
$$\Delta T_t(w_{\text{Sn}}=0,70) = \frac{K_{kr}(\text{Sn}) \times m(\text{Pb})}{m(\text{Sn}) \times M(\text{Pb})} = \frac{15,2 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,30 \text{ kg}}{0,70 \text{ kg} \times 0,2072 \text{ kg mol}^{-1}} \approx 31 \text{ K} \quad t_t \approx (232 - 31) ^\circ\text{C} = 201 ^\circ\text{C}$$

Sljedeća slika prikazuje fazni dijagram olovo - kositrene slitina. Iz dijagrama se može iščitati **početak skrućivanja** talina određenog sastava.

Točka **C** u kojoj se sijeku zelena linija koja odgovara masenom udjelu kositra $w(\text{Sn}) = 0,30$, i krivulja **Pb-E**, (dijeli svjetloplavo i bezbojno područje) pokazuje početak kristalizacije. Mi smo upravo računali tu točku. Usporede li se podatci iz faznog dijagrama i izračunane vrijednosti uočljiva se značajna odstupanja. Očito je da se pri velikim koncentracijama otopljene tvari dobiju samo približne vrijednosti sniženja tališta.

Slitine namaju definirano talište. Pri hlađenju, slitina olova s kositrom kristalizira tako da se izlučuju **kristali mješanci** čiji sastav pokazuje krivulja **Pb-A** (dijeli tamnoplavo i bezbojno područje). Kristali sadržavaju više olova nego talina. Crvena linija temperature **DC** siječe krivulju **Pb-A** u točki **D** i pokazuje da u samom početku kristalizacije kristali olova sadržavaju 10 % kositra. Linija temperature **DC** siječe krivulju **Pb-E** u točki **C** i pokazuje da talina sadržava 30 % kositra.

Zbog izlučivanja kristala s više olova, talina sadržava sve više kositra, pa joj se talište smizuje. Tijekom skrućivanja sastav kristala se mijenja po krivulji **DA**, a sastav taline po krivulju **CE**, kao što je to naznačeno strijelicama. Zbog toga tijekom hlađenja slitina ima svojstva kaše koja se sastoji od kristala s manje kositra i taline s više kositra. Sva se slitina konačno skrutne u točki **E** (eutetik) pri 183°C i sadržava dvije vrste kristala, A i B. Kristali **A** sadržavaju 19,2 % Sn, a kristali **B** 97,5 % Sn. Tijekom daljnjeg hlađenja kristali olova izlučuju kositar, a kristali kositra izlučuju olova. Konačno, pri sobnoj temperaturi slitina se sastoji od zasebnih kristala olova i kositra u polaznom omjeru, 30 % kositra i 70 % olova.



Fazni dijagrami iz različitih literaturnih izvora često se razlikuju.

8. TERMOKEMIJA

8.1. Vidi STEHIOMETRIJA

Primjenimo Dulong-Petitovo pravilo:

Molarni toplinski kapaciteti elemenata u krutom (čvrstom) stanju približno su isti i iznose otprilike $26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

Specifični toplinski kapacitet pri stalnom tlaku definiran je omjerom:

$$c_p = \frac{C_{p,m}}{M}$$

Toplina potrebna za zagrijavanje uzorka bakra mase 250 g je:

$$q = c_p(\text{Cu}) \times m(\text{Cu}) \times \Delta T \approx \frac{C_{p,m}}{M(\text{Cu})} \times m(\text{Cu}) \times \Delta T \approx \frac{0,026 \text{ kJ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{0,06355 \text{ kg mol}^{-1}} \times 0,250 \text{ kg} \times 85 \text{ K} \approx \mathbf{8,694 \text{ kJ}}$$

Masa aluminija koja bi se mogla zagrijati tom toplinom je:

$$m(\text{Al}) = \frac{q \times M(\text{Al})}{C_{p,m} \times \Delta T} \approx \frac{8,694 \text{ kJ} \times 0,027 \text{ kg mol}^{-1}}{0,026 \text{ kJ K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 85 \text{ K}} \approx 0,106 \text{ kg} \approx \mathbf{106 \text{ g}}$$

8.2. Vidi STEHIOMETRIJA

▲ Toplina koja sa željeza prelazi na vodu pri hlađenju s 800 na 50 °C je:

$$q = c_p(\text{Fe}) \times m(\text{Fe}) \times \Delta T \approx \frac{C_{p,m}}{M(\text{Fe})} \times m(\text{Fe}) \times \Delta T \approx \frac{0,026 \text{ kJ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{0,05585 \text{ kg mol}^{-1}} \times 1,0 \text{ kg} \times 750 \text{ K} \approx \mathbf{349 \text{ kJ}}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{q}{c_p(\text{H}_2\text{O}) \times \Delta T} \approx \frac{349 \text{ kJ}}{4,182 \text{ kJ K}^{-1} \text{ kg}^{-1} \times 30 \text{ K}} \approx \mathbf{2,78 \text{ kg}}$$

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

8.3. Vidi STEHIOMETRIJA

Toplina potrebna za zagrijavanje vode je:

$$q = c_p(\text{H}_2\text{O}) \times m(\text{H}_2\text{O}) \times \Delta T = 4,182 \text{ kJ K}^{-1} \text{ kg}^{-1} \times 80 \text{ kg} \times 65 \text{ K} = \mathbf{21\,746 \text{ kJ}}$$

$$V(\text{plin}) = \frac{q}{\text{kalorična moć} \times \text{iskorištenje}} = \frac{21\,746 \text{ kJ}}{16\,750 \text{ kJ m}^{-3} \times 0,60} \approx \mathbf{2,16 \text{ m}^3}$$

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

8.4. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\begin{aligned}
 q &= [c_p(\text{Fe}) \times m(\text{Fe}) + c_p(\text{H}_2\text{O}) \times m(\text{H}_2\text{O})] \times \Delta T \\
 &= \left[\frac{C_{p,m}}{M(\text{Fe})} \times m(\text{Fe}) + c_p(\text{H}_2\text{O}) \times m(\text{H}_2\text{O}) \right] \times \Delta T \\
 &= \left[\frac{0,026 \text{ kJ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{0,05585 \text{ kg mol}^{-1}} \times 30 \text{ kg} + 4,182 \text{ kJ K}^{-1} \text{ kg}^{-1} \times 100 \text{ kg} \right] \times 65 \text{ K} = \mathbf{28\,091 \text{ kJ}}
 \end{aligned}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

$$E = \frac{28,091 \times 10^6 \text{ J}}{3,6 \times 10^6 \text{ J kWh}^{-1}} = \mathbf{7,803 \text{ kWh}}$$

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

8.5. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\begin{aligned}
 q &= [c_p(\text{Cu}) \times m(\text{Cu}) + c_p(\text{H}_2\text{O}) \times m(\text{H}_2\text{O})] \times \Delta T \\
 &= \left[\frac{C_{p,m}}{M(\text{Cu})} \times m(\text{Cu}) + c_p(\text{H}_2\text{O}) \times m(\text{H}_2\text{O}) \right] \times \Delta T \\
 &= \left[\frac{0,026 \text{ kJ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{0,06355 \text{ kg mol}^{-1}} \times 1 \text{ kg} + 4,182 \text{ kJ K}^{-1} \text{ kg}^{-1} \times 2,5 \text{ kg} \right] \times 6 \text{ K} = \mathbf{65,18 \text{ kJ}}
 \end{aligned}$$

$$\text{Ogrijevna vrijednost ugljena} = \frac{65,18 \text{ kJ}}{0,002 \text{ kg}} \approx \mathbf{32\,600 \text{ kJ kg}^{-1}}$$

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

8.6. Vidi STEHIOMETRIJA

$$E_p = E_k = q = m g h = 1 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m s}^{-2} \times 10 \text{ m} = 98 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} = 98 \text{ J}$$

Specifični toplinski kapacitet željeza izračunat ćemo primjenom Dulong-Petitova pravila

$$c_p(\text{Fe}) = \frac{C_{p,m}}{M(\text{Fe})}$$

Odavde proizlazi:

$$\Delta T(\text{Fe}) = \frac{q}{c_p(\text{Fe}) \times m(\text{Fe})} = \frac{q \times M(\text{Fe})}{C_{p,m} \times m(\text{Fe})} = \frac{98 \text{ J} \times 55,85 \text{ g mol}^{-1}}{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 1000 \text{ g}} = \mathbf{0,21 \text{ K}}$$

$$\Delta T(\text{Cu}) = \frac{q}{c_p(\text{Cu}) \times m(\text{Cu})} = \frac{q \times M(\text{Cu})}{C_{p,m} \times m(\text{Cu})} = \frac{98 \text{ J} \times 63,55 \text{ g mol}^{-1}}{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 1000 \text{ g}} = \mathbf{0,24 \text{ K}}$$

$$\Delta T(\text{Al}) = \frac{q}{c_p(\text{Al}) \times m(\text{Al})} = \frac{q \times M(\text{Al})}{C_{p,m} \times m(\text{Al})} = \frac{98 \text{ J} \times 27 \text{ g mol}^{-1}}{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 1000 \text{ g}} = \mathbf{0,10 \text{ K}}$$

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

8.7. Vidi STEHIOMETRIJA

Primjenimo Dulong-Petitovo pravilo da bismo doznali približnu vrijednost relativne atomske mase elementa E.

Formatted: Portuguese (Brazil)

$$c_p(E) = \frac{C_{p,m}}{M(E)}$$

Odavde proizlazi:

$$M(E) = \frac{C_{p,m}}{c_p(E)} = \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{0,235 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}} \approx 111 \text{ g mol}^{-1}$$

Formatted: Portuguese (Brazil)

Maseni udio kisika u oksidu je 6,9 %. Prema tome maseni udio metala u tom oksidu je 93,1 %.

$$N(E) : N(O) = \frac{w(E)}{M_r(E)} : \frac{w(O)}{M_r(O)} = \frac{93,1}{111} : \frac{6,9}{16} = 0,84 : 0,43 = 2 : 1$$

Formula oksida tog elementa je **E₂O**.

Odavde proizlazi:

$$\frac{w(E)}{2 \times M_r(E)} = \frac{w(O)}{M_r(O)}$$

Formatted: Portuguese (Brazil)

$$M_r(E) = \frac{w(E) \times M_r(O)}{2 \times w(O)} = \frac{93,1 \times 16}{2 \times 6,9} = \mathbf{107,9}$$

Ag₂O

8.8. Vidi STEHIOMETRIJA

Postupamo na sličan način kao u zadatku 8.7.

Formatted: Portuguese (Brazil)

$$M(E) = \frac{C_{p,m}}{c_p(E)} = \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{0,12 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}} \approx 216 \text{ g mol}^{-1}$$

$$N(E) : N(O) = \frac{w(E)}{M_r(E)} : \frac{w(O)}{M_r(O)} = \frac{92,83}{216} : \frac{7,17}{16} = 0,43 : 0,45 = 1 : 1$$

EO

Formatted: Portuguese (Brazil)

$$N(E) : N(O) = \frac{w(E)}{M_r(E)} : \frac{w(O)}{M_r(O)} = \frac{86,62}{216} : \frac{13,38}{16} = 0,40 : 0,84 = 1 : 2$$

EO₂

Formatted: Portuguese (Brazil)

$$M_r(E) = \frac{w(E) \times M_r(O)}{w(O)} = \frac{92,83 \times 16}{7,17} = \mathbf{207,15}$$

PbO

$$M_r(E) = \frac{w(E) \times 2 \times M_r(O)}{w(O)} = \frac{86,62 \times 2 \times 16}{13,38} = \mathbf{207,16}$$

PbO₂

8.9. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije toplinu koju je uzorak metala predao vodi kalorimetra.

$$q = c_p(\text{H}_2\text{O}) \times m(\text{H}_2\text{O}) \times \Delta T = 4,182 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 250 \text{ g} \times 1,65 \text{ K} = 1725 \text{ J}$$

$$c_p(\text{E}) = \frac{q}{m(\text{E}) \times \Delta T} = \frac{1725 \text{ J}}{50 \text{ g} \times 78,35 \text{ K}} = 0,440 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$$

$$M(\text{E}) = \frac{C_{p,m}}{c_p(\text{E})} = \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{0,440 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}} \approx 59 \text{ g mol}^{-1}$$

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

8.10. Vidi STEHIOMETRIJA

Računano po Koppovu pravilu:

$$C_{p,m}(\text{NaCl}) = C_{p,m}(\text{Na}) + C_{p,m}(\text{Cl}) = (26 + 26) \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 52 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$C_{p,m}(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 2C_{p,m}(\text{N}) + 4C_{p,m}(\text{H}) + 3C_{p,m}(\text{O}) = (26 + 40 + 54) \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 120 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$C_{p,m}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 2C_{p,m}(\text{C}) + 6C_{p,m}(\text{H}) + C_{p,m}(\text{O}) = (16 + 60 + 18) \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 94 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$C_{p,m}(\text{C}_6\text{H}_6) = 6C_{p,m}(\text{C}) + 6C_{p,m}(\text{H}) = (48 + 60) \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 108 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

Opažno:

$$C_{p,m}(\text{NaCl}) = c_p(\text{NaCl}) \times M(\text{NaCl}) = 0,854 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 58,44 \text{ g mol}^{-1} = 49,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$C_{p,m}(\text{NH}_4\text{NO}_3) = c_p(\text{NH}_4\text{NO}_3) \times M(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 2,14 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 80,04 \text{ g mol}^{-1} = 171 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$C_{p,m}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = c_p(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \times M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 2,35 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 46,07 \text{ g mol}^{-1} = 108 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$C_{p,m}(\text{C}_6\text{H}_6) = c_p(\text{C}_6\text{H}_6) \times M(\text{C}_6\text{H}_6) = 1,67 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 78,11 \text{ g mol}^{-1} = 130 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

8.11. Vidi STEHIOMETRIJA

Računano po Koppovu pravilu:

$$C_{p,m}(\text{KCl}) = C_{p,m}(\text{K}) + C_{p,m}(\text{Cl}) = (26 + 26) \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 52 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$C_{p,m}(\text{KNO}_3) = C_{p,m}(\text{K}) + C_{p,m}(\text{N}) + 3C_{p,m}(\text{O}) = (26 + 13 + 54) \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 93 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$C_{p,m}(\text{NaNO}_3) = C_{p,m}(\text{Na}) + C_{p,m}(\text{N}) + 3C_{p,m}(\text{O}) = (26 + 13 + 54) \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 93 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$C_{p,m}(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 2C_{p,m}(\text{Na}) + C_{p,m}(\text{S}) + 4C_{p,m}(\text{O}) = (52 + 26 + 72) \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 150 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

Opaženo:

$$C_{p,m}(\text{KCl}) = c_p(\text{KCl}) \times M(\text{KCl}) = 0,71 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 74,56 \text{ g mol}^{-1} = 53 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$C_{p,m}(\text{KNO}_3) = c_p(\text{KNO}_3) \times M(\text{KNO}_3) = 0,96 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 101,11 \text{ g mol}^{-1} = 97 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$C_{p,m}(\text{NaNO}_3) = c_p(\text{NaNO}_3) \times M(\text{NaNO}_3) = 1,13 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 84,99 \text{ g mol}^{-1} = 96 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$C_{p,m}(\text{Na}_2\text{SO}_4) = c_p(\text{Na}_2\text{SO}_4) \times M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,96 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 142,04 \text{ g mol}^{-1} = 136 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

8.12. Vidi STEHIOMETRIJA

$$c_p(\text{H}_2\text{O}) = 4,182 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$$

$$C_{p,m}(\text{H}_2\text{O}) = 4,182 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 18 \text{ g mol}^{-1} = 75,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$q = \frac{C_{p,m}(\text{H}_2\text{O})}{N_A} \times \Delta T = \frac{75,3 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \times 1 \text{ K} = 1,25 \times 10^{-22} \text{ J}$$

Formatted: Portuguese
(Brazil)

8.13. Vidi STEHIOMETRIJA

CO_2 - molekula linearne građe, $C_{V,m} \approx 20,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$$c_v(\text{CO}_2) = \frac{C_{V,m}}{M(\text{CO}_2)} = \frac{20,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{44 \text{ g mol}^{-1}} \approx 0,473 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$$

NO - molekula linearne građe, $C_{V,m} \approx 20,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$$c_v(\text{NO}) = \frac{C_{V,m}}{M(\text{NO})} = \frac{20,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{30 \text{ g mol}^{-1}} \approx 0,693 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$$

Formatted: Portuguese
(Brazil)

N_2O - molekula linearne građe, $C_{V,m} \approx 20,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$$c_v(\text{N}_2\text{O}) = \frac{C_{V,m}}{M(\text{N}_2\text{O})} = \frac{20,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{44 \text{ g mol}^{-1}} \approx 0,473 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$$

C_2H_4 - molekula nelinearne građe, $C_{V,m} \approx 24,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$$c_v(\text{C}_2\text{H}_4) = \frac{C_{V,m}}{M(\text{C}_2\text{H}_4)} = \frac{24,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{28 \text{ g mol}^{-1}} \approx 0,889 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$$

8.14. Vidi STEHIOMETRIJA

NH_3 - molekula nelinearne građe, $C_{V,m} \approx 24,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$$c_v(\text{NH}_3) = \frac{C_{V,m}}{M(\text{NH}_3)} = \frac{24,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{17 \text{ g mol}^{-1}} \approx 1,46 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$$

Formatted: Portuguese
(Brazil)

CH_4 - molekula nelinearne građe, $C_{V,m} \approx 24,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$$c_v(\text{CH}_4) = \frac{C_{V,m}}{M(\text{CH}_4)} = \frac{24,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{16 \text{ g mol}^{-1}} \approx 1,55 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$$

NO_2 - molekula nelinearne građe, $C_{V,m} \approx 24,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$$c_v(\text{NO}_2) = \frac{C_{V,m}}{M(\text{NO}_2)} = \frac{24,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{46 \text{ g mol}^{-1}} \approx 0,54 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$$

8.15. Vidi STEHIOMETRIJA

Primjenimo Dulong-Petitovo pravilo:

$$c_p(E) \approx \frac{C_{p,m}}{M(E)}$$

Formatted: Portuguese
(Brazil)

$$c_p(\text{Al}) \approx \frac{C_{p,m}}{M(\text{Al})} \approx \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{27 \text{ g mol}^{-1}} \approx \mathbf{0,963 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}}$$

$$c_p(\text{Cu}) \approx \frac{C_{p,m}}{M(\text{Cu})} \approx \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{63,55 \text{ g mol}^{-1}} \approx \mathbf{0,409 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}}$$

$$c_p(\text{Zn}) \approx \frac{C_{p,m}}{M(\text{Zn})} \approx \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{65,41 \text{ g mol}^{-1}} \approx \mathbf{0,397 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}}$$

$$c_p(\text{Cr}) \approx \frac{C_{p,m}}{M(\text{Cr})} \approx \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{52,00 \text{ g mol}^{-1}} \approx \mathbf{0,500 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}}$$

$$c_p(\text{Mg}) \approx \frac{C_{p,m}}{M(\text{Mg})} \approx \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{24,31 \text{ g mol}^{-1}} \approx \mathbf{1,069 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}}$$

$$c_p(\text{Ni}) \approx \frac{C_{p,m}}{M(\text{Ni})} \approx \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{58,69 \text{ g mol}^{-1}} \approx \mathbf{0,443 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}}$$

$$c_p(\text{Pb}) \approx \frac{C_{p,m}}{M(\text{Pb})} \approx \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{207,2 \text{ g mol}^{-1}} \approx \mathbf{0,125 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}}$$

$$c_p(\text{Ag}) \approx \frac{C_{p,m}}{M(\text{Ag})} \approx \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{107,9 \text{ g mol}^{-1}} \approx \mathbf{0,241 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}}$$

$$c_p(\text{Au}) \approx \frac{C_{p,m}}{M(\text{Au})} \approx \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{197,0 \text{ g mol}^{-1}} \approx \mathbf{0,132 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}}$$

8.16. Vidi STEHIOMETRIJA

Veći specifični toplinski kapacitet ima metal s manjom molarnom masom. Od nabrojanih parova to su: Na, Ti, Cr, Fe, Al.

Formatted: Portuguese
(Brazil)

8.17. Vidi STEHIOMETRIJA

$$M(E) = \frac{C_{p,m}}{c_p(E)} = \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{0,121 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}} \approx \mathbf{215 \text{ g mol}^{-1}}$$

Formatted: Portuguese
(Brazil)

8.18. Vidi STEHIOMETRIJA

▲ Vidi zadatak 8.7.

$$M(E) = \frac{C_{p,m}}{c_p(E)} = \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{0,210 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}} \approx 124 \text{ g mol}^{-1}$$

$$N(E) : N(O) = \frac{w(E)}{M_r(E)} : \frac{w(O)}{M_r(O)} = \frac{83,53}{124} : \frac{16,47}{16} = 0,67 : 1,03 = 1 : 1,5 = 2 : 3$$

Formula oksida tog elementa je **E₂O₃**.

Odavde proizlazi:

$$\frac{w(E)}{2 \times M_r(E)} = \frac{w(O)}{3 M_r(O)}$$

$$M_r(E) = \frac{w(E) \times 3 M_r(O)}{2 \times w(O)} = \frac{83,53 \times 3 \times 16}{2 \times 16,47} = \mathbf{121,72}$$



Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

8.19. Vidi STEHIOMETRIJA

Primjenimo Dulong-Petitovo pravilo

$$M(E) = \frac{C_{p,m}}{c_p(E)} = \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{1,05 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}} \approx 25 \text{ g mol}^{-1}$$

Izračunajmo masene udjele i odredimo formulu oksida.

masa oksida	4,037 g
– masa metala	2,432 g
masa kisika	1,600 g

$$w(E) = \frac{m(\text{metal})}{m(\text{oksid})} = \frac{2,432 \text{ g}}{4,037 \text{ g}} = 0,6024 = 60,24 \%$$

$$w(O) = \frac{m(\text{kisik})}{m(\text{oksid})} = \frac{1,600 \text{ g}}{4,037 \text{ g}} = 0,3963 = 39,63 \%$$

$$N(E) : N(O) = \frac{w(E)}{M_r(E)} : \frac{w(O)}{M_r(O)} = \frac{60,24}{25} : \frac{39,63}{16} = 2,4 : 2,5 \approx 1 : 1$$

$$M_r(E) = \frac{w(E) \times M_r(O)}{w(O)} = \frac{60,24 \times 16}{39,63} = \mathbf{24,32}$$



Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

8.20. Vidi STEHIOMETRIJA

$$w(E) = \frac{m(\text{metal})}{m(\text{oksid})} = \frac{0,5394 \text{ g}}{1,0194 \text{ g}} = 0,5291 = 52,91 \%$$

Formatted: Portuguese
(Brazil)

$$w(O) = 1 - w(E) = 1 - 0,5291 = 0,4709 = 47,09 \%$$

$$M_r(E) = \frac{w(E) \times 3M_r(O)}{2 \times w(O)} = \frac{52,91 \times 3 \times 16}{2 \times 47,09} = \mathbf{26,97} \quad \mathbf{Al_2O_3}$$

$$c_p(E) \approx \frac{C_{p,m}}{M(E)} \approx \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{26,97 \text{ g mol}^{-1}} \approx \mathbf{0,964 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}}$$

8.21. Vidi STEHIOMETRIJA

$$M(E) \approx \frac{C_{p,m}}{c_p(E)} \approx \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{0,385 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}} \approx 67,5 \text{ g mol}^{-1}$$

$$m(\text{SO}_4^{2-}, 7\text{H}_2\text{O}) = 28,755 \text{ g} - 6,537 \text{ g} = 22,218 \text{ g}$$

$$M(\text{SO}_4^{2-}, 7\text{H}_2\text{O}) = (96 + 7 \times 18) \text{ g mol}^{-1} = 222 \text{ g mol}^{-1}$$

$$n(\text{SO}_4^{2-}, 7\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{SO}_4^{2-}, 7\text{H}_2\text{O})}{M(\text{SO}_4^{2-}, 7\text{H}_2\text{O})} = \frac{22,218 \text{ g}}{222 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{0,1 \text{ mol}} \quad \mathbf{ESO_4 \cdot 7H_2O}$$

$$M(E) = \frac{m(E)}{n(E)} = \frac{6,537 \text{ g}}{0,1 \text{ mol}} = \mathbf{65,37 \text{ g mol}^{-1}}$$

8.22. Vidi STEHIOMETRIJA

$$w(E) = 1 - w(O) = 1 - 0,368 = 0,632 = 63,2 \%$$

$$N(E) : N(O) = \frac{w(E)}{M_r(E)} : \frac{w(O)}{M_r(O)} = \frac{63,2}{M_r(E)} : \frac{36,8}{16} = 1 : 2$$

Odavde proizlazi

$$M_r(E) = \frac{w(E) \times 2M_r(O)}{w(O)} = \frac{63,2 \times 2 \times 16}{36,8} = \mathbf{54,96} \quad \mathbf{MnO_2}$$

$$c_p(E) \approx \frac{C_{p,m}}{M(E)} \approx \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{54,96 \text{ g mol}^{-1}} \approx \mathbf{0,473 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}}$$

8.23. Vidi STEHIOMETRIJA

$$M(E) \approx \frac{C_{p,m}}{c_p(E)} \approx \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{0,115 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}} \approx 226 \text{ g mol}^{-1}$$

$$m(\text{Cl}) = m(\text{klorid}) - m(E) = 114,82 \text{ g} - 79,36 \text{ g} = 35,46 \text{ g}$$

$$n(\text{Cl}) = \frac{m(\text{Cl})}{M(\text{Cl})} = \frac{35,46 \text{ g}}{35,45 \text{ g mol}^{-1}} = 0,1 \text{ mol}$$

Na osnovi specifičnog toplinskog kapaciteta izračunali smo da je molarna masa metala približno jednaka 226 g mol^{-1} . Na temelju tog podatka možemo izračunati množinu metala u spoju, pa dobivamo.

$$n(E) = \frac{m(E)}{M(E)} = \frac{79,36 \text{ g}}{226 \text{ g mol}^{-1}} \approx 0,35 \text{ mol}$$

Očito je da je metal trovalentan jer na 0,1 mol klora dolaze 0,33 mola metala. Prema tome molarna masa istraživanih metala je:

$$M(E) = \frac{m(E)}{n(E)} = \frac{79,36 \text{ g}}{0,3333 \text{ mol}} = \mathbf{238,1 \text{ g mol}^{-1}} \quad \mathbf{UCl_3}$$

8.24. Vidi STEHIOMETRIJA

$$M(E) \approx \frac{C_{p,m}}{c_p(E)} \approx \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{0,185 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}} \approx 140 \text{ g mol}^{-1}$$

Za množine metala i sulfatnih iona u spoju dobivamo:

$$n(E) = \frac{m(E)}{M(E)} = \frac{42,2 \text{ g}}{140 \text{ g mol}^{-1}} = 0,301 \text{ mol}$$

$$w(\text{SO}_4^{2-}) = 1 - w(E) = 1 - 0,422 = 0,578 = 57,8 \%$$

$$n(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{m(\text{SO}_4^{2-})}{M(\text{SO}_4^{2-})} = \frac{57,8 \text{ g}}{96 \text{ g mol}^{-1}} = 0,602 \text{ mol}$$

Očito je da na 1 mol metala dolaze dva mola sulfatnih iona, pa je formula istraživanih sulfata $E(\text{SO}_4)_2$. Iz podataka u periodnom sustavu elemenata možemo zaključiti da je istraživani spoj cerijev(IV) sulfat, **Ce(SO₄)₂**.

8.25. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz kinetičke teorije plinova proizlazi da se **molarna kinetička energija** čestica plina može iskazati jednadžbom:

$$E_{k,m} = \frac{3}{2} R T$$

Kako je kinetička energija čestice u gibanju definirana jednadžbom:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

za srednju molarnu kinetičku energiju čestica plina možemo uzeti da je jednaka:

$$E_{k,m} = \frac{1}{2} M v^2$$

gdje je M - molarna masa plina, v - prosječna brzina molekula plina

Supstitucijom dobivamo:

$$\frac{1}{2} M v^2 = \frac{3}{2} R T$$

Odavde proizlazi:

$$v = \sqrt{\frac{3 R T}{M}} = \sqrt{\frac{3 \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293,15 \text{ K}}{0,032 \text{ kg mol}^{-1}}}$$
$$= 478 \text{ m s}^{-1}$$

Važno upozorenje: Zbog teškoća oko pisanja matematičkih izraza u daljnjem će tekstu izrazi pod korijenom biti pisani crveno. Primjerice gornji izraz bit će napisan u sljedećem obliku:

$$v(\text{O}_2) = \sqrt{\frac{3 R T}{M}} = \sqrt{\frac{3 \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293,15 \text{ K}}{0,032 \text{ kg mol}^{-1}}}$$

Znak za korijen odnosi se na cijeli izraz označen crvenom bojom.

8.26. Vidi STEHIOMETRIJA

$$v(\text{H}_2) = \sqrt{\frac{3 R T}{M}} = \sqrt{\frac{3 \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 273,15 \text{ K}}{0,002 \text{ kg mol}^{-1}}} = 1845 \text{ m s}^{-1}$$

$$T(\text{O}_2) = \frac{v^2 \times M}{3 R} = \frac{(1845 \text{ m s}^{-1})^2 \times 0,032 \text{ kg}}{3 \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}} = 4367 \text{ K}$$

8.27. Vidi STEHIOMETRIJA

$$E_{k,m} = \frac{5}{2} R T = \frac{5}{2} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300,15 \text{ K} \approx 6240 \text{ J mol}^{-1}$$

$$q = \frac{5}{2} R \times (T_k - T_p) = \frac{5}{2} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times (600 - 300 \text{ K}) \approx \mathbf{6240 \text{ J mol}^{-1}}$$

8.28. Vidi STEHIOMETRIJA

$$v_r(\text{CO}, \text{H}_2) = \sqrt{\frac{M_r(\text{H}_2)}{M_r(\text{CO})}} = \sqrt{\frac{2}{28}} \approx 0,267$$

$$v_r(\text{CO}_2, \text{H}_2) = \sqrt{\frac{M_r(\text{H}_2)}{M_r(\text{CO}_2)}} = \sqrt{\frac{2}{44}} \approx 0,213$$

$$v_r(\text{NO}_2, \text{H}_2) = \sqrt{\frac{M_r(\text{H}_2)}{M_r(\text{NO}_2)}} = \sqrt{\frac{2}{46}} \approx 0,208$$

8.29. Vidi STEHIOMETRIJA

$$v(\text{H}_2) = \sqrt{\frac{3 R T}{M}}$$

Da bi prosječna brzina molekula plina porasla dva puta, temperatura mora porasti **četiri puta**, jer se temperatura, T , nalazi u brojniku pod drugim korijenom jednačbe kojom izračunavamo prosječnu brzinu molekula.

8.30. Vidi STEHIOMETRIJA

$$v(\text{CO}_2) = \sqrt{\frac{3 R T}{M(\text{CO}_2)}} = \sqrt{\frac{3 \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300,15 \text{ K}}{0,044 \text{ kg mol}^{-1}}} \approx \mathbf{412 \text{ m s}^{-1}}$$

$$v(\text{N}_2) = \sqrt{\frac{3 R T}{M(\text{N}_2)}} = \sqrt{\frac{3 \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300,15 \text{ K}}{0,028 \text{ kg mol}^{-1}}} \approx \mathbf{517 \text{ m s}^{-1}}$$

$$E_{k,m} = \frac{5}{2} R T = \frac{5}{2} \times 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300,15 \text{ K} \approx \mathbf{6240 \text{ J mol}^{-1}}$$

Molarna toplotina dvoatomnih plinova je:

$$C_{V,m} = \frac{5}{2} R = 20,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$c_v(\text{CO}_2) = \frac{C_{V,m}}{M(\text{CO}_2)} = \frac{20,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{44 \text{ g mol}^{-1}} \approx \mathbf{0,472 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}}$$

$$c_v(\text{N}_2) = \frac{C_{V,m}}{M(\text{N}_2)} = \frac{20,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{28 \text{ g mol}^{-1}} \approx \mathbf{0,743 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}}$$

8.31. Vidi STEHIOMETRIJA

Pri stalnoj temperaturi prosječna brzina kretanja molekula plina ne ovisi o volumenu plina.

8.34. Vidi STEHIOMETRIJA

Pri stalnoj temperaturi ($3 R T = \text{konst}$) prosječna brzina kretanja molekula obrnuto je proporcionalna drugom korijenu njihove mase.

$$v(\text{H}_2) : v(\text{O}_2) = \sqrt{M(\text{O}_2)} : \sqrt{M(\text{H}_2)}$$

8.35. Vidi STEHIOMETRIJA

Vidi zadatak 8.34. Omjer relativnih molekulskih masa tih plinova je **1 : 4**.

8.36. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\begin{aligned} \text{C(grafit)} + \text{O}_2(\text{g}) &\rightarrow \text{CO}_2(\text{g}); & \Delta_f H^\circ(298,15 \text{ K}) &= -393,51 \text{ kJ mol}^{-1} \\ m(\text{C}) &= \frac{100\,000 \text{ kJ} \times 0,012 \text{ kg mol}^{-1}}{393,5 \text{ kJ mol}^{-1}} = \mathbf{3,049 \text{ kg}} \end{aligned}$$

8.37. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\begin{aligned} \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) &\rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g}); & \Delta_f H^\circ(298,15 \text{ K}) &= -241,8 \text{ kJ mol}^{-1} \\ q &= \frac{241,8 \text{ kJ mol}^{-1} \times 1 \text{ kg}}{0,018 \text{ kg mol}^{-1}} = \mathbf{13\,433 \text{ kJ}} \end{aligned}$$

8.38. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\begin{aligned} \text{Mg(s)} + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) &\rightarrow \text{MgO(s)}; & \Delta_f H^\circ(298,15 \text{ K}) &= -601,6 \text{ kJ mol}^{-1} \\ q &= \frac{601,6 \text{ kJ mol}^{-1} \times 1 \text{ kg}}{0,0243 \text{ kg mol}^{-1}} = \mathbf{24\,757 \text{ kJ}} \end{aligned}$$

8.39. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\begin{aligned} \text{Ca(s)} + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) &\rightarrow \text{CaO(s)}; & \Delta_f H^\circ(298,15 \text{ K}) &= -634,9 \text{ kJ mol}^{-1} \\ q &= \frac{634,9 \text{ kJ mol}^{-1} \times 1 \text{ kg}}{0,040 \text{ kg mol}^{-1}} = \mathbf{15\,872 \text{ kJ}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mg(s)} + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) &\rightarrow \text{MgO(s)}; & \Delta_f H^\circ(298,15 \text{ K}) &= -601,6 \text{ kJ mol}^{-1} \\ q &= \frac{601,6 \text{ kJ mol}^{-1} \times 1 \text{ kg}}{0,0243 \text{ kg mol}^{-1}} = \mathbf{24\,757 \text{ kJ}} \end{aligned}$$

Spaljivanjem magnezija oslobodi se **1,56 puta** više topline nego spaljivanjem jednake mase kalcija.

8.40. Vidi STEHIOMETRIJA

$$q = \frac{-\Delta_r H \times m(\text{Fe})}{M(2 \text{ Fe})} = \frac{824,2 \text{ kJ mol}^{-1} \times 1 \text{ kg}}{2 \times 0,0558 \text{ kg mol}^{-1}} = \mathbf{7385 \text{ kJ}}$$

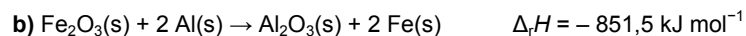
8.41. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz tablice 13.5. doznajemo:



$$M(\text{smjesa}) = M(\text{Zn}) + M(\text{S}) = 65,41 \text{ g mol}^{-1} + 32,06 \text{ g mol}^{-1} = 97,47 \text{ g mol}^{-1}$$

$$q = \frac{-\Delta_r H}{M(\text{smjesa})} = \frac{206,0 \text{ kJ mol}^{-1}}{97,47 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{2,11 \text{ kJ g}^{-1}}$$



$$M(\text{smjesa}) = M(\text{Fe}_2\text{O}_3) + M(2 \text{ Al}) = 159,69 \text{ g mol}^{-1} + 53,96 \text{ g mol}^{-1} = 213,65 \text{ g mol}^{-1}$$

$$q = \frac{-\Delta_r H}{M(\text{smjesa})} = \frac{851,5 \text{ kJ mol}^{-1}}{213,65 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{3,98 \text{ kJ g}^{-1}}$$

8.42. Vidi STEHIOMETRIJA

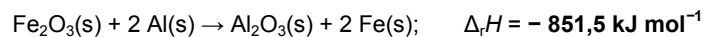
$$q = w(\text{C}) \times (-\Delta_f H(\text{CO}_2)) \times \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = 0,96 \times 393,51 \text{ kJ mol}^{-1} \times \frac{1000 \text{ g}}{12 \text{ g mol}^{-1}} = \mathbf{31\,480 \text{ kJ kg}^{-1}}$$

8.43. Vidi STEHIOMETRIJA

$$q = \frac{-\Delta_r H \times m(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O})}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O})} = \frac{78,8 \text{ kJ mol}^{-1} \times 1 \text{ kg}}{0,3222 \text{ kg mol}^{-1}} = \mathbf{244 \text{ kJ}}$$

8.44. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\begin{aligned}
\Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\
&= \Delta_f H^\circ(\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})) - \Delta_f H^\circ(\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})) \\
&= (-1675,7 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-824,2 \text{ kJ mol}^{-1}) \\
&= -851,5 \text{ kJ mol}^{-1},
\end{aligned}$$



Entalpije nastajanja tvari u elementarnom stanju jednake su nuli. Zato se ne pojavljuju u izrazu kojim se izračunava reakcijska entalpija.

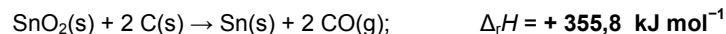
$$t.f(\text{Fe}) = 1535 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$q = c_{p,m}(\text{Fe}) \times \Delta T = 0,026 \text{ kJ K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 1535 \text{ K} \approx 40 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Oslobođena toplina višestruko je puta veća od topline potrebne za postizanje temperature tališta željeza?

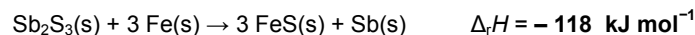
8.45. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\begin{aligned}
\Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\
&= \Delta_f H^\circ(2 \text{ CO}(\text{g})) - \Delta_f H^\circ(\text{SnO}_2(\text{s})) \\
&= (-221,8 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-577,6 \text{ kJ mol}^{-1}) \\
&= +355,8 \text{ kJ mol}^{-1}
\end{aligned}$$

**8.46. Vidi STEHIOMETRIJA**

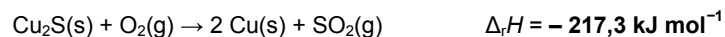
a)

$$\begin{aligned}
\Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\
&= \Delta_f H^\circ(3 \text{ FeS}(\text{s})) - \Delta_f H^\circ(\text{Sb}_2\text{S}_3(\text{s})) \\
&= (-300 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-182 \text{ kJ mol}^{-1}) \\
&= -118 \text{ kJ mol}^{-1}
\end{aligned}$$



b)

$$\begin{aligned}
\Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\
&= \Delta_f H^\circ(\text{SO}_2(\text{g})) - \Delta_f H^\circ(\text{Cu}_2\text{S}(\text{s})) \\
&= (-296,8 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-79,5 \text{ kJ mol}^{-1}) \\
&= -217,3 \text{ kJ mol}^{-1}
\end{aligned}$$



c)

$$\begin{aligned}\Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkty}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= \Delta_f H^\circ(\text{SO}_2(\text{g})) + \Delta_f H^\circ(2 \text{ CuO}(\text{s})) - \Delta_f H^\circ(\text{Cu}_2\text{S}(\text{s})) \\ &= (-296,8 \text{ kJ mol}^{-1} - 314,6 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-79,5 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= -531,9 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

$$\text{Cu}_2\text{S}(\text{s}) + 2 \text{ O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{ CuO}(\text{s}) + \text{SO}_2(\text{g}), \quad \Delta_r H = -531,9 \text{ kJ mol}^{-1}$$

d)

$$\begin{aligned}\Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkty}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= \Delta_f H^\circ(2 \text{ SO}_2(\text{g})) + \Delta_f H^\circ(2 \text{ ZnO}(\text{s})) - \Delta_f H^\circ(2 \text{ ZnS}(\text{s})) \\ &= (-593,6 \text{ kJ mol}^{-1} - 701,0 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-412,0 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= -882,6 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

$$2 \text{ ZnS}(\text{s}) + 3 \text{ O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{ ZnO}(\text{s}) + 2 \text{ SO}_2(\text{g}), \quad \Delta_r H = -882,6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

e)

$$\begin{aligned}\Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkty}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= (\Delta_f H^\circ(3 \text{ H}_2(\text{g})) + \Delta_f H^\circ(\text{N}_2(\text{g}))) - \Delta_f H^\circ(2 \text{ NH}_3(\text{g})) \\ &= (0 \text{ kJ mol}^{-1} + 0 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-91,8 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= +91,8 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

$$2 \text{ NH}_3(\text{g}) \rightarrow 3 \text{ H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \quad \Delta_r H = +91,8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

f)

$$\begin{aligned}\Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkty}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= \Delta_f H^\circ(2 \text{ Al}_2\text{O}_3(\text{s})) - \Delta_f H^\circ(3 \text{ MnO}_2(\text{s})) \\ &= (-3351,4 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-1560,0 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= -1791,4 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

$$3 \text{ MnO}_2(\text{s}) + 4 \text{ Al}(\text{s}) \rightarrow 2 \text{ Al}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3 \text{ Mn}(\text{s}) \quad \Delta_r H = -1791,4 \text{ kJ mol}^{-1}$$

g)

$$\begin{aligned}\Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkty}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= \Delta_f H^\circ(3 \text{ CO}_2(\text{g})) - (\Delta_f H^\circ(3 \text{ CO}(\text{g})) + \Delta_f H^\circ(\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}))) \\ &= (-1180,5 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-332,7 \text{ kJ mol}^{-1} - 824,2 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= -23,6 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

$$3 \text{ CO}(\text{g}) + \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) \rightarrow 2 \text{ Fe}(\text{s}) + 3 \text{ CO}_2(\text{g}), \quad \Delta_r H = -23,6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

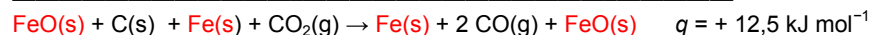
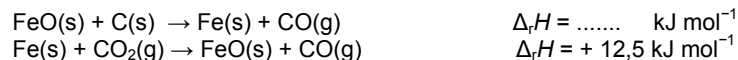
h)

$$\begin{aligned}\Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkty}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= \Delta_f H^\circ(2 \text{ Fe}_2\text{O}_3(\text{s})) - (\Delta_f H^\circ(3 \text{ SiO}_2(\text{s}))) \\ &= (-1648,4 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-2732,1 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= +1083,7 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$

$$3 \text{ SiO}_2(\text{s}) + 4 \text{ Fe}(\text{s}) \rightarrow 2 \text{ Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3 \text{ Si}(\text{s}) \quad \Delta_r H = +1083,7 \text{ kJ mol}^{-1}$$

8.47. Vidi STEHIOMETRIJA

Tablice najčešće ne sadrže podatak o standardnoj entalpiji stvaranja FeO. Zato ćemo drugoj jednažbi okrenuti smjer, čime se mijenja predznak reakcijske entalpije, i, obadvije jednažbe zbrojiti.



Ukinimo jednake članove na obje strane jednažbe (crveno), i primijenimo Hessov zakon pa dobivamo:

$$\Delta_r H^\circ + q = \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti})$$

$$\Delta_r H^\circ = \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti})$$

$$= (\Delta_f H^\circ(2 \text{ CO(s)}) - \Delta_f H^\circ(\text{CO}_2\text{(g)})) - 12,5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$= (-221,8 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-393,5 \text{ kJ mol}^{-1}) - 12,5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$= + 159,2 \text{ kJ mol}^{-1}$$



8.48. Vidi STEHIOMETRIJA

Najprije moramo doznati koji je element mjerodavni faktor, cink ili sumpor, jer taj element limitira najveću moguću množinu nastalog cinkova sulfida.

$$n(\text{Zn}) = \frac{m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})} = \frac{1,961 \text{ g}}{65,41 \text{ g mol}^{-1}} = 0,03 \text{ mol}$$

$$n(\text{S}) = \frac{m(\text{S})}{M(\text{S})} = \frac{0,962 \text{ g}}{32,06 \text{ g mol}^{-1}} = 0,03 \text{ mol}$$

Cink i sumpor uzeti su u ekvimolarnom omjeru, pa možemo zaključiti da je:

$$n(\text{ZnS}) = 0,95 \times 0,03 \text{ mol} = 0,0285 \text{ mol}$$

$$\Delta_r H(\text{ZnS}) = \frac{q}{n(\text{ZnS})} = \frac{- 5 260 \text{ J}}{0,0285 \text{ mol}} = - 184,6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

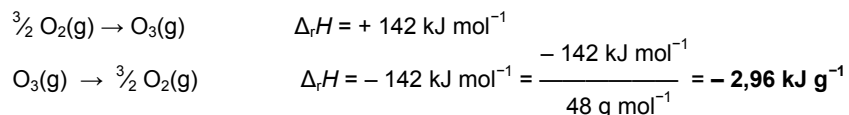
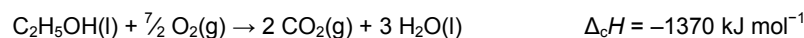
Mjerenje nije izvedeno precizno jer je prava vrijednost $\Delta_f H(\text{ZnS}) = - 206,0 \text{ kJ mol}^{-1}$

8.49. Vidi STEHIOMETRIJA

$$n(\text{Mg}) = \frac{m(\text{Mg})}{M(\text{Mg})} = \frac{0,122 \text{ g}}{24,31 \text{ g mol}^{-1}} = 0,00502 \text{ mol}$$

$$\Delta_f H(\text{MgO}) = \frac{q}{n(\text{MgO})} = \frac{q \times M(\text{Mg})}{m(\text{Mg})} = \frac{- 3030 \text{ J} \times 24,31 \text{ g mol}^{-1}}{0,122 \text{ g}} = - 603,8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Ovo je mjerenje mnogo preciznije u odnosu na prethodni zadatak jer je prava vrijednost $\Delta_f H(\text{MgO}) = - 601,6 \text{ kJ mol}^{-1}$

8.50. Vidi STEHIOMETRIJA**8.51. Vidi STEHIOMETRIJA**

Iz tablice 13.4. vidimo da je:

$$\Delta_f H(\text{CO}_2(\text{g})) = -393,5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_f H(\text{H}_2\text{O}(\text{l})) = -285,8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

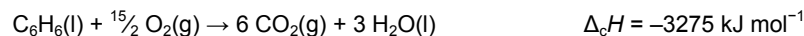
Prema Hessovu zakonu:

$$\Delta_r H^\circ = \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti})$$

$$\sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) = \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \Delta_r H^\circ$$

Odavde proizlazi:

$$\begin{aligned} \Delta_f H(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})) &= \Delta_f H(2 \text{CO}_2(\text{g})) + \Delta_f H(3 \text{H}_2\text{O}(\text{l})) - \Delta_c H^\circ \\ &= 2 \times (-393,5 \text{ kJ mol}^{-1}) + 3 \times (-285,8 \text{ kJ mol}^{-1}) + 1370 \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= - 274,4 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

8.52. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz tablice 13.4. vidimo da je:

$$\Delta_f H(\text{CO}_2(\text{g})) = -393,5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_f H(\text{H}_2\text{O}(\text{l})) = -285,8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Prema Hessovu zakonu:

$$\Delta_r H^\circ = \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti})$$

$$\sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) = \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \Delta_r H^\circ$$

Odavde proizlazi:

$$\begin{aligned} \Delta_f H(\text{C}_6\text{H}_6(\text{l})) &= 6 \Delta_f H(\text{CO}_2(\text{g})) + 3 \Delta_f H(\text{H}_2\text{O}(\text{l})) - \Delta_c H^\circ \\ &= 6 \times (-393,5 \text{ kJ mol}^{-1}) + 3 \times (-285,8 \text{ kJ mol}^{-1}) + 3275 \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= 56,6 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

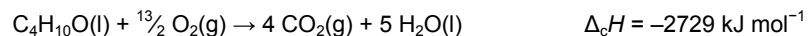
$$M(\text{C}_6\text{H}_6) = 78,11 \text{ g mol}^{-1}$$

$$\Delta T = 80,1^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 55,1 \text{ K}$$

$$q = c_p(\text{C}_6\text{H}_6) \times M(\text{C}_6\text{H}_6) \times \Delta T = 1,67 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 78,11 \text{ g mol}^{-1} \times 55,1 \text{ K} = 7187 \text{ J mol}^{-1}$$

$$q_{\text{vap}} = \Delta_{\text{vap}} H \times M(\text{C}_6\text{H}_6) = 394 \text{ J g}^{-1} \times 78,11 \text{ g mol}^{-1} = 30\,775 \text{ J mol}^{-1}$$

$$\Delta_f H(\text{C}_6\text{H}_6(\text{g}), 80,1^\circ\text{C}) = 56,6 \text{ kJ mol}^{-1} + 7,2 \text{ kJ mol}^{-1} + 30,8 \text{ kJ mol}^{-1} = 94,6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

8.53. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz tablice 13.4. vidimo da je:

$$\Delta_f H(\text{CO}_2(\text{g})) = -393,5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_f H(\text{H}_2\text{O}(\text{l})) = -285,8 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Prema Hessovu zakonu:

$$\Delta_r H^\circ = \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti})$$

$$\sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) = \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \Delta_r H^\circ$$

Odavde proizlazi:

$$\begin{aligned} \Delta_f H(\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}(\text{l})) &= \Delta_f H(4 \text{CO}_2(\text{g})) + \Delta_f H(5 \text{H}_2\text{O}(\text{l})) - \Delta_c H^\circ \\ &= 4 \times (-393,5 \text{ kJ mol}^{-1}) + 5 \times (-285,8 \text{ kJ mol}^{-1}) + 2729 \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= \mathbf{-274 \text{ kJ mol}^{-1}} \end{aligned}$$

$$M(\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}) = 74,12 \text{ g mol}^{-1}$$

$$\Delta T = 34 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C} = 9 \text{ K}$$

$$q = c_p(\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}) \times m(\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}) \times \Delta T = 2,1 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 74,12 \text{ g mol}^{-1} \times 9 \text{ K} = 1400 \text{ J mol}^{-1}$$

$$q_{\text{vap}} = \Delta_{\text{vap}} H \times m(\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}) = 394 \text{ J g}^{-1} \times 74,12 \text{ g mol}^{-1} = 29\,203 \text{ J mol}^{-1}$$

$$\Delta_f H(\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}(\text{g}), 34 \text{ }^\circ\text{C}) = -274 \text{ kJ mol}^{-1} + 1,4 \text{ kJ mol}^{-1} + 29,2 \text{ kJ mol}^{-1} = \mathbf{-243,4 \text{ kJ mol}^{-1}}$$

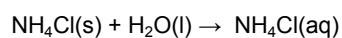
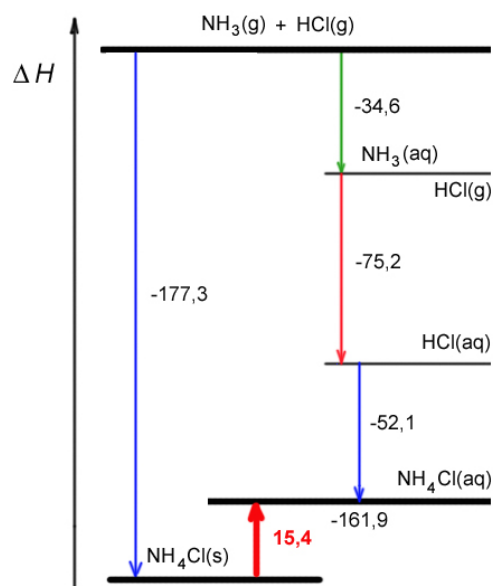
8.54. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\Delta_{\text{vap}} H(\text{H}_2\text{O}) = 2\,260 \text{ J g}^{-1} \times 18 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{40,7 \text{ kJ mol}^{-1}}$$

8.55. Vidi STEHIOMETRIJA

Hessov zakon:

Ukupan prirast entalpije nekoga niza kemijskih reakcija jednak je ukupnom prirastu entalpije bilo kojega drugog niza kemijskih reakcija, ako u oba slučaja polazimo od istih reaktanata i dobivamo iste produkte.



$$\Delta_{\text{sol}}H^\circ = 15,4 \text{ kJ mol}^{-1}$$

8.56. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\Delta_{\text{fus}}H^\circ(\text{H}_2\text{O(s)}) = 334 \text{ J g}^{-1} \times 18 \text{ g mol}^{-1} = 6,01 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$c_p(\text{H}_2\text{O}) = 4,182 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$$

$$\Delta_{\text{vap}}H^\circ(\text{H}_2\text{O}) = 40,6 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$q = n(\text{H}_2\text{O}) \times (\Delta_{\text{fus}}H^\circ + \Delta_{\text{vap}}H^\circ) + c_p(\text{H}_2\text{O}) \times m(\text{H}_2\text{O}) \times \Delta T$$

$$= \frac{100 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} \times (6,01 \text{ kJ mol}^{-1} + 40,6 \text{ kJ mol}^{-1}) + (4,182 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 100 \text{ g} \times 100 \text{ K})$$

$$= 258,94 \text{ kJ} + 41,82 \text{ kJ} = 300,76 \text{ kJ}$$

8.57. Vidi STEHIOMETRIJA



$$q = \frac{\Delta_f H(\text{MgO(s)}) \times m(\text{Mg})}{M(\text{Mg})} = \frac{601,6 \text{ kJ mol}^{-1} \times 0,1 \text{ g}}{24,31 \text{ g mol}^{-1}} = 2475 \text{ J}$$

$$\varepsilon(\text{H}_2\text{O}) = \frac{q}{c_p(\text{H}_2\text{O}) \times \Delta T} = \frac{2475 \text{ J}}{4,182 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 1 \text{ K}} = 591,8 \text{ g}$$

8.58. Izračunajte reakcijsku entalpiju oksidacije dušikova monoksida u dušikov dioksid.

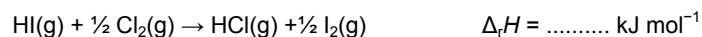


$$\Delta_f H^\circ(\text{NO(g)}) = 91,3 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_f H^\circ(\text{NO}_2(\text{g})) = 33,2 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= \Delta_f H^\circ(\text{NO}_2(\text{g})) - (\Delta_f H^\circ(\text{NO(g)})) \\ &= 33,2 \text{ kJ mol}^{-1} - 91,3 \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= \mathbf{-58,1 \text{ kJ mol}^{-1}} \end{aligned}$$

8.59. Vidi STEHIOMETRIJA

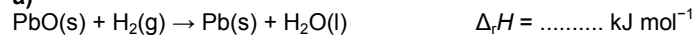


$$\begin{aligned} \Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= \Delta_f H^\circ(\text{HCl(g)}) - (\Delta_f H^\circ(\text{HI(g)})) \\ &= -92,3 \text{ kJ mol}^{-1} - 25,9 \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= \mathbf{-118,2 \text{ kJ mol}^{-1}} \end{aligned}$$

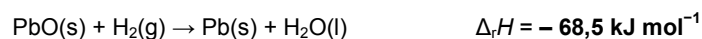
.

8.60. Vidi STEHIOMETRIJA

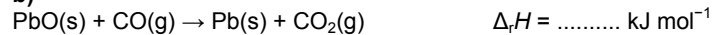
a)



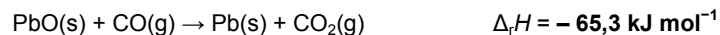
$$\begin{aligned} \Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= \Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O(l)}) - (\Delta_f H^\circ(\text{PbO(s)})) \\ &= (-285,8 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-217,3 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= \mathbf{-68,5 \text{ kJ mol}^{-1}} \end{aligned}$$



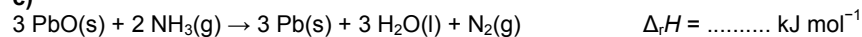
b)



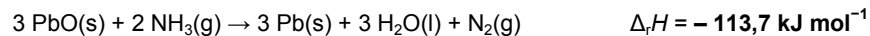
$$\begin{aligned} \Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= \Delta_f H^\circ(\text{CO}_2(\text{g})) - (\Delta_f H^\circ(\text{PbO(s)}) + \Delta_f H^\circ(\text{CO(g)})) \\ &= (-393,5 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-217,3 \text{ kJ mol}^{-1} - 110,9 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= \mathbf{-65,3 \text{ kJ mol}^{-1}} \end{aligned}$$



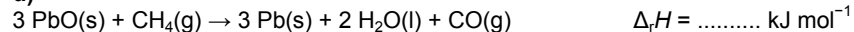
c)



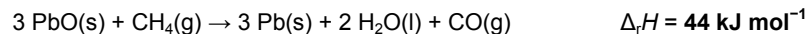
$$\begin{aligned} \Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= \Delta_f H^\circ(3 \text{ H}_2\text{O(l)}) - (\Delta_f H^\circ(3 \text{ PbO(s)}) + \Delta_f H^\circ(2 \text{ NH}_3\text{(g)})) \\ &= (-857,4 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-651,9 \text{ kJ mol}^{-1} - 91,8 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= -113,7 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$



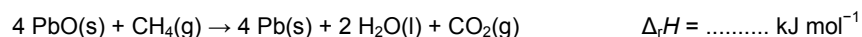
d)



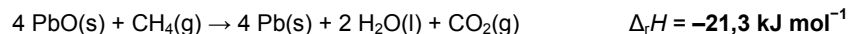
$$\begin{aligned} \Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= \Delta_f H^\circ(2 \text{ H}_2\text{O(l)}) + \Delta_f H^\circ(\text{CO(g)}) - (\Delta_f H^\circ(3 \text{ PbO(s)}) + \Delta_f H^\circ(\text{CH}_4\text{(g)})) \\ &= (-571,6 \text{ kJ mol}^{-1} - 110,9 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-651,9 \text{ kJ mol}^{-1} - 74,6 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= 44 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$



=====

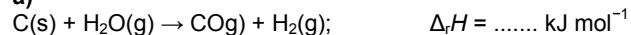


$$\begin{aligned} \Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= \Delta_f H^\circ(2 \text{ H}_2\text{O(l)}) + \Delta_f H^\circ(\text{CO}_2\text{(g)}) - (\Delta_f H^\circ(4 \text{ PbO(s)}) + \Delta_f H^\circ(\text{CH}_4\text{(g)})) \\ &= (-571,6 \text{ kJ mol}^{-1} - 393,5 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-869,2 \text{ kJ mol}^{-1} - 74,6 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= -21,3 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

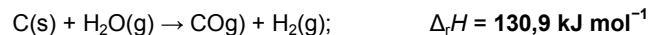


8.61. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

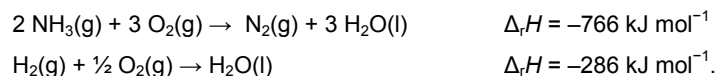


$$\begin{aligned} \Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= \Delta_f H^\circ(\text{CO(g)}) - \Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O(g)}) \\ &= (-110,9 \text{ kJ mol}^{-1} - (-241,8 \text{ kJ mol}^{-1})) \\ &= 130,9 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

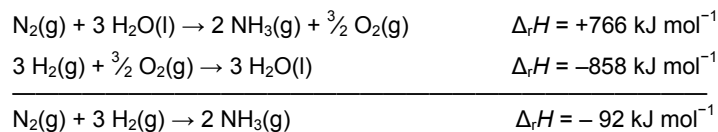


b)

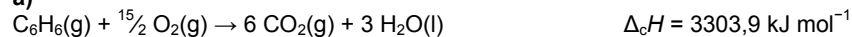


8.62. Vidi STEHIOMETRIJA

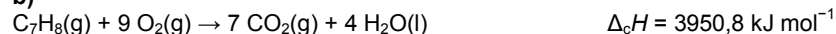
Jednadžbu gorenja amonijaka napišimo u suprotnom smjeru. Pritom se mijenja predznak entalpije. Jednadžbu korenja vodika pomnožimo s tri i zbrojimo obje jednadžbe pa dobivamo:



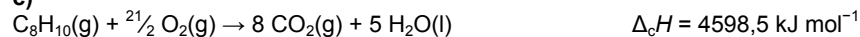
Reakcijska se entalpija odnosi na dva mola amonijaka pa za entalpiju stvaranje amonijaka dobivamo:

**8.63. Vidi STEHIOMETRIJA****a)**

$$\begin{aligned} \Delta_f H^\circ(\text{C}_6\text{H}_6(\text{l})) &= \Delta_f H^\circ(6 \text{CO}_2(\text{g})) + \Delta_f H^\circ(3 \text{H}_2\text{O}(\text{l})) + \Delta_c H(\text{C}_6\text{H}_6(\text{g})) \\ &= -2361 \text{ kJ mol}^{-1} - 857,4 \text{ kJ mol}^{-1} + 3303,9 \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= 85,5 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

b)

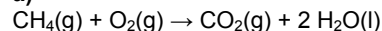
$$\begin{aligned} \Delta_f H^\circ(\text{C}_7\text{H}_8(\text{g})) &= \Delta_f H^\circ(7 \text{CO}_2(\text{g})) + \Delta_f H^\circ(4 \text{H}_2\text{O}(\text{l})) + \Delta_c H(\text{C}_7\text{H}_8(\text{g})) \\ &= -2754,5 \text{ kJ mol}^{-1} - 1143,2 \text{ kJ mol}^{-1} + 3950,8 \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= 53,1 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

c)

$$\begin{aligned} \Delta_f H^\circ(\text{C}_8\text{H}_{10}(\text{g})) &= \Delta_f H^\circ(8 \text{CO}_2(\text{g})) + \Delta_f H^\circ(5 \text{H}_2\text{O}(\text{l})) + \Delta_c H(\text{C}_8\text{H}_{10}(\text{g})) \\ &= -3148 \text{ kJ mol}^{-1} - 1429 \text{ kJ mol}^{-1} + 4598,5 \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= 21,5 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

8.64. Vidi STEHIOMETRIJA

a)



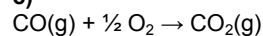
$$\begin{aligned}\Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= (\Delta_f H^\circ(\text{CO}_2(\text{g})) + \Delta_f H^\circ(2 \text{H}_2\text{O}(\text{g}))) - \Delta_f H^\circ(\text{CH}_4(\text{g})) \\ &= (-393,5 \text{ kJ mol}^{-1} - 571,6 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-74,6 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= -890,5 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$



b)



c)



$$\begin{aligned}\Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= -393,5 \text{ kJ mol}^{-1} + 110,9 \text{ kJ mol}^{-1} \\ &= -282,6 \text{ kJ mol}^{-1}\end{aligned}$$



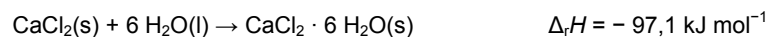
Toplina koja se oslobodi gorenjem nabrojanih plinova je negativna za reakcijski sustav, ali ima suprotan predznak za sustav koji tu toplinu prima. Zato za ogrijevnu vrijednost prirodnog plina dobivamo:

$$\begin{aligned}-q &= w(\text{CH}_4) \times n(\text{CH}_4) \times \Delta_c H(\text{CH}_4) + w(\text{H}_2) \times n(\text{H}_2) \times \Delta_c H(\text{H}_2) + w(\text{CO}) \times n(\text{CO}) \times \Delta_c H(\text{CO}) \\ &= 0,93 \times \frac{1000 \text{ dm}^3 \times (-890,5 \text{ kJ mol}^{-1})}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} + 0,02 \times \frac{1000 \text{ dm}^3 \times (-285,8 \text{ kJ mol}^{-1})}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} + \\ &\quad + 0,005 \times \frac{1000 \text{ dm}^3 \times (-282,6 \text{ kJ mol}^{-1})}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} \\ &= -36\,972 \text{ kJ} - 252 \text{ kJ} - 63 \text{ kJ} = -37\,287 \text{ kJ}\end{aligned}$$

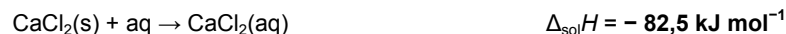
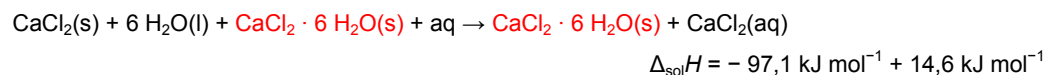
Odnosno:

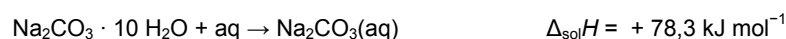
$$q \approx 37\,000 \text{ kJ po m}^3 \text{ plina}$$

8.65. Vidi STEHIOMETRIJA

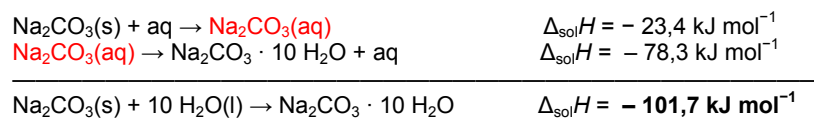


Zbrojimo obje jednadžbe, pa dobivamo:

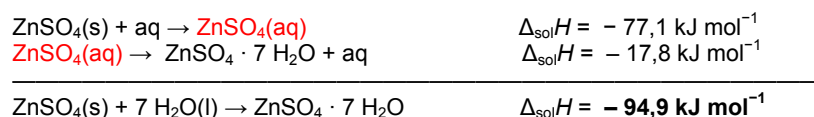


8.66. Vidi STEHIOMETRIJA

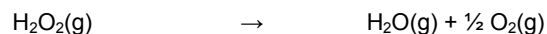
Okrenimo smjer druge jednačbe. Time se mijenja predznak entalpije. Zbrojimo obje jednačbe pa dobivamo:

**8.67. Vidi STEHIOMETRIJA**

Okrenimo smjer druge jednačbe. Time se mijenja predznak entalpije. Zbrojimo obje jednačbe pa dobivamo:

**8.68. Vidi STEHIOMETRIJA**

$$\Delta_f H = -133,5 \text{ kJ mol}^{-1} \quad \Delta_f H = -242 \text{ kJ mol}^{-1}$$



$$\begin{aligned} \Delta_r H^\circ &= \sum \Delta_f H^\circ(\text{produkti}) - \sum \Delta_f H^\circ(\text{reaktanti}) \\ &= \Delta_f H(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) - \Delta_f H(\text{H}_2\text{O}_2(\text{g})) \\ &= -242 \text{ kJ mol}^{-1} - (-133,5 \text{ kJ mol}^{-1}) \\ &= -108,5 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$



Toplina koja se oslobodi raspadom vodikova peroksida je negativna za reakcijski sustav, ali ima suprotan predznak za sustav koji tu toplinu prima. Zato za rad koji može izvršiti motor u kojem se katalitički raspadne 1 kg vodikova peroksida dobivamo:

$$-q = \frac{m(\text{H}_2\text{O}_2)}{M(\text{H}_2\text{O}_2)} \times \Delta_r H(\text{H}_2\text{O}_2, \text{H}_2\text{O}) = \frac{1000 \text{ g}}{34 \text{ g mol}^{-1}} \times (-108,5 \text{ kJ mol}^{-1}) = -3191 \text{ kJ}$$

odnosno:

$$q \approx 3190 \text{ kJ}$$

8.69. Vidi STEHIOMETRIJA

Najprije je potrebno zbrojiti topline koje se utroše za zagrijavanje 1000 g leda, taljenje leda i zagrijavanje nastale vode od 0 do 100 °C.

Zagrijavanje leda:

$$q_1 = m(\text{H}_2\text{O(s)}) \times c_p(\text{H}_2\text{O(s)}) \times \Delta T = 1000 \text{ g} \times 2,1 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 10 \text{ K} = 21\,000 \text{ J}$$

Taljenje leda:

$$q_2 = m(\text{H}_2\text{O(s)}) \times \Delta_{\text{fus}}H(\text{H}_2\text{O(s)}) = 1000 \text{ g} \times 335 \text{ J g}^{-1} = 335\,000 \text{ J}$$

Zagrijavanje vode

$$q_3 = m(\text{H}_2\text{O(l)}) \times c_p(\text{H}_2\text{O(l)}) \times \Delta T = 1000 \text{ g} \times 4,2 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 100 \text{ K} = 420\,000 \text{ J}$$

Utrošena toplina

$$q = 776\,000 \text{ J}$$

Ta se količina topline može dobiti kondenzacijom jednog dijela vodene pare:

$$m(\text{H}_2\text{O(g)}) = \frac{q}{\Delta_{\text{vap}}H(\text{H}_2\text{O(l)})} = \frac{776\,000 \text{ J}}{2260 \text{ J g}^{-1}} = 343 \text{ g}$$

Na kraju pokusa imamo:

$$t = 100 \text{ °C}$$

$$m(\text{H}_2\text{O(l)}) = 1343 \text{ g}$$

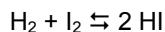
$$m(\text{H}_2\text{O(g)}) = 157 \text{ g}$$

9. RAVNOTEŽA KEMIJSKIH REAKCIJA

Znak za drugi korijen odnosi se na cijeli izraz pisan crvenom bojom.
Zbog česte uporabe znaka x kao varijable, u ovom se poglavlju za znak množenja rabi točka.

9.1. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Iz jednadžbe reakcije vidimo da od 2 mola reaktanata nastaju 2 mola produkata. Ukupni broj molova tvari ostaje nepromijenjen, što znači da se ni tlak ne mijenja. Prema tome, umjesto množinskih koncentracija, smijemo u računu upotrijebiti volumene plinova u ravnoteži.

Zamijenimo množinske koncentracije volumenima pojedinih plinova, pa za konstantu ravnoteže dobivamo:

$$K_c = \frac{V_{\text{HI}}^2}{V_{\text{H}_2} \cdot V_{\text{I}_2}}$$

Iz podataka u zadatku vidimo da reakcijska smjesa ne sadržava jod. Zato moramo pretpostaviti da će doći do raspadanja jodovodika. Ako se raspadne $2x \text{ cm}^3$ jodovodika mora istodobno nastati $x \text{ cm}^3$ vodika i isto toliko, odnosno $x \text{ cm}^3$ joda.

U ravnoteži će se tada nalaziti ovi volumeni pojedinih plinova:

$$V_{\text{H}_2}/\text{cm}^3 = (100 + x),$$

$$V_{\text{I}_2}/\text{cm}^3 = x,$$

$$V_{\text{HI}}/\text{cm}^3 = (250 - 2x),$$

Uvrstimo ove podatke u izraz za konstantu ravnoteže pa dobivamo:

$$K_c = \frac{V_{\text{HI}}^2}{V_{\text{H}_2} \cdot V_{\text{I}_2}} = \frac{(250 - 2x)^2}{(100 + x) \cdot x} = 48$$

Uredimo jednadžbu pa dobivamo:

$$48 = \frac{250^2 - 1000x + 4x^2}{100x + x^2}$$

Oдавde proizlazi:

$$4800x + 48x^2 = 62500 - 1000x + 4x^2$$

$$44x^2 + 5800x - 62500 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-5800 \pm \sqrt{5800^2 + 11 \cdot 10^6}}{88} = \frac{-5800 \pm 6681}{88} = \frac{881}{88} = 10$$

Iz rješenja kvadratne jednadžbe opet uzimamo samo x_1 , jer je drugo rješenje neprimjenljivo. Pripišemo li rezultatu pripadnu dimenziju prema uvjetima koje smo prije postavili, dobivamo:

$$V_{\text{H}_2}/\text{cm}^3 = (100 + x) = 100 + 10 = \mathbf{110}$$

$$V_{\text{I}_2}/\text{cm}^3 = x = \mathbf{10}$$

$$V_{\text{HI}}/\text{cm}^3 = (250 - 2x) = 250 - 20 = \mathbf{230}$$

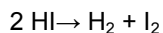
U ravnoteži su: 110 cm^3 vodika, 10 cm^3 joda, i 230 cm^3 jodovodika..

9.2. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo po istom načelu kao u zadatku 9.1. Izraz za konstantu ravnoteže napisat ćemo u uobičajenom obliku:

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2] \cdot [\text{I}_2]} = 48$$

Iz jednadžbe reakcije raspada jodovodika na elemente



možemo zaključiti da raspadom 2 mola jodovodika nastaje jedan mol vodika i jedan mol joda.

Uzmimo da je u stanju ravnoteže:

$$[\text{HI}]/\text{mol dm}^{-3} = 1 - 2x$$

$$[\text{H}_2]/\text{mol dm}^{-3} = x$$

$$[\text{I}_2]/\text{mol dm}^{-3} = x$$

Za konstantu ravnoteže dobivamo:

$$48 = \frac{(1 - 2x)^2}{x \cdot x} = \frac{1 - 4x + 4x^2}{x^2}$$

Oдавде proizlazi:

$$48x^2 = 1 - 4x + 4x^2$$

Uredimo jednadžbu pa dobivamo:

$$44x^2 + 4x - 1 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-4 \pm \sqrt{4^2 + 176}}{88} = \frac{-4 \pm 13,856}{88} = 0,112$$

Iz rješenja kvadratne jednadžbe opet uzimamo samo x_1 , jer je drugo rješenje fizikalno nesmisleno (negativna koncentracija). Prema uvjetima koje smo prije postavili, dobivamo:

$$[\text{HI}]/\text{mol dm}^{-3} = 1 - 2x = 1 - 0,224 = 0,776$$

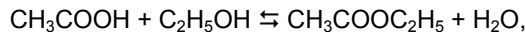
$$[\text{H}_2]/\text{mol dm}^{-3} = x = 0,112$$

$$[\text{I}_2]/\text{mol dm}^{-3} = x = 0,112$$

Raspada se **22,4 %** jodovodika.

9.3 Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Iz jednadžbe reakcije vidimo da se koncentracija estera i vode povećava, a koncentracija kiseline i alkohola smanjuje u odnosu na početne koncentracije. Kako se pri ovoj kemijskoj reakciji ne mijenja ukupna množina tvari, koncentracije možemo zamijeniti množinama pojedinih tvari.

Iskažimo polazne količine tvari množinama:

$$n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) / M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 92 \text{ g} / 46 \text{ g mol}^{-1} = 2 \text{ mol}$$

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = m(\text{CH}_3\text{COOH}) / M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 150 \text{ g} / 60 \text{ g mol}^{-1} = 2,5 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O}) / M(\text{H}_2\text{O}) = 58 \text{ g} / 18 \text{ g mol}^{-1} = 3,22 \text{ mol}$$

Na temelju uvjeta zadatka možemo postaviti ove jednadžbe:

$$n_{\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5}/\text{mol} = x$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}}/\text{mol} = 1,83 + x$$

$$n_{\text{CH}_3\text{COOH}}/\text{mol} = 2,5 - x$$

$$n_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}/\text{mol} = 2 - x$$

Uvrstimo ove vrijednosti u izraz za konstantu ravnoteže, pa dobivamo:

$$4 = \frac{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}] \cdot [\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}]} = \frac{n_{\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5} \cdot n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{CH}_3\text{COOH}} \cdot n_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}} = \frac{x \cdot (1,83 + x)}{(2,5 - x) \cdot (2 - x)} = \frac{3,22 x + x^2}{5 - 2 x - 2,5 x + x^2}$$

Uredimo jednadžbu pa dobivamo:

$$20 - 8 x - 10 x + 4 x^2 = 3,22 x + x^2$$

$$3 x^2 - 21,22 x + 20 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{21,22 \pm \sqrt{450 - 240}}{6} = \frac{21,22 \pm 14,49}{6}$$

$$x_1 = 5,95. \quad x_2 = 1,12$$

Od rješenja kvadratne jednadžbe uzimamo samo x_2 , jer se prvo rješenje ne može primijeniti jer dovodi do negativnih množina. Primijenimo li dobiveni rezultat na polazne jednadžbe, dobivamo da su u reakcionoj smjesi u ravnoteži ove množine tvari:

$$n_{\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5}/\text{mol} = x = \mathbf{1,12}$$

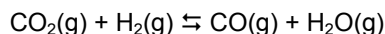
$$n_{\text{H}_2\text{O}}/\text{mol} = 1,83 + x = \mathbf{4,34}$$

$$n_{\text{CH}_3\text{COOH}}/\text{mol} = 2,5 - x = \mathbf{1,38}$$

$$n_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}/\text{mol} = 2 - x = \mathbf{0,88}$$

9.4. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz jednadžbe reakcije



možemo zaključiti da se tijekom uspostavljanja ravnoteže smanjuju koncentracije ugljikova monoksida i vodene pare, a povećava koncentracija vodika i ugljikova dioksida.

Kako se pri ovoj kemijskoj reakciji ne mijenja ukupan broj molova tvari, možemo koncentracije zamijeniti množinama pojedinih tvari.

Iskažimo zadane količine tvari množinama.

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = m(\text{H}_2\text{O}) / M(\text{H}_2\text{O}) = 1000 \text{ g} / 18 \text{ g mol}^{-1} = 55,55 \text{ mol}$$

$$n_{\text{CO}} = m(\text{CO}) / M(\text{CO}) = 2000 \text{ g} / 28 \text{ g mol}^{-1} = 71,43 \text{ mol}$$

Ako se tijekom reakcije utroši x mol vodene pare, utrošit će se jednaka množina ugljikova monoksida, a istodobno će nastati jednake množine ugljikova dioksida i vodika. Uzmimo da je u stanju ravnoteže:

$$n_{\text{H}_2\text{O}}/\text{mol} = 55,55 - x$$

$$n_{\text{CO}}/\text{mol} = 71,43 - x$$

$$n_{\text{CO}_2}/\text{mol} = x$$

$$n_{\text{H}_2}/\text{mol} = x$$

Uvrstimo ove vrijednosti u izraz za konstantu ravnoteže, pa dobivamo:

$$0,53 = \frac{[\text{CO}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}_2] \cdot [\text{H}_2]} = \frac{n_{\text{CO}} \cdot n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{CO}_2} \cdot n_{\text{H}_2}} = \frac{(71,43 - x) \cdot (55,55 - x)}{x \cdot x} = \frac{3968 - 55,55 x - 71,43 x + x^2}{x^2}$$

Uredimo jednadžbu pa dobivamo:

$$0,53 x^2 - x^2 + 127 x - 3968 = 0$$

$$0,47 x^2 - 127 x + 3968 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{127 \pm \sqrt{16124 - 7460}}{0,94} = \frac{127 \pm 93}{0,94}$$

$$x_1 = 234 \quad x_2 = 36$$

Od rješenja kvadratne jednadžbe uzimamo samo x_2 , jer se prvo rješenje ne može primijeniti.

Primijenimo li dobiveni rezultat na polazne jednadžbe, dobivamo da su u reakcijskoj smjesi u ravnoteži ove množine tvari:

$$n_{\text{H}_2\text{O}}/\text{mol} = 55,55 - x = \mathbf{19,5}$$

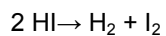
$$n_{\text{CO}}/\text{mol} = 71,43 - x = \mathbf{35,4}$$

$$n_{\text{CO}_2}/\text{mol} = x = \mathbf{36}$$

$$n_{\text{H}_2}/\text{mol} = x = \mathbf{36}$$

9.5. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije:



Iz jednadžbe reakcije raspada jodovodika na elemente možemo zaključiti da raspadom 2 mola jodovodika nastaje jedan mol vodika i jedan mol joda. Kako je pri 444 °C disociralo 22 % jodovodika, proizlazi da je u stanju ravnoteže:

$$[\text{HI}]/\text{mol dm}^{-3} = 1 - 0,22$$

$$[\text{H}_2]/\text{mol dm}^{-3} = 0,11$$

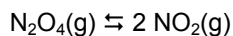
$$[\text{I}_2]/\text{mol dm}^{-3} = 0,11$$

Za konstantu ravnoteže dobivamo:

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2] \cdot [\text{I}_2]} = \frac{(1 - 0,22)^2}{0,11^2} = \mathbf{50,3}$$

9.6. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije:



Izraz za konstantu ravnoteže ima sljedeći oblik

$$K_p = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = 664 \text{ mmHg}$$

Na osnovi podataka danih u zadatku možemo postaviti još jednu jednadžbu:

$$p_{\text{N}_2\text{O}_4} + p_{\text{NO}_2} = 498 \text{ mmHg}$$

Podijelimo obje jednadžbe s jedinicom tlaka, mmHg, i uzmimo da je:

$$p_{\text{NO}_2} / \text{mmHg} = x$$

$$p_{\text{N}_2\text{O}_4} / \text{mmHg} = y$$

pa ćemo dobiti dvije obične jednadžbe:

$$x^2 = 664 y$$

$$y + x = 498$$

Supstitucijom druge jednadžbe u prvu dobivamo:

$$x^2 = 664 \cdot (498 - x)$$

Uredimo jednadžbu pa dobivamo:

$$x^2 + 664 x - 330672 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-664 \pm \sqrt{440896 + 1322688}}{2} = \frac{-664 \pm 1328}{2}$$

$$x_1 = -996 \quad x_2 = 332$$

Oдавde proizlazi:

$$y = 498 - x = 498 - 332 = 166$$

Primijenimo li dobiveni rezultat na polazne jednadžbe, dobivamo da su u reakcionoj smjesi u ravnoteži ovi parcijalni tlakovi plinova:

$$p_{\text{NO}_2} / \text{mmHg} = x = 332$$

$$p_{\text{N}_2\text{O}_4} / \text{mmHg} = y = 166$$

Disociralo je 50 % N_2O_4 jer je parcijalni tlak NO_2 točno dva puta veći od parcijalnog tlaka N_2O_4

Provjerimo ispravnost rješenja tako da dobivene podatke uvrstimo u izraz za konstantu ravnoteže.

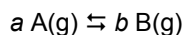
$$K_p / \text{mm Hg} = \frac{(p_{\text{NO}_2} / \text{mmHg})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4} / \text{mmHg}} = \frac{x^2}{y} = \frac{332^2}{166} = 664$$

$$p_{\text{NO}_2} / \text{mmHg} + p_{\text{N}_2\text{O}_4} / \text{mmHg} = x + y = 332 + 166 = 498$$

9.7. Vidi STEHIOMETRIJA

Koncentracije reaktanata i produkata reakcija koje se odvijaju u plinovitoj fazi bolje je iskazivati parcijalnim tlakom. Općenito K_c nije jednako K_p .

Uzmimo kao primjer sljedeću ravnotežu:



gdje su a i b stehiometrijski koeficijenti. Koncentracijska konstanta ravnoteže je:

$$K_c = \frac{[\text{B}]^b}{[\text{A}]^a},$$

dok je tlačna konstanta ravnoteže definirana kao:

$$K_p = \frac{p(\text{B})^b}{p(\text{A})^a}.$$

gdje su $p(\text{A})$ i $p(\text{B})$ parcijalni tlakovi plinova A i B.

Iz opće plinske jednadžbe $pV = nRT$ proizlazi:

$$p(\text{A}) = \frac{n(\text{A}) \cdot RT}{V}$$

odnosno

$$p(\text{B}) = \frac{n(\text{B}) \cdot RT}{V}$$

Supstitucijom ovih izraza u jzraz za tlačnu konstantu ravnoteže dobivamo:

$$K_p = \frac{\left(\frac{n(\text{B}) RT}{V} \right)^b}{\left(\frac{n(\text{A}) RT}{V} \right)^a} = \frac{\left(\frac{n(\text{B})}{V} \right)^b}{\left(\frac{n(\text{A})}{V} \right)^a} (RT)^{b-a}$$

Kako je $n(\text{B})/V = [\text{B}]$ i $n(\text{A})/V = [\text{A}]$ proizlazi:

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{[\text{B}]^b}{[\text{A}]^a} (RT)^{\Delta n} \\ &= K_c (RT)^{\Delta n} \end{aligned}$$

gdje je $\Delta n = b - a$.

U specijalnim slučajevima kada je $\Delta n = 0$, kao primjerice u reakciji $2 \text{ HI} \rightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$, vrijedi:

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n} = K_c (RT)^0 = K_c$$

$$\text{a)} \quad K_c = \frac{[\text{HF}]}{[\text{H}_2]^{1/2} \cdot [\text{F}_2]^{1/2}},$$

$$\text{b)} \quad K_c = \frac{[\text{HF}]^2}{[\text{H}_2] \cdot [\text{F}_2]},$$

$$\text{c)} \quad K_c = \frac{[\text{H}_2\text{S}]}{[\text{H}_2] \cdot [\text{S}_2]^{1/2}},$$

$$\text{d)} \quad K_c = \frac{[\text{H}_2\text{S}]}{[\text{H}_2]},$$

$$\text{e)} \quad K_c = \frac{[\text{C}_2\text{H}_2]}{[\text{H}_2]},$$

$$\text{f)} \quad K_c = \frac{[\text{CH}_4]}{[\text{H}_2]^2},$$

$$\text{g)} \quad K_c = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 \cdot [\text{O}_2]},$$

$$\text{h)} \quad K_c = \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2},$$

$$\text{i)} \quad K_c = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2] \cdot [\text{O}_2]},$$

$$\text{j)} \quad K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2] \cdot [\text{O}_2]^2},$$

$$\text{k)} \quad K_c = \frac{[\text{N}_2\text{O}]^2}{[\text{N}_2]^2 \cdot [\text{O}_2]},$$

$$\text{l)} \quad K_c = \frac{[\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{H}_2]^2 \cdot [\text{O}_2]},$$

$$\text{m)} \quad K_c = \frac{[\text{O}_2]^3}{[\text{O}_3]^2},$$

$$\text{n)} \quad K_c = \frac{[\text{Cl}_2]^2 \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{HCl}]^4 \cdot [\text{O}_2]},$$

$$\text{o)} \quad K_c = \frac{[\text{H}_2\text{O}]^2 \cdot [\text{O}_2]}{[\text{H}_2\text{O}_2]^2},$$

$$\text{p)} \quad K_c = \frac{[\text{CO}]^2}{[\text{CO}_2]}.$$

9.8. Vidi STEHIOMETRIJA

Primjenjujemo Le Châtélíerovo načelo:

Mijenjaju li se uvjeti pri kojima je sustav u stanju ravnoteže, ravnoteža se pomiče u onom smjeru koji pogoduje uspostavljanju prijašnjih uvjeta. (H. Le Chatélier [L' Šatelje], 1850—1936)

Ako se tijekom reakcije povećava množina tvari u plinovitu stanju tada povišenje tlaka pomiče ravnotežu reakcije ulijevo.

Ako se tijekom reakcije smanjuje množina tvari u plinovitu stanju tada povišenje tlaka pomiče ravnotežu reakcije udesno.

Ako se tijekom reakcije ne mijenja množina tvari u plinovitu stanju tada povišenje tlaka ne utječe na ravnotežu reakcije.

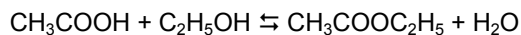
Ravnoteža egzotermnih reakcija ($\Delta_r H < 0$) povišenjem temperature pomiče se ulijevo.

Ravnoteža endotermnih reakcija ($\Delta_r H > 0$) povišenjem temperature pomiče se udesno.

Reakcija	$\Delta_r H$	Povišenje tlaka pomiče ravnotežu	Povišenje temperature pomiče ravnotežu
a) $\frac{1}{2} \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{F}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{HF}(\text{g})$	$\Delta_r H = - 268,6 \text{ kJ mol}^{-1}$	ne utječe	lijevo
b) $\text{H}_2(\text{g}) + \text{F}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{HF}(\text{g})$	$\Delta_r H = - 537,2 \text{ kJ mol}^{-1}$	ne utječe	lijevo
c) $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{S}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}(\text{g})$	$\Delta_r H < 0$	ne utječe	lijevo
d) $\text{H}_2(\text{g}) + \text{S}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}(\text{g})$	$\Delta_r H < 0$	ne utječe	lijevo
e) $2 \text{C}(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$	$\Delta_r H = + 233 \text{ kJ mol}^{-1}$	ne utječe	desno
f) $\text{C}(\text{s}) + 2 \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g})$	$\Delta_r H = - 75 \text{ kJ mol}^{-1}$	desno	lijevo
g) $2 \text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3(\text{g})$	$\Delta_r H = - 196 \text{ kJ mol}^{-1}$	desno	lijevo
h) $2 \text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$	$\Delta_r H = - 56 \text{ kJ mol}^{-1}$	desno	lijevo
i) $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}(\text{g})$	$\Delta_r H = + 171 \text{ kJ mol}^{-1}$	ne utječe	desno
j) $\text{N}_2(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$	$\Delta_r H = + 68 \text{ kJ mol}^{-1}$	desno	desno
k) $2 \text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{N}_2\text{O}(\text{g})$	$\Delta_r H = + 148 \text{ kJ mol}^{-1}$	desno	desno
l) $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$\Delta_r H = - 477 \text{ kJ mol}^{-1}$	desno	lijevo
m) $2 \text{O}_3(\text{g}) \rightleftharpoons 3 \text{O}_2(\text{g})$	$\Delta_r H < 0$	lijevo	lijevo
n) $4 \text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{Cl}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$\Delta_r H < 0$	desno	lijevo
o) $2 \text{H}_2\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$	$\Delta_r H < 0$	lijevo	lijevo
p) $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{C}(\text{s}) \rightleftharpoons 2 \text{CO}(\text{g})$	$\Delta_r H > 0$	lijevo	desno

9.9. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Konstanta ravnoteže za ovu reakciju je:

$$\frac{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}] \cdot [\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}]} = 4$$

Na temelju uvjeta zadatka u stanju ravnoteže mora biti:

$$n_{\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5}/\text{mol} = 0,80$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}}/\text{mol} = 0,80$$

$$n_{\text{CH}_3\text{COOH}}/\text{mol} = 0,20$$

$$n_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}/\text{mol} = x - 0,80$$

Uvrstimo ove podatke u izraz za konstantu ravnoteže pa dobivamo:

$$\frac{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}] \cdot [\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}]} = \frac{0,80 \cdot 0,80}{0,20 \cdot (x - 0,80)} = \frac{0,64}{0,20x - 0,16} = 4$$

Odavde proizlazi

$$0,64 = 4 \cdot (0,20x - 0,16)$$

$$0,64 = 0,80x - 0,64$$

$$1,28 = 0,80x$$

$$x = 1,6$$

Da bi se esterificiralo 80 % octene kiseline u reakcijsku smjesu treba unijeti **1 mol CH₃COOH i 1,6 mol C₂H₅OH.**

9.10. Vidi STEHIOMETRIJA

Ako gustoća te plinske smjese prema vodiku iznosi 70,2 onda je prosječna relativna molekulska masa smjese 140,4



Relativne molekulske mase sastojaka smjese su:

$$M_r(\text{PCl}_5) = 208,5$$

$$M_r(\text{PCl}_3) = 137,5$$

$$M_r(\text{Cl}_2) = 71$$

Na temelju jednadžbe reakcije i podatka o prosječnoj relativnoj molekulskoj masi možemo postaviti dvije jednadžbe:

$$M_r(\text{PCl}_5) \cdot x + M_r(\text{PCl}_3) \cdot y + M_r(\text{Cl}_2) \cdot y = 140,4$$

$$x + 2y = 1$$

gdje x i y predstavljaju množinske udjele sastojaka smjese. Uvrstimo u prvu jednadžbu podatke o relativnim molekulskim masama, a drugu jednadžbu preuredimo pa dobivamo:

$$208,5x + 137,5y + 71y = 140,4$$

$$x = 1 - 2y$$

Supstitucijom druge jednadžbe u prvu proizlazi:

$$208,5 \cdot (1 - 2y) + 137,5y + 71y = 140,4$$

$$208,5 - 417y + 208,5y = 140,4$$

$$208,5 - 140 = 417y - 208,5y$$

$$68,1 = 208,5y$$

$$y = \frac{68,1}{208,5} = \mathbf{0,3266}$$

$$x = 1 - 2y = 1 - 0,6532 = \mathbf{0,3468}$$

Odavde proizlazi da je pri 200 °C i tlaku od 101 325 Pa smjesa sadržava sljedeće množinske udjele sastojaka:

$$x(\text{PCl}_5) = 34,68 \%$$

$$x(\text{PCl}_3) = 32,66 \%$$

$$x(\text{Cl}_2) = 32,66 \%$$

odnosno:



$$0,3468 \quad 0,3266 \quad 0,3266$$

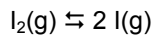
Navedeni množinski udjeli sastojaka smjese nastali su disocijacijom $(0,3468 + 0,3266) = 0,6734$ množinskih udjela PCl_5 .

Od ukupno 0,6734 množinskih udjela PCl_5 disociralo je 0,3266. Odavde proizlazi da je stupanj disocijacije

$$\alpha = \frac{0,3266}{0,6734} = 0,485 \text{ ili } \mathbf{48,5 \%}$$

9.11. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo po istom načelu kao u zadatku 9.10.



Ako gustoća te plinske smjese prema vodiku iznosi 92 onda je prosječna relativna molekulska masa smjese 184.

Relativne molekulske mase sastojaka smjese su:

$$M_r(\text{I}_2) = 254$$

$$M_r(\text{I}) = 127$$

Na temelju jednadžbe reakcije i podatka o prosječnoj relativnoj molekulskoj masi možemo postaviti dvije jednadžbe:

$$M_r(\text{I}_2) \cdot x + 2 \cdot M_r(\text{I}) \cdot y = 184$$

$$x + 2 y = 1$$

gdje x i y predstavljaju množinske udjele sastojaka smjese. Uvrstimo u prvu jednadžbu podatke o relativnim molekulskim masama, a drugu jednadžbu preuredimo pa dobivamo:

$$254 x + 2 \cdot 127 \cdot y = 184$$

$$x = 1 - 2 y$$

Supstitucijom druge jednadžbe u prvu proizlazi:

$$254 \cdot (1 - 2 y) + 254 y = 184$$

$$254 - 508 y + 254 y = 184$$

$$70 = 254 y$$

$$y = \frac{70}{254} = 0,2756$$

$$x = 1 - 2 y = 1 - 0,5512 = 0,4488$$

Odavde proizlazi da pri 1000 °C smjesa sadržava sljedeće množinske udjele sastojaka:

$$x(\text{I}_2) = 44,88 \%$$

$$x(\text{I}) = 55,12 \%$$

Navedeni množinski udjeli sastojaka smjese nastali su disocijacijom $0,4482 + 0,2756 = 0,7238$ množinskih udjela I_2 .

Odavde proizlazi da je stupanj disocijacije

$$\alpha = \frac{0,2756}{0,7238} = 0,38 \text{ ili } 38 \%$$

Opaska: Manje razlike u rješenjima mogu nastati zbog različite točnosti upotrijebljenih podataka, primjerice, ako se za relativnu atomsku masu joda uzme vrijednost 126,9 ili 127.

9.12. Vidi STEHIOMETRIJA

Mijenjaju li se uvjeti pri kojima je sustav u stanju ravnoteže, ravnoteža se pomiče u onom smjeru koji pogoduje uspostavljanju prijašnjih uvjeta. (H. Le Châtelier [L' Šatelj], 1850—1936)

U skladu s Le Châtelierovim načelom povišenje temperature pogoduje endoternim reakcijama. Sustav se opire povišenju temperature tako da se u njemu odvijaju oni procesi koji toplinu troše. Prema tome prijelaz iz rompskog u monoklinski sumpor je endoterman proces.

9.13. Vidi STEHIOMETRIJA

Treba izračunati množinu ugljikova dioksida u posudi volumena 1 dm^3 pri 896°C . Polazimo od opće plinske jednadžbe, $pV = nRT$.

$$n = \frac{p V}{R T} = \frac{101\,300 \text{ Pa} \cdot 0,001 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 1169 \text{ K}} = 0,01042 \text{ mol}$$

Prema jednadžbi reakcije raspada kalcijeva karbonata:



zaključujemo da je množina nastala ugljikova dioksida jednaka množini raspadnutog kalcijeva karbonata. Za masu raspadnutog kalcijeva karbonata dobivamo:

$$m(\text{CaCO}_3) = n(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3) = n(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CaCO}_3) = 0,01042 \text{ mol} \cdot 100 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{1,042 \text{ g}}$$

Kad bi se pri istim uvjetima raspao sav prisutni kalcijev karbonat, 2 g, volumen posude s ugljikovim dioksidom trebao bi biti:

$$V(\text{CO}_2) = \frac{n R T}{p} = \frac{m(\text{CaCO}_3) R T}{M(\text{CaCO}_3) \cdot p} = \frac{0,002 \text{ kg} \cdot 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 1169 \text{ K}}{0,100 \text{ kg mol}^{-1} \cdot 101\,300 \text{ Pa}} = \mathbf{1,919 \text{ dm}^3}$$

9.14. Vidi STEHIOMETRIJA

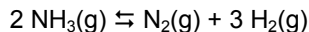
Mijenjaju li se uvjeti pri kojima je sustav u stanju ravnoteže, ravnoteža se pomiče u onom smjeru koji pogoduje uspostavljanju prijašnjih uvjeta.

U skladu s Le Châtelierovim načelom povišenje tlaka pogoduje onim procesima u kojima dolazi do smanjenja volumena promatranog sustava.

Molarni volumen vode manji je od molarnog volumena leda zato se talište leda snizuje s povećanjem tlaka. U sustavu se događa ona promjena koja pogoduje smanjenju tlaka, a to je smanjenje volumena putem taljenja leda.

9.15. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije disocijacije amonijaka na elemente.



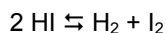
Iz jednadžbe reakcije vidimo da se disocijacijom amonijaka povećava broj čestica što znači da dolazi do povećanja tlaka.

U skladu s Le Châtelierovim načelom:

Mijenjaju li se uvjeti pri kojima je sustav u stanju ravnoteže, ravnoteža se pomiče u onom smjeru koji pogoduje uspostavljanju prijašnjih uvjeta.

Pri jednakoj temperaturi u posudi većeg volumena disociralo bi više amonijaka. Stupanj disocijacije amonijaka ovisi o temperaturi i tlaku.

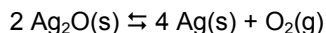
Napišimo jednadžbu reakcije disocijacije jodovodika na elemente:



Vidimo da se disocijacijom jodovodika ne mijenjaju množine plinova pa je stupanj disocijacije jodovodika neovisan o tlaku (volumenu posude) već ovisi samo o temperaturi.

9.16. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije:



Na temelju rezultata pokusa, da zagrijavanjem srebrova(I) oksida nastaje elementarno srebro i kisik možemo zaključiti da se u skladu s Le Châtelierovim načelom tom reakcijom toplina troši. To znači da je raspad srebrova oksida endoterman proces. Općenito, pri kidanju kemijskih veza energija se troši.

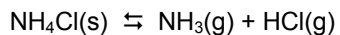
9.17. Vidi STEHIOMETRIJA

Disocijacijski tlak kisika iznad srebrova oksida raste s povišenjem temperature.

Najniža temperatura razlaganja srebrova(I) oksida bit će potrebna u vakuumu, struji CO i CO₂. Nešto viša temperatura potrebna je na zraku, a najviša u struji kisika.

9.18. Vidi STEHIOMETRIJA

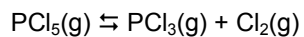
Napišimo jednadžbu reakcije:



- a) povišenje temperature pogoduje disocijaciji
- b) povećanje volumena posude pogoduje disocijaciji
- c) uvođenje vodika u posudu ne utječe na disocijaciju NH₄Cl.

9.19. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije:



Ukupna množina sastojaka smjese je:

0,21 mol fosforova pentaklorida,
0,32 mola fosforova triklorida
0,32 mola klora

0,85 mol

Množinski udjeli sastojaka smjese

$$x(\text{PCl}_5) = 0,21 / 0,85 = 0,247$$

$$x(\text{PCl}_3) = 0,32 / 0,85 = 0,376$$

$$x(\text{Cl}_2) = 0,32 / 0,85 = 0,376$$

$$\Sigma = 0,999$$

Konstanta ravnoteže ima oblik:

$$K_x = \frac{x(\text{PCl}_3) \cdot x(\text{Cl}_2)}{x(\text{PCl}_5)} = \frac{0,376 \cdot 0,376}{0,247} = \mathbf{0,572}$$

Konstanta ravnoteže ovisi samo o temperaturi a ne ovisi o koncentraciji reaktanata, odnosno tlaku.

9.20. Vidi STEHIOMETRIJA

Ako je stupanj disocijacije α , tad se je od prisutne množine tvari, n_0 , raspalo $n_0 \cdot \alpha$, a preostala množina nedisocirane tvari je $n_0(1 - \alpha)$. Od svake molekule AB koja se raspadne nastane po jedna molekula A i B, pa će u ravnoteži biti:

$$n_A = n_B = n_0 \cdot \alpha$$

$$n_{AB} = n_0 \cdot (1 - \alpha)$$

U slučaju disocijacije diduškova tetroksida, $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2 NO_2(g)$, bit će:

$$n_A = 2n_0\alpha, \quad n_{AB} = n_0(1 - \alpha), \quad \Sigma n = n_0(1 + \alpha), \quad x_A = \frac{2\alpha}{(1 + \alpha)}, \quad x_{AB} = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha}$$

$$x(NO_2) = \frac{2\alpha}{1 + \alpha} = \frac{0,40}{1,20} = 0,3333$$

$$x(N_2O_4) = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} = \frac{0,80}{1,20} = 0,6666$$

$$K_p = \frac{(p_{NO_2})^2}{p_{N_2O_4}} = p \cdot \frac{x(NO_2)^2}{x(N_2O_4)} = 1 \text{ bar} \cdot \frac{(0,3333)^2}{0,6666} = \mathbf{0,1667 \text{ bar}}$$

Za stupanj disocijacije NO_2 **pri tlaku 13,15 kPa dobivamo**

$$\frac{K_p}{p} = \frac{(2\alpha)^2}{(1 - \alpha)} = \frac{0,1667 \text{ bar}}{0,1315 \text{ bar}} = 1,268$$

Oдавде proizlazi:

$$4\alpha^2 = 1,268 \cdot (1 - \alpha) = 1,268 - 1,268 \alpha$$

odnosno

$$4\alpha^2 + 1,268 \alpha - 1,268 = 0$$

Za stupanj disocijacije dobivamo:

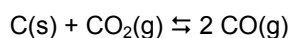
$$\alpha = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-1,268 + \sqrt{1,268^2 + 20,288}}{8} = \frac{-1,268 + 4,679}{8} = \mathbf{0,426}$$

Provjerimo rezultat

$$K_p = \frac{(p_{NO_2})^2}{p_{N_2O_4}} = p \cdot \frac{x(NO_2)^2}{x(N_2O_4)} = 0,1315 \times \frac{(2\alpha)^2}{1 - \alpha} = 0,1315 \times \frac{0,852^2}{0,574} = 0,1663$$

9.21. Vidi STEHIOMETRIJA

Imamo isti slučaj kao u zadatku 9.20.



$$K_p = \frac{(p_{CO})^2}{p_{CO_2}} = p \cdot \frac{x(CO)^2}{x(CO_2)} = p \cdot \frac{(2\alpha)^2}{1 - \alpha}$$

Oдавде prema uvjetima iz zadatka proizlazi

$$10 \text{ bar} = 4 \text{ bar} \cdot \frac{(2\alpha)^2}{1 - \alpha}$$

$$\frac{10 \text{ bar}}{4 \text{ bar}} = \frac{(2\alpha)^2}{1 - \alpha} = 2,5$$

Odavde proizlazi:

$$4\alpha^2 = 2,5 (1 - \alpha)$$

$$4\alpha^2 + 2,5 \alpha - 2,5 = 0$$

Za stupanj disocijacije dobivamo:

$$\alpha = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-2,5 + \sqrt{2,5^2 + 40}}{8} = \frac{-2,5 + 6,80}{8} = 0,538$$

$$x(\text{CO}) = \frac{2\alpha}{1 + \alpha} = \frac{1,076}{1 + 0,538} = 0,700$$

$$p(\text{CO}) = 4 \text{ bar} \cdot 0,700 = 2,8 \text{ bar}$$

$$x(\text{CO}_2) = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} = \frac{1 - 0,537}{1 + 0,537} = \frac{0,463}{1,537} = 0,300$$

$$p(\text{CO}_2) = 4 \text{ bar} \cdot 0,301 = 1,2 \text{ bar}$$

=====

Ako je množinski udio CO u smjesi 10 % tada je pri 817 °C

$$x(\text{CO}) = \frac{2\alpha}{1 + \alpha} = 0,1$$

Odavde proizlazi

$$2\alpha = 0,1 \cdot (1 + \alpha);$$

$$\alpha = \frac{0,1}{1,9} = 0,0526$$

Kako je:

$$K_p = \frac{(p_{\text{CO}})^2}{p_{\text{CO}_2}} = p \cdot \frac{x(\text{CO})^2}{x(\text{CO}_2)} = p \cdot \frac{(2\alpha)^2}{1 - \alpha}$$

proizlazi:

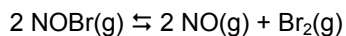
$$p = K_p \cdot \frac{1 - \alpha}{2\alpha^2} = 10 \text{ bar} \cdot \frac{1 - 0,0526}{0,1052^2} = 856 \text{ bar}$$

Provjerimo tako da pomoću dobivenih podataka izračunamo konstantu ravnoteže.

$$K_p = p \cdot \frac{(2\alpha)^2}{1 - \alpha} = 856 \text{ bar} \cdot \frac{(2 \times 0,0526)^2}{1 - 0,0526} = 856 \text{ bar} \cdot \frac{0,01107}{0,9474} = 9,99 \text{ bar}$$

9.22. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije.



Iz dva mola reaktanta nastaju tri mola produkata. Konstanta ravnoteže ima oblik:

$$K_p = \frac{(p_{\text{NO}})^2 \cdot p_{\text{Br}_2}}{(p_{\text{NOBr}})^2}$$

Ako 35 % od 2 mola nitrozil bromida disocira tada reakcijska smjesa nakon uspostavljanja ravnoteže sadržava sljedeće sastojke:

$$n(\text{NOBr}) = 2 \text{ mol} \cdot 0,65 = 1,30 \text{ mol}$$

$$n(\text{NO}) = 2 \text{ mol} \cdot 0,35 = 0,70 \text{ mol}$$

$$n(\text{Br}_2) = 2 \text{ mol} \cdot 0,35 \cdot \frac{1}{2} = 0,35 \text{ mol}$$

$$n = 2,35 \text{ mol}$$

Ako sastav reakcijske smjese iskažemo množinskim udjelima, uzimajući u obzir ukupan tlak plinske smjese 0,55 bar, tad dobivamo sljedeće parcijalne tlakove sastojaka smjese:

$$p_{\text{NOBr}} = \frac{1,30 \text{ mol}}{2,35 \text{ mol}} \cdot 0,55 \text{ bar} = 0,304 \text{ bar}$$

$$p_{\text{NO}} = \frac{0,70 \text{ mol}}{2,35 \text{ mol}} \cdot 0,55 \text{ bar} = 0,164 \text{ bar}$$

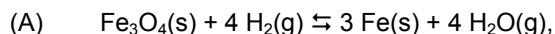
$$p_{\text{Br}_2} = \frac{0,35 \text{ mol}}{2,35 \text{ mol}} \cdot 0,55 \text{ bar} = 0,082 \text{ bar}$$

Za konstantu ravnoteže dobivamo:

$$K_p = \frac{(p_{\text{NO}})^2 \cdot p_{\text{Br}_2}}{(p_{\text{NOBr}})^2} = \frac{(0,164 \text{ bar})^2 \cdot 0,082 \text{ bar}}{(0,304 \text{ bar})^2} = \mathbf{0,0239 \text{ bar}}$$

9.23. Vidi STEHIOMETRIJA

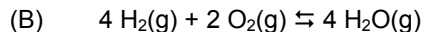
Napišimo jednadžbu reakcije.



Konstanta ravnoteže ove reakcije ima oblik:

$$K_c(A) = \frac{[\text{H}_2\text{O}]^4}{[\text{H}_2]^4} = 1,5$$

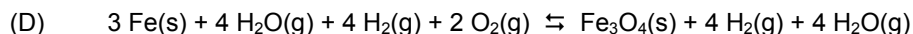
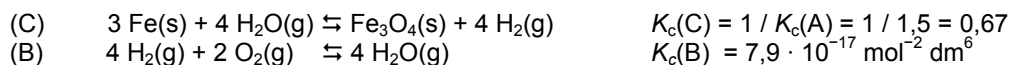
Druga jednadžba glasi:



Konstanta ravnoteže ove reakcije ima oblik:

$$K_c(B) = \frac{[\text{H}_2\text{O}]^4}{[\text{O}_2]^2 \cdot [\text{H}_2]^4} = 7,9 \cdot 10^{-17} \text{ mol}^{-2} \text{ dm}^6$$

Zbrojimo ove dvije jednadžbe tako da prvoj jednadžbi okrenemo smjer. Pritom se mijenja i konstanta ravnoteže tako da je: $K_c(C) = 1 / K_c(A)$



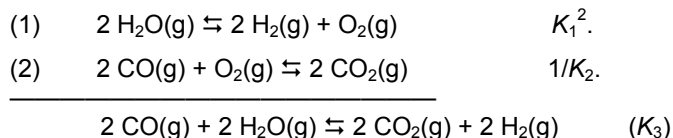
Konstantu ravnoteže ove reakcije možemo napisati u obliku:

$$K_c(D) = \frac{[\text{H}_2]^4}{[\text{H}_2\text{O}]^4} \cdot \frac{[\text{H}_2\text{O}]^4}{[\text{O}_2]^2 \cdot [\text{H}_2]^4} = K_c(C) \cdot K_c(B) = 0,67 \cdot 7,9 \cdot 10^{-17} \text{ mol}^{-2} \text{ dm}^6 = \mathbf{5,3 \cdot 10^{-17} \text{ mol}^{-2} \text{ dm}^6}$$

9.24. Vidi STEHIOMETRIJA

Pomnožimo prvu jednadžbu s dva. Konstanta ravnoteže pritom poprima vrijednost K_1^2 .

Okrenimo redoslijed druge reakcije i zbrojimo obje jednadžbe. Pritom konstanta druge reakcije poprima recipročnu vrijednost, $1/K_2$.



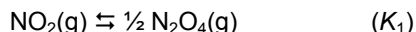
Konstantu ravnoteže ove reakcije možemo napisati u obliku:

$$K_3^2 = \frac{[\text{CO}_2]^2}{[\text{CO}]^2 \cdot [\text{O}_2]} \cdot \frac{[\text{H}_2]^2 \cdot [\text{O}_2]}{[\text{H}_2\text{O}]^2} = \frac{K_1^2}{K_2}$$

$$K_3 = (K_1^2 / K_2)^{1/2}$$

9.25. Vidi STEHIOMETRIJA

Pomnožimo li koeficijente kemijske reakcije nekim brojem n , nova jednačba ima konstantu ravnoteže koja je jednaka n -toj potenciji prvotne konstante ravnoteže.



Povišenje tlaka pogoduje asocijaciji molekula NO_2 u N_2O_4 . Konstanta ravnoteže ne ovisi o tlaku. Povišenjem tlaka mijenjaju se samo koncentracije reaktanata i produkata.

Povišenje temperature pogoduje disocijaciji molekula N_2O_4 u NO_2 . Pri promjeni temperature mijenja se konstanta ravnoteže.

9.26. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednačbu reakcije:



Najprije moramo izračunati parcijalne tlakove sastojaka reakcijske smjese u ravnoteži:

$$p(\text{COCl}_2) = \frac{n R T}{V} = \frac{m R T}{M V} = \frac{0,0022 \text{ kg} \cdot 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 673 \text{ K}}{0,0989 \text{ kg mol}^{-1} \cdot 0,0015 \text{ m}^3} = 83 \text{ kPa} = 0,83 \text{ bar}$$

Oдавде proizlazi:

$$p(\text{CO}) = p(\text{Cl}_2) = 8,5 \text{ kPa} = 0,085 \text{ bar}$$

$$K_p = \frac{p_{\text{CO}} \cdot p_{\text{Cl}_2}}{p_{\text{COCl}_2}} = \frac{(0,085 \text{ bar})^2}{0,83 \text{ bar}} = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ bar}$$

9.27. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednačbu disocijacije fosgena:



Iz jednog mola fosgena nastaju dva mola produkata. Ako je tlak porastao od 100 kPa na 116 kPa, tad su parcijalni tlakovi plinova u smjesi:

$$p_{\text{CO}} = 16 \text{ kPa}$$

$$p_{\text{Cl}_2} = 16 \text{ kPa}$$

$$p_{\text{COCl}_2} = 84 \text{ kPa}$$

Za konstantu ravnoteže dobivamo:

$$K_p = \frac{p_A \cdot p_B}{p_{AB}} = \frac{p_{\text{CO}} \cdot p_{\text{Cl}_2}}{p_{\text{COCl}_2}} = \frac{0,16 \text{ bar} \cdot 0,16 \text{ bar}}{0,84 \text{ bar}} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ bar}$$

9.28. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije



Reaktanti su uzeti u stehiometrijskom omjeru. Ako se y mola od početne množine dušika utroši za nastajanje amonijaka, to prema reakcijskoj jednadžbi proizlaze sljedeće množine sastojaka u smjesi:

$$n(\text{NH}_3) = n_0 \cdot 2y$$

$$n(\text{N}_2) = n_0 (1 - y)$$

$$n(\text{H}_2) = 3 n_0 (1 - y)$$

Ukupna množina tvari u reakcijskoj smjesi je:

$$\Sigma n = n_0 (2y + 1 - y + 3 - 3y) = n_0 (4 - 2y)$$

Množinski udjeli sastojaka u ravnotežnoj smjesi su:

$$x_{\text{NH}_3} = \frac{2y}{4 - 2y}, \quad x_{\text{N}_2} = \frac{1 - y}{4 - 2y}, \quad x_{\text{H}_2} = 3 \cdot \frac{1 - y}{4 - 2y}$$

Konstanta ravnoteže pri 400°C ima oblik:

$$K_p = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ bar}^{-2} = \frac{1}{p^2} \cdot \frac{x_{\text{NH}_3}^2}{x_{\text{H}_2}^3 \cdot x_{\text{N}_2}} = \frac{1}{p^2} \cdot \frac{4y^2 \cdot (4 - 2y)^2}{27 \cdot (1 - y)^4}$$

Pri tlaku 1 bar iscrpak amonijaka je vrlo malen pa ako je, $y \ll 1$, tada iz gornje jednadžbe dobivamo:

$$K_p = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ bar}^{-2} \approx \frac{1}{p^2} \cdot \frac{64}{27} \cdot y^2$$

Pri tlaku 1 bar odavde proizlazi:

$$y = (27 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4} / 64)^{1/2} = 0,0087$$

$$x_{\text{NH}_3} = \frac{2y}{4 - 2y} = \frac{2 \cdot 0,0087}{4 - 2 \cdot 0,0087} = \frac{0,130}{3,98} = \mathbf{0,0044} \quad (\text{pri } 400^\circ\text{C}, 1 \text{ bar})$$

$$y = (27 \cdot 1,5 \cdot 10^{-5} / 64)^{1/2} = 0,0025$$

$$x_{\text{NH}_3} = \frac{2y}{4 - 2y} = \frac{2 \cdot 0,0025}{4 - 2 \cdot 0,0025} = \frac{0,005}{3,995} = \mathbf{0,0012} \quad (\text{pri } 500^\circ\text{C}, 1 \text{ bar})$$

Dobije li se više amonijaka pri 400°C i 100 bara tlaka ili pri 500°C i 200 bara tlaka izračunat ćemo pomoću izraza za K_p .

$$K_p = \frac{1}{p^2} \cdot \frac{4y^2 \cdot (4 - 2y)^2}{27 \cdot (1 - y)^4}$$

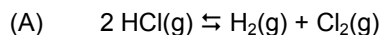
Drugi korijen ove jednadžbe je kvadratna jednadžba. Uvrštavanjem podataka za K_p i p dobiju se rješenja $y_{1,2}$, od kojih je samo jedno primjenjivo. Konačno se dobiva

$$x_{\text{NH}_3} = \frac{2y}{4 - 2y} \approx 0,24 \quad (400^\circ\text{C}, 100 \text{ bar}) \quad x_{\text{NH}_3} \approx 0,17 \quad (500^\circ\text{C}, 200 \text{ bar})$$

:

9.29. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije:



Stupanj disocijacije $\text{HCl} = 6,25 \cdot 10^{-4}$

Ako je stupanj disocijacije α , tad se je od prisutne množine klorovodika, n_0 , raspalo $n_0 \cdot \alpha$, a preostala množina klorovodika je, $n_0(1 - \alpha)$. Od dvije molekule klorovodika koje se raspadnu nastane po jedna molekula klora i jedna molekula vodika. Ukupna množina tvari se ne mijenja, pa će u ravnoteži biti:

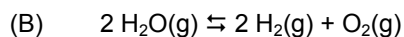
$$n_{\text{Cl}_2} = n_{\text{H}_2} = n_0 \cdot 0,5 \alpha$$

$$n_{\text{HCl}} = n_0 \cdot (1 - \alpha)$$

Oдавде proizlazi

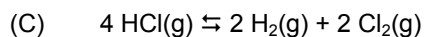
$$K_c(A) = \frac{[\text{H}_2] \cdot [\text{Cl}_2]}{[\text{HCl}]^2} = \frac{(0,5 \alpha)^2}{(1 - \alpha)^2} = \frac{(0,5 \cdot 6,25 \cdot 10^{-4})^2}{(1 - 6,25 \cdot 10^{-4})^2} \approx 1 \cdot 10^{-7}$$

Konstanta termičke disocijacije vode je:

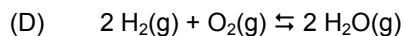


$$K_c(B) = 9 \cdot 10^{-12} \text{ mol dm}^{-3}$$

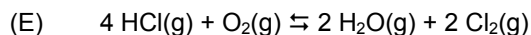
Da bismo izračunali konstantu ravnoteže za proces $4 \text{HCl(g)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O(g)} + 2 \text{Cl}_2(\text{g})$ treba jednadžbu (A) pomnožiti s dva, jednadžbi (B) okrenuti redoslijed i zbrojiti obje jednadžbe. Tako dobivamo:



$$K_c(C) = K_c(A)^2 = (1 \cdot 10^{-7})^2 = 1 \cdot 10^{-14}$$



$$K_c(D) = 1 / K_c(B) = 1,1 \cdot 10^{11} \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3$$



$$K_c(E) = K_c(C) \cdot K_c(D) = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3$$

9.30. Vidi STEHIOMETRIJA

a) $\text{CaCl}_2(\text{s}) \rightarrow \text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}(\text{s})$

Tlak vodene pare pri 20 °C

$$p_0(\text{H}_2\text{O}) = 2338 \text{ Pa}$$

Preostali tlak vodene pare

$$- p_1(\text{H}_2\text{O}) = 45 \text{ Pa}$$

Smanjenje tlaka vodene pare

$$2293 \text{ Pa}$$

Postotak vezane vodene pare

$$100 \cdot 2293 \text{ Pa} / 2338 \text{ Pa} = \mathbf{98 \%}$$

b) $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightarrow \text{CaCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}(\text{s})$

Tlak vodene pare pri 20 °C

$$p_0(\text{H}_2\text{O}) = 2338 \text{ Pa}$$

Preostali tlak vodene pare

$$- p_1(\text{H}_2\text{O}) = 326 \text{ Pa}$$

Smanjenje tlaka vodene pare

$$2012 \text{ Pa}$$

Postotak vezane vodene pare

$$100 \cdot 2012 \text{ Pa} / 2338 \text{ Pa} = \mathbf{86 \%}$$

c) $\text{CaCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightarrow \text{CaCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}(\text{s})$

Tlak vodene pare pri 20 °C

$$p_0(\text{H}_2\text{O}) = 2338 \text{ Pa}$$

Preostali tlak vodene pare

$$- p_1(\text{H}_2\text{O}) = 497 \text{ Pa}$$

Smanjenje tlaka vodene pare

$$1841 \text{ Pa}$$

Postotak vezane vodene pare

$$100 \cdot 1841 \text{ Pa} / 2338 \text{ Pa} = \mathbf{78,7 \%}$$

d)

Moramo odrediti koja je faza prisutna, odnosno množinski omjer CaCl_2 i H_2O .

$$M(\text{CaCl}_2) = 111 \text{ g mol}^{-1}$$

Masa vezane vode je 10 % mase CaCl_2 , odnosno 11,1 g

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{11,1 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} = 0,616 \text{ mol}$$

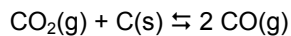
Vidimo da na 1 mol CaCl_2 dolazi 0,16 mol H_2O . Prema tome u eksikatoru je prisutna smjesa bezvodnog $\text{CaCl}_2(\text{s})$ i $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}(\text{s})$. Iznad takve smjese tlak para vode je: $p_1(\text{H}_2\text{O}) = \mathbf{45 \text{ Pa}}$

9.31. Vidi STEHIOMETRIJA

Brzina kemijske reakcije proporcionalna je umnošku koncentracija tvari koje reagiraju.

(a)

Na brzinu reakcije



utječe samo parcijalni tlak $\text{CO}_2(\text{g})$. Koncentraciju krute faze, ugljika, iskazujemo množinskim udjelom i on je za krutu fazu uvijek jednak 1. Povećamo li parcijalni tlak CO_2 pet puta i brzina prirasta koncentracije produkata poraste **5 puta** uz pretpostavku da je riječ o reakciji prvog reda,

(b)

Pri istom tlaku brzina prirasta koncentracije ugljikova monoksida se ne mijenja ako površinu povećamo dva puta. Pri istom tlaku zbog dvostruko veće površine ugljika u istom će vremenu nastati dvostruko veća množina ugljikova monoksida, ali brzina reakcije, tj. **promjena koncentracije u jedinici vremena**, ostaje nepromijenjena.

(c)

Konstanta ravnoteže ovisi samo o temperaturi. Ne ovisi o koncentraciji reaktanata, površini kao niti o prisustvu katalizatora.

9.32. Vidi STEHIOMETRIJA

Za temperaturu 200 °C već je u zadatku 9.10. izračunan sastav ravnotežne smjese. Na temelju tih podataka za konstantu ravnoteže dobivamo:

(a) (200 °C)

$$K_x(200\text{ °C}) = \frac{x(\text{PCl}_3) \cdot x(\text{Cl}_2)}{x(\text{PCl}_5)} = \frac{0,3266 \cdot 0,3266}{0,3468} = \mathbf{0,307}$$

(b) (230 °C)

$$M_r(\text{smjesa}) = 124,4$$

$$208,5 x + 137,5 y + 71 y = 124,4$$

$$x + 2 y = 1$$

Supstitucijom druge jednadžbe u prvu proizlazi:

$$208,5 \cdot (1 - 2y) + 137,5 y + 71 y = 124,4$$

$$208,5 - 417 y + 208,5 y = 124,4$$

$$208,5 - 124,4 = 417 y - 208,5 y$$

$$84,1 = 208,5 y$$

$$y = 0,4033$$

$$x = 1 - 2 y = 1 - 0,8067 = \mathbf{0,193}$$

$$x(\text{PCl}_5) = 0,194$$

$$x(\text{PCl}_3) = 0,403$$

$$x(\text{Cl}_2) = 0,403$$

$$K_x(230\text{ °C}) = \frac{x(\text{PCl}_3) \cdot x(\text{Cl}_2)}{x(\text{PCl}_5)} = \frac{0,403 \cdot 0,403}{0,194} = \mathbf{0,837}$$

Od ukupno 0,597 mol PCl_5 disociralo je 0,403 mol.

$$\alpha = \frac{0,403}{0,597} = 0,675 \text{ ili } \mathbf{67,5\%}$$

(c) (250 °C)

$$M_r(\text{smjesa}) = 115,8$$

$$208,5 x + 137,5 y + 71 y = 115,8$$

$$x + 2 y = 1$$

Supstitucijom druge jednadžbe u prvu proizlazi:

$$208,5 \cdot (1 - 2y) + 137,5 y + 71 y = 115,8$$

$$208,5 - 417 y + 208,5 y = 115,8$$

$$208,5 - 115,8 = 417 y - 208,5 y$$

$$92,7 = 208,5 y$$

$$y = 0,4446$$

$$x = 1 - 2y = 1 - 0,8892 = \mathbf{0,1108}$$

$$x(\text{PCl}_5) = 0,1108$$

$$x(\text{PCl}_3) = 0,4446$$

$$x(\text{Cl}_2) = 0,4446$$

$$K_x(230\text{ }^\circ\text{C}) = \frac{x(\text{PCl}_3) \cdot x(\text{Cl}_2)}{x(\text{PCl}_5)} = \frac{0,4446 \cdot 0,4446}{0,1108} = \mathbf{1,78}$$

Od ukupno 0,5554 mol PCl_5 disociralo je 0,4446 mol.

$$\alpha = \frac{0,4446}{0,5554} = 0,800 \text{ ili } \mathbf{80\%}$$

(d) (274 °C)

$$M_r(\text{smjesa}) = 111,2$$

$$208,5x + 137,5y + 71y = 111,2$$

$$x + 2y = 1$$

Supstitucijom druge jednadžbe u prvu proizlazi:

$$208,5 \cdot (1 - 2y) + 137,5y + 71y = 111,2$$

$$208,5 - 417y + 208,5y = 111,2$$

$$208,5 - 111,2 = 417y - 208,5y$$

$$97,3 = 208,5y$$

$$y = 0,4667$$

$$x = 1 - 2y = 1 - 0,8892 = \mathbf{0,0667}$$

$$x(\text{PCl}_5) = 0,0667$$

$$x(\text{PCl}_3) = 0,4667$$

$$x(\text{Cl}_2) = 0,4667$$

$$K_x(230\text{ }^\circ\text{C}) = \frac{x(\text{PCl}_3) \cdot x(\text{Cl}_2)}{x(\text{PCl}_5)} = \frac{0,4667 \cdot 0,4667}{0,0667} = \mathbf{3,26}$$

Od ukupno 0,5334 mol PCl_5 disociralo je 0,4667 mol.

$$\alpha = \frac{0,4667}{0,5334} = 0,875 \text{ ili } \mathbf{87,5\%}$$

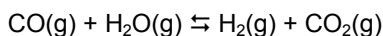
9.33. Vidi STEHIOMETRIJA

a) Uz nepromijenjeni tlak plinske smjese dodatak argona rezultira smanjenjem koncentracije reaktanata i produkata. Dolazi do smanjenja parcijalnog tlaka reaktanata i produkata u smjesi. Kako disocijacijom PCl_5 iz jednog mola reaktanata nastaju dva mola produkata, u skladu s Le Chatelierovim načelom doći će do porasta stupnja disocijacije PCl_5 .

b) Ako parcijalni tlak PCl_5 ostane nepromijenjen ravnotežne koncentracije klora i PCl_3 ostaju nepromijenjene.

9.34. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije:



Polazni volumni udjeli plinova 0,10 0,60 0,10 0,20

Konstanta ravnoteže ima oblik:

$$K_x \approx 1 \approx \frac{x(\text{H}_2) \cdot x(\text{CO}_2)}{x(\text{CO}) \cdot x(\text{H}_2\text{O})} =$$

Iz konstante ravnoteže možemo zaključiti da povećanja brojnika i smanjenja nazivnika kako bi omjer bio približno jedan. To znači da se volumni udjeli vodika i CO_2 moraju povećati a volumni udjeli CO i vodene pare smanjiti za istu veličinu y . Prema tome možemo postaviti sljedeće odnose:

$$x(\text{CO}) = 0,1 - y$$

$$x(\text{H}_2\text{O}) = 0,60 - y$$

$$x(\text{H}_2) = 0,1 + y$$

$$x(\text{CO}_2) = 0,20 + y$$

Unesimo ove podatke u izraz za konstantu ravnoteže pa dobivamo:

$$K_x \approx 1 \approx \frac{x(\text{H}_2) \cdot x(\text{CO}_2)}{x(\text{CO}) \cdot x(\text{H}_2\text{O})} = \frac{(0,1 + y) \cdot (0,20 + y)}{(0,1 - y) \cdot (0,60 - y)} = \frac{0,02 + 0,20y + 0,1y + y^2}{0,06 - 0,60y - 0,1y + y^2} = \frac{y^2 + 0,30y + 0,02}{y^2 - 0,70y + 0,06}$$

Ako je kvocijent ≈ 1 , tada vrijedi:

$$y^2 + 0,30y + 0,02 = y^2 - 0,70y + 0,06$$

$$y^2 - y^2 + 0,30y + 0,70y = 0,06 - 0,02$$

$$y = 0,04$$

Oдавде proizlazi:

$$x(\text{CO}) = 0,1 - y = \mathbf{0,06}$$

$$x(\text{H}_2\text{O}) = 0,60 - y = \mathbf{0,56}$$

$$x(\text{H}_2) = 0,1 + y = \mathbf{0,14}$$

$$x(\text{CO}_2) = 0,20 + y = \mathbf{0,24}$$

9.35. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\frac{p_{\text{H}_2}}{p_{\text{H}}^2} = 1,8 \cdot 10^{12} \text{ bar}^{-1}$$

Preuredimo jednađbu:

$$p_{\text{H}}^2 = \frac{p_{\text{H}_2}}{1,8 \cdot 10^{12} \text{ bar}^{-1}}$$

Za p_{H_2} možemo smatrati da je ostao nepromijenjen jer je disocijacija molekula H_2 beznačajna, pa dobivamo:

$$p_{\text{H}} = \left(\frac{1 \text{ bar}^2}{1,8 \cdot 10^{12}} \right)^{1/2} = 7,45 \cdot 10^{-7} \text{ bar} = \mathbf{0,0745 \text{ Pa}}$$

$$N(\text{H}) = N_{\text{A}} \cdot n(\text{H}) = N_{\text{A}} \cdot \frac{p V}{R T} = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \cdot \frac{0,0745 \text{ Pa} \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 1273 \text{ K}} = \mathbf{4,24 \cdot 10^{12}}$$

9.36. Vidi STEHIOMETRIJA

800 °C

$$\lg(K_p/\text{bar}^{-2}) = \frac{3724}{(T/\text{K})} - 9,1293 \lg (T/\text{K}) + 3,08 \cdot 10^{-3} \cdot (T/\text{K}) + 13,412$$

$$\lg(K_p/\text{bar}^{-2}) = \frac{3724}{1073} - 9,1293 \lg 1073 + 3,08 \cdot 10^{-3} \cdot 1073 + 13,412 = \mathbf{-7,48}$$

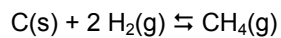
1000 °C

$$\lg(K_p/\text{bar}^{-2}) = \frac{3724}{1273} - 9,1293 \lg 1273 + 3,08 \cdot 10^{-3} \cdot 1273 + 13,412 = \mathbf{-8,09}$$

$$K_p = \frac{p(\text{CH}_3\text{OH})}{p(\text{CO}) \cdot p^2(\text{H}_2)}$$

Više će metanola nastati pri 800 °C

9.37. Vidi STEHIOMETRIJA



$$K_p = \frac{p(\text{CH}_4)}{p^2(\text{H}_2)}$$

1 000 °C

$$\lg(K_p/\text{bar}^{-1}) = \frac{3348}{1273} - 5,957 \lg 1273 + 1,86 \cdot 10^{-3} \cdot 1273 - 0,1095 \cdot 10^{-6} \cdot 1273^2 + 11,79 = -1,885$$

$$K_p = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ bar}^{-1}$$

1 500 °C

$$\lg(K_p/\text{bar}^{-1}) = \frac{3348}{1773} - 5,957 \lg 1773 + 1,86 \cdot 10^{-3} \cdot 1773 - 0,1095 \cdot 10^{-6} \cdot 1773^2 + 11,79 = -2,7206$$

$$K_p = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ bar}^{-1}$$

2 000 °C

$$\lg(K_p/\text{bar}^{-1}) = \frac{3348}{2273} - 5,957 \lg 2273 + 1,86 \cdot 10^{-3} \cdot 2273 - 0,1095 \cdot 10^{-6} \cdot 2273^2 + 11,79 = -3,070$$

$$K_p = 8,5 \cdot 10^{-4} \text{ bar}^{-1}$$

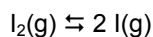
Najpovoljnija je temperatura od 2 000 °C.

9.38. Vidi STEHIOMETRIJA

Izraz za konstantu ravnoteže napisat ćemo u uobičajenom obliku

$$K_p = \frac{p^2(I)}{p(I_2)} = 0,26 \text{ bar}$$

Iz jednadžbe reakcije raspada molekula joda na atome



možemo zaključiti da raspadom 1 mola molekula $I_2(g)$ nastaju dva mola atoma $I(g)$.

Uzmimo da je u stanju ravnoteže:

$$p(I_2(g)) / \text{bar} = 1 - y$$

$$p(I(g)) / \text{bar} = y$$

$$K_p / \text{bar} = 0,26$$

Za konstantu ravnoteže dobivamo:

$$\frac{y^2}{1 - y} = 0,26$$

Oдавde proizlazi:

$$y^2 = 0,26 - 0,26 y$$

odnosno

$$y^2 + 0,26 y - 0,26 = 0$$

$$y_{1,2} = \frac{-0,26 \pm \sqrt{0,0676 + 1,04}}{2}$$

$$y_1 = 0,396$$

$$y_2 = - 6562$$

Za ravnotežne tlakove dobivamo:

$$p(I_2(g)) / \text{bar} = 1 - y = 1 - 0,396 = \mathbf{0,604}$$

$$p(I(g)) / \text{bar} = y = \mathbf{0,396}$$

Provjerimo rezultat uvrštavanjem dobivenih podataka u izraz za konstantu ravnoteže:

$$K_p = \frac{p^2(I)}{p(I_2)} = \frac{(0,396)^2}{0,604} = 0,2596 \text{ bar}$$

Za masu joda sadržanu u tikvici volumena 1 dm^3 pri tlaku 1 bar i temperaturi 1500 K dobivamo:

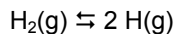
$$m = m(I_2) + m(I) = n(I_2) \cdot M(I_2) + n(I) \cdot M(I)$$

$$m(I_2) = \frac{p V M}{RT} = \frac{60400 \text{ Pa} \cdot 0,001 \text{ m}^3 \cdot 0,2538 \text{ kg mol}^{-1}}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 1500 \text{ K}} = 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = \mathbf{1,229 \text{ g}}$$

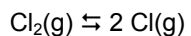
$$m(I) = \frac{p V M}{RT} = \frac{39600 \text{ Pa} \cdot 0,001 \text{ m}^3 \cdot 0,1269 \text{ kg mol}^{-1}}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 1500 \text{ K}} = 0,40 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = \mathbf{0,403 \text{ g}}$$

$$m(I_2) + m(I) = \mathbf{1,632 \text{ g}}$$

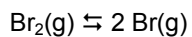
9.39. Vidi STEHIOMETRIJA



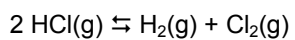
ovisi o tlaku jer se množina plinova u smjesi mijenja



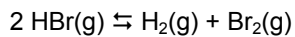
ovisi o tlaku jer se množina plinova u smjesi mijenja



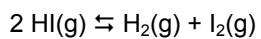
ovisi o tlaku jer se množina plinova u smjesi mijenja



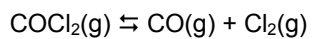
ne ovisi o tlaku jer se množina plinova u smjesi ne mijenja



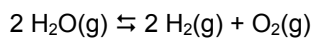
ne ovisi o tlaku jer se množina plinova u smjesi ne mijenja



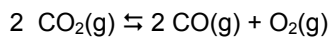
ne ovisi o tlaku jer se množina plinova u smjesi ne mijenja



ovisi o tlaku jer se množina plinova u smjesi mijenja



ovisi o tlaku jer se množina plinova u smjesi mijenja



ovisi o tlaku jer se množina plinova u smjesi mijenja

9.40. Vidi STEHIOMETRIJA

Konstanta ravnoteže

$$K_c = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]}$$

slijedi izraz

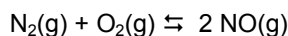
$$\lg K_c = -\frac{9460}{(T/\text{K})} + 1,09$$

$$\lg K_c(1000\text{ }^\circ\text{C}) = -\frac{9460}{1273} + 1,09 = -6,3413 \quad K_c(1000\text{ }^\circ\text{C}) = 4,55 \cdot 10^{-7}$$

$$\lg K_c(2000\text{ }^\circ\text{C}) = -\frac{9460}{2273} + 1,09 = -3,0719 \quad K_c(2000\text{ }^\circ\text{C}) = 8,47 \cdot 10^{-4}$$

$$\lg K_c(3000\text{ }^\circ\text{C}) = -\frac{9460}{3273} + 1,09 = -1,8003 \quad K_c(3000\text{ }^\circ\text{C}) = 1,58 \cdot 10^{-2}$$

Koliki je volumni udio dušikova monoksida koji se nalazi u ravnoteži s reaktantima pri 1000 °C, 2000 °C i 3000 °C?



Protekom reakcije ne dolazi do promjene množine plinova pa koncentracije možemo zamijeniti množinskim ili volumnim udjelima. Iz dva mola reaktanata nastaju dva mola produkata.

Uzmimo da je:

$$[\text{N}_2] = [\text{O}_2] = n_o$$

Ako onaj dio od polazne množine reaktanata n_o koji je reagirao, označimo s y , tad je množina nastalog produkta $2yn_o$, a u ravnoteži će vrijediti:

$$K_x = \frac{4y^2}{(1-y)^2}$$

Na temelju konstante ravnoteže možemo zaključiti da vrlo malo dušika i kisika međusobno reagira dajući NO, pa se $(1-y)^2$ vrlo malo razlikuje od jedinice. Možemo uzeti da vrijedi:

$$y^2 \approx \frac{K_x}{4}$$

Oдавде proizlazi:

$$1000\text{ }^\circ\text{C} \quad x(\text{NO}) = \varphi(\text{NO}) = 3,4 \cdot 10^{-4}$$

$$2000\text{ }^\circ\text{C} \quad x(\text{NO}) = \varphi(\text{NO}) = 1,4 \cdot 10^{-3}$$

$$3000\text{ }^\circ\text{C} \quad x(\text{NO}) = \varphi(\text{NO}) = 6,3 \cdot 10^{-2}$$

9.41. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

Kod heterogenih ravnoteža, najčešće raspada različitih krutina, pri čemu se izdvajaju plinovi, konstante ravnoteže ili konstante raspada izražavaju se pomoću parcijalnih tlakova.

Koncentracije čistih tekućina, krutina i otapala iskazujemo množinskim udjelima.

Za čiste tvari uvijek je $x_B = 1$.

Konstanta ravnoteže za raspad barijeva peroksida jednaka je parcijalnom tlaku kisika pri danoj temperaturi.

b)

U pokrivenom lončiću za žarenje parcijalni tlak kisika bit će oko 1 bar pa će raspad teći pri temperaturi oko 800 °C jer je pri toj temperaturi konstanta ravnoteže, $K_p(\text{BaO}_2) \approx 1$ bar.

c)

Parcijalni tlak kisika u zraku je oko 0,20 bar. Iz podataka u tablici proizlazi da je za vezivanje kisika iz zraka pogodna temperatura od oko 700 °C.

10. RAVNOTEŽA U OTOPINAMA ELEKTROLITA

10.1. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\text{a) } K_c = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]},$$

$$\text{b) } K_c = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{OCl}^-]}{[\text{HOCl}]},$$

$$\text{c) } K_c = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{NO}_2^-]}{[\text{HNO}_2]},$$

$$\text{d) } K_c = \frac{[\text{H}^+]^2 \times [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]},$$

$$\text{e) } K_c = \frac{[\text{H}^+]^2 \times [\text{S}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{S}]},$$

$$\text{f) } K_c = \frac{[\text{H}^+]^2 \times [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4]},$$

$$\text{g) } K_c = \frac{[\text{H}^+]^3 \times [\text{PO}_4^{3-}]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]},$$

$$\text{h) } K_c = \frac{[\text{H}^+]^2 \times [\text{AsO}_4^{3-}]}{[\text{H}_3\text{AsO}_4]}.$$

10.2. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\text{a) } K_c = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3(\text{aq})]},$$

$$\text{b) } K_c = \frac{[\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2(\text{aq})]},$$

$$\text{c) } K_c = \frac{[(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}_2^+] \times [\text{OH}^-]}{[(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}(\text{aq})]},$$

$$\text{d) } K_c = \frac{[\text{C}_5\text{H}_5\text{NH}^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{C}_5\text{H}_5\text{N}(\text{aq})]}.$$

10.3. Vidi STEHIOMETRIJA

$$a) \quad K_c = \frac{[\text{Ag}^+] \times [\text{NH}_3]^2}{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+]},$$

$$b) \quad K_c = \frac{[\text{Ni}^{2+}] \times [\text{NH}_3]^4}{[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4^{2+}]},$$

$$c) \quad K_c = \frac{[\text{Co}^{2+}] \times [\text{NH}_3]^6}{[\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}]},$$

$$d) \quad K_c = \frac{[\text{Fe}^{2+}] \times [\text{CN}^-]^6}{[\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}]},$$

$$d) \quad K_c = \frac{[\text{Fe}^{3+}] \times [\text{CN}^-]^6}{[\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}]},$$

10.4. Vidi STEHIOMETRIJA

$$K_{\text{sol}}(\text{Ag}_2\text{S}) = [\text{Ag}^+]^2 \times [\text{S}^{2-}].$$

$$K_{\text{sol}}(\text{Cu}_2\text{S}) = [\text{Cu}^+]^2 \times [\text{S}^{2-}].$$

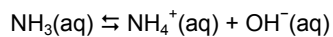
$$K_{\text{sol}}(\text{Bi}_2\text{S}_3) = [\text{Bi}^{3+}]^2 \times [\text{S}^{2-}]^3.$$

$$K_{\text{sol}}(\text{Hg}_2\text{Cl}_2) = [\text{Hg}_2^{2+}] \times [\text{Cl}^-]^2.$$

$$K_{\text{sol}}(\text{HgS}) = [\text{Hg}^{2+}] \times [\text{S}^{2-}].$$

10.5. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije:



Ako je od prisutne množine amonijaka disociralo 4 % tada su ravnotežne koncentracije:

$$[\text{NH}_3(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} = 0,0100 - 0,0004 = 0,0096$$

$$[\text{NH}_4^+(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} = 0,0004$$

$$[\text{OH}^-(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} = 0,0004$$

Za konstantu disocijacije dobivamo:

$$K_c = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3(\text{aq})]} = \frac{(0,004 \text{ mol dm}^{-3})^2}{0,0096 \text{ mol dm}^{-3}} = 1,67 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$$

10.6. Vidi STEHIOMETRIJA

Disocijaciju molekula AB na ione prikazuje jednačba:



U razrijeđenim otopinama koncentracija se umjesto množinskim udjelima češće iskazuje množinskom koncentracijom, ili kraće koncentracijom, c_B ili $[B]$, odnosno jedinicom mol dm^{-3} . Konstanta ravnoteže za disocijaciju ima oblik:

$$\frac{c_{A^-} \times c_{B^+}}{c_{AB}} = K_c$$

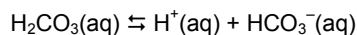
Ako je α stupanj disocijacije i c ukupna koncentracija elektrolita izražena jedinicom mol dm^{-3} , bit će koncentracije iona $c_{A^-} = c_{B^+} = \alpha \times c$, a koncentracija nedisociranog elektrolita $c_{AB} = (1 - \alpha) \times c$.

Odavde proizlazi:

$$\frac{\alpha^2}{(1 - \alpha)} \times c = K_c$$

(a)

Ugljična kiselina disocira prema jednačbi:



To je vrlo slaba kiselina s konstantom disocijacije $K_1 = 4,45 \times 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3}$. Ako je c relativno veliko, a K_c vrlo maleno, α se približava nuli, pa je $(1 - \alpha)$ praktično jednako jedinici. U takvim graničnim uslovima vrijedi:

$$\alpha = \sqrt{K_c / c}$$

Uzmimo da je:

$$c_{\text{H}_2\text{CO}_3} / \text{mol dm}^{-3} = 0,01$$

$$K_1 / \text{mol dm}^{-3} = 4,45 \times 10^{-7}$$

pa za stupanj disocijacije ugljične kiseline dobivamo:

$$\alpha = \sqrt{K_c / c} = \sqrt{4,45 \times 10^{-7} / 0,01} = 0,0067 \text{ ili } 0,67 \%$$

b)

Konstanta disocijacije limunske kiseline, $K_1 = 7,45 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$, za tri je reda veličine veća od konstante disocijacije ugljične kiseline. Pojednostavljeni izraz ne daje realnu vrijednost stupnja disocijacije jer je $(1 - \alpha)$ značajno manje od jedinice. Zato za izračunavanje stupnja disocijacije moramo upotrijebiti izraz:

$$\frac{\alpha^2}{(1 - \alpha)} \times c = K_c$$

Ovaj se izraz može preurediti tako da dobijemo kvadratnu jednačbu:

$$c \alpha^2 + K_c \alpha - K_c = 0$$

Uzmimo da je

$$c / \text{mol dm}^{-3} = 0,01$$

$$K_1 / \text{mol dm}^{-3} = 7,45 \times 10^{-4}$$

pa za stupanj disocijacije limunske kiseline dobivamo:

$$0,01 \alpha^2 + 7,45 \times 10^{-4} \alpha - 7,45 \times 10^{-4} = 0$$

Realno je samo pozitivno rješenja ove kvadratne jednadžbe, pa vrijedi:

$$\alpha = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-7,45 \times 10^{-4} + \sqrt{(7,45 \times 10^{-4})^2 + 4(0,01)(7,45 \times 10^{-4})}}{2 \times 0,01}$$

$$\alpha_1 = 0,238 \text{ ili } 23,8 \%$$

Kad bismo stupanj disocijacije računali prema izrazu $\alpha = \sqrt{K_c / c}$, dobili bismo za stupanj disocijacije limunske kiseline $\alpha = \sqrt{K_c / c} = \sqrt{7,45 \times 10^{-4} / 0,01} = 0,273$ ili 27,3 %

c)

Za stupanj disocijacije mravlje kiseline po istom načelu dobivamo:

$$c\alpha^2 + K_c\alpha - K_c = 0$$

$$0,01\alpha^2 + 1,77 \times 10^{-4}\alpha - 1,77 \times 10^{-4} = 0$$

$$\alpha = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-1,77 \times 10^{-4} + \sqrt{(1,77 \times 10^{-4})^2 + 4(0,01)(1,77 \times 10^{-4})}}{2 \times 0,01}$$

$$\alpha_1 = 0,125 \text{ ili } 12,5 \%$$

Kad bismo stupanj disocijacije računali prema izrazu $\alpha = \sqrt{K_c / c}$, dobili bismo za stupanj disocijacije mravlje kiseline $\alpha = \sqrt{K_c / c} = \sqrt{1,77 \times 10^{-4} / 0,01} = 0,133$ ili 13,3 %.

d)

Cijanovodična kiselina je vrlo slaba kiselina pa njezin stupanj disocijacije računamo prema izrazu:

$$\alpha = \sqrt{K_c / c} = \sqrt{7,9 \times 10^{-10} / 0,01} = 0,00028 \text{ ili } 0,028 \%$$

e)

Sumporovodična kiselina je vrlo slaba kiselina pa njezin stupanj disocijacije računamo prema izrazu:

$$\alpha = \sqrt{K_c / c} = \sqrt{5,7 \times 10^{-8} / 0,01} = 0,0024 \text{ ili } 0,24 \%$$

10.7. Vidi STEHIOMETRIJA

Disocijacijom octene kiseline poveća se broj čestica u otopini. Sniženje leđišta ovisi o broju čestica. Prema tome treba odrediti molalitet otopine.

Uzmimo da je

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1$$

$$K_{\text{CH}_3\text{COOH}} / \text{mol dm}^{-3} = 1,75 \times 10^{-5}.$$

Za stupanj disocijacije octene kiseline dobivamo:

$$\alpha = \sqrt{K_c / c} = \sqrt{1,75 \times 10^{-5} / 0,1} = 0,013 \text{ ili } 1,3 \%$$

Odavde proizlaze sljedeće ravnotežne koncentracije čestica u otopini:

$$\begin{array}{lll} [\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} & = (0,1 - \alpha) & = 0,087 \\ [\text{H}^+(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} & = \alpha & = 0,013 \\ [\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} & = \alpha & = 0,013 \end{array}$$

$$([\text{CH}_3\text{COOH}] + [\text{CH}_3\text{COO}^-] + [\text{H}^+]) / \text{mol dm}^{-3} = 0,113$$

Za molalitet otopine dobivamo

$$b_B = \frac{n_B}{m_A} = \frac{c_B}{\rho_A} = \frac{0,113 \text{ mol dm}^{-3}}{1,006 \text{ kg dm}^{-3}} = 0,1123 \text{ mol kg}^{-1}$$

Za sniženje leđišta dobivamo:

$$\Delta T = K_{\text{kr}} b = 1,86 \text{ K kg mol}^{-1} \times 0,1123 \text{ mol kg}^{-1} = \mathbf{0,21 \text{ K}}$$

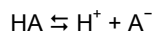
10.8. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo molalitet otopine:

$$b = \frac{\Delta T}{K_{\text{kr}}} = \frac{0,51 \text{ K}}{1,86 \text{ K kg mol}^{-1}} = 0,2742 \text{ mol kg}^{-1}$$

Pretpostavimo da je gustoća otopine $\rho = 1 \text{ kg dm}^{-3}$, jer taj podatak nije naveden u zadatku.

Monoprotionska kiselina disocira prema jednadžbi:



Ako od ukupno 0,2 mol monoprotionske kiseline, disocira y mola, tada je nastalo y mol iona H^+ i y mol iona A^- . Ukupna množina čestica u otopini je $0,2 + y = 0,2742$. Odavde proizlazi $y = 0,0742$

Prema tome ravnotežne su koncentracije:

$$\begin{array}{lll} [\text{HA}] / \text{mol dm}^{-3} = (0,2 - y) & = 0,1258 \\ [\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = y & = 0,0742 \\ [\text{A}^-] / \text{mol dm}^{-3} = y & = 0,0742 \end{array}$$

$$([\text{HA}] + [\text{A}^-] + [\text{H}^+]) / \text{mol dm}^{-3} = 0,2742$$

Za konstantu ravnoteže dobivamo:

$$K_c / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{(0,0742)^2}{0,1258} = \mathbf{4,37 \times 10^{-2}} \quad \text{p}K = \mathbf{1,36}$$

10.9. Vidi STEHIOMETRIJA

Primjenimo li izraz za stupanj disocijacije:

$$\alpha = \sqrt{K_c / c}$$

tada kvadriranjem dobivamo

$$\alpha^2 = K_c / c$$

odnosno

$$c = K_c / \alpha^2 = 1,75 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3} / (0,01)^2 = \mathbf{0,175 \text{ mol dm}^{-3}}$$

Isti problem možemo rješavati i tako da pođemo od izraza:

$$\frac{\alpha^2}{(1 - \alpha)} \times c = K_c$$

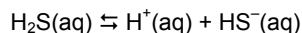
Odavde proizlazi:

$$c = K_c \times \frac{(1 - \alpha)}{\alpha^2} = 1,75 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3} \times \frac{1 - 0,01}{(0,01)^2} = \mathbf{0,173 \text{ mol dm}^{-3}}$$

Razlika između ova dva rješenja je beznačajna jer je octena kiselina vrlo slaba kiselina.

10.10. Vidi STEHIOMETRIJA

U vodenim su otopinama sve čestice hidratizirane što smo iskazivali znakom (aq). Zbog jednostavnijeg pisanja jednačbi i iskazivanja koncentracija iona, uvijek ćemo podrazumijevati da su sve čestice u vodenim otopinama hidratizirane, makar je znak (aq) izostavljen. Tako disocijaciju sumporovodika u vodenoj otopini prikazujemo jednačbom:



Za prvu konstantu disocijacije dobivamo:

$$K_c = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HS}^-]}{[\text{H}_2\text{S}]}$$

Disocijacijom sumporovodika nastaju jednake množine iona H^+ i HS^- . Iz konstante disocijacije zaključujemo da je sumporovodik vrlo malo disociran pa možemo uzeti da su ravnotežne koncentracije:

$$\begin{aligned} [\text{H}_2\text{S}] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,1 \\ [\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} &= y \\ [\text{HS}^-] / \text{mol dm}^{-3} &= y \\ K_1 / \text{mol dm}^{-3} &= 5,7 \times 10^{-8} \end{aligned}$$

Uvrstimo ove podatke u izraz za konstantu ravnoteže pa dobivamo:

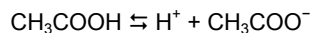
$$5,7 \times 10^{-8} = \frac{y^2}{0,1}$$

$$y = \sqrt{5,7 \times 10^{-9}} = 7,5 \times 10^{-5}$$

$$[\text{H}^+] = \mathbf{7,5 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}} \quad \text{pH} = \mathbf{4,12}$$

10.11. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu disocijacije octene kiseline.



Iz zadanih parametara proizlazi:

$$\text{pH} = 3, \quad c(\text{H}^+) / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pH}} = 10^{-3} \quad K_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1,75 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}.$$

$$K_c = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

Octena je kiselina slabo disocirana pa možemo pretpostaviti da je ravnotežna koncentracija octene kiseline u otopini jednaka njezinoj analitičkoj koncentraciji. Uzmimo da je:

$$K_{\text{CH}_3\text{COOH}} / \text{mol dm}^{-3} = 1,75 \times 10^{-5}$$

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-3}$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] / \text{mol dm}^{-3} = 0,05$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] / \text{mol dm}^{-3} = y$$

Uvrstimo poznate vrijednosti u izraz za konstantu ravnoteže pa dobivamo:

$$1,75 \times 10^{-5} = \frac{10^{-3} \times y}{0,05}$$

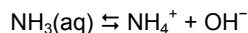
Odavde proizlazi

$$y = \frac{1,75 \times 10^{-5} \times 0,05}{10^{-3}} = 8,75 \times 10^{-4}$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 8,75 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

10.12. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu disocijacije amonijaka.



Konstanta disocijacije dana je izrazom:

$$K_{\text{NH}_3(\text{aq})} = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3(\text{aq})]}$$

Uzmimo da je:

$$K_{\text{NH}_3(\text{aq})} / \text{mol dm}^{-3} = y$$

$$[\text{NH}_3(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1 - 0,0013$$

$$[\text{NH}_4^+] / \text{mol dm}^{-3} = 0,0013$$

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = 0,0013$$

Odavde proizlazi:

$$y = \frac{[0,0013] \times [0,0013]}{0,1 - 0,0013} = 1,71 \times 10^{-5}$$

$$K_{\text{NH}_3(\text{aq})} = 1,71 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{OH}^-] = 0,0013 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}}{1,3 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}} = 7,7 \times 10^{-12} \text{ mol dm}^{-3}$$

10.13. Vidi STEHIOMETRIJA

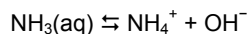
$$\text{pH} = -\lg ([\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3}) = -\lg 0,04 = 1,40$$

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14 - 1,40 = 12,60$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-12,6} = 2,5 \times 10^{-13} \text{ mol dm}^{-3}$$

10.14. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu disocijacije amonijaka.



Konstanta disocijacije dana je izrazom:

$$K_{\text{NH}_3(\text{aq})} = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3(\text{aq})]}$$

pH otopine je 12.

$$\begin{aligned} \text{Odavde proizlazi:} \quad \text{pOH} &= 14 - 12 = 2 \\ [\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} &= 10^{-2} \end{aligned}$$

Uzmimo da je:

$$K_{\text{NH}_3(\text{aq})} / \text{mol dm}^{-3} = 1,79 \times 10^{-5}$$

$$[\text{NH}_3(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1 - y$$

$$[\text{NH}_4^+] / \text{mol dm}^{-3} = z$$

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-2}$$

Otopina je jako lužnata pa je amonijak vrlo malo disociran. Zato možemo uzeti da je ravnotežna koncentracija amonijaka u otopini jednaka njegovoj analitičkoj koncentraciji. Odavde proizlazi:

$$1,79 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3} = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3(\text{aq})]} = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [0,01 \text{ mol dm}^{-3}]}{0,1 \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$[\text{NH}_4^+] = \frac{0,1 \text{ mol dm}^{-3} \times 1,79 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}}{0,01 \text{ mol dm}^{-3}} = 1,79 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{NH}_3(\text{aq})] = \mathbf{0,1 \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$[\text{NH}_4^+] = \mathbf{1,79 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$[\text{OH}^-] = \mathbf{10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}}$$

10.15. Vidi STEHIOMETRIJA

Po definiciji:

$$pK_a = -\lg (K / \text{mol dm}^{-3})$$

$$\text{pH} = -\lg ([\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3})$$

Konstanta disocijacije monoprotonskih kiselina definirana je izrazom:

$$K_a = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

Za stupanj disocijacije monokloroctene kiseline, koja je najjača među nabrojanim kiselinama, dobivamo:

$$\alpha = \sqrt{K_c / c} = \sqrt{1,38 \times 10^{-3} / 1} = 0,037 \text{ ili } 3,7 \%$$

Disocijacijom nastaju jednake množine vodikovih i monokloracetatnih pa slijedi:

$$K_a / \text{mol dm}^{-3} = 1,38 \times 10^{-3} = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{HA}]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{(1 - 0,037)}$$

Odavde proizlazi:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_a \times c_a} = \sqrt{1,38 \times 10^{-3} \times (1 - 0,037)} = 0,036 \quad \text{pH} = 1,44$$

Zanemarimo li smanjenje analitičke koncentracije monokloroctene kiseline zbog disocijacije dobivamo:

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_a \times c_a} = \sqrt{1,38 \times 10^{-3} \times 1 \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}} = 0,037 \text{ mol dm}^{-3} \quad \text{pH} = 1,43$$

Očito je da zanemarivanjem smanjenja analitičke koncentracije slabih kiselina zbog njihove disocijacije, činimo minimalne pogreške. Osim toga, druga decimala pH izmjerena instrumentalnim metodama nije suviše pouzdana. Zato je iskazivanje pH otopine na dvije decimale vrlo optimistično. U svakodnevnom laboratorijskom radu dovoljno je pH iskazivati s točnošću od jednog decimalnog mjesta.

Općenito vrijedi:

1. Za jake kiseline smatramo da su u otopinama potpuno disocirane pa je koncentracija iona H^+ jednaka analitičkoj koncentraciji kiseline.

2. Ako je kiselina slaba i disocirana manje od 5 %, tad koncentraciju iona H^+ računamo prema izrazu:

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_a \times c_a}, \text{ odnosno: } \text{pH} = \frac{1}{2} pK_a - \frac{1}{2} \lg c.$$

3. Ako je kiselina disocirana više od 5 % primjenit ćemo egzaktn postupak, uzimajući u obzir smanjenje analitičke koncentracije kiseline zbog disocijacije.

Za izračun koncentracije iona H^+ primijenimo izraz:

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_a \times c_a}$$

pa dobivamo:

a) mravlja kiselina	$K_a = 1,77 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$	$pK_a = 3,75$	$\text{pH} = 1,88$
b) dušičasta kiselina	$K_a = 4 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$	$pK_a = 3,40$	$\text{pH} = 1,70$
c) benzojeva kiselina	$K_a = 6,6 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$	$pK_a = 4,18$	$\text{pH} = 2,09$
d) monokloroctena kiselina	$K_a = 1,38 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$	$pK_a = 2,86$	$\text{pH} = 1,43$

10.16. Vidi STEHIOMETRIJA

Sve su nabrojane baze slabe. Za izračun koncentracije iona OH^- možemo, isto kao u zadatku 10.15., upotrijebiti izraz:

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \times c_b}$$

a)

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3(\text{aq})]} = 1,79 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{1,79 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3} \times 1 \text{ mol dm}^{-3}} = 4,23 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$pK_b = 4,75 \quad pOH = 2,37 \quad pH = 14 - pOH = 14 - 2,37 = \mathbf{11,63}$$

b)

$$K_b = \frac{[\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2(\text{aq})]} = 4,7 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{4,7 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3} \times 1 \text{ mol dm}^{-3}} = 2,17 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$pK_b = 3,33 \quad pOH = 1,66 \quad pH = 14 - pOH = 14 - 1,66 = \mathbf{12,34}$$

c)

$$K_b = \frac{[(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}_2^+] \times [\text{OH}^-]}{[(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}(\text{aq})]} = 8,5 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{8,5 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3} \times 1 \text{ mol dm}^{-3}} = 2,91 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$pK_b = 3,07 \quad pOH = 1,53 \quad pH = 14 - pOH = 14 - 1,53 = \mathbf{12,47}$$

d)

$$K_b = \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{NH}_2(\text{aq})]} = 4,17 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{4,17 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3} \times 1 \text{ mol dm}^{-3}} = 2,04 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$pK_b = 3,38 \quad pOH = 1,69 \quad pH = 14 - pOH = 14 - 1,69 = \mathbf{12,31}$$

e)

$$K_b = \frac{[(\text{CH}_3)_2\text{NH}^+] \times [\text{OH}^-]}{[(\text{CH}_3)_2\text{NH}(\text{aq})]} = 5,12 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{5,12 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3} \times 1 \text{ mol dm}^{-3}} = 2,26 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$$

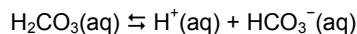
$$pK_b = 3,29 \quad pOH = 1,64 \quad pH = 14 - pOH = 14 - 1,64 = \mathbf{12,36}$$

Sekundarni su amini jače baze od primarnih amina.

10.17. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

Prvi stupanj disocijacije ugljične kiseline prikazujemo jednadžbom



Ako u prvom stupnju disocijacije ugljične kiseline nastane y mola iona $\text{H}^+(\text{aq})$, istodobno nastaje jednaka množina iona $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$. Prema tome, za prvi stupanj disocijacije ugljične kiseline vrijedi

$$\frac{[\text{H}^+] \times [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = K_{a1}$$

Uzmemo li da je

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[\text{HCO}_3^-] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1 - y,$$

$$K_{a1} / \text{mol dm}^{-3} = 4,45 \times 10^{-7},$$

dobivamo kvadratnu jednadžbu

$$\frac{y^2}{0,1 - y} = 4,45 \times 10^{-7}$$

Kako je ugljična kiselina vrlo malo disocirana, možemo smanjivanje koncentracije ugljične kiseline zbog disocijacije zanemariti, pa dobivamo:

$$y^2 = 0,1 \times 4,45 \times 10^{-7} = 4,45 \times 10^{-8}.$$

Odavde proizlazi

$$y = 2,11 \times 10^{-4}$$

odnosno

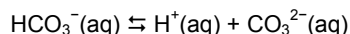
$$[\text{H}^+] = 2,11 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3},$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 2,11 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3},$$

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] = (0,1 - 2,11 \times 10^{-4}) \text{ mol dm}^{-3} = 0,0998 \text{ mol dm}^{-3} \approx 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$$

Ovaj nam rezultat pokazuje opravdanost zanemarivanje smanjenja koncentracije nedisocirane ugljične kiseline.

Razmotrimo sad **drugi stupanj disocijacije**:



Pretpostavimo li da z mola iona $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$ disocira, koncentracija iona $\text{H}^+(\text{aq})$ povećat će se za z , a istodobno će nastati z mola iona $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$. Uzmimo da je u ovom slučaju

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 2,11 \times 10^{-4} + z,$$

$$[\text{HCO}_3^-] / \text{mol dm}^{-3} = 2,11 \times 10^{-4} - z,$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = z,$$

$$K_{a2} / \text{mol dm}^{-3} = 4,69 \times 10^{-11}.$$

Tada za drugi stupanj disocijacije ugljične kiseline vrijedi

$$\frac{[\text{H}^+] \times [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = K_{a2}$$

$$\frac{(2,11 \times 10^{-4} + z) \times z}{(2,11 \times 10^{-4} - z)} = 4,69 \times 10^{-11}$$

Iz vrijednosti konstante disocijacije vidimo da je povećanje koncentracije iona $H^+(aq)$, kao i smanjivanje koncentracije iona $HCO_3^-(aq)$ neznatno, pa ga možemo zanemariti i dobivamo:

$$\frac{2,11 \times 10^{-4} \times z}{2,11 \times 10^{-4}} = 4,69 \times 10^{-11}$$

$$z = 4,69 \times 10^{-11}$$

Odavde proizlazi da je povećanje koncentracije iona $H^+(aq)$ zbog drugog stupnja disocijacije zanemarivo, pa pH otopine određuje samo prvi stupanj disocijacije slabe kiseline. Prema tome dobivamo:

$$pH = -\lg ([H^+] / \text{mol dm}^{-3}) = -\lg 2,11 \times 10^{-4} = 3,68$$

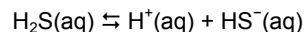
Isti bi rezultat dobili da smo primjenili izraz $[H^+] = \sqrt{K_a \times c_a}$, jer je:

$$[H^+] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_a \times c_a} = \sqrt{4,45 \times 10^{-7} \times 0,1} = 2,11 \times 10^{-4} \quad \text{odnosno} \quad pH = 3,68$$

Općenito ako je konstanta drugog stupnja disocijacije manja za četiri reda veličine, tad je utjecaj drugog stupnja disocijacije na koncentraciju vodikovih iona desetak tisuća puta manji u odnosu na prvi stupanj disocijacije. U takvim slučajevima drugi stupanj disocijacije možemo zanemariti.

b)

Prvi stupanj disocijacije sumporovodične kiseline prikazujemo jednačbom



Ako u prvom stupnju disocijacije sumporovodične kiseline nastane y mola iona $H^+(aq)$, istodobno nastaje jednaka množina iona $HS^-(aq)$. Prema tome, za prvi stupanj disocijacije vrijedi

$$\frac{[H^+] \times [HS^-]}{[H_2S]} = K_{a1}$$

Uzmemo li da je

$$[H^+] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[HS^-] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[H_2S] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1 - y,$$

$$K_{a1} / \text{mol dm}^{-3} = 5,7 \times 10^{-8},$$

dobivamo kvadratnu jednačbu

$$\frac{y^2}{0,1 - y} = 5,7 \times 10^{-8}$$

Kako je sumporovodična kiselina vrlo malo disocirana, možemo smanjivanje njezine koncentracije zbog disocijacije zanemariti, pa dobivamo:

$$y^2 = 0,1 \times 5,7 \times 10^{-8} = 5,7 \times 10^{-9}$$

Odavde proizlazi

$$y = 7,5 \times 10^{-5}$$

odnosno

$$[H^+] = 7,5 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3},$$

$$pH = -\lg ([H^+] / \text{mol dm}^{-3}) = -\lg 7,5 \times 10^{-5} = 4,12$$

c)

Konstante prvog i drugog stupnja disocijacije oksalne kiseline razlikuju se za tri reda veličine. Zato drugi stupanj pridonosi povećanju koncentracije iona $H^+(aq)$. Na osnovi prvog stupnja disocijacije:



proizlazi:

$$K_{a1} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[H^+] \times [HC_2O_4^-]}{[H_2C_2O_4]}$$

Uzmemo li da je

$$[H^+] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[HC_2O_4^-] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[H_2C_2O_4] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1 - y,$$

$$K_{a1} / \text{mol dm}^{-3} = 5,4 \times 10^{-2},$$

dobivamo

$$5,4 \times 10^{-2} = \frac{y^2}{(0,1 - y)}$$

$$y^2 + 5,4 \times 10^{-2} y - 5,4 \times 10^{-3} = 0$$

$$y_{1,2} = \frac{-5,4 \times 10^{-2} \pm \sqrt{0,002916 + 0,0216}}{2}$$

$$y_1 = 0,0513$$

Oдавде за prvi stupanj disocijacije proizlazi:

$$[H^+] / \text{mol dm}^{-3} = 0,0513$$

$$[HC_2O_4^-] / \text{mol dm}^{-3} = 0,0513$$

$$[H_2C_2O_4] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1 - y = 0,0487$$

Ako u drugom stupnju disocijacije disocira z iona $HC_2O_4^-$, tad dobivamo:

$$K_{a2} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[H^+] \times [C_2O_4^{2-}]}{[HC_2O_4^-]} = \frac{z^2}{0,0513} = 5,4 \times 10^{-5}$$

Oдавде proizlazi

$$z = \sqrt{0,0513 \times 5,4 \times 10^{-5}} = 0,00166$$

Za koncentraciju iona H^+ konačno dobivamo:

$$[H^+] / \text{mol dm}^{-3} = y + z = 0,0513 + 0,00166 = 0,0530$$

$$\text{pH} = 1,28$$

d)

Konstante prvog i drugog stupnja disocijacije vinske kiseline razlikuju se za dva reda veličine. Zato drugi stupanj pridonosi povećanju koncentracije iona $H^+(aq)$. Na osnovi prvog stupnja disocijacije:



proizlazi:

$$K_{a1} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[H^+] \times [H_5C_4O_6^-]}{[H_6C_4O_6]}$$

Uzmemo li da je:

$$\begin{aligned} [H^+] / \text{mol dm}^{-3} &= y, \\ [H_5C_4O_6^-] / \text{mol dm}^{-3} &= y, \\ [H_6C_4O_6] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,1 - y, \\ K_{a1} / \text{mol dm}^{-3} &= 1,0 \times 10^{-3}, \end{aligned}$$

dobivamo

$$\begin{aligned} 1,0 \times 10^{-3} &= \frac{y^2}{(0,1 - y)} \\ y^2 + 1,0 \times 10^{-3} y - 1 \times 10^{-4} &= 0 \\ -1,0 \times 10^{-3} \pm \sqrt{10^{-6} + 4 \times 10^{-4}} \\ y_{1,2} &= \frac{2}{} \end{aligned}$$

$$y_1 = 0,0513$$

Oдавде за први ступањ дисоцијације произлази:

$$\begin{aligned} [H^+] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,0095 \\ [H_5C_4O_6^-] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,0095 \\ [H_6C_4O_6] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,1 - y = 0,0905 \end{aligned}$$

Ako u drugom stupnju disocijacije disocira z iona $H_5C_4O_6^-$, tad dobivamo:

$$K_{a2} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[H^+] \times [H_4C_4O_6^{2-}]}{[H_5C_4O_6^-]} = \frac{z^2}{0,0095} = 4,6 \times 10^{-5}$$

Oдавде произлази

$$z = \sqrt{0,0095 \times 4,6 \times 10^{-5}} = 0,00066$$

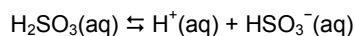
Za koncentraciju iona H^+ konačno dobivamo:

$$[H^+] / \text{mol dm}^{-3} = y + z = 0,0095 + 0,00066 = 0,0102$$

$$\text{pH} = 1,99$$

e)

Prvi stupanj disocijacije sumporaste kiseline prikazujemo jednađbom



Ako u prvom stupnju disocijacije sumporaste kiseline nastane y mola iona $H^+(aq)$, istodobno nastaje jednaka množina iona $HSO_3^-(aq)$. Prema tome, za prvi stupanj disocijacije vrijedi

$$\frac{[H^+] \times [HSO_3^-]}{[H_2SO_3]} = K_{a1}$$

Uzmemo li da je

$$\begin{aligned} [H^+] / \text{mol dm}^{-3} &= y, \\ [HSO_3^-] / \text{mol dm}^{-3} &= y, \end{aligned}$$

$$[\text{H}_2\text{SO}_3] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1 - y,$$

$$K_{a1} / \text{mol dm}^{-3} = 1,58 \times 10^{-2},$$

dobivamo kvadratnu jednadžbu

$$\frac{y^2}{0,1 - y} = 1,58 \times 10^{-2}$$

$$y^2 + 1,58 \times 10^{-2} y - 1,58 \times 10^{-3} = 0$$

$$y_{1,2} = \frac{-1,58 \times 10^{-2} \pm \sqrt{2,5 \times 10^{-4} + 4 \times 1,58 \times 10^{-3}}}{2}$$

$$y_1 = 6,525 \times 10^{-2}$$

Odavde za prvi stupanj disocijacije proizlazi:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 0,06525 \quad \text{pH} = -\lg ([\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3}) = -\lg 0,06525 = \mathbf{1,18}$$

$$[\text{HSO}_3] / \text{mol dm}^{-3} = 0,06525$$

$$[\text{H}_2\text{SO}_3] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1 - y = 0,0347$$

Konstanta drugog stupnja disocijacije manja je za šest redova veličine od konstante prvog stupnja disocijacije. Drugi stupanj disocijacije praktično ne pridonosi povećanju koncentracije iona $\text{H}^+(\text{aq})$.

10.18. Vidi STEHIOMETRIJA

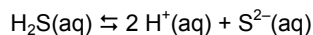
$$\begin{array}{ll}
 \text{a) } \text{pH} = -\lg ([\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3}) & c(\text{H}^+) / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pH}} = 10^{-0,78} = \mathbf{0,166} \\
 \text{b) } \text{pH} = -\lg ([\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3}) & c(\text{H}^+) / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pH}} = 10^0 = \mathbf{1} \\
 \text{c) } \text{pH} = -\lg ([\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3}) & c(\text{H}^+) / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pH}} = 10^{0,30} = \mathbf{2} \\
 \text{d) } \text{pH} = -\lg ([\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3}) & c(\text{H}^+) / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pH}} = 10^1 = \mathbf{10}
 \end{array}$$

10.19. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\begin{array}{lll}
 \text{a) } \text{pOH} = -1 & \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 + 1 = 15 & c(\text{OH}^-) / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pOH}} = 10^1 = \mathbf{10} \\
 \text{b) } \text{pOH} = 14 & \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 14 = 0 & c(\text{OH}^-) / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-14} = \mathbf{10^{-14}} \\
 \text{c) } \text{pOH} = 13 & \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 13 = 1 & c(\text{OH}^-) / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-13} = \mathbf{10^{-13}} \\
 \text{d) } \text{pOH} = 0,4 & \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 0,4 = 13,6 & c(\text{OH}^-) / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-0,4} = \mathbf{0,4}
 \end{array}$$

10.20. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu disocijacije sumporovodika u vodenoj otopini:



Prema uvjetima iz zadatka:

$$\text{pH} = 6 \quad c(\text{H}^+) / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pH}} = 10^{-6} \quad c(\text{H}_2\text{S}) / \text{mol dm}^{-3} = 0,1$$

Ravnotežne su koncentracije:

$$\frac{[\text{H}^+]^2 \times [\text{S}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{S}]} = K_{\text{H}_2\text{S}}$$

Oдавде proizlazi

$$[\text{S}^{2-}] = \frac{K_{\text{H}_2\text{S}} \times [\text{H}_2\text{S}]}{[\text{H}^+]^2} = \frac{5,7 \times 10^{-22} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6} \times 0,1 \text{ mol dm}^{-3}}{(10^{-6})^2 \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}} = \mathbf{5,7 \times 10^{-11} \text{ mol dm}^{-3}}$$

10.21. Vidi STEHIOMETRIJA

U smjesi octene kiseline i njezine soli nedisocirana octena kiselina i acetatni ioni, nastali disocijacijom natrijeva acetata, nalaze se u ravnoteži

$$\frac{[\text{H}^+] \times [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = K_{\text{CH}_3\text{COOH}}$$

Tu ravnotežu možemo napisati i u obliku

$$[\text{H}^+] = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \times K_{\text{CH}_3\text{COOH}}$$

Zadano nam je:

$$K_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1,75 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$\text{pH} = 4,6, \text{ odnosno } [\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pH}} = 10^{-4,6} = 2,5 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$$

Za omjer koncentracija octene kiseline i natrijeva acetata dobivamo:

$$\frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} = \frac{[\text{H}^+]}{K_{\text{CH}_3\text{COOH}}} = \frac{2,5 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}}{1,75 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}} = \mathbf{1,43}$$

10.22. Vidi STEHIOMETRIJA

U smjesi amonijaka i amonijeva klorida nedisocirani amonijak i amonijevi ioni nastali disocijacijom amonijeva klorida nalaze se u ravnoteži:

$$\frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3(\text{aq})]} = K_{\text{NH}_3(\text{aq})}$$

Tu ravnotežu možemo napisati i u obliku

$$[\text{OH}^-] = \frac{[\text{NH}_3(\text{aq})]}{[\text{NH}_4^+]} \times K_{\text{NH}_3(\text{aq})}$$

Zadano nam je:

$$K_{\text{NH}_3(\text{aq})} / \text{mol dm}^{-3} = 1,79 \times 10^{-5}$$

$$[\text{NH}_3(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} = 1$$

$$[\text{NH}_4^+] / \text{mol dm}^{-3} = 0,5$$

Za koncentraciju iona $\text{OH}^-(\text{aq})$ dobivamo:

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{NH}_3(\text{aq})]}{[\text{NH}_4^+]} \times K_{\text{NH}_3(\text{aq})} = \frac{1}{0,5} \times 1,79 \times 10^{-5} = 3,58 \times 10^{-5}$$

Odavde proizlazi:

$$\text{pOH} = -\lg([\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3}) = -\lg(3,58 \times 10^{-5}) = 4,45$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 4,45 = \mathbf{9,55}$$

10.23. Vidi STEHIOMETRIJA

Za pH puferskog sustava bitan je omjer koncentracija kiseline i njezine soli, a ne njihova koncentracija. Zato najprije izračunajmo omjer koncentracija fenola i natrijeva fenolata. Polazimo od općenite "puferske formule":

$$[\text{H}^+] = \frac{c_{\text{kiseline}}}{c_{\text{soli}}} \times K_{\text{kiseline}}$$

Zadano nam je:

$$\text{p}K_{\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}} = 10,0 \quad K_{\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}} = 10^{-\text{p}K} = 10^{-10}$$

$$\text{pH} = 10 \quad [\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pH}} = 10^{-10}$$

pa slijedi

$$\frac{c_{\text{kiseline}}}{c_{\text{soli}}} = \frac{[\text{H}^+]}{K_{\text{kiseline}}} = \frac{10^{-10}}{10^{-10}} = 1$$

Odavde proizlazi da polovicu prisutnog fenola treba neutralizirati, pa dobivamo:

$$n(\text{NaOH}) = \frac{1}{2} \times n(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 0,05 \text{ mol}$$

Za masu natrijeva hidroksida dobivamo:

$$m(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) \times M(\text{NaOH}) = 0,05 \text{ mol} \times 40 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{2 \text{ g}}$$

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

10.24. Vidi STEHIOMETRIJA

Natrijev hidrogenkarbonat je sol ugljične kiseline. Za sve soli smatramo da su potpuno disocirane pa je koncentracija iona $\text{HCO}_3^- (\text{aq})$ u otopini jednaka koncentraciji soli, odnosno natrijeva hidrogenkarbonata.

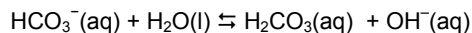
Otopina sadržava $\text{Na}^+ (\text{aq})$, $\text{HCO}_3^- (\text{aq})$ i $\text{H}_2\text{O} (\text{l})$

Ioni $\text{Na}^+ (\text{aq})$ nemaju niti kiselinska niti bazna svojstva i ne utječu na ravnotežu u otopini. Hidrogenkarbonatni ioni disociraju i tako u otopini povećavaju koncentraciju iona $\text{H}^+ (\text{aq})$.



Kako je K_{a2} za 4 reda veličine manja od K_{a1} možemo zanemariti njezin utjecaj na koncentraciju iona $\text{H}^+ (\text{aq})$.

Hidrogenkarbonatni ioni su baza i mogu reagirati s donorima protona. U ovom slučaju voda je jedini donor protona pa dolazi do sljedeće reakcije:



Ovom reakcijom nastaju hidroksidni ioni i konjugirana kiselina. Za konstantu baze dobivamo:

$$K_b = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3] \times [\text{OH}^-]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

Pomnožimo brojnik i nazivnik s $[\text{H}^+]$ pa dobivamo:

$$\begin{aligned} K_b &= \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3] \times [\text{OH}^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{HCO}_3^-] \times [\text{H}^+]} \\ &= \frac{K_w}{K_{\text{kiseline}}} = \frac{10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}}{4,45 \times 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3}} = 2,25 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3} \end{aligned}$$

U otopini su hidrogenkarbonatni ioni u ravnoteži su s nedisociranim molekulama ugljične kiseline, vodikovim i hidroksidnim ionima.

Početne koncentracije	Ravnotežne koncentracije
$[\text{HCO}_3^-] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1$	$[\text{HCO}_3^-] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1 - y$
$[\text{H}_2\text{CO}_3] / \text{mol dm}^{-3} = 0$	$[\text{H}_2\text{CO}_3] / \text{mol dm}^{-3} = y$
$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} \approx 0$	$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = y$

Uvrstimo ravnotežne koncentracije u izraz za K_b pa dobivamo:

$$K_b / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3] \times [\text{OH}^-]}{[\text{HCO}_3^-]} = \frac{y^2}{0,1 - y} = 2,25 \times 10^{-8}$$

Napišimo kvadratnu jednadžbu u uobičajenom obliku pa dobivamo:

$$\begin{aligned} y^2 + 2,25 \times 10^{-8} y - 2,25 \times 10^{-9} &= 0 \\ -2,25 \times 10^{-8} \pm \sqrt{5,06 \times 10^{-16} + 4 \times 2,25 \times 10^{-9}} \\ y_{1,2} &= \frac{\quad}{2} \end{aligned}$$

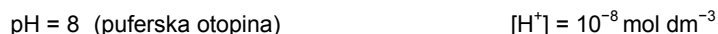
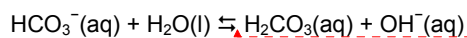
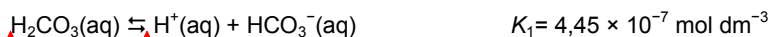
$$y_1 = 4,74 \times 10^{-5}$$

odnosno

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = 4,74 \times 10^{-5} \quad \text{pOH} = 4,32 \quad \text{pH} = 9,68$$

10.25. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbe ravnoteža među ionima u otopini.



Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Za prvi stupanj disocijacije ugljične kiseline vrijedi:

$$K_{a1} / \text{mol dm}^{-3} = 4,45 \times 10^{-7} = \frac{[\text{HCO}_3^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

Odavde proizlazi omjer

$$\frac{[\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{HCO}_3^-]} = \frac{[\text{H}^+]}{K_{a1}} = \frac{10^{-8} \text{ mol dm}^{-3}}{4,45 \times 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3}} = 0,02247$$

Za drugi stupanj disocijacije ugljične kiseline vrijedi:

$$K_{a2} / \text{mol dm}^{-3} = 4,69 \times 10^{-11} = \frac{[\text{CO}_3^{2-}] \times [\text{H}^+]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

Odavde proizlazi omjer

$$\frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} = \frac{[\text{H}^+]}{K_{a2}} = \frac{10^{-8} \text{ mol dm}^{-3}}{4,69 \times 10^{-11} \text{ mol dm}^{-3}} = 213$$

Konačno dobivamo:

$$[\text{CO}_3^{2-}] : [\text{HCO}_3^-] : [\text{H}_2\text{CO}_3] = 1 : 213 : 4,8$$

10.26. Vidi STEHIOMETRIJA

Pomiješane su otopine hidrogenfosfata i fosfata. U ovom je slučaju hidrogenfosfatni ion kiselina a fosfatni ion sol te kiseline. Prema tome moramo uzeti u račun konstantu trećeg stupnja disocijacije fosforne kiseline, $K_3 = 1,26 \times 10^{-12} \text{ mol dm}^{-3}$.

Formatted: Portuguese (Brazil)

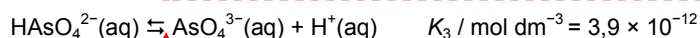
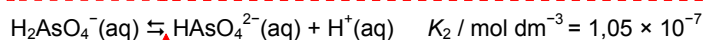
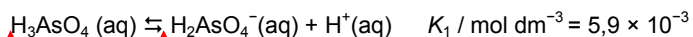
Primjenimo "pufersku formulu" pa dobivamo:

$$[\text{H}^+] = \frac{c_{\text{kiseline}}}{c_{\text{solu}}} \times K_{\text{kiseline}} = \frac{1 \text{ mol dm}^{-3}}{0,5 \text{ mol dm}^{-3}} \times 1,26 \times 10^{-12} \text{ mol dm}^{-3} = 2,52 \times 10^{-12} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$\text{pH} = 11,6$$

10.27. Vidi STEHIOMETRIJA

Arsenska kiselina disocira prema sljedećim jednačbama:



$$\text{pH} = 1$$

$$[\text{H}^+(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1$$

$$c_{\text{H}_3\text{AsO}_4} / \text{mol dm}^{-3} = 0,01$$

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Zbrojimo sve tri jednačbe pa dobivamo



$$K_a = K_1 \times K_2 \times K_3 = \frac{[\text{AsO}_4^{3-}] \times [\text{H}^+]^3}{[\text{H}_3\text{AsO}_4]} = \frac{[\text{AsO}_4^{3-}] \times (0,1)^3}{0,01} = 5,9 \times 10^{-3} \times 1,05 \times 10^{-7} \times 3,9 \times 10^{-12} = 2,416 \times 10^{-21}$$

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

$$[\text{AsO}_4^{3-}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{2,416 \times 10^{-21} \times 0,01}{(0,1)^3} = 2,42 \times 10^{-20}$$

U ovom smo izračunavanju zanemarili smanjenje koncentracije H_3AsO_4 zbog disocijacije. Kako je prva konstanta disocijacije relativno velika, a koncentracija kiseline mala, ponovimo račun tako da uzmemo u obzir približno smanjenje koncentracije H_3AsO_4 zbog prvog stupnja disocijacije.

$$K_1 / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{H}_2\text{AsO}_4^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{H}_3\text{AsO}_4]} = 5,9 \times 10^{-3}$$

Odavde proizlazi

$$[\text{H}_2\text{AsO}_4^-] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{5,9 \times 10^{-3} \times 0,01}{0,1} = 5,9 \times 10^{-4}$$

Za koncentraciju nedisocirane kiseline dobivamo:

$$[\text{H}_3\text{AsO}_4] / \text{mol dm}^{-3} \approx 0,01000 - 0,00059 = 0,00941$$

Formatted: Portuguese (Brazil)

Odavde slijedi::

$$K_a = K_1 \times K_2 \times K_3 = \frac{[\text{AsO}_4^{3-}] \times [\text{H}^+]^3}{[\text{H}_3\text{AsO}_4]} = \frac{[\text{AsO}_4^{3-}] \times (0,1)^3}{0,00941} = 5,9 \times 10^{-3} \times 1,05 \times 10^{-7} \times 3,9 \times 10^{-12} = 2,416 \times 10^{-21}$$

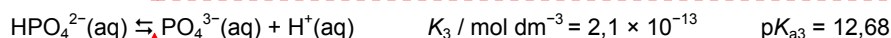
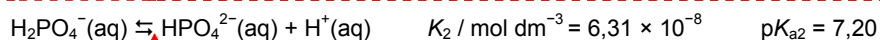
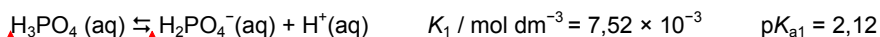
odnosno

$$[\text{AsO}_4^{3-}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{2,416 \times 10^{-21} \times 0,00941}{(0,1)^3} = 2,27 \times 10^{-20}$$

Razlika između ova dva rezultata više je nego beznačajna i nije vrijedna uložena truda. Osim toga, radi se o veličini reda 10^{-20} što je samo po sebi nezamislivo malen broj.

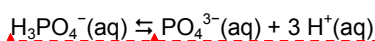
10.28. Vidi STEHIOMETRIJA

Fosforna kiselina disocira prema sljedećim jednačbama:



$$c_{\text{H}_3\text{PO}_4} / \text{mol dm}^{-3} = 1$$

Zbrojimo sve tri jednačbe pa dobivamo



$$K_a = K_1 \times K_2 \times K_3 = \frac{[\text{PO}_4^{3-}] \times [\text{H}^+]^3}{[\text{H}_3\text{PO}_4]} = 7,52 \times 10^{-3} \times 6,31 \times 10^{-8} \times 2,1 \times 10^{-13} = 9,96 \times 10^{-23}$$

Razmotrimo prvi stupanj disocijacije H_3PO_4 , koji određuje pH otopine. Ostali stupnjevi disocijacije manji su za pet redova veličine od prvog stupnja, pa značajno ne utječu na pH otopine.

$$K_1 / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]} = \frac{y^2}{1} = 7,52 \times 10^{-3}$$

$$y = \sqrt{7,52 \times 10^{-3}} = 0,087$$

Oдавде proizlazi:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 0,087$$

$$[\text{H}_2\text{PO}_4^-] / \text{mol dm}^{-3} = 0,087$$

$$[\text{H}_3\text{PO}_4] / \text{mol dm}^{-3} = 1 - y = 1 - 0,087 = 0,913$$

Konačno dobivamo:

$$\frac{[\text{PO}_4^{3-}] \times [\text{H}^+]^3}{[\text{H}_3\text{PO}_4]} = \frac{[\text{PO}_4^{3-}] \times (0,087)^3}{0,913} = 9,96 \times 10^{-23}$$

$$[\text{PO}_4^{3-}] = \frac{9,96 \times 10^{-23} \times 0,913}{(0,087)^3} = 1,4 \times 10^{-19} \text{ mol dm}^{-3}$$

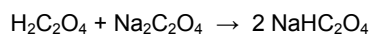
10.29. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije množine oksalne kiseline i natrijeva oksalata

$$n(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)} = \frac{10 \text{ g}}{90,04 \text{ g mol}^{-1}} = 0,1111 \text{ mol}$$

$$n(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{M(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)} = \frac{10 \text{ g}}{113,03 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0885 \text{ mol dm}^{-3}$$

Oksalna kiselina i natrijev oksalat reagiraju prema jednačbi:



$$0,0885 \quad 0,0885 \quad 0,1770$$

Otopina sadrži: $(0,1111 - 0,0885) = 0,0226 \text{ mol H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ i $0,1770 \text{ mol NaHC}_2\text{O}_4$.

Oдавде proizlazi:

$$[\text{H}^+] = \frac{c_{\text{kiseline}}}{c_{\text{sol}}}} \times K_{\text{kiseline}} = \frac{0,0226 \text{ mol}}{0,1770 \text{ mol}} \times 5,4 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3} = 6,89 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$\text{pH} = 2,16$$

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

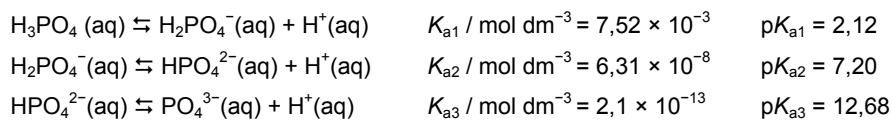
Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

Formatted: Portuguese (Brazil)

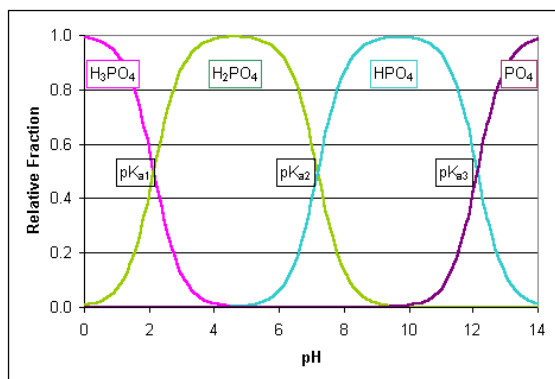
10.30. Vidi STEHIOMETRIJA

Fosforna kiselina disocira prema sljedećim jednačbama:



Kao prvi korak odredimo pH otopine. Na temelju tog podatka i konstanti disocijacije možemo odrediti koncentracije svih iona u otopini.

Titrimo li otopinu H_2PO_4^- jakom lužinom nastaju ioni HPO_4^{2-} , a točka ekvivalencije postiže se pri onom pH pri kojem su relativni udjeli iona HPO_4^{2-} i iona PO_4^{3-} jednaki, odnosno $[\text{H}_2\text{PO}_4^-] = [\text{PO}_4^{3-}]$.



Točka ekvivalencije leži približno na polovici između pK_{a2} i pK_{a3} , kao što pokazuje gornji crtež, odnosno:

$$\text{pH} \approx \frac{1}{2} (pK_{a2} + pK_{a3}) \approx \frac{1}{2} (7,20 + 12,68) \approx \mathbf{9,94}$$

Odavde proizlazi:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} \approx \mathbf{1,15 \times 10^{-10}}$$

$$[\text{HPO}_4^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} \approx \mathbf{0,1}$$

Na osnovi drugog stupnja disocijacije fosforne kiseline sada možemo izračunati koncentraciju iona H_2PO_4^- , jer su nam poznate koncentracije iona H^+ i HPO_4^{2-} .

$$K_{a2} = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$$
$$[\text{H}_2\text{PO}_4^-] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HPO}_4^{2-}]}{K_{a2}} \approx \frac{1,15 \times 10^{-10} \times 0,1}{6,31 \times 10^{-8}} \approx \mathbf{1,8 \times 10^{-4}}$$

Otopina sadržava i vrlo mali udio nedisocirane fosforne kiseline, onoliko koliko je to uvjetovano prvim stupnjem disocijacije.

$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]}$$
$$[\text{H}_3\text{PO}_4] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{K_{a1}} \approx \frac{1,15 \times 10^{-10} \times 1,82 \times 10^{-4}}{7,52 \times 10^{-3}} \approx \mathbf{2,8 \times 10^{-12}}$$

Po istom načelu, na temelju konstante trećeg stupnja disocijacije fosforne kiseline možemo izračunati i koncentraciju iona PO_4^{3-} .

$$K_{a3} = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{PO}_4^{3-}]}{[\text{HPO}_4^{2-}]}$$

$$[\text{PO}_4^{3-}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{a3} \times [\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}^+]} \approx \frac{2,1 \times 10^{-13} \times 0,1}{1,15 \times 10^{-10}} \approx \mathbf{1,8 \times 10^{-4}}$$

Sažeto:

$$[\text{H}_3\text{PO}_4] / \text{mol dm}^{-3} \approx \mathbf{2,8 \times 10^{-12}}$$

$$[\text{H}_2\text{PO}_4^-] / \text{mol dm}^{-3} \approx \mathbf{1,8 \times 10^{-4}}$$

$$[\text{HPO}_4^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} \approx \mathbf{0,1}$$

$$[\text{PO}_4^{3-}] / \text{mol dm}^{-3} \approx \mathbf{1,8 \times 10^{-4}}$$

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} \approx \mathbf{1,15 \times 10^{-10}}$$

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} \approx \mathbf{8,69 \times 10^{-5}}$$

$$\text{pH} = \mathbf{9,94}$$

$$\text{pOH} = \mathbf{4,06}$$

10.31. Vidi STEHIOMETRIJA

Ugljična kiselina disocira prema sljedećim jednačbama:



Razmotrimo prvi stupanj disocijacije:

$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

Ako disocira y mol ugljične kiseline nastaju jednake množine, odnosno y mol iona H^+ i HCO_3^- . Uzmemo li da je u stanju ravnoteže:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = y$$

$$[\text{HCO}_3^-] / \text{mol dm}^{-3} = y$$

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1 - y$$

$$K_{a1} / \text{mol dm}^{-3} = 4,45 \times 10^{-7}$$

$$K_{a2} / \text{mol dm}^{-3} = 4,69 \times 10^{-11}$$

dobivamo:

$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 4,45 \times 10^{-7} = \frac{y^2}{0,1 - y}$$

Preuredimo ovaj izraz tako da dobijemo kvadratnu jednačbu u uobičajenom obliku:

$$y^2 + 4,45 \times 10^{-7} \times y - 4,45 \times 10^{-8} = 0$$

Odavde proizlazi:

$$y = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-4,45 \times 10^{-7} + \sqrt{1,8 \times 10^{-15} + 1,78 \times 10^{-7}}}{2} = 2,11 \times 10^{-4}$$

Odavde proizlazi:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 2,11 \times 10^{-4} \quad \text{pH} = 3,68$$

$$[\text{HCO}_3^-] / \text{mol dm}^{-3} = 2,11 \times 10^{-4}$$

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1 - 0,000211 \approx 0,0998$$

Razmotrimo sada drugi stupanj disocijacije ugljične kiseline

$$K_{a2} = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = 4,69 \times 10^{-11}$$

Drugi stupanj disocijacije beznačajno utječe na disocijaciju prvog stupnja pa možemo uzeti da su koncentracije iona H^+ i HCO_3^- praktično jednake izračunanim. Iz izraza za K_{a2} dobivamo:

$$[\text{CO}_3^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]} \times K_{a2} = \frac{2,11 \times 10^{-4}}{2,11 \times 10^{-4}} \times 4,69 \times 10^{-11} = 4,69 \times 10^{-11}$$

Ponovno obratite pozornost na činjenicu da je koncentracija produkata drugog stupnja disocijacije slabih kiselina jednaka samoj konstanti disocijacije.

10.32. Vidi STEHIOMETRIJA

Za pH puferskog sustava bitan je omjer koncentracija kiseline i njezine soli, a ne njihova koncentracija. Zato najprije izračunajmo omjer koncentracija mravlje kiseline i natrijeva formijata u puferskoj otopini kojoj je $\text{pH} = 3,8$.

Zadano nam je:

$$K_{\text{HCOOH}} = 1,77 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$c(\text{HCOONa}) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$c(\text{HCOOH}) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$\text{pH} = 3,8 \quad [\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pH}} = 10^{-3,8} = 1,585 \times 10^{-4}$$

Polazimo od općenite "puferske formule":

$$[\text{H}^+] = \frac{c_{\text{kiseline}}}{c_{\text{soli}}} \times K_{\text{kiseline}}$$

Odavde se za omjer koncentracija soli i kiseline dobiva:

$$\frac{c_{\text{soli}}}{c_{\text{kiseline}}} = \frac{K_{\text{kiseline}}}{[\text{H}^+]} = \frac{1,77 \times 10^{-4}}{1,585 \times 10^{-4}} = \mathbf{0,1117}$$

Već smo kazali da je za pH puferskog sustava važan omjer a ne koncentracija kiseline i soli. Kako su koncentracije kiseline i soli jednake da bismo dobili traženi omjer kiseline i soli na 1 dm^3 otopine mravlje kiseline treba dodati **1,117 dm³ otopine natrijeva formijata**.

Otopina sadržava 0,1 mol mravlje kiseline i 0,1117 mol natrijeva formijata. Dodatkom 250 cm^3 otopine natrijeva hidroksida, $c = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$, dodali smo 0,025 mol natrijeva hidroksida i neutralizirali jednaku množinu mravlje kiseline. Konačno, otopina sadržava:

$$n(\text{HCOOH}) = 0,1 \text{ mol} - 0,025 \text{ mol} = 0,075 \text{ mol}$$

$$n(\text{HCOONa}) = 0,1117 \text{ mol} + 0,025 \text{ mol} = 0,1367 \text{ mol}$$

Odavde proizlazi:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{c_{\text{kiseline}}}{c_{\text{soli}}} \times K_{\text{kiseline}} = \frac{0,075}{0,1367} \times 1,77 \times 10^{-4} = 9,711 \times 10^{-5} \quad \text{pH} = \mathbf{4,01}$$

10.33. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije pH polazne puferne otopine. Polazimo od općenite "puferske formule":

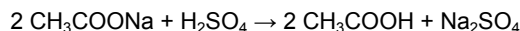
$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{c_{\text{kiseline}}}{c_{\text{sol}}i} \times K_{\text{kiseline}} = \frac{1 \text{ mol dm}^{-3}}{1 \text{ mol dm}^{-3}} \times 1,75 \times 10^{-5} = 1,75 \times 10^{-5}$$

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = -\lg 1,75 \times 10^{-5} = \mathbf{4,76}$$

Dodatkom 10 g 98-postotne sumporne kiseline mijenja se omjer koncentracija kiseline i soli. Izračunajmo najprije množinu dodane sumporne kiseline.

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = m(\text{H}_2\text{SO}_4) / M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,98 \times 10 \text{ g} / 98 \text{ g mol}^{-1} = 0,1 \text{ mol}$$

Natrijev acetat i sumporna kiselina reagiraju prema jednadžbi:



Odavde proizlazi da je jedan mol sumporne kiseline ekvivalentan s 2 mola natrijeva acetata. Zbog dodatka sumporne kiseline množina natrijeva acetata u otopini smanjit će se za 0,2 mol, a množina octene kiseline povećat će se za 0,2 mol. prema tome otopina sadržava:

$$n(\text{CH}_3\text{COONa}) = 1 \text{ mol} - 0,2 \text{ mol} = 0,8 \text{ mol}$$

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1 \text{ mol} + 0,2 \text{ mol} = 1,2 \text{ mol}$$

Već smo kazali da je za pH puferskog sustava važan omjer, a ne koncentracija kiseline i soli. Za pH otopine nakon dodatka sumporne kiseline dobivamo:

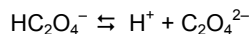
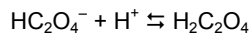
$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{c_{\text{kiseline}}}{c_{\text{sol}}i} \times K_{\text{kiseline}} = \frac{1,2 \text{ mol}}{0,8 \text{ mol}} \times 1,75 \times 10^{-5} = 2,625 \times 10^{-5}$$

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = -\lg 2,625 \times 10^{-5} = \mathbf{4,58}$$

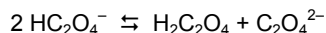
pH puferne otopine nakon dodatka 10 g 98-postotne sumporne kiseline smanjio se za **0,18 jedinica**.

10.34. Vidi STEHIOMETRIJA

U otopini natrijeva hidrogenoksalata dolazi do sljedećih reakcija:



Zbrojimo ove dvije jednadžbe pa dobivamo:



Konstanta je ravnoteže ove reakcije:

$$K_c = \frac{[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4] \times [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]}{[\text{HC}_2\text{O}_4^-]^2} = \frac{[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4]}{[\text{HC}_2\text{O}_4^-] \times [\text{H}^+]} \times \frac{[\text{H}^+] \times [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]}{[\text{HC}_2\text{O}_4^-]} = \frac{K_{a2}}{K_{a1}} = \frac{5,4 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}}{5,4 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}} = 10^{-3}$$

Hidrolizom hidrogenoksalatnih iona nastaju jednake množine nedisociranih molekula oksalne kiseline i oksalatnih iona. Pretpostavimo da hidrolizira y mola oksalatnih iona pa dobivamo sljedeće koncentracije:

$$[\text{HC}_2\text{O}_4^-] / \text{mol dm}^{-3} = 0,2 - 2y$$

$$[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = y$$

$$[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4] / \text{mol dm}^{-3} = y$$

Odavde proizlazi:

$$K_c = \frac{[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4] \times [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]}{[\text{HC}_2\text{O}_4^-]^2} = \frac{y^2}{(0,2 - 2y)^2} = \frac{y^2}{0,04 - 0,8y + 4y^2} = 10^{-3}$$

odnosno

$$y^2 = (0,04 - 0,8y + 4y^2) \times 10^{-3} = 4 \times 10^{-5} - 8 \times 10^{-4}y + 4 \times 10^{-3}y^2$$

Preuredimo ovaj izraz tako da dobijemo kvadratnu jednadžbu u uobičajenom obliku.

$$y^2 - 4 \times 10^{-3}y^2 + 8 \times 10^{-4}y - 4 \times 10^{-5} = 0$$

$$0,996y^2 + 8 \times 10^{-4}y - 4 \times 10^{-5} = 0$$

Riješimo ovu jednadžbu pa dobivamo:

$$y_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-8 \times 10^{-4} \pm \sqrt{6,4 \times 10^{-7} + 1,59 \times 10^{-4}}}{1,992}$$

$$y_1 = 5,95 \times 10^{-3}$$

Uvrstimo ove podatke u izraz za K_{a1} pa dobivamo:

$$K_{a1} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{HC}_2\text{O}_4^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4]} = \frac{(0,2 - 2y) \times [\text{H}^+]}{y} = \frac{0,1881 \times [\text{H}^+]}{5,95 \times 10^{-3}} = 5,4 \times 10^{-2}$$

Odavde proizlazi:

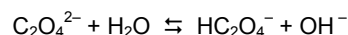
$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{5,95 \times 10^{-3} \times 5,4 \times 10^{-2}}{0,1881} = 1,71 \times 10^{-3}$$

$$\text{pH} = 2,77$$

Zadatak smo mogli riješiti jednostavnije. U otopini natrijeva hidrogenoksalata relativni udio nedisocirane oksalne kiseline i oksalatnih iona mora biti jednak, pa vrijedi:

$$\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_{a1} + \text{p}K_{a2}) = \frac{1}{2} (1,2676 + 4,2676) = 2,77.$$

Razmotrimo sad otopinu natrijeva oksalata. Oksalatni ioni podliježu hidrolizi prema sljedećoj jednadžbi:



Konstanta je hidrolize za ovu reakciju:

$$K_{\text{hidrolize}} = \frac{[\text{HC}_2\text{O}_4^-] \times [\text{OH}^-]}{[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]} = \frac{[\text{HC}_2\text{O}_4^-] \times [\text{OH}^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] \times [\text{H}^+]} = \frac{K_w}{K_{a2}} = \frac{10^{-14}}{5,4 \times 10^{-5}} = 1,85 \times 10^{-10} \text{ mol dm}^{-3}$$

Hidrolizom bilo koje množine oksalatnih iona nastaju jednake množine iona HC_2O_4^- i OH^- . Uzmimo da je u stanju ravnoteže:

$$[\text{HC}_2\text{O}_4^-] / \text{mol dm}^{-3} = y$$

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = y$$

$$[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = (0,2 - y)$$

pa dobivamo

$$1,85 \times 10^{-10} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{y^2}{(0,2 - y)}$$

Zanemarimo smanjenje koncentracije iona $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ zbog hidrolize pa slijedi:

$$y = \sqrt{0,2 \times 1,85 \times 10^{-10}} = 6,08 \times 10^{-6}$$

$$\text{pOH} = 5,22$$

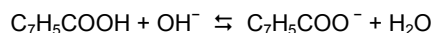
$$\text{pH} = 8,78$$

10.35. Vidi STEHIOMETRIJA

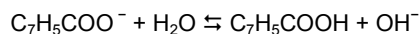
U zadatku nisu navedene koncentracije otopina kiselina i lužina. Uobičajeno je da se titriraju otopine koncentracije 0,2 ili 0,1 mol dm⁻³. Podrazumijeva se da je u točki ekvivalencije koncentracija soli jednaka 0,1 mol dm⁻³.

Sve su nabrojane kiseline slabe, pa su njihove natrijeve soli podložne hidrolizi. Točka ekvivalencije nalazi se u lužnatom području. U zadatku 10.35. pokazali smo da otopina natrijeva oksalata, c = 0,2 mol dm⁻³, ima pH = 8,78, što odgovara drugoj točki ekvivalencije pri neutralizaciji.

a) benzojeva kiselina



Ioni C₇H₅COO⁻ podliježu hidrolizi:



$$K_{\text{hidrolize}} = \frac{[\text{C}_7\text{H}_5\text{COOH}] \times [\text{OH}^-]}{[\text{C}_7\text{H}_5\text{COO}^-]} = \frac{[\text{C}_7\text{H}_5\text{COOH}] \times [\text{OH}^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{C}_7\text{H}_5\text{COO}^-] \times [\text{H}^+]} = \frac{K_w}{K_a}$$

Hidrolizom nastaju jednake množine iona OH⁻ i molekula benzojeve kiseline, pa vrijedi:

$$\frac{[\text{OH}^-]^2}{[\text{C}_7\text{H}_5\text{COO}^-]} = \frac{K_w}{K_a}$$

Odavde proizlazi

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_w \times [\text{C}_7\text{H}_5\text{COO}^-] / K_a}$$

ili općenito:

ili	$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_w \times c_{\text{sol}} / K_a} \quad \text{pOH} = \frac{1}{2} \text{p}K_w - \frac{1}{2} \text{p}K_a + \frac{1}{2} \text{p}(c_{\text{sol}})$
	$\text{pH} = 14 - \text{pOH} \quad \text{pH} = \frac{1}{2} \text{p}K_w + \frac{1}{2} \text{p}K_a - \frac{1}{2} \text{p}(c_{\text{sol}})$

Uzmemo li da je c_{sol} = 0,1 mol dm⁻³ dobivamo:

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_w \times [\text{C}_7\text{H}_5\text{COO}^-] / K_a} = \sqrt{10^{-14} \times 0,1 / 6,6 \times 10^{-5}} = 3,89 \times 10^{-6}$$

pOH = 5,41 pH = **8,59**

b) limunska kiselina

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_w \times c_{\text{sol}} / K_a} = \sqrt{10^{-14} \times 0,1 / 7,45 \times 10^{-4}} = 1,16 \times 10^{-6}$$

pOH = 5,94 pH = **8,06**

c) mravlja kiselina

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_w \times c_{\text{sol}} / K_a} = \sqrt{10^{-14} \times 0,1 / 1,77 \times 10^{-4}} = 2,38 \times 10^{-6}$$

pOH = 5,62 pH = **8,38**

d) cijanovodična kiselina

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_w \times c_{\text{sol}} / K_a} = \sqrt{10^{-14} \times 0,1 / 7,9 \times 10^{-10}} = 1,12 \times 10^{-3}$$

pOH = 2,95 pH = **11,05**

10.36. Vidi STEHIOMETRIJA**a) amonijak**

Amonijevi ioni podliježu hidrolizi



$$K_{\text{hidrolize}} = \frac{[\text{NH}_3(\text{aq})] \times [\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+]} = \frac{[\text{NH}_3(\text{aq})] \times [\text{H}^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]} = \frac{K_w}{K_b}$$

Hidrolizom nastaju jednake množine iona H^+ i molekula amonijaka, pa vrijedi:

$$\frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{NH}_4^+]} = \frac{K_w}{K_b}$$

Oдавде proizlazi

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_w \times [\text{NH}_4^+]} / K_b$$

ili općenito:

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_w \times c_{\text{sol}} / K_b} \quad \text{pH} = \frac{1}{2} \text{p}K_w - \frac{1}{2} \text{p}K_b + \frac{1}{2} \text{p}(c_{\text{sol}})$$

Uzmemo li da je $c_{\text{sol}} = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ dobivamo:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_w \times [\text{NH}_4^+] / K_b} = \sqrt{K_w \times 0,1 / 1,79 \times 10^{-5}} = 7,47 \times 10^{-6}$$

$$\text{pH} = 5,13 \quad \text{p}K_{\text{in}} = 5,1$$

b) metilamin

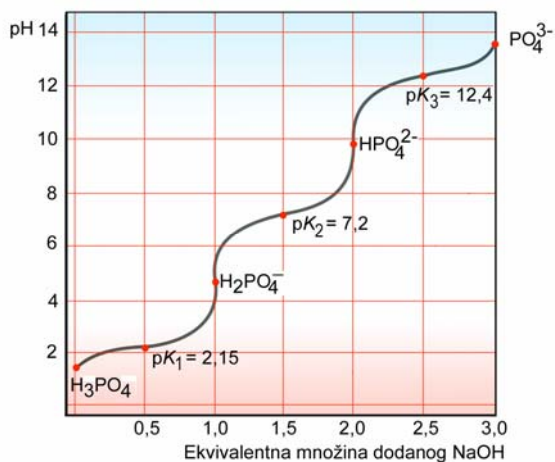
$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_w \times 0,1 / 4,17 \times 10^{-4}} = 1,55 \times 10^{-6}$$

$$\text{pH} = 5,81 \quad \text{p}K_{\text{in}} = 5,8$$

c) anilin

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_w \times 0,1 / 3,8 \times 10^{-10}} = 1,62 \times 10^{-3}$$

$$\text{pH} = 2,79 \quad \text{p}K_{\text{in}} = 2,8$$

10.37. Vidi STEHIOMETRIJA**10.38. Vidi STEHIOMETRIJA**

- a) fosforasta kiselina $K_1 = 1,6 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$, $K_2 = 6,3 \times 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3}$,
 b) oksalna kiselina $K_1 = 5,4 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $K_2 = 5,4 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$,
 c) sumporasta kiselina $K_1 = 1,6 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$, $K_2 = 6,3 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3}$,
 d) vinska kiselina $K_1 = 6,0 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$, $K_2 = 1,5 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$.

Za prvu točku ekvivalencije općenito vrijedi (vidi zadatak 10.30.):

$$\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_{a1} + \text{p}K_{a2})$$

pH u drugoj točki ekvivalencije odredit ćemo na osnovi izraza (vidi zadatak 10.35.)

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_w \times c_{\text{sol}} / K_a}$$

U svim slučajevima smatramo da je koncentracija soli $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$. Zadatak se svodi na izračunavanje pH otopina soli. Već smo pokazali kako se izračunava pH otopina kiselih soli (zadatak 10.34).

a) fosforasta kiselina

- $\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_{a1} + \text{p}K_{a2}) = \frac{1}{2} (2,79 + 6,20) = \mathbf{4,50}$
- $[\text{OH}^-] = \sqrt{K_w \times c_{\text{sol}} / K_a} = \sqrt{10^{-14} \times 0,1 / 6,3 \times 10^{-7}} = 3,98 \times 10^{-5}$, $\text{pOH} = 4,40$ $\text{pH} = \mathbf{9,60}$

b) oksalna kiselina

- $\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_{a1} + \text{p}K_{a2}) = \frac{1}{2} (1,27 + 4,27) = \mathbf{2,77}$
- $[\text{OH}^-] = \sqrt{K_w \times c_{\text{sol}} / K_a} = \sqrt{10^{-14} \times 0,1 / 5,4 \times 10^{-5}} = 4,30 \times 10^{-6}$, $\text{pOH} = 5,36$ $\text{pH} = \mathbf{8,64}$

c) sumporasta kiselina

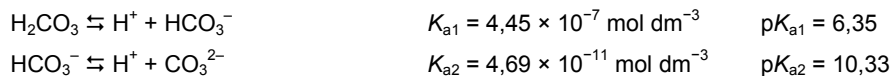
- $\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_{a1} + \text{p}K_{a2}) = \frac{1}{2} (1,79 + 7,20) = \mathbf{4,50}$
- $[\text{OH}^-] = \sqrt{K_w \times c_{\text{sol}} / K_a} = \sqrt{10^{-14} \times 0,1 / 6,3 \times 10^{-8}} = 1,26 \times 10^{-4}$, $\text{pOH} = 3,90$ $\text{pH} = \mathbf{10,10}$

d) vinska kiselina

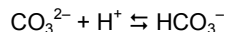
- $\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_{a1} + \text{p}K_{a2}) = \frac{1}{2} (3,22 + 4,82) = \mathbf{4,02}$
- $[\text{OH}^-] = \sqrt{K_w \times c_{\text{sol}} / K_a} = \sqrt{10^{-14} \times 0,1 / 1,5 \times 10^{-5}} = 8,16 \times 10^{-6}$, $\text{pOH} = 5,09$ $\text{pH} = \mathbf{8,91}$

10.39. Vidi STEHIOMETRIJA

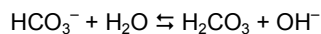
Napišimo izraze za konstantu ravnoteže:



a) Titracija u hladnome, ugljična kiselina u otopini:



Prvu točku ekvivalencije određuje hidroliza iona HCO_3^- . (Pažnja! Titriramo Na_2CO_3 otopinom HCl)



$$\frac{[\text{H}_2\text{CO}_3] \times [\text{OH}^-]}{[\text{HCO}_3^-]} = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3] \times [\text{OH}^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{HCO}_3^-] \times [\text{H}^+]} = \frac{K_w}{K_{a1}}$$

Hidrolizom nastaju jednake množine iona H^+ i molekula H_2CO_3 , pa slijedi

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} \approx \sqrt{K_w \times [\text{HCO}_3^-] / K_{a1}} \approx \sqrt{10^{-14} \times 0,01 / 4,45 \times 10^{-7}} \approx 1,50 \times 10^{-5}$$

$$p\text{OH} \approx 4,82 \quad p\text{H} \approx 9,18$$

ili (vidi zadatak 10.35.)

$$p\text{H} \approx \frac{1}{2} pK_w + \frac{1}{2} pK_a - \frac{1}{2} p(c_{\text{sol}}) \approx 7 + 3,20 - 1 \approx 9,20$$

Drugu točku ekvivalencije određuje prva konstanta disocijacije i koncentracija ugljične kiseline.



$$K_{a1} / \text{mol dm}^{-3} = 4,45 \times 10^{-7} = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

Odavde proizlazi:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} \approx \sqrt{K_{a1} \times c} \approx \sqrt{4,45 \times 10^{-7} \times 0,01} \approx 6,67 \times 10^{-5} \quad p\text{H} \approx 4,17$$

b) Titracija u vrućem, nema ugljične kiseline u otopini, $K_w = 5 \times 10^{-13} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$.

Prvu točku ekvivalencije određuje hidroliza iona HCO_3^- . U vrućoj je otopini $K_w = 5 \times 10^{-13} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$.

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} \approx \sqrt{K_w \times [\text{HCO}_3^-] / K_{a1}} \approx \sqrt{5 \times 10^{-13} \times 0,01 / 4,45 \times 10^{-7}} \approx 1,14 \times 10^{-4}$$

$$p\text{OH} \approx 3,94 \quad p\text{H} \approx 8,36$$

Pri povišenoj je temperaturi $p\text{H} + p\text{OH} = 12,30$, jer je $-\lg(5 \times 10^{-13} / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6}) = 12,30$

ili (vidi zadatak 10.35)

$$p\text{H} \approx \frac{1}{2} pK_w + \frac{1}{2} pK_a - \frac{1}{2} p(c_{\text{sol}}) \approx 6,15 + 3,20 - 1 \approx 8,35$$

Drugu točku ekvivalencije određuje prva konstanta disocijacije i koncentracija ugljične kiseline.

Rezultat ovog izračunavanja je samo približan, jer s porastom temperature povećava se i konstanta disocijacije ugljične kiseline, a taj podatak u zadatku nije naveden. Zato ćemo računati s konstantom K_{a1} određenom pri 25 °C.



Hidrogenkarbonatni ion je konjugirana baza kiseline H_2CO_3 . Kako je $pK_a + pK_b = pK_w$, proizlazi

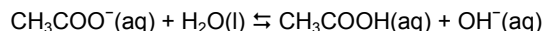
$$pK_b \approx pK_w - pK_a \approx 12,30 - 6,35 \approx 5,95$$

Odavde proizlazi (vidi zadatak 10.36.)

$$p\text{H} \approx \frac{1}{2} pK_w - \frac{1}{2} pK_b + \frac{1}{2} p(c_{\text{sol}}) \approx 6,15 - 2,97 + 1 \approx 4,18$$

10.40. Vidi STEHIOMETRIJA

Hidrolizu prikazujemo jednađbom



Kao što smo već kazali za množinski udio otapala uzima se da je uvijek jednak 1, pa za konstantu hidrolize acetatnih iona dobivamo:

$$K_{\text{hidrolize}} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}] \times [\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

Pomnožimo li u ovoj jednađbi brojnik i nazivnik s $[\text{H}^+]$, dobivamo

$$K_{\text{hidrolize}} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-] \times [\text{H}^+]} \times [\text{H}^+] \times [\text{OH}^-]$$

Konstantu hidrolize možemo izraziti pomoću konstante disocijacije kiseline i ionskog produkta vode.

$$K_{\text{hidrolize}} = \frac{K_w}{K_{\text{kiseline}}}$$

Uzmemo li da je:

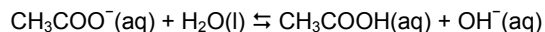
$$K_w / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6} = 10^{-14}$$

$$K_{\text{CH}_3\text{COOH}} / \text{mol dm}^{-3} = 1,75 \times 10^{-5}$$

proizlazi:

$$K_{\text{hidrolize}} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_w}{K_{\text{kiseline}}} = \frac{10^{-14}}{1,75 \times 10^{-5}} = 5,7 \times 10^{-10}$$

Jednađba reakcije hidrolize acetatnih iona



pokazuje da hidrolizom bilo koje množine acetatnih iona nastaje jednaka množina nedisocirane octene kiseline kao i hidroksidnih iona. Uzmimo da je u ravnotežnom stanju:

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1 - y,$$

$$K_{\text{hidrolize}} / \text{mol dm}^{-3} = 5,7 \times 10^{-10}.$$

Prema tome slijedi:

$$K_{\text{hidrolize}} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}] \times [\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} = \frac{y^2}{0,1 - y} = 5,7 \times 10^{-10}$$

Smanjenje koncentracije acetatnih iona zbog hidrolize je neznatno, pa ga možemo zanemariti i dobiti jednostavniju jednađbu

$$y^2 = 0,1 \times 5,7 \times 10^{-10}$$

$$y = 7,55 \times 10^{-6}.$$

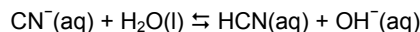
Izlazi da je u zadanoj otopini, nakon uspostavljanja ravnotežnog stanja, koncentracija nedisocirane octene kiseline, kao i hidroksidnih iona, jednaka $7,55 \times 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$, što znači da je ista množina acetatnih iona hidrolizirala. Stupanj hidrolize definiran je izrazom

$$\text{Stupanj hidrolize} = \frac{\text{množina hidroliziranih iona}}{\text{množina iona podložnih hidrolizi}} = \frac{7,55 \times 10^{-6}}{0,1} = 7,55 \times 10^{-5} = 0,75 \%$$

10.41. Vidi STEHIOMETRIJA

$$K_{\text{hidrolize}} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_w}{K_{\text{kiseline}}} = \frac{10^{-14}}{7,9 \times 10^{-10}} = 1,26 \times 10^{-5}$$

Jednadžba reakcije hidrolize cijanidnih iona



pokazuje da hidrolizom bilo koje množine cijanidnih iona nastaje jednaka množina nedisocirane cijanovodične kiseline kao i hidroksidnih iona. Da bismo izračunali koncentracije iona i nedisociranih molekula u otopini uzmimo da je u ravnotežnom stanju:

$$[\text{HCN}] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[\text{CN}^-] / \text{mol dm}^{-3} = 0,05 - y,$$

$$K_{\text{hidrolize}} / \text{mol dm}^{-3} = 1,26 \times 10^{-5}.$$

Prema tome slijedi:

$$K_{\text{hidrolize}} = \frac{[\text{HCN}] \times [\text{OH}^-]}{[\text{CN}^-]} = \frac{y^2}{0,05 - y} = 1,26 \times 10^{-5}$$

Preuredimo ovaj izraz tako da dobijemo kvadratnu jednadžbu u uobičajenom obliku:

$$y^2 + 1,26 \times 10^{-5} y - 6,3 \times 10^{-7} = 0$$

$$y = \frac{-1,26 \times 10^{-5} + \sqrt{(1,26 \times 10^{-5})^2 + 2,52 \times 10^{-6}}}{2} = \frac{-1,26 \times 10^{-5} + 1,59 \times 10^{-3}}{2} = 7,9 \times 10^{-4}$$

U zadanoj otopini, nakon uspostavljanja ravnotežnog stanja, koncentracija nedisocirane cijanovodične kiseline, kao i hidroksidnih iona, jednaka $7,9 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$, što znači da je ista množina cijanidnih iona hidrolizirala. Stupanj hidrolize definiran je izrazom:

$$\text{Stupanj hidrolize} = \frac{\text{množina hidroliziranih iona}}{\text{množina iona podložnih hidrolizi}} = \frac{7,9 \times 10^{-4}}{0,05} = 1,58 \times 10^{-2} = 1,58 \%$$

Stupanj hidrolize mogli smo izračunati brže. Smanjenje koncentracije iona CN^- zbog hidrolize je neznatno. Stoga izraz za konstantu hidrolize možemo napisati u obliku:

$$K_{\text{hidrolize}} = \frac{[\text{HCN}] \times [\text{OH}^-]}{[\text{CN}^-]} = \frac{y^2}{0,05} = 1,26 \times 10^{-5}$$

Odavde proizlazi:

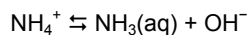
$$y = \sqrt{K_{\text{hidrolize}} \times c_{\text{ion}}} = \sqrt{1,26 \times 10^{-5} \times 0,05} = \sqrt{6,3 \times 10^{-7}} = 7,9 \times 10^{-4}$$

Odnosno:

$$\text{Stupanj hidrolize} = \frac{\text{množina hidroliziranih iona}}{\text{množina iona podložnih hidrolizi}} = \frac{7,9 \times 10^{-4}}{0,05} = 1,58 \times 10^{-2} = 1,58 \%$$

10.42. Vidi STEHIOMETRIJA

Amonijevi ioni hidroliziraju prema jednažbi.



$$K_{\text{hidrolize}} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{NH}_3(\text{aq})] \times [\text{OH}^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+] \times [\text{H}^+]} = \frac{K_w}{K_{\text{NH}_3(\text{aq})}} = \frac{10^{-14}}{1,79 \times 10^{-5}} = \mathbf{5,6 \times 10^{-10}}$$

Hidrolizom bilo koje množine amonijevih iona nastaje jednaka množina nedisociranih molekula amonijaka i vodikovih (oksonijevih, hidronijevih) iona. Da bismo izračunali koncentracije iona i nedisociranih molekula u otopini uzmimo da je u ravnotežnom stanju:

$$[\text{NH}_3(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[\text{NH}_4^+] / \text{mol dm}^{-3} = 1 - y,$$

$$K_{\text{hidrolize}} / \text{mol dm}^{-3} = 5,6 \times 10^{-10}.$$

Smanjenje koncentracije iona NH_4^+ je zanemarivo pa vrijedi:

$$\frac{[\text{NH}_3(\text{aq})] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4^+]} = \frac{y^2}{1} = 5,6 \times 10^{-10}$$

$$\text{Odatve proizlazi: } y = 2,4 \times 10^{-5}$$

$$\text{Stupanj hidrolize} = \frac{\text{množina hidroliziranih iona}}{\text{množina iona podložnih hidrolizi}} = \frac{2,4 \times 10^{-5}}{1} = 2,4 \times 10^{-5} = \mathbf{2,4 \times 10^{-3} \%}$$

10.43. Vidi STEHIOMETRIJA

Anilinijski ioni $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3^+$ su slaba kiseline dok su ioni Cl^- neutralni, pa možemo pretpostaviti da će otopina biti kisela.

Znamo da je $K_b = 3,8 \times 10^{-10} \text{ mol dm}^{-3}$, odnosno $\text{p}K_b = 9,42$.

Kako je: $\text{p}K_b + \text{p}K_a = 14$, proizlazi:

$$\text{p}K_a = 14 - \text{p}K_b = 14 - 9,42 = 4,58$$

Za koncentraciju iona H^+ dobivamo:

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_a \times c}$$

ili

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \text{p}K_a - \frac{1}{2} \log c$$

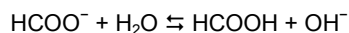
Zadatak ne sadržava podatak o koncentraciji anilinijskog klorida, pa pretpostavljamo da je 1 mol dm^{-3} .

Odatve proizlazi:

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \times 4,58 = \mathbf{2,29}$$

10.44. Vidi STEHIOMETRIJA

Formijatni ioni hidroliziraju prema jednađbi:



$$K_{\text{hidrolize}} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{HCOOH}] \times [\text{OH}^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{HCOO}^-] \times [\text{H}^+]} = \frac{K_w}{K_{\text{HCOOH}}} = \frac{10^{-14}}{1,77 \times 10^{-4}} = \mathbf{5,65 \times 10^{-11}}$$

Hidrolizom bilo koje množine formijatnih iona nastaje jednaka množina nedisociranih molekula mravlje kiseline i hidroksidnih iona. Da bismo izračunali koncentracije iona i nedisociranih molekula u otopini uzmimo da je u ravnotežnom stanju:

$$[\text{HCOOH}] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[\text{HCOO}^-] / \text{mol dm}^{-3} = 0,5 - y,$$

$$K_{\text{hidrolize}} / \text{mol dm}^{-3} = 5,65 \times 10^{-11}.$$

Smanjenje koncentracije iona HCOO^- je zanemarivo pa vrijedi:

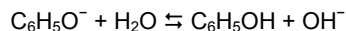
$$\frac{[\text{HCOOH}] \times [\text{OH}^-]}{[\text{HCOO}^-]} = \frac{y^2}{0,5} = 5,65 \times 10^{-11}$$

$$\text{Oдавde proizlazi: } y = \sqrt{0,5 \times 5,65 \times 10^{-11}} = 5,3 \times 10^{-6}$$

$$\text{Stupanj hidrolize} = \frac{\text{množina hidroliziranih iona}}{\text{množina iona podložnih hidrolizi}} = \frac{5,3 \times 10^{-6}}{0,5} = 1,06 \times 10^{-5} = \mathbf{1,06 \times 10^{-3} \%}$$

10.45. Vidi STEHIOMETRIJA

Fenolatni ioni hidroliziraju prema jednađbi:



uzmimo da je u ravnotežnom stanju:

$$[\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-] / \text{mol dm}^{-3} = 2 - y,$$

$$K_{\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}} / \text{mol dm}^{-3} = 1 \times 10^{-10}$$

pa dobivamo:

$$K_{\text{hidrolize}} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}] \times [\text{OH}^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-] \times [\text{H}^+]} = \frac{K_w}{K_{\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}}} = \frac{10^{-14}}{1 \times 10^{-10}} = \mathbf{1 \times 10^{-4}}$$

Smanjenje koncentracije iona $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$ zbog hidrolize je zanemarivo. Hidrolizom nastaju jednake množine iona OH^- i molekula $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$. Za koncentraciju iona OH^- u otopini dobivamo:

$$\frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}] \times [\text{OH}^-]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-]} = \frac{y^2}{2} = 1 \times 10^{-4}$$

$$\text{Oдавde proizlazi: } y = \sqrt{2 \times 10^{-4}} = 1,41 \times 10^{-2}$$

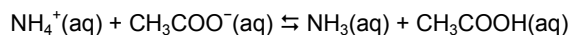
Za koncentraciju iona OH^- u otopini dobivamo:

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{2 \times 10^{-4}} = 1,41 \times 10^{-2} \quad \text{pOH} = 1,85 \quad \text{pH} = \mathbf{12,15}$$

$$\text{Stupanj hidrolize} = \frac{\text{množina hidroliziranih iona}}{\text{množina iona podložnih hidrolizi}} = \frac{y}{2} = \frac{1,41 \times 10^{-2}}{2} = 7,1 \times 10^{-3} = \mathbf{0,71 \%}$$

10.46. Vidi STEHIOMETRIJA

Otapanjem amonijeva acetata u vodi nastaju ioni $\text{NH}_4^+(\text{aq})$ i $\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$. Oba su iona podložna hidrolizi:



Konstanta hidrolize je

$$K_{\text{hidrolize}} = \frac{K_w}{K_{\text{kiseline}} \times K_{\text{baze}}} = \frac{10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}}{1,79 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3} \times 1,75 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}} = 3,2 \times 10^{-5}.$$

Iz jednadžbe hidrolize vidimo da hidrolizom neke množine amonijeva acetata nastaju jednake množine nedisociranog amonijaka i nedisocirane octene kiseline. Uzmimo da je u stanju ravnoteže:

$$\begin{aligned} [\text{NH}_3(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} &= y, \\ [\text{CH}_3\text{COOH}] / \text{mol dm}^{-3} &= y, \\ [\text{NH}_4^+] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,1 - y, \\ [\text{CH}_3\text{COO}^-] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,1 - y, \end{aligned}$$

što proizlazi iz uvjeta zadatka i jednadžbe hidrolize. Kako je

$$K_{\text{hidrolize}} = \frac{[\text{NH}_3(\text{aq})] \times [\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{NH}_4^+] \times [\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

vrijedi:

$$3,2 \times 10^{-5} = \frac{y^2}{(1 - y)^2}$$

$$\sqrt{3,2 \times 10^{-5}} = \frac{y}{(1 - y)}$$

Vrlo malo iona je podložno hidrolizi, pa smanjenje njihove koncentracije možemo zanemariti. Slijedi:

$$y = 5,6 \times 10^{-3}.$$

Ravnotežne koncentracije su ove:

$$\begin{aligned} [\text{NH}_3(\text{aq})] &= 5,6 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}, \\ [\text{CH}_3\text{COOH}] &= 5,6 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}, \\ [\text{NH}_4^+] &= 1 \text{ mol dm}^{-3}, \\ [\text{CH}_3\text{COO}^-] &= 1 \text{ mol dm}^{-3}. \end{aligned}$$

Za stupanj hidrolize dobivamo:

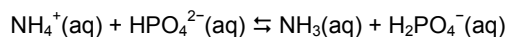
$$\text{stupanj hidrolize} = \frac{5,6 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}}{1 \text{ mol dm}^{-3}} = 5,6 \times 10^{-3} = 0,56 \, \%.$$

Uzimajući u obzir ravnotežne koncentracije za pH otopine dobivamo:

$$\begin{aligned} [\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} &= \frac{K_{\text{kiseline}} \times [\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \\ &= \frac{1,75 \times 10^{-5} \times 5,6 \times 10^{-3}}{1} = 9,8 \times 10^{-8}, \quad \text{pH} = 7,01 \end{aligned}$$

10.47. Vidi STEHIOMETRIJA

Otapanjem amonijeva hidrogenfosfata u vodi nastaju ioni $\text{NH}_4^+(\text{aq})$ i HPO_4^{2-} . Oba su iona podložna hidrolizi:



Konstanta hidrolize je

$$K_{\text{hidrolize}} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_w}{K_{\text{kiseline}} \times K_{\text{baze}}} = \frac{10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}}{1,79 \times 10^{-5} \times 6,31 \times 10^{-8}} = 8,85 \times 10^{-3}.$$

Iz jednadžbe hidrolize vidimo da hidrolizom neke množine amonijeva hidrogenfosfata nastaju jednake množine nedisociranog amonijaka i dihidrogenfosfatnih iona. Uzmimo da je u stanju ravnoteže:

$$\begin{aligned} [\text{NH}_3(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} &= y, \\ [\text{H}_2\text{PO}_4^-] / \text{mol dm}^{-3} &= y, \\ [\text{NH}_4^+] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,3 - y, \\ [\text{HPO}_4^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,3 - y, \end{aligned}$$

što proizlazi iz uvjeta zadatka i jednadžbe hidrolize. Kako je

$$K_{\text{hidrolize}} = \frac{[\text{NH}_3(\text{aq})] \times [\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{NH}_4^+] \times [\text{HPO}_4^{2-}]}$$

vrijedi:

$$8,85 \times 10^{-3} = \frac{y^2}{(0,3 - y)^2}$$

$$\sqrt{8,85 \times 10^{-3}} = \frac{y}{(0,3 - y)}$$

Odavde proizlazi

$$(0,3 - y) \times 0,0941 = y$$

$$0,0282 = 1,0941 y$$

$$y = 0,0258$$

Ravnotežne koncentracije su ove:

$$\begin{aligned} [\text{NH}_3(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} &= 2,58 \times 10^{-2}, \\ [\text{H}_2\text{PO}_4^-] / \text{mol dm}^{-3} &= 2,58 \times 10^{-2}, \\ [\text{NH}_4^+] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,274, \\ [\text{HPO}_4^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,274, \end{aligned}$$

Za stupanj hidrolize dobivamo:

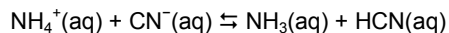
$$\text{stupanj hidrolize} = \frac{2,58 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}}{0,3 \text{ mol dm}^{-3}} = 0,086 = 8,6 \, \%.$$

Uzimajući u obzir ravnotežne koncentracije za pH otopine dobivamo:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{kiseline}} \times [\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{HPO}_4^{2-}]} = \frac{6,31 \times 10^{-8} \times 2,58 \times 10^{-2}}{0,274} = 5,94 \times 10^{-9} \quad \text{pH} = 8,22$$

10.48. Vidi STEHIOMETRIJA

Otapanjem amonijeva cijanida u vodi nastaju ioni $\text{NH}_4^+(\text{aq})$ i CN^- . Oba su iona podložna hidrolizi:



Konstanta hidrolize je

$$K_{\text{hidrolize}} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_w}{K_{\text{kiseline}} \times K_{\text{baze}}} = \frac{10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}}{1,79 \times 10^{-5} \times 7,9 \times 10^{-10}} = \mathbf{0,707}.$$

Iz jednadžbe hidrolize vidimo da hidrolizom neke množine amonijeva cijanida nastaju jednake množine nedisociranog amonijaka i cijanovodične kiseline. Uzmimo da je u stanju ravnoteže:

$$\begin{aligned} [\text{NH}_3(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} &= y, \\ [\text{HCN}] / \text{mol dm}^{-3} &= y, \\ [\text{NH}_4^+] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,7 - y, \\ [\text{CN}^-] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,7 - y, \end{aligned}$$

što proizlazi iz uvjeta zadatka i jednadžbe hidrolize. Kako je

$$K_{\text{hidrolize}} = \frac{[\text{NH}_3(\text{aq})] \times [\text{HCN}]}{[\text{NH}_4^+] \times [\text{CN}^-]}$$

vrijedi:

$$0,707 = \frac{y^2}{(0,7 - y)^2}$$

$$\sqrt{0,707} = \frac{y}{(0,7 - y)}$$

Odavde proizlazi

$$(0,7 - y) \times 0,841 = y$$

$$0,588 = 1,841 y$$

$$y = 0,320$$

Ravnotežne koncentracije su ove:

$$\begin{aligned} [[\text{NH}_3(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3}] &= 0,320 \\ [\text{HCN}] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,320 \\ [\text{NH}_4^+] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,380 \\ [\text{CN}^-] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,380 \end{aligned}$$

Za stupanj hidrolize dobivamo:

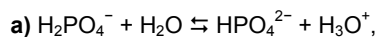
$$\text{stupanj hidrolize} = \frac{0,320 \text{ mol dm}^{-3}}{0,7 \text{ mol dm}^{-3}} = 0,46 = \mathbf{46 \%}.$$

Uzimajući u obzir ravnotežne koncentracije za pH otopine dobivamo:

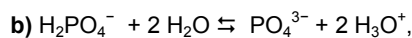
$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{kiseline}} \times [\text{HCN}]}{[\text{CN}^-]} = \frac{7,9 \times 10^{-10} \times 0,320}{0,38} = 6,65 \times 10^{-10} \quad \text{pH} = \mathbf{9,18}$$

10.49. Vidi STEHIOMETRIJA

:

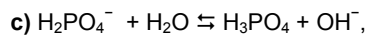


$$K_c = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}] \times [\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = K_{a2} = \mathbf{6,31 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3}}$$

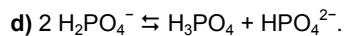


$$K_c = \frac{[\text{PO}_4^{3-}] \times [\text{H}^+]^2}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}] \times [\text{H}^+] \times [\text{H}^+] \times [\text{PO}_4^{3-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-] \times [\text{HPO}_4^{2-}]} = K_{a2} \times K_{a3}$$

$$= 6,31 \times 10^{-8} \times 1,26 \times 10^{-12} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6} = \mathbf{8 \times 10^{-20} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}}$$



$$K_c = \frac{[\text{H}_3\text{PO}_4] \times [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = \frac{[\text{H}_3\text{PO}_4] \times [\text{OH}^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-] \times [\text{H}^+]} = \frac{K_w}{K_{a1}} = \frac{10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}}{7,52 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}} = \mathbf{1,33 \times 10^{-12} \text{ mol dm}^{-3}}$$



$$K_c = \frac{[\text{H}_3\text{PO}_4] \times [\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]^2} = \frac{[\text{H}_3\text{PO}_4]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-] \times [\text{H}^+]} \times \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = \frac{K_{a2}}{K_{a1}} =$$

$$= \frac{6,31 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3}}{7,52 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}} = \mathbf{8,4 \times 10^{-6}}$$

10.50. Vidi STEHIOMETRIJA

a) željezov(III) klorid $K_{\text{hid}}(\text{Fe}(\text{OH}_2)_6^{3+}) = 2 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$,

Hidrolizu iona $\text{Fe}(\text{aq})^{3+}$ možemo prikazati jednačom:



Konstanta ravnoteže, odnosno hidrolize, je:

$$K_{\text{hidrolize}} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{FeOH}(\text{OH}_2)_5^{2+}] \times [\text{H}^+]}{[\text{Fe}(\text{OH}_2)_6^{3+}]} = 2 \times 10^{-4}$$

Hidrolizom $\text{Fe}(\text{OH}_2)_6^{3+}$ nastaju jednake množine iona $\text{FeOH}(\text{OH}_2)_5^{2+}$ i H^+ . Smanjenje koncentracije iona $\text{Fe}(\text{OH}_2)_6^{3+}$ možemo zanemariti pa dobivamo:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_{\text{hidrolize}} \times c(\text{Fe}(\text{OH}_2)_6^{3+})} = \sqrt{2 \times 10^{-4} \times 0,05} = 3,16 \times 10^{-3} \quad \text{pH} = 2,5$$

Ravnotežne su koncentracije:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 3,16 \times 10^{-3}$$

$$[\text{FeOH}(\text{OH}_2)_5^{2+}] / \text{mol dm}^{-3} = 3,16 \times 10^{-3}$$

$$[\text{Fe}(\text{OH}_2)_6^{3+}] / \text{mol dm}^{-3} = 0,05$$

Odavde proizlazi:

$$\text{stupanj hidrolize} = \frac{3,16 \times 10^{-3}}{0,05} = 0,063 = 6,3 \%$$

b) aluminijev sulfat $K_{\text{hid}}(\text{Al}(\text{OH}_2)_6^{3+}) = 6 \times 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$

Hidrolizu iona $\text{Al}(\text{aq})^{3+}$ možemo prikazati jednačom:



Konstanta ravnoteže, odnosno hidrolize, je:

$$K_{\text{hidrolize}} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{AlOH}(\text{OH}_2)_5^{2+}] \times [\text{H}^+]}{[\text{Al}(\text{OH}_2)_6^{3+}]} = 6 \times 10^{-6}$$

Hidrolizom $\text{Al}(\text{OH}_2)_6^{3+}$ nastaju jednake množine iona $\text{AlOH}(\text{OH}_2)_5^{2+}$ i H^+ . Smanjenje koncentracije iona $\text{Al}(\text{OH}_2)_6^{3+}$ možemo zanemariti pa dobivamo:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_{\text{hidrolize}} \times c(\text{Al}(\text{OH}_2)_6^{3+})} = \sqrt{6 \times 10^{-6} \times 0,05} = 5,48 \times 10^{-4} \quad \text{pH} = 3,26$$

Ravnotežne su koncentracije:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 5,48 \times 10^{-4}$$

$$[\text{AlOH}(\text{OH}_2)_5^{2+}] / \text{mol dm}^{-3} = 5,48 \times 10^{-4}$$

$$[\text{Al}(\text{OH}_2)_6^{3+}] / \text{mol dm}^{-3} = 0,05$$

Odavde proizlazi:

$$\text{stupanj hidrolize} = \frac{5,48 \times 10^{-4}}{0,05} = 0,011 = 1,1 \%$$

c) magnezijev sulfat $K_{\text{hid}}(\text{Mg}(\text{OH}_2)_6^{2+}) = 5 \times 10^{-11} \text{ mol dm}^{-3}$?

Hidrolizu iona $\text{Mg}(\text{aq})^{2+}$ možemo prikazati jednačbom:



Konstanta ravnoteže, odnosno hidrolize, je:

$$K_{\text{hidrolize}} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{MgOH}(\text{OH}_2)_5^+] \times [\text{H}^+]}{[\text{Mg}(\text{OH}_2)_6^{2+}]} = 5 \times 10^{-11}$$

Hidrolizom $\text{Mg}(\text{OH}_2)_6^{2+}$ nastaju jednake množine iona $\text{MgOH}(\text{OH}_2)_5^+$ i H^+ . Smanjenje koncentracije iona $\text{Mg}(\text{OH}_2)_6^{2+}$ možemo zanemariti pa dobivamo:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_{\text{hidrolize}} \times c(\text{Mg}(\text{OH}_2)_6^{2+})} = \sqrt{5 \times 10^{-11} \times 0,05} = 1,58 \times 10^{-6} \quad \text{pH} = 5,80$$

Ravnotežne su koncentracije:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 1,58 \times 10^{-6}$$

$$[\text{MgOH}(\text{OH}_2)_5^+] / \text{mol dm}^{-3} = 1,58 \times 10^{-6}$$

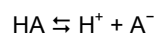
$$[\text{Mg}(\text{OH}_2)_6^{2+}] / \text{mol dm}^{-3} = 0,05$$

Odavde proizlazi:

$$\text{stupanj hidrolize} = \frac{1,58 \times 10^{-6}}{0,05} = 3,16 \times 10^{-5} = 3 \times 10^{-3} \text{ \%}$$

10.51. Vidi STEHIOMETRIJA

Monoprotionska organska kiselina u otopini disocira prema općoj jednačbi:



Konstanta ravnoteže je:

$$K_a / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{A}^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{HA}]}$$

Disocijacijom nastaju jednake množine iona H^+ i A^- , pa vrijedi:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_c \times [\text{HA}]}$$

odnosno

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \text{p}K_a - \frac{1}{2} \lg ([\text{HA}] / \text{mol dm}^{-3})$$

Odavde se za $\text{p}K_a$ kiseline dobiva

$$\frac{1}{2} \text{p}K_a = \text{pH} + \frac{1}{2} \lg ([\text{HA}] / \text{mol dm}^{-3}) = 3,3 + \frac{1}{2} \lg 0,3 = 3,038$$

$$\text{p}K_a = 6,077 \quad K_a = 8,37 \times 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3}$$

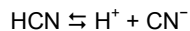
Otopina ima $\text{pH} = 3,3$. Odavde proizlazi da je $[\text{H}^+] = 5 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$.

Za stupanj disocijacije dobivamo:

$$\alpha = \frac{\text{koncentracija disociranog oblika}}{\text{koncentracija nedisociranog oblika}} = \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{[\text{H}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{5 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}}{0,3 \text{ mol dm}^{-3}} = 0,167 \text{ \%}$$

10.52. Vidi STEHIOMETRIJA

Cijanovodična kiselina disocira prema jednađbi:



Konstanta ravnoteže je:

$$K_a / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]} = 7,9 \times 10^{-10}$$

Kiselina je slabo disocirana pa se smanjenje koncentracije zbog disocijacije može zanemariti. Disocijacijom nastaju jednake množine iona H^+ i CN^- , pa vrijedi:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_c \times [\text{HA}]}$$

odnosno

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \text{p}K_a - \frac{1}{2} \lg ([\text{HCN}] / \text{mol dm}^{-3}) = 4,55 + 0,65 = 5,20 \quad \text{pOH} = 14 - \text{pH} = 8,8$$

Ravnotežne su koncentracije::

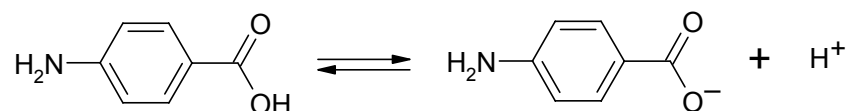
$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 6,3 \times 10^{-6}$$

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = 1,6 \times 10^{-9}$$

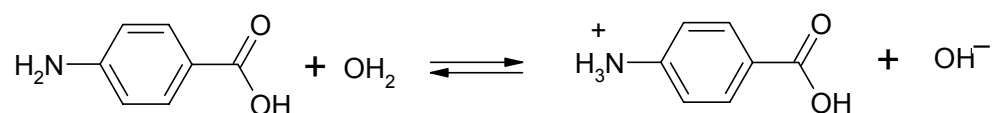
$$[\text{CN}^-] / \text{mol dm}^{-3} = 6,3 \times 10^{-6}$$

10.53. Vidi STEHIOMETRIJA

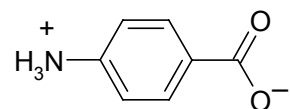
p-aminobenzojeva kiselina reagira kao kiselina



i kao baza



U izoelektričnoj točki *p*-aminobenzojeva kiselina ima ovu strukturu:



Konstante disocijacije jesu: $K_{\text{kiseline}} = 1,2 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$, $K_{\text{baze}} = 2,3 \times 10^{-12} \text{ mol dm}^{-3}$, odnosno:

$$\text{p}K_{\text{kiseline}} = 4,92, \quad \text{p}K_{\text{baze}} = 11,64$$

Koncentraciju iona H^+ u izoelektričnoj točki računamo prema jednađbi:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_{\text{kiseline}} \times K_w / K_{\text{baze}}}$$

logaritmiranjem dobivamo:

$$\text{pI} = \frac{1}{2} \text{p}K_{\text{kiseline}} + \frac{1}{2} \text{p}K_w - \frac{1}{2} \text{p}K_{\text{baze}} = 2,46 + 7 - 5,92 = 3,64$$

p-aminobenzojeva kiselina ima izoelektričnu točku pri $\text{pH} = 3,64$.

10.54. Vidi STEHIOMETRIJA

Vidi zadatak 10.53.

a) β -alanin

Konstante disocijacije β -alanina jesu: $K_{\text{kiseline}} = 5,8 \times 10^{-11} \text{ mol dm}^{-3}$, $K_{\text{baze}} = 3,6 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3}$

$$pK_{\text{kiseline}} = 10,24, \quad pK_{\text{baze}} = 7,44$$

Koncentraciju iona H^+ u izoelektričnoj točki računamo prema jednadžbi:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_{\text{kiseline}} \times K_w / K_{\text{baze}}}$$

logaritmiranjem dobivamo:

$$pI = \frac{1}{2} pK_{\text{kiseline}} + \frac{1}{2} K_w - \frac{1}{2} p K_{\text{baze}} = 5,12 + 7 - 3,72 = \mathbf{8,40}$$

β -alanin ima izoelektričnu točku pri $pH = 8,40$.

b) serin

Konstante disocijacije serina jesu: $K_{\text{kiseline}} = 6,2 \times 10^{-10} \text{ mol dm}^{-3}$, $K_{\text{baze}} = 1,6 \times 10^{-12} \text{ mol dm}^{-3}$.

$$pK_{\text{kiseline}} = 9,20, \quad pK_{\text{baze}} = 11,80$$

Koncentraciju iona H^+ u izoelektričnoj točki računamo prema jednadžbi:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \sqrt{K_{\text{kiseline}} \times K_w / K_{\text{baze}}}$$

logaritmiranjem dobivamo:

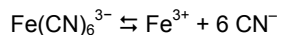
$$pI = \frac{1}{2} pK_{\text{kiseline}} + \frac{1}{2} K_w - \frac{1}{2} p K_{\text{baze}} = 4,60 + 7 - 5,90 = \mathbf{5,70}$$

serin ima izoelektričnu točku pri $pH = 5,70$.

Ove se dvije aminokiseline mogu razdvojiti taloženjem.

10.55. Vidi STEHIOMETRIJA

Disocijaciju iona $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ prikazuje jednadžba:



Vidimo da disocijacijom neke množine kompleksnog iona $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} (\text{aq})$ nastaje određena množina iona $\text{Fe}^{3+} (\text{aq})$ i šest puta veća množina iona $\text{CN}^- (\text{aq})$. Uzmimo da je ravnotežnom stanju:

$$[\text{Fe}^{3+}] / \text{mol dm}^{-3} = y,$$

$$[\text{CN}^-] / \text{mol dm}^{-3} = 6y,$$

$$[\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}] / \text{mol dm}^{-3} = 1,$$

$$K(\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}) / \text{mol}^6 \text{ dm}^{-18} = 1 \times 10^{-24},$$

Koncentraciju kompleksnog iona možemo smatrati konstantnom, jer je vrlo malo kompleksnog iona podložno disocijaciji. Prema tome, za disocijaciju kompleksnog iona, vrijedi:

$$K_c / \text{mol}^6 \text{ dm}^{-18} = \frac{[\text{Fe}^{3+}] \times [\text{CN}^-]^6}{[\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}]} = 1 \times 10^{-24}$$

odnosno

$$y \times (6y)^6 = 1 \times 10^{-24} = 46656 y^7$$

logaritmiranjem dobivamo:

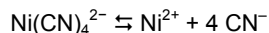
$$\lg y = \frac{1}{7} \lg 10^{-24} - \frac{1}{7} \lg 46656 = -3,43 - 0,67 = -4,09$$

$$y = 8 \times 10^{-5}$$

$$[\text{Fe}^{3+}] / \text{mol dm}^{-3} = \mathbf{8 \times 10^{-5}}$$

10.56. Vidi STEHIOMETRIJA

Disocijaciju iona $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$ prikazuje jednačba:



Vidimo da disocijacijom neke množine kompleksnog iona $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}(\text{aq})$ nastaje određena množina iona $\text{Ni}^{2+}(\text{aq})$ i četiri puta veća množina iona $\text{CN}^-(\text{aq})$. Uzmimo da je ravnotežnom stanju:

$$\begin{aligned} [\text{Ni}^{2+}] / \text{mol dm}^{-3} &= y, \\ [\text{CN}^-] / \text{mol dm}^{-3} &= 4y, \\ [\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,3, \\ K(\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}) / \text{mol}^4 \text{dm}^{-12} &= 1,8 \times 10^{-14} \end{aligned}$$

Koncentraciju kompleksnog iona možemo smatrati konstantnom, jer je vrlo malo kompleksnog iona podložno disocijaciji. Prema tome, za disocijaciju kompleksnog iona, vrijedi:

$$K_c / \text{mol}^4 \text{dm}^{-12} = \frac{[\text{Ni}^{2+}] \times [\text{CN}^-]^4}{[\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}]} = 1 \times 10^{-24}$$

odnosno

$$y \times (4y)^4 = 0,3 \times 1,8 \times 10^{-14} = 256 y^5$$

logaritmiranjem dobivamo:

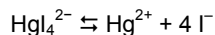
$$\lg y = \frac{1}{5} \lg 0,54 + \frac{1}{5} \lg 10^{-14} - \frac{1}{5} \lg 256 = -0,0535 - 2,8 - 0,4816 = -3,335$$

$$y = 4,6 \times 10^{-4}$$

$$\begin{aligned} [\text{Ni}^{2+}] / \text{mol dm}^{-3} &= \mathbf{4,6 \times 10^{-4}} \\ [\text{CN}^-] / \text{mol dm}^{-3} &= \mathbf{1,8 \times 10^{-3}} \end{aligned}$$

10.57. Vidi STEHIOMETRIJA

Disocijaciju iona HgI_4^{2-} prikazuje jednačba:



Vidimo da disocijacijom neke množine kompleksnog iona $\text{HgI}_4^{2-}(\text{aq})$ nastaje određena množina iona $\text{Hg}^{2+}(\text{aq})$ i četiri puta veća množina iona $\text{I}^-(\text{aq})$. Uzmimo da je ravnotežnom stanju:

$$\begin{aligned} [\text{Hg}^{2+}] / \text{mol dm}^{-3} &= y, \\ [\text{I}^-] / \text{mol dm}^{-3} &= 2 + 4y, \\ [\text{HgI}_4^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} &= 0,1, \\ K(\text{HgI}_4^{2-}) / \text{mol}^4 \text{dm}^{-12} &= 1,48 \times 10^{-30} \end{aligned}$$

Koncentraciju kompleksnog iona možemo smatrati konstantnom, jer je vrlo malo kompleksnog iona podložno disocijaciji. Otopina sadržava 2 mol dm^{-3} kalijeva jodida za koji smatramo da je potpuno disociran. Koncentraciju jodidnih iona prema tome određuje koncentracija kalijeva jodida. Odavde proizlazi:

$$K_c / \text{mol}^4 \text{dm}^{-12} = \frac{[\text{Hg}^{2+}] \times [\text{I}^-]^4}{[\text{HgI}_4^{2-}]} = 1,48 \times 10^{-30} = \frac{[\text{Hg}^{2+}] \times (2)^4}{0,1}$$

Odavde proizlazi:

$$[\text{Hg}^{2+}] / \text{mol dm}^{-3} \approx 1,48 \times 10^{-30} \times 0,1 / 16 = \mathbf{9,25 \times 10^{-33}}$$

10.58. Vidi STEHIOMETRIJA

Disocijaciju iona $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ prikazuje jednačina:



Vidimo da disocijacijom neke množine kompleksnog iona $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}(\text{aq})$ nastaje određena množina iona $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ i četiri puta veća množina $\text{NH}_3(\text{aq})$. Uzmimo da je ravnotežnom stanju:

$$\begin{aligned} [\text{Cu}^{2+}] / \text{mol dm}^{-3} &= 1 \times 10^{-12}, \\ [\text{NH}_3(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} &= y, \\ [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}] / \text{mol dm}^{-3} &= 1, \\ K(\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}) / \text{mol}^4 \text{dm}^{-12} &= 2,14 \times 10^{-13} \end{aligned}$$

Konstanta ravnoteže disocijacije iona $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ može se napisati u obliku:

$$K_c / \text{mol}^4 \text{dm}^{-12} = \frac{[\text{Cu}^{2+}] \times [\text{NH}_3(\text{aq})]^4}{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}]} = \frac{1 \times 10^{-12} \times y^4}{1} = 2,14 \times 10^{-13}$$

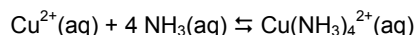
Odavde proizlazi:

$$y^4 = \frac{2,14 \times 10^{-13}}{1 \times 10^{-12}} \times 1 = 0,214$$

$$y = 0,680$$

$$[\text{NH}_3(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} = 0,680$$

Ioni Cu^{2+} i amonijak reagiraju prema jednačini:



Jedan mol iona Cu^{2+} "troši" 4 mola $\text{NH}_3(\text{aq})$ za stvaranje kompleksnog iona $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}(\text{aq})$.

Da bi se postigla tražena koncentracija iona Cu^{2+}

na 1 dm³ otopine bakrova(II) sulfata treba dodati **4,680 mol NH₃**.

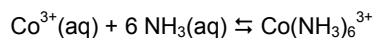
10.59. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije množine tvari koje sadržava 1 dm³ reakcijske smjese:

$$n(\text{Co}^{3+}) = 0,1 \text{ mol}$$

$$n(\text{NH}_3(\text{aq})) = w(\text{NH}_3) \times m(\text{otop. NH}_3) / M(\text{NH}_3) = 0,30 \times 50 \text{ g} / 17 \text{ g mol}^{-1} = 0,882 \text{ mol}$$

Ioni Co^{2+} i amonijak reagiraju prema jednačini:



Jedan mol iona Co^{3+} troši 6 mola NH_3 . Prema uvjetima zadatka dobivamo:

$$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}] / \text{mol dm}^{-3} = 0,1$$

$$[\text{NH}_3(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} = 0,882 - 0,600 = 0,282$$

$$K(\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}) / \text{mol}^6 \text{dm}^{-18} = 3,1 \times 10^{-33}$$

Konstanta ravnoteže za disocijaciju kompleksnog iona $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}$ glasi:

$$K_c / \text{mol}^6 \text{dm}^{-18} = \frac{[\text{Co}^{3+}] \times [\text{NH}_3(\text{aq})]^6}{[\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}]} = \frac{[\text{Co}^{3+}] \times (0,282)^6}{0,1} = 3,1 \times 10^{-33}$$

Odavde proizlazi:

$$[\text{Co}^{3+}(\text{aq})] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{0,1 \times 3,1 \times 10^{-33}}{(0,282)^6} = \frac{3,1 \times 10^{-34}}{5,03 \times 10^{-4}} \approx 6 \times 10^{-31}$$

10.60. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije množinu olovova klorida u 1 dm³ zasićene vodene otopine.

$$n(\text{PbCl}_2) = \frac{1 \text{ dm}^3}{0,050 \text{ dm}^3} \times \frac{0,495 \text{ g}}{278,10 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0356 \text{ mol}$$

Otapanje olovova klorida u vodi prikazuje jednažba:



Koncentracije su iona u zasićenoj otopini:

$$[\text{Pb}^{2+}] / \text{mol dm}^{-3} = 0,0356$$

$$[\text{Cl}^-] / \text{mol dm}^{-3} = 0,0712$$

Za produkt topljivosti dobivamo:

$$K_{\text{sol}}(\text{PbCl}_2) = [\text{Pb}^{2+}] \times [\text{Cl}^-]^2 = 0,0356 \times (0,0712)^2 = 1,8 \times 10^{-4} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}$$

10.61. Vidi STEHIOMETRIJA

Da bismo doznali koja je sol topljivija treba izračunati njihove koncentracije u otopini.

Produkt topljivosti olovova jodida je:

$$K_{\text{sol}}(\text{PbI}_2) = [\text{Pb}^{2+}] \times [\text{I}^-]^2 = 8,1 \times 10^{-9} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}$$

Oдавde proizlazi da je koncentracija PbI_2 u otopini jednaka trećem korijenu iz produkta topljivosti, odnosno:

$$[\text{PbI}_2] / \text{mol dm}^{-3} = 2 \times 10^{-3}$$

Jednakim postupkom dobivamo da je koncentracija olovova sulfata u otopini jednaka drugom korijenu iz produkta topljivosti:

$$K_{\text{sol}}(\text{PbSO}_4) = [\text{Pb}^{2+}] \times [\text{SO}_4^{2-}] = 1,4 \times 10^{-8} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

$$[\text{PbSO}_4] / \text{mol dm}^{-3} = 1,2 \times 10^{-4}$$

Olovov jodid je topljiviji od olovova sulfata.

10.62. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije koncentraciju olovava(II) karbonata u vodi. Produkt topljivosti olovova(II) karbonata je:

$$K_{\text{sol}}(\text{PbCO}_3) = [\text{Pb}^{2+}] \times [\text{CO}_3^{2-}] = 3,3 \times 10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

Oдавde proizlazi da je koncentracija PbCO_3 u otopini jednaka drugom korijenu iz produkta topljivosti, odnosno:

$$[\text{PbCO}_3] / \text{mol dm}^{-3} = 1,81 \times 10^{-7}$$

Za masu olova u dm³ otopine zasićene olovovim karbonatom dobivamo:

$$\begin{aligned} m(\text{Pb}) &= n(\text{Pb}) \times M(\text{Pb}) = 1,81 \times 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3} \times 207,2 \text{ g mol}^{-1} = 3,75 \times 10^{-5} \text{ g dm}^{-3} \\ &= 3,75 \times 10^{-2} \text{ g dm}^{-3} = 37,5 \text{ mg m}^{-3} \end{aligned}$$

10.63. Vidi STEHIOMETRIJA

Produkt topljivosti željezova(III) hidroksida je:

$$K_{\text{sol}}(\text{Fe}(\text{OH})_3) = [\text{Fe}^{3+}] \times [\text{OH}^-]^3 = 3,8 \times 10^{-38} \text{ mol}^4 \text{ dm}^{-12}$$

Ako je u otopini izmjeren pH = 8,3, tada je pOH = 14 – 8,3 = 5,7. Odavde proizlazi da je koncentracija iona OH⁻ u otopini:

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-5,7} = 2 \times 10^{-6}$$

Iz izraza za produkt topljivosti dobivamo da je koncentracija iona Fe³⁺:

$$[\text{Fe}^{3+}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{Fe}(\text{OH})_3)}{[\text{OH}^-]^3} = \frac{3,8 \times 10^{-38}}{(2 \times 10^{-6})^3} = \frac{3,8 \times 10^{-38}}{8 \times 10^{-18}} = 4,75 \times 10^{-21}$$

Masena koncentracija iona Fe³⁺(aq) u otopini nakon taloženja željezova(III) hidroksida je:

$$\gamma(\text{Fe}^{3+}) / \text{g dm}^{-3} = n(\text{Fe}) \times M(\text{Fe}) = 4,75 \times 10^{-21} \text{ mol dm}^{-3} \times 55,85 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{2,65 \times 10^{-19}}$$

10.64. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz produkta topljivosti srebrovih halogenida možemo izračunati koncentracije iona Ag⁺ u točki zasićenja ako su koncentracije iona Cl⁻(aq), Br⁻(aq) i I⁻(aq) jednake 0,1 mol dm⁻³.

a) $K_{\text{sol}}(\text{AgCl}) = 1 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6} = [\text{Ag}^+] \times [\text{Cl}^-]$

Odavde proizlazi:

$$[\text{Ag}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{AgCl})}{[\text{Cl}^-]} = \frac{1 \times 10^{-10}}{0,1} = \mathbf{1 \times 10^{-9}}$$

b) $K_{\text{sol}}(\text{AgBr}) = 4 \times 10^{-13} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6} = [\text{Ag}^+] \times [\text{Br}^-]$

Odavde proizlazi:

$$[\text{Ag}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{AgBr})}{[\text{Br}^-]} = \frac{4 \times 10^{-13}}{0,1} = \mathbf{4 \times 10^{-12}}$$

c) $K_{\text{sol}}(\text{AgI}) = 1 \times 10^{-16} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6} = [\text{Ag}^+] \times [\text{I}^-]$

Odavde proizlazi:

$$[\text{Ag}^+] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{AgI})}{[\text{I}^-]} = \frac{1 \times 10^{-16}}{0,1} = \mathbf{1 \times 10^{-15}}$$

Halogenidi se talože redoslijedom: **AgI, AgBr, AgCl**.

d) Prema uvjetima iz zadatka koncentracija iona Cl⁻ u otopini je 0,1 mol dm⁻³, dok je ravnotežna koncentracija iona Ag⁺ jednaka 1 × 10⁻⁹ mol dm⁻³. Iz produkta topljivosti srebrova bromida i jodida proizlaze sljedeće ravnotežne koncentracije iona Br⁻ i I⁻:

$$[\text{Br}^-] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{AgBr})}{[\text{Ag}^+]} = \frac{4 \times 10^{-13}}{1 \times 10^{-9}} = \mathbf{4 \times 10^{-4}}$$

$$[\text{I}^-] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{AgI})}{[\text{Ag}^+]} = \frac{1 \times 10^{-16}}{1 \times 10^{-9}} = \mathbf{1 \times 10^{-7}}$$

U trenutku kad je najtopljiviji srebrov klorid upravo postigao točku zasićenja, koncentracije aniona u otopini nalaze se u omjeru: **[Cl⁻] : [Br⁻] : [I⁻] = 1 : 4 × 10⁻⁴ : 10⁻⁷**

10.65. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz produkta topljivosti proizlazi:

$$[\text{Ca}^{2+}] / \text{mol dm}^{-3} = (K_{\text{sol}}(\text{CaSO}_4))^{1/2} = (6,1 \times 10^{-5})^{1/2} = 7,8 \times 10^{-3}$$

Tu množinu iona Ca^{2+} u 1 dm^3 vode zasićene kalcijevim sulfatom moramo izraziti masenom koncentracijom kalcijeva oksida, $\gamma(\text{CaO})$, jedinicom mg dm^{-3} . Kako je $n(\text{Ca}^{2+})$ ekvivalentno s $n(\text{CaO})$ proizlazi:

$$\gamma(\text{CaO}) = [\text{Ca}^{2+}] \times M(\text{CaO}) = 7,8 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3} \times 56 \text{ g mol}^{-1} = 0,437 \text{ g dm}^{-3} = 437 \text{ mg dm}^{-3}$$

Njemački stupanj tvrdoće odgovara množini iona $\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$ ekvivalentnih sa 10 mg dm^{-3} kalcijeva oksida u otopini. Odavde proizlazi da je:

$$\text{Tvrdoća vode / njemački stupnjevi} = \frac{\gamma(\text{CaO})}{10 \text{ mg dm}^{-3}} = \frac{437 \text{ mg dm}^{-3}}{10 \text{ mg dm}^{-3}} \approx \mathbf{44}$$

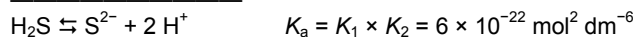
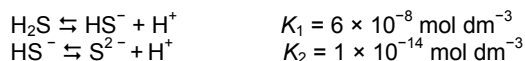
10.66. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem je sličan onome u zadatku 10.64. Treba naći koncentracije iona S^{2-} pri kojima postiže produkt topljivosti, ako su koncentracije iona $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$.

$$\text{a) } K_{\text{sol}}(\text{HgS}) / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6} = 4 \times 10^{-53}$$

$$[\text{S}^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{HgS})}{[\text{Hg}^{2+}]} = \frac{4 \times 10^{-53}}{0,1} = \mathbf{4 \times 10^{-52}}$$

Sumporovodik je slaba kiselina.



Koncentracijska konstanta ravnoteže je:

$$K_a / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6} = \frac{[\text{S}^{2-}] \times [\text{H}^+]^2}{[\text{H}_2\text{S}]} = 6 \times 10^{-22}$$

Otopina ima $\text{pH} = 2$. Za koncentraciju iona H^+ dobivamo: $[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2}$

Koncentraciju sumporovodika izračunat ćemo po izrazu:

$$[\text{H}_2\text{S}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{S}^{2-}] \times [\text{H}^+]^2}{K_a} = \frac{[\text{S}^{2-}] \times [10^{-2}]^2}{6 \times 10^{-22}} = [\text{S}^{2-}] \times 1,67 \times 10^{17}$$

Koncentraciju iona S^{2-} potrebne za taloženje pojedinih sulfida već smo izračunali. Uvrštavanjem e vrijednosti u gornji izraz dobivamo koncentraciju sumporovodika potrebnu za taloženje živina sulfida:

$$[\text{H}_2\text{S}] / \text{mol dm}^{-3} = [\text{S}^{2-}] \times 1,67 \times 10^{17} = 4 \times 10^{-52} \times 1,67 \times 10^{17} = \mathbf{6,7 \times 10^{-35}}$$

$$\text{b) } K_{\text{sol}}(\text{PbS}) / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6} = 4,2 \times 10^{-28}$$

$$[\text{S}^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{PbS})}{[\text{Pb}^{2+}]} = \frac{4,2 \times 10^{-28}}{0,1} = \mathbf{4,2 \times 10^{-27}}$$

$$[\text{H}_2\text{S}] / \text{mol dm}^{-3} = [\text{S}^{2-}] \times 1,67 \times 10^{17} = 4,2 \times 10^{-27} \times 1,67 \times 10^{17} = \mathbf{7,0 \times 10^{-10}}$$

$$\text{c) } K_{\text{sol}}(\text{Bi}_2\text{S}_3) / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6} = 7,1 \times 10^{-61}$$

$$[\text{S}^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = \left(\frac{K_{\text{sol}}(\text{Bi}_2\text{S}_3)}{[\text{Bi}^{3+}]^2} \right)^{1/3} = \left(\frac{7,1 \times 10^{-61}}{0,01} \right)^{1/3} = (7,1 \times 10^{-59})^{1/3} = \mathbf{4,1 \times 10^{-20}}$$

$$[\text{H}_2\text{S}] / \text{mol dm}^{-3} = [\text{S}^{2-}] \times 1,67 \times 10^{17} = 4,1 \times 10^{-20} \times 1,67 \times 10^{17} = \mathbf{6,8 \times 10^{-3}}$$

$$\text{d) } K_{\text{sol}}(\text{CuS}) / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6} = 3,2 \times 10^{-38}$$

$$[\text{S}^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{CuS})}{[\text{Cu}^{2+}]} = \frac{3,2 \times 10^{-38}}{0,1} = \mathbf{3,2 \times 10^{-37}}$$

$$[\text{H}_2\text{S}] / \text{mol dm}^{-3} = [\text{S}^{2-}] \times 1,67 \times 10^{17} = 3,2 \times 10^{-37} \times 1,67 \times 10^{17} = \mathbf{5,3 \times 10^{-20}}$$

$$\text{e) } K_{\text{sol}}(\text{CdS}) / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6} = 1,2 \times 10^{-28}$$

$$[\text{S}^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{CdS})}{[\text{Cd}^{2+}]} = \frac{1,2 \times 10^{-28}}{0,1} = \mathbf{1,2 \times 10^{-27}}$$

$$[\text{H}_2\text{S}] / \text{mol dm}^{-3} = [\text{S}^{2-}] \times 1,67 \times 10^{17} = 1,2 \times 10^{-27} \times 1,67 \times 10^{17} = \mathbf{2 \times 10^{-10}}$$

Sulfidi se talože redoslijedom: **HgS, CuS, CdS, PbS, Bi₂S₃**.

10.67. Vidi STEHIOMETRIJA

Najprije moramo na temelju produkta topljivosti izračunati koncentraciju iona S^{2-} u otopini, a potom iz izraza za konstantu disocijacije sumporovodika izračunati pH pri kojem se postiže tražena koncentracija iona S^{2-} .

a)

$$K_{\text{sol}}(\text{FeS}) = [\text{Fe}^{2+}] \times [\text{S}^{2-}] = 3,7 \times 10^{-19} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

$$[\text{S}^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{FeS})}{[\text{Fe}^{2+}]} = \frac{3,7 \times 10^{-19}}{0,1} = 3,7 \times 10^{-18}$$

Koncentracijska konstanta ravnoteže za sumporovodik je:

$$K_a / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6} = \frac{[\text{S}^{2-}] \times [\text{H}^+]^2}{[\text{H}_2\text{S}]} = 5,7 \times 10^{-22}$$

Odavde proizlazi:

$$[\text{H}^+]^2 / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6} = \frac{K_a \times [\text{H}_2\text{S}]}{[\text{S}^{2-}]} = \frac{5,7 \times 10^{-22} \times 0,05}{3,7 \times 10^{-18}} = 7,7 \times 10^{-6}$$

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 2,77 \times 10^{-3}$$

$$\text{pH} = 2,56$$

b)

$$K_{\text{sol}}(\text{MnS}) = [\text{Mn}^{2+}] \times [\text{S}^{2-}] = 2,3 \times 10^{-13} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

$$[\text{S}^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{MnS})}{[\text{Mn}^{2+}]} = \frac{2,3 \times 10^{-13}}{0,1} = 2,3 \times 10^{-12}$$

$$[\text{H}^+]^2 / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6} = \frac{K_a \times [\text{H}_2\text{S}]}{[\text{S}^{2-}]} = \frac{5,7 \times 10^{-22} \times 0,05}{2,3 \times 10^{-12}} = 1,24 \times 10^{-11}$$

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 3,52 \times 10^{-6}$$

$$\text{pH} = 5,45$$

c)

$$K_{\text{sol}}(\text{NiS}) = [\text{Ni}^{2+}] \times [\text{S}^{2-}] = 3 \times 10^{-21} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

$$[\text{S}^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{NiS})}{[\text{Ni}^{2+}]} = \frac{3 \times 10^{-21}}{0,1} = 3 \times 10^{-20}$$

$$[\text{H}^+]^2 / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6} = \frac{K_a \times [\text{H}_2\text{S}]}{[\text{S}^{2-}]} = \frac{5,7 \times 10^{-22} \times 0,05}{3 \times 10^{-20}} = 9,5 \times 10^{-4}$$

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 3,08 \times 10^{-2}$$

$$\text{pH} = 1,51$$

d)

$$K_{\text{sol}}(\text{ZnS}) = [\text{Zn}^{2+}] \times [\text{S}^{2-}] = 2,5 \times 10^{-22} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

$$[\text{S}^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{ZnS})}{[\text{Zn}^{2+}]} = \frac{2,5 \times 10^{-22}}{0,1} = 2,5 \times 10^{-21}$$

$$[\text{H}^+]^2 / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6} = \frac{K_a \times [\text{H}_2\text{S}]}{[\text{S}^{2-}]} = \frac{5,7 \times 10^{-22} \times 0,05}{2,5 \times 10^{-21}} = 1,14 \times 10^{-2}$$

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 0,107$$

$$\text{pH} \approx 1$$

10.68. Vidi STEHIOMETRIJA

a) Najprije se taloži onaj karbonat koji ima manji produkt topljivosti, a to je **kalcijev karbonat**.

b) Moramo najprije izračunati koncentraciju iona CO_3^{2-} u trenutku kad se postigne produkt topljivosti za MgCO_3 pri $c(\text{Mg}^{2+}) = 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$.

$$K_{\text{sol}}(\text{MgCO}_3) = 2,6 \times 10^{-5} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6} = [\text{Mg}^{2+}] \times [\text{CO}_3^{2-}]$$

Odavde proizlazi:

$$[\text{CO}_3^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{MgCO}_3)}{[\text{Mg}^{2+}]} = \frac{2,6 \times 10^{-5}}{0,01} = 2,6 \times 10^{-3}$$

Sada na osnovi produkta topljivosti kalcijeva karbonata treba izračunati koncentraciju iona Ca^{2+} u otopini.

$$K_{\text{sol}}(\text{CaCO}_3) = 1,6 \times 10^{-8} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6} = [\text{Ca}^{2+}] \times [\text{CO}_3^{2-}]$$

Odavde proizlazi:

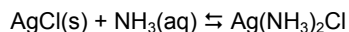
$$[\text{Ca}^{2+}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{CaCO}_3)}{[\text{CO}_3^{2-}]} = \frac{1,6 \times 10^{-8}}{2,6 \times 10^{-3}} = 6,15 \times 10^{-6}$$

Za masenu koncentraciju iona Ca^{2+} dobivamo:

$$\gamma(\text{Ca}^{2+}) = n(\text{Ca}^{2+}) \times M(\text{Ca}^{2+}) = 6,15 \times 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3} \times 40 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{2,46 \times 10^{-4} \text{ g dm}^{-3}}$$

10.69. Vidi STEHIOMETRIJA

Srebrov klorid se otapa u vodenoj otopini amonijaka prema jednadžbi:



Jedan mol srebrova klorida "troši" dva mola amonijaka. Prema tome u 1 dm^3 otopine amonijaka, $c_{\text{NH}_3(\text{aq})} = 1 \text{ mol dm}^{-3}$, može se otopiti 0,5 mol AgCl.

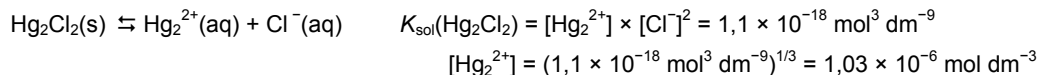
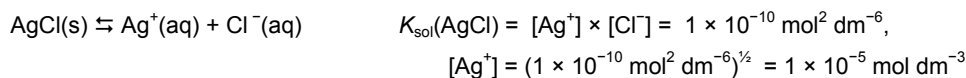
Masa 0,5 mol srebrova klorida je:

$$m(\text{AgCl}) = n(\text{AgCl}) \times M(\text{AgCl}) = 0,5 \text{ mol} \times 143,35 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{71,67 \text{ g}}$$

10.70. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

Srebrov klorid i živin(II) klorid otapanjem u vodi daju sljedeće ione:



Očito je da će se prvi taložiti Hg_2Cl_2 jer je srebrov klorid topljiviji.

b) Jednakim postupkom možemo pokazati da je Hg_2Br_2 manje topljiv od AgBr.

c) Jednakim postupkom možemo pokazati da je Hg_2I_2 manje topljiv od AgI,

10.71. Vidi STEHIOMETRIJA

Ovaj je zadatak višeslojan. U prvom koraku treba izračunati koncentracije slobodnih iona CN^- i Cd^{2+} .

Otopina sadržava višak kalijeva cijanida. Zbog hidrolize cijanidnih iona otopina je lužnata, što utječe na koncentraciju sulfidnih iona u otopini. Sumporovodik je jača kiselina od cijanovodika. Hoćemo li se potrovati uvođenjem H_2S u otopinu KCN? Pri kojoj će koncentraciji sumporovodika nastupiti taloženje kadmijeva sulfida?

1. Otopina sadržava ione Cu^{2+} . Dodatkom KCN ioni Cu^{2+} reduciraju se u ione Cu^+ prema sljedećoj jednačini:



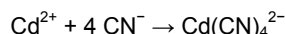
Nastali cijanid nije otrovan, ali, kako je otopina, primjerice modre galice kisela, dolazi do istodobnog razvijanja cijanovodika. Zato se kalijev cijanid mora dodavati u lužnatu otopinu, odnosno na talog bakrova hidroksida.

Nastali CuCN otapa se u višku kalijeva cijanida prema sljedećoj jednačini:



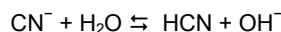
Prema tome, 0,1 mol iona Cu^{2+} troši 0,5 mol iona CN^- .

2. Ioni Cd^{2+} s cijanidnim ionima tvore kompleksni spoj prema sljedećoj jednačini:



Prema tome 0,1 mol iona Cd^{2+} troši 0,4 mol iona CN^- .

3. Otopina sadržava 0,1 mol dm^{-3} nevezanih cijanidnih iona koji su podložni hidrolizi.



Konstanta hidrolize je:

$$K_{\text{hidrolize}} / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{HCN}] \times [\text{OH}^-]}{[\text{CN}^-]} = \frac{K_w}{K_{\text{HCN}}} = \frac{10^{-14}}{7,9 \times 10^{-10}} = 1,26 \times 10^{-4}$$

Iz jednačine reakcije hidrolize vidimo da hidrolizom nastaju jednake množine HCN i iona OH^- .
Odavde proizlazi:

$$[\text{OH}^-] / \text{mol dm}^{-3} = (K_{\text{hidrolize}} \times [\text{CN}^-])^{1/2} = (1,26 \times 10^{-4} \times 0,1)^{1/2} = 3,56 \times 10^{-3}$$

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-14} / [\text{OH}^-] = 10^{-14} / 3,56 \times 10^{-3} = 2,81 \times 10^{-12} \quad \text{pH} = 11,55$$

4. Sljedeći je korak na temelju produkta topljivosti izračunati koncentraciju sulfidnih iona pri kojoj dolazi do taloženja kadmijeva sulfida.

$$K_{\text{sol}}(\text{CdS}) = [\text{Cd}^{2+}] \times [\text{S}^{2-}] = 1,2 \times 10^{-28} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

Odavde proizlazi:

$$[\text{S}^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = (1,2 \times 10^{-28})^{1/2} = 1,1 \times 10^{-14}$$

5. Poznati su nam $[\text{H}^+]$, $[\text{S}^{2-}]$ i $K_{\text{H}_2\text{S}}$. Odavde za koncentraciju sumporovodika dobivamo:

$$K_{\text{H}_2\text{S}} / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6} = \frac{[\text{H}^+]^2 \times [\text{S}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{S}]} = 5,7 \times 10^{-22}$$

$$[\text{H}_2\text{S}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{[\text{H}^+]^2 \times [\text{S}^{2-}]}{K_{\text{H}_2\text{S}}} = \frac{(2,81 \times 10^{-12})^2 \times 1,1 \times 10^{-14}}{5,7 \times 10^{-22}} = 1,5 \times 10^{-16}$$

10.72. Vidi STEHIOMETRIJA

Najprije moramo izračunati koncentraciju iona Cd^{2+} u zadanoj otopini.

$$M(\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}) = 308,5 \text{ g mol}^{-1}$$

$$c(\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}) = \frac{\gamma}{M} = \frac{10^{-3} \text{ g dm}^{-3}}{308,5 \text{ g mol}^{-1}} = 3,34 \times 10^{-6} \text{ mol dm}^{-3}$$

Na temelju produkta topljivosti izračunat ćemo koncentraciju iona S^{2-} pri kojoj dolazi do taloženja kadmijeva sulfida:

$$K_{\text{sol}}(\text{CdS}) = [\text{Cd}^{2+}] \times [\text{S}^{2-}] = 1,2 \times 10^{-28} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

Odavde proizlazi:

$$[\text{S}^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{CdS})}{[\text{Cd}^{2+}]} = \frac{1,2 \times 10^{-28}}{3,34 \times 10^{-6}} = 3,6 \times 10^{-23}$$

Iz izraza za konstantu disocijacije sumporovodika konačno možemo izračunati koncentraciju iona H^+ , odnosno pH otopine.

$$[\text{H}^+]^2 / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6} = \frac{K_a \times [\text{H}_2\text{S}]}{[\text{S}^{2-}]} = \frac{5,7 \times 10^{-22} \times 0,1}{3,6 \times 10^{-23}} = 1,58$$

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 1,26$$

$$\text{pH} \approx -0,1$$

10.73. Vidi STEHIOMETRIJA

Pomoću konstante disocijacije sumporovodika, zadanog pH i koncentracije H_2S izračunat ćemo ravnotežnu koncentraciju iona S^{2-} . Iz tog podatka i produkta topljivosti možemo izračunati množinsku koncentraciju iona Bi^{3+} , i konačno izraziti masenom koncentracijom.

Koncentracija iona H^+ je:

$$[\text{H}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 10^{-\text{pH}} = 10^{-4,3} = 5,0 \times 10^{-5}$$

Koncentracijska konstanta ravnoteže za sumporovodik je:

$$K_a / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6} = \frac{[\text{S}^{2-}] \times [\text{H}^+]^2}{[\text{H}_2\text{S}]} = 5,7 \times 10^{-22}$$

Odavde proizlazi:

$$[\text{S}^{2-}] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_a \times [\text{H}_2\text{S}]}{[\text{H}^+]^2} = \frac{5,7 \times 10^{-22} \times 0,05}{(5,0 \times 10^{-5})^2} = \frac{2,85 \times 10^{-23}}{2,5 \times 10^{-9}} = 1,14 \times 10^{-14}$$

Za množinsku koncentraciju iona Bi^{3+} dobivamo:

$$K_{\text{sol}}(\text{Bi}_2\text{S}_3) = [\text{Bi}^{3+}]^2 \times [\text{S}^{2-}]^3 = 7,1 \times 10^{-61} \text{ mol}^5 \text{ dm}^{-15}$$

$$[\text{Bi}^{3+}]^2 = \frac{K_{\text{sol}}(\text{Bi}_2\text{S}_3)}{[\text{S}^{2-}]^3} = \frac{7,1 \times 10^{-61}}{(1,14 \times 10^{-14})^3} = \frac{7,1 \times 10^{-61}}{1,48 \times 10^{-42}} = 4,8 \times 10^{-19}$$

$$[\text{Bi}^{3+}] / \text{mol dm}^{-3} = 6,9 \times 10^{-10}$$

Za masenu koncentraciju iona Bi^{3+} dobivamo:

$$\gamma(\text{Bi}^{3+}) = c(\text{Bi}^{3+}) \times M(\text{Bi}^{3+}) = 6,9 \times 10^{-10} \text{ mol dm}^{-3} \times 209 \text{ g mol}^{-1} = 1,44 \times 10^{-7} \text{ g dm}^{-3}$$

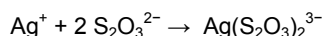
10.74. Vidi STEHIOMETRIJA

Najprije treba izračunati koncentraciju otopine natrijeva tiosulfata. Na temelju jednadžbe reakcije nastajanja kompleksnih iona $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ odredit ćemo njihovu množinu. Iz tog podatka izračunat ćemo množinu i masu srebra u kompleksnom spoju. Koncentraciju iona Ag^+ izračunat ćemo pomoću konstante disocijacije kompleksnog iona.

Za koncentraciju natrijeva tiosulfata dobivamo:

$$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) = \frac{n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O})}{V(\text{otop.})} = \frac{m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O})}{M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) \times V(\text{otop.})} =$$
$$= \frac{150 \text{ g}}{248,2 \text{ g mol}^{-1} \times 0,9 \text{ dm}^3} = \mathbf{0,6715 \text{ mol dm}^{-3}}$$

1 dm^3 fiksira sadržava 0,6715 mol natrijeva tiosulfata. Prema jednadžbi reakcije nastajanja kompleksnog iona



proizlazi da je koncentracija kompleksnih iona:

$$c(\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}) = \frac{1}{2} \times c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) = \frac{1}{2} \times 0,6715 \text{ mol dm}^{-3} = \mathbf{0,336 \text{ mol dm}^{-3}}.$$

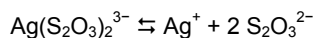
Množina srebrovih iona koja se u 1 dm^3 fiksira može vezati u kompleksni spoj je:

$$n(\text{Ag}^+) = \frac{1}{2} n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) = \frac{1}{2} \times 0,6715 \text{ mol} = 0,336 \text{ mol}$$

Za masu srebra vezanu u kompleksni spoj dobivamo:

$$m(\text{Ag}^+) = n(\text{Ag}^+) \times M(\text{Ag}^+) = 0,336 \text{ mol} \times 107,9 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{36,23 \text{ g}}$$

Koncentraciju iona Ag^+ u otopini izračunavamo na osnovi konstante disocijacije kompleksnog iona:



$$K_c(\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}) = \frac{[\text{Ag}^+] \times [\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]^2}{[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}]} = 4 \times 10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

Disocijacijom kompleksnog iona $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ nastaje nastaje jedan ion Ag^+ i dva iona $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, pa vrijedi:

$$[\text{Ag}^+] \times [2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-}]^2 = 4 \times [\text{Ag}^+]^3$$

Odavde proizlazi:

$$[\text{Ag}^+]^3 = \frac{K(\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}) \times [\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}]}{4} = \frac{4 \times 10^{-14} \times 0,336}{4} = 0,336 \times 10^{-14}$$

$$[\text{Ag}^+] = \mathbf{1,5 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}}$$

10.75. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem je sličan prethodnom zadatku, točnije njegovu drugom dijelu. Moramo izračunati koncentraciju iona Ag^+ u otopini $\text{Na}_3[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$, $c = 1 \text{ mol dm}^{-3}$. Na temelju te koncentracije i produkta topljivosti AgCl , AgBr i AgI izračunat ćemo pripadne koncentracije iona Cl^- , Br^- i I^- .

Disocijacijom kompleksnog iona $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ nastaje jedan ion Ag^+ i dva iona $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, pa vrijedi:

$$[\text{Ag}^+] \times [2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-}]^2 = 4 \times [\text{Ag}^+]^3$$

Odavde proizlazi:

$$[\text{Ag}^+]^3 = \frac{K(\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}) \times [\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}]}{4} = \frac{4 \times 10^{-14} \times 1}{4} = 1 \times 10^{-14} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}$$

$$[\text{Ag}^+] / \text{mol dm}^{-3} = 2,15 \times 10^{-5}$$

Produkt topljivosti srebrova klorida je:

$$K_{\text{sol}}(\text{AgCl}) = [\text{Ag}^+] \times [\text{Cl}^-] = 1 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

Odavde proizlazi:

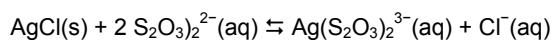
$$[\text{Cl}^-] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{AgCl})}{[\text{Ag}^+]} = \frac{1 \times 10^{-10}}{2,15 \times 10^{-5}} = 4,6 \times 10^{-6}$$

$$[\text{Br}^-] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{AgBr})}{[\text{Ag}^+]} = \frac{4 \times 10^{-13}}{2,15 \times 10^{-5}} = 1,8 \times 10^{-8}$$

$$[\text{I}^-] / \text{mol dm}^{-3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{AgI})}{[\text{Ag}^+]} = \frac{1 \times 10^{-16}}{2,15 \times 10^{-5}} = 4,6 \times 10^{-12}$$

10.76. Vidi STEHIOMETRIJA

Za reakciju



Srebrov klorid je krutina pa je njegov množinski udio jednak jedinici. Konstanta ravnoteže je:

$$K_c = \frac{[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}] \times [\text{Cl}^-]}{[(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{2-}]^2}$$

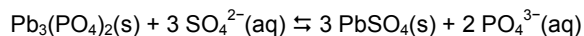
Ako brojnik i nazivnik pomnožimo s $[\text{Ag}^+]$ dobivamo:

$$K_c = \frac{[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}] \times [\text{Cl}^-] \times [\text{Ag}^+]}{[(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{2-}]^2 \times [\text{Ag}^+]} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{AgCl})}{K(\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-})} = \frac{1 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}}{4 \times 10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}} = 2500$$

10.77. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo istim postupkom kao u zadatku 10.76.

Za reakciju



Olovov sulfat i olovov fosfat su krutine pa je njihov množinski udio jednak jedinici

Koncentracijska konstanta ravnoteže je:

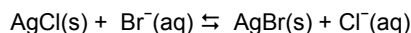
$$K_c / \text{mol}^{-1} \text{dm}^3 = \frac{[\text{PO}_4^{3-}]^2}{[\text{SO}_4^{2-}]^3}$$

Ako brojnik i nazivnik pomnožimo s $[\text{Pb}^{2+}]^3$ dobivamo:

$$K_c / \text{mol}^{-1} \text{dm}^3 = \frac{[\text{Pb}^{2+}]^3 \times [\text{PO}_4^{3-}]^2}{[\text{Pb}^{2+}]^3 \times [\text{SO}_4^{2-}]^3} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2)}{(K_{\text{sol}}(\text{PbSO}_4))^3} = \frac{1,5 \times 10^{-32}}{(1,1 \times 10^{-8})^3} = 1,1 \times 10^{-8}$$

10.78. Vidi STEHIOMETRIJA

Za prvu jednadžbu .



vrijedi:

$$K_c = \frac{[\text{Cl}^-]}{[\text{Br}^-]}$$

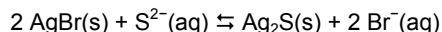
Ako brojnik i nazivnik pomnožimo s $[\text{Ag}^+]$ dobivamo:

$$\frac{[\text{Ag}^+] \times [\text{Cl}^-]}{[\text{Ag}^+] \times [\text{Br}^-]} = \frac{K_{\text{sol}}(\text{AgCl})}{[\text{Ag}^+] \times [\text{Br}^-]} = 2 \times 10^2$$

Odavde proizlazi:

$$[\text{Ag}^+] \times [\text{Br}^-] = \frac{K_{\text{sol}}(\text{AgCl})}{2 \times 10^2} = \frac{1 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}}{2 \times 10^2} = 5 \times 10^{-13} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

Za drugu jednadžbu



vrijedi:

$$K_c = \frac{[\text{Br}^-]^2}{[\text{S}^{2-}]}$$

Ako brojnik i nazivnik pomnožimo s $[\text{Ag}^+]^2$ dobivamo:

$$\frac{[\text{Ag}^+]^2 \times [\text{Br}^-]^2}{[\text{Ag}^+]^2 \times [\text{S}^{2-}]} = \frac{(5 \times 10^{-13} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6})^2}{[\text{Ag}^+]^2 \times [\text{S}^{2-}]} = 4,4 \times 10^{25} \text{ mol dm}^{-3}$$

Odavde proizlazi:

$$K_{\text{sol}}(\text{Ag}_2\text{S}) = [\text{Ag}^+]^2 \times [\text{S}^{2-}] = \frac{(5 \times 10^{-13} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6})^2}{4,4 \times 10^{25} \text{ mol dm}^{-3}} = \frac{2,5 \times 10^{-25} \text{ mol}^4 \text{ dm}^{-12}}{4,4 \times 10^{25} \text{ mol dm}^{-3}} = 7,7 \times 10^{-51} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}$$

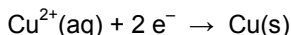
11. ELEKTROKEMIJA

11.1. Vidi STEHIOMETRIJA

Najprije izračunajmo množinu bakra u 80 kg bakra..

$$n(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{M(\text{Cu})} = \frac{80\,000\text{ g}}{63,55\text{ g mol}^{-1}} = 1258,85\text{ mol}$$

Napišimo najprije jednadžbu reakcije.



Na temelju ove jednadžbe možemo postaviti omjer:

$$n(\text{e}^{-}) : n(\text{Cu}) = 2 : 1, \text{ odnosno: } n(\text{e}^{-}) = 2 \times n(\text{Cu})$$

Iz jednadžbe reakcije proizlazi da je množina elektrike, ili naboj Q koji je protekao kroz elektrolizer:

$$Q = n(\text{e}^{-}) \times F = 2 \times n(\text{Cu}) \times F = 2 \times 1258,85\text{ mol} \times 96\,500\text{ C mol}^{-1} = \mathbf{243 \times 10^6\text{ C}}$$

U ovom je izrazu:

$$n(\text{e}^{-}) = \text{množina elektrona} = 2 \times n(\text{Cu})$$

$$F = \text{Faradayeva konstanta} = 96\,500\text{ C mol}^{-1} = 96\,500\text{ A s mol}^{-1} = 26,8\text{ A h mol}^{-1}$$

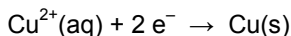
Razlika potencijala elektroda bila je 0,6 V. Kako je $1\text{ C} \times 1\text{ V} = 1\text{ J}$, rad, w , koji je izvršen prolazom naboja Q kroz elektrolizer je:

$$w = Q \times V = 243 \times 10^6\text{ C} \times 0,6\text{ V} = 145,8 \times 10^6\text{ J} = \mathbf{40,5\text{ kW h}}$$

11.2. Vidi STEHIOMETRIJA

Potrebno je izračunati množinu bakra koja se izluči zadanom količinom elektrike. Iz podatka o množini bakra izračunat ćemo njegovu masu.

Napišimo jednadžbu katodne reakcije.



Iz jednadžbe reakcije proizlazi da su za izlučivanje jednog mola atoma bakra potrebna 2 mola elektrona. Možemo postaviti omjer:

$$n(\text{e}^{-}) : n(\text{Cu}) = 2 : 1$$

odnosno:

$$n(\text{Cu}) = \frac{1}{2} n(\text{e}^{-})$$

Kroz elektrolizer je prošao električni naboj od 10 000 A h.

Kako je 1 h = 3600 s, a 1 A s = 1 C, dobivamo

$$n(\text{Cu}) = \frac{1}{2} n(\text{e}^{-}) = \frac{1}{2} \times \frac{Q}{F} = \frac{1}{2} \times \frac{10\,000\text{ A h} \times 3600\text{ s h}^{-1}}{96\,500\text{ C mol}^{-1}} = \frac{1}{2} \times \frac{3,6 \times 10^7\text{ C}}{96\,500\text{ C mol}^{-1}} = \mathbf{186,5\text{ mol}}$$

Za masu izlučena bakra dobivamo:

$$m(\text{Cu}) = n(\text{Cu}) \times M(\text{Cu}) = 186,5\text{ mol} \times 63,55\text{ g mol}^{-1} = 11\,853,9\text{ g}$$

Volumen ove količine bakra je:

$$V(\text{Cu}) = m(\text{Cu}) / \rho(\text{Cu}) = 11\,853,9\text{ g} / 8,92\text{ g cm}^{-3} = 1328,9\text{ cm}^3$$

Debljina sloja bakra, $\delta(\text{Cu})$, jednaka je omjeru volumena, V , i površine, A :

$$\delta(\text{Cu}) = V / A = 1328,9\text{ cm}^3 / 10000\text{ cm}^2 = \mathbf{0,133\text{ cm}}$$

11.3. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije masu, a potom množinu nikla u sloju debljine $\delta = 100 \mu\text{m}$ na površini $A = 45 \text{ cm}^2$

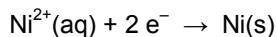
Za masu nikla dobivamo:

$$\begin{aligned} m(\text{Ni}) &= A \times \delta \times \rho = 45 \text{ cm}^2 \times 100 \mu\text{m} \times 8,90 \text{ g cm}^{-3} = 45 \text{ cm}^2 \times 100 \mu\text{m} \times 8,90 \text{ g cm}^{-3} \\ &= 45 \text{ cm}^2 \times 0,01 \text{ cm} \times 8,90 \text{ g cm}^{-3} = \mathbf{4,00 \text{ g}} \end{aligned}$$

Za množinu nikla dobivamo:

$$n(\text{Ni}) = m(\text{Ni}) / M(\text{Ni}) = 4,00 \text{ g} / 58,7 \text{ g mol}^{-1} = 0,0681 \text{ mol}$$

Iz jednadžbe katodne reakcije.



proizlazi da su za izlučivanje jednog mola atoma nikla potrebna 2 mola elektrona, odnosno:

$$n(\text{e}^{-}) = 2 n(\text{Ni})$$

Za množinu elektrike koja je potrebna za izlučivanje 0,0682 mol nikla uz 90-postotno iskorištenje struje ($\eta = 0,90$) dobivamo:

$$Q = \frac{n(\text{e}^{-}) \times F}{\eta} = \frac{2 n(\text{Ni}) \times F}{0,90} = \frac{2 \times 0,0682 \text{ mol} \times 96 500 \text{ C mol}^{-1}}{0,90} = 14 634 \text{ C}$$

Kako je $1 \text{ C} = 1 \text{ A s}$, za vrijeme elektrolize, t , strujom jakosti $I = 0,5 \text{ A}$, dobiva se:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{14 634 \text{ C}}{0,5 \text{ C s}^{-1}} = 29267 \text{ s} = \mathbf{8,13 \text{ h}}$$

11.4. Vidi STEHIOMETRIJA

Najprije treba izračunati volumen izlučenog sloja zlata. Iz izračunanog volumena i zadane gustoće doznat ćemo masu zlata, koju pak moramo izraziti jedinicom množine. Na temelju jednadžbe reakcije izračunat ćemo množinu elektrike potrebnu za izlučivanje izračunane množine zlata.

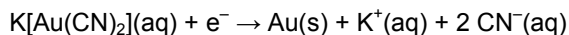
Izračunajmo najprije volumen zlata izlučena na katodi površine 1 dm^2 .

$$V(\text{Au}) = A \times \delta = 0,01 \text{ m}^2 \times 5 \mu\text{m} = 0,01 \text{ m}^2 \times 5 \times 10^{-6} \text{ m} = 5 \times 10^{-8} \text{ m}^3 = 0,05 \text{ cm}^3$$

$$m(\text{Au}) = V(\text{Au}) \times \rho(\text{Au}) = 0,05 \text{ cm}^3 \times 19,3 \text{ g cm}^{-3} = 0,965 \text{ g}$$

$$n(\text{Au}) = m(\text{Au}) / M(\text{Au}) = 0,965 \text{ g} / 197 \text{ g mol}^{-1} = 0,0049 \text{ mol}.$$

Jednadžba katodne reakcije je:



Iz jednadžbe reakcije vidimo da je za izlučivanje jednog mola atoma zlata potreban jedan mol elektrona. Prema tome uz 80-postotno iskorištenje struje ($\eta = 0,80$) dobiva se:

$$n(\text{e}^{-}) = n(\text{Au})$$

$$Q = \frac{n(\text{e}^{-}) \times F}{\eta} = \frac{n(\text{Au}) \times F}{0,80} = \frac{0,0049 \text{ mol} \times 96 500 \text{ C mol}^{-1}}{0,80} = 591 \text{ C}$$

Kako je $1 \text{ C} = 1 \text{ A s}$, za vrijeme elektrolize, t , strujom jakosti $I = 0,5 \text{ A}$, dobiva se:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{591 \text{ C}}{0,5 \text{ C s}^{-1}} = 1182 \text{ s} = \mathbf{0,328 \text{ h}}$$

11.5. Vidi STEHIOMETRIJA

Problem rješavamo istim postupkom kao u zadatku 11.4.

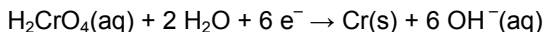
Izračunajmo najprije volumen kroma izlučena na katodi površine 150 cm^2 .

$$V(\text{Cr}) = A \times \delta = 150 \text{ cm}^2 \times 0,02 \text{ cm} = 3 \text{ cm}^3$$

$$m(\text{Cr}) = V(\text{Cr}) \times \rho(\text{Cr}) = 3 \text{ cm}^3 \times 7,1 \text{ g cm}^{-3} = 21,3 \text{ g}$$

$$n(\text{Cr}) = m(\text{Cr}) / M(\text{Cr}) = 21,3 \text{ g} / 52 \text{ g mol}^{-1} = 0,41 \text{ mol.}$$

Jednadžba katodne reakcije je:



Na temelju jednadžbe reakcije možemo postaviti omjer:

$$n(\text{e}^-) : n(\text{Cr}) = 6 : 1$$

odnosno

$$n(\text{e}^-) = 6 n(\text{Cr})$$

Drugim riječima, za izlučivanje jednog mola atoma kroma potrebno je šest mola elektrona. Prema tome uz 40-postotno iskorištenje struje ($\eta = 0,40$) dobiva se:

$$Q = \frac{n(\text{e}^-) \times F}{\eta} = \frac{6 n(\text{Cr}) \times F}{0,40} = \frac{6 \times 0,41 \text{ mol} \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}}{0,40} \approx 593\,000 \text{ C}$$

Na ovom mjestu najčešće dolazi do zabune. Zadana je gustoća struje od 50 A dm^{-2} , a naš predmet ima površinu $150 \text{ cm}^2 = 1,5 \text{ dm}^2$. Prema tome za jakost struje dobivamo:

$$I = 1,5 \text{ dm}^2 \times 50 \text{ A dm}^{-2} = 75 \text{ A}$$

Kako je $1 \text{ C} = 1 \text{ A s}$, za vrijeme elektrolize, t , dobiva se:

$$t = \frac{Q}{I} \approx \frac{593\,000 \text{ C}}{75 \text{ C s}^{-1}} \approx 7900 \text{ s} \approx \mathbf{2,2 \text{ h}}$$

11.6. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije množinu elektrike koja je izlučila $1,11 \text{ g}$ nepoznatog metala.

$$Q = I \times t = 2 \text{ A} \times 900 \text{ s} = 1800 \text{ A s} = 1800 \text{ C}$$

Primjenimo Dulong-Petitovo pravilo: *Molarni toplinski kapaciteti elemenata u krutom stanju približno su jednaki i iznose otprilike $26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.*

Kako je specifični toplinski kapacitet nepoznatog metala $222 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$, za približnu molarnu masu metala dobivamo:

$$M \approx \frac{26 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{222 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}} \approx 0,117 \text{ kg mol}^{-1}$$

Izračunajmo sada množinu elektrike koja je izlučila $1,11 \text{ g}$ nepoznatog metala.

$$Q = I \times t = 2 \text{ A} \times 900 \text{ s} = 1800 \text{ A s} = 1800 \text{ C}$$

Ako je metal jednovalentan, tad bi njegova molarna masa trebala biti:

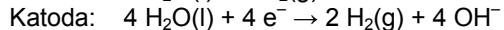
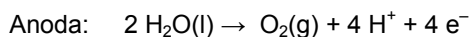
$$M = 1,11 \text{ g} \times \frac{F}{Q} = 1,11 \text{ g} \times \frac{96\,500 \text{ C mol}^{-1}}{1800 \text{ C}} = 59,5 \text{ g mol}^{-1}$$

Na temelju Dulong-Petitova pravila dobili smo približno dvostruko veću vrijednost za molarnu masu metala. Prema tome, nepoznati je metal dvovalentan a njegova je molarna masa, $M = \mathbf{119,0 \text{ g mol}^{-1}}$.

Iz periodnog sustava elemenata zaključujemo da je nepoznati metal **kositar, Sn**.

11.7. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo najprije jednačbe katodne i anodne reakcije:



Na temelju ovih jednačbi možemo postaviti omjere:

Anoda:

$$n(\text{O}_2) : n(\text{e}^-) = 1 : 4,$$

$$\text{odnosno: } n(\text{O}_2) = \frac{1}{4} n(\text{e}^-)$$

Katoda:

$$n(\text{H}_2) : n(\text{e}^-) = 2 : 4,$$

$$\text{odnosno: } 4 n(\text{H}_2) = 2 n(\text{e}^-), \text{ ili skraćeno:}$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} n(\text{e}^-)$$

Iz gornjih jednačbi proizlazi da su za izlučivanje jednog mola kisika potrebna četiri mola elektrona. Ista množina elektrike izluči dva mola vodika. Kroz elektrolizer je proteklo 96 500 C. Prema tome ova će množina elektrike izlučiti 1/4 mola kisika i 1/2 mola vodika. Kako su plinovi pri n.u. slijedi:

Anoda:

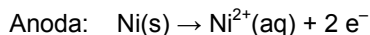
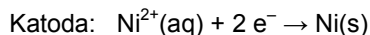
$$\begin{aligned} V(\text{O}_2) &= V_m^n(\text{O}_2) \times n(\text{O}_2) = V_m^n(\text{O}_2) \times \frac{1}{4} n(\text{e}^-) = V_m^n(\text{O}_2) \times \frac{1}{4} \times \frac{Q}{F} \\ &= 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{96\,500 \text{ C}}{4 \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \mathbf{5,6 \text{ dm}^3} \end{aligned}$$

Katoda:

$$\begin{aligned} V(\text{H}_2) &= V_m^n(\text{H}_2) \times n(\text{H}_2) = V_m^n(\text{H}_2) \times \frac{1}{2} n(\text{e}^-) = V_m^n(\text{H}_2) \times \frac{1}{2} \times \frac{Q}{F} \\ &= 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{96\,500 \text{ C}}{2 \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \mathbf{11,2 \text{ dm}^3} \end{aligned}$$

11.8. Vidi STEHIOMETRIJA

I. Elektrolizer



Izračunajmo najprije množinu nikla koja se izlučila na katodi prvog elektrolizera. Iz tog ćemo podatka izračunati množinu elektrike koja je prošla kroz elektrolizere. Iz jednadžbe katodne reakcije proizlazi da su za izlučivanje jednog mola nikla potrebna 2 mola elektrona.

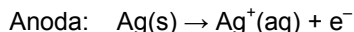
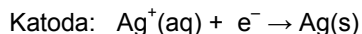
$$n(\text{e}^{-}) = 2 n(\text{Ni})$$

$$n(\text{Ni}) = \frac{m(\text{Ni})}{M(\text{Ni})} = \frac{0,100 \text{ g}}{58,7 \text{ g}} = 1,7036 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$Q = n(\text{e}^{-}) \times F = 2 n(\text{Ni}) \times F = 2 \times 1,7036 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1} = \mathbf{328,8 \text{ C}}$$

Koliko se niklovih iona iz otopine reduciralo i izlučilo na katodi u obliku elementarnog nikla, toliko se elementarnog nikla na anodi oksidiralo i prešlo u otopinu u obliku iona $\text{Ni}^{2+}(\text{aq})$

II. Elektrolizer



Za izlučivanje jednog mola srebra potreban je jedan mol elektrona.

$$n(\text{e}^{-}) = n(\text{Ag})$$

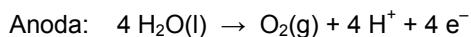
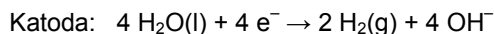
$$n(\text{Ag}) = n(\text{e}^{-}) = \frac{Q}{F} = \frac{328,8 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 0,0034 \text{ mol}$$

$$m(\text{Ag}) = n(\text{Ag}) \times M(\text{Ag}) = 0,0034 \text{ mol} \times 107,9 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{0,367 \text{ g}}$$

Koliko se srebrovih iona iz otopine reduciralo i izlučilo na katodi u obliku elementarnog srebra, toliko se elementarnog srebra na anodi oksidiralo i prešlo u otopinu u obliku iona $\text{Ag}^{+}(\text{aq})$

III. elektrolizer

U lužnatoj se otopini željezo pasivizira, odnosno prevuče zaštitnim slojem željezova(II,III) oksida. Zato se na anodi izlučuje kisik.



Problem dalje rješavamo kao u zadatku 11.7.

Anoda:

$$V(\text{O}_2) = V_{\text{m}}^{\text{n}}(\text{O}_2) \times \frac{1}{4} n(\text{e}^{-}) = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{328,8 \text{ C}}{4 \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 19,1 \times 10^{-3} \text{ dm}^3 = \mathbf{19,1 \text{ cm}^3}$$

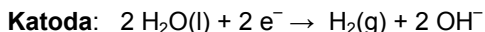
Katoda:

$$V(\text{H}_2) = V_{\text{m}}^{\text{n}}(\text{H}_2) \times \frac{1}{2} n(\text{e}^{-}) = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{328,8 \text{ C}}{2 \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 38,2 \times 10^{-3} \text{ dm}^3 = \mathbf{38,2 \text{ cm}^3}$$

11.9. Vidi STEHIOMETRIJA

I. elektrolizer — natrijev klorid

Istosmjerna struja iz vodenih otopina natrijeva klorida na katodi od ugljena izlučuje vodik. Jedino se na živinoj katodi izlučuje natrij koji se sa živom amalgamira. Jednadžba reakcije na katodi je:



Iz jednadžbe reakcije proizlazi da su za izlučivanje jednog mola molekula vodika potrebna dva mola elektrona.

Na temelju jednadžbe reakcije možemo postaviti omjer: $n(\text{H}_2) : n(\text{e}^-) = 1 : 2$,

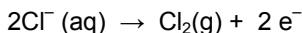
odnosno, $n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} n(\text{e}^-)$

Kroz elektrolizer je prošlo 193 000 C, pa za volumen izlučena vodika pri n.u. dobivamo:

$$V(\text{H}_2) = V_m^n(\text{H}_2) \times \frac{1}{2} n(\text{e}^-) = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{193\,000 \text{ C}}{2 \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \mathbf{22,4 \text{ dm}^3}$$

Anoda:

Iz zasićene vodene otopine natrijeva klorida na anodi od ugljena izlučuje se pretežito klor, ali i kisik. Pretpostavljamo da se izlučio samo klor i da nije došlo do oksidacije ugljika.



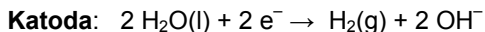
Na temelju jednadžbe reakcije možemo postaviti omjer: $n(\text{Cl}_2) : n(\text{e}^-) = 1 : 2$

odnosno, $n(\text{Cl}_2) = \frac{1}{2} n(\text{e}^-)$

$$V(\text{Cl}_2) = V_m^n(\text{Cl}_2) \times \frac{1}{2} n(\text{e}^-) = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{193\,000 \text{ C}}{2 \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \mathbf{22,4 \text{ dm}^3}$$

II. elektrolizer — aluminijev sulfat

Istosmjerna struja iz vodenih otopina aluminijeva sulfata na katodi od ugljena izlučuje vodik.



Na temelju jednadžbe reakcije možemo postaviti omjer: $n(\text{H}_2) : n(\text{e}^-) = 1 : 2$

odnosno: $n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} n(\text{e}^-)$

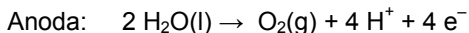
Kroz elektrolizer je prošlo 193 000 C, pa za volumen izlučena vodika pri n.u. dobivamo:

$$V(\text{H}_2) = V_m^n(\text{H}_2) \times \frac{1}{2} n(\text{e}^-) = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{193\,000 \text{ C}}{2 \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \mathbf{22,4 \text{ dm}^3}$$

Anoda:

Iz zasićene vodene otopine aluminijeva sulfata na anodi od ugljena izlučuje se kisik. Pretpostavljamo da nije došlo do oksidacije ugljika.

Problem dalje rješavamo kao u zadatku 11.7.



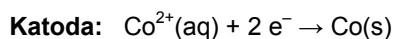
$n(\text{O}_2) : n(\text{e}^-) = 1 : 4$,

odnosno: $n(\text{O}_2) = \frac{1}{4} n(\text{e}^-)$

$$V(\text{O}_2) = V_m^n(\text{O}_2) \times \frac{1}{4} n(\text{e}^-) = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{193\,000 \text{ C}}{4 \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \mathbf{11,2 \text{ dm}^3}$$

III. elektrolizer — kobaltov(II) klorid

Iz vodenih otopina kobaltova(II) klorida istosmjerna struja na katodi izlučuje kobalt.



Iz jednadžbe katodne reakcije možemo postaviti omjer:

$$n(\text{Co}) : n(\text{e}^{-}) = 1 : 2$$

odnosno

$$n(\text{Co}) = \frac{1}{2} n(\text{e}^{-})$$

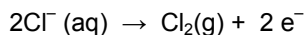
odavde proizlazi

$$n(\text{Co}) = \frac{1}{2} \times n(\text{e}^{-}) = \frac{1}{2} \times \frac{Q}{F} = \frac{193\,000 \text{ C}}{2 \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \mathbf{1 \text{ mol}}$$

$$m(\text{Co}) = n(\text{Co}) \times M(\text{Co}) = 1 \text{ mol} \times 58,93 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{58,93 \text{ g}}$$

Anoda:

Iz zasićene vodene otopine kobaltova(II) klorida na anodi od ugljena izlučuje se pretežito klor, ali i kisik. Pretpostavljamo da se izlučio samo klor i da nije došlo do oksidacije ugljika.



Na temelju jednadžbe reakcije možemo postaviti omjer: $n(\text{Cl}_2) : n(\text{e}^{-}) = 1 : 2$

$$\text{odnosno, } n(\text{Cl}_2) = \frac{1}{2} n(\text{e}^{-})$$

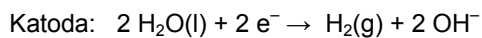
$$V(\text{Cl}_2) = V_{\text{m}}^{\circ}(\text{Cl}_2) \times \frac{1}{2} n(\text{e}^{-}) = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{193\,000 \text{ C}}{2 \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \mathbf{22,4 \text{ dm}^3}$$

11.10. Vidi STEHIOMETRIJA

(Vidi zadatak 11,7.)

U lužnatoj se otopini nikal pasivizira, odnosno prevuče zaštitnim slojem niklova(II) oksida. Zato se na anodi izlučuje kisik, a na katodi vodik.

Napišimo jednadžbu katodne reakcije:



Možemo postaviti omjer:

$$n(\text{e}^-) : n(\text{H}_2) = 2 : 1$$

Odavde proizlazi:

$$n(\text{e}^-) = 2 n(\text{H}_2)$$

Da bismo doznali množinu elektrike koja je prošla kroz elektrolizer izračunat ćemo množinu vodika u 1 dm³ praskavca uzetog pri 25 °C i 100 kPa. Praskavac je smjesa dva volumna dijela vodika i jednog volumnog dijela kisika. Pođimo od opće plinske jednadžbe pa dobivamo:

$$pV = nRT$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{p V}{R T} = \frac{2}{3} \times \frac{100\,000 \text{ Pa} \times 0,001 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 298 \text{ K}} = 0,0269 \text{ mol}$$

Za množinu elektrike dobivamo:

$$Q = n(\text{e}^-) \times F = 2 n(\text{H}_2) \times F = 2 \times 0,0269 \text{ mol} \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1} = 5193 \text{ C} \approx \mathbf{5200 \text{ C}}$$

11.11. Vidi STEHIOMETRIJA

Najprije moramo izračunati množinu elektrike (naboj) koji je prošao kroz elektrolizer. U zadatku 11.7. pokazali smo da se prolazom naboja od 96 500 kroz otopinu sumporne kiseline, odnosno kulometar s praskavcem, na anodi izluči 5,6 dm³ kisika, a na katodi 11,2 dm³ vodika.

Prema tome naboj od 96 500 C izlučit će na objma elektrodama 16,8 dm³ praskavca. Izračunamo li volumen suha praskavca pri n.u. doznat ćemo množinu elektrike koja je prošla kroz elektrolizer.

Tlak para vode pri 27 °C pročitati ćemo iz tablice 13.14:

$$p(\text{H}_2\text{O}, 27\text{ °C}) = 3567\text{ Pa}$$

Oдавde se za tlak praskavca pri 27 °C dobiva:

$$\begin{aligned} p(\text{suhi praskavac}, 27\text{ °C}) &= p(\text{vlažan praskavac}, 27\text{ °C}) - p(\text{H}_2\text{O}) \\ &= 96\,885\text{ Pa} - 3567\text{ Pa} = 93\,318\text{ Pa} \end{aligned}$$

Pomoću Gay-Lussacova zakona izračunajmo volumen praskavca pri n.u.:

$$\frac{p \times V}{T} = \frac{p_1 \times V_1}{T_1}$$

$$V(\text{praskavac}, \text{n.u.}) = V_1 \times \frac{p_1}{p} \times \frac{T}{T_1} = 0,250\text{ dm}^3 \times \frac{93\,318\text{ Pa}}{101\,325\text{ Pa}} \times \frac{273\text{ K}}{300\text{ K}} = 0,2095\text{ dm}^3$$

Naboj koji je prošao kroz elektrolizer izračunat ćemo iz omjera izlučenog volumena praskavca i volumena praskavca koji se izluči prolaskom 96 500 C kroz elektrolizer.

$$Q = \frac{V(\text{praskavac}, \text{n.u.})}{16,8\text{ dm}^3} \times 96\,500\text{ C} = \frac{0,2095\text{ dm}^3}{16,8\text{ dm}^3} \times 96\,500\text{ C} = 1203\text{ C}$$

$$n(e^-) = \frac{Q}{F} = \frac{1203\text{ C}}{96\,500\text{ C mol}^{-1}} = 0,01247\text{ mol}$$

Pretpostavimo li da je metal jednovalentan, tada je

$$n(e^-) = n(\text{I}, \text{metal})$$

pa je njegova je pretpostavljena molarna masa:

$$M(\text{I}, \text{metal}) = \frac{m(\text{metal})}{n(\text{I}, \text{metal})} = \frac{m(\text{metal})}{n(e^-)} = \frac{0,700\text{ g}}{0,01247\text{ mol}} = 56,13\text{ g mol}^{-1}$$

Iz periodnog sustava elemenata vidimo da bi elementi s molarnom masom oko 56 g mol⁻¹ mogli biti Mn, Fe, i Co, ali ti su elementi dvovalentni, što ih isključuje iz daljeg razmatranja.

Pretpostavimo li da je metal dvovalentan, tada je

$$n(\text{II}, \text{metal}) : n(e^-) = 1 : 2$$

pa slijedi:

$$n(\text{II}, \text{metal}) = \frac{1}{2} n(e^-)$$

$$M(\text{II}, \text{metal}) = \frac{m(\text{metal})}{n(\text{II}, \text{metal})} = \frac{m(\text{metal})}{\frac{1}{2} n(e^-)} = \frac{0,700\text{ g}}{\frac{1}{2} \times 0,01247\text{ mol}} = 112,26\text{ g mol}^{-1}$$

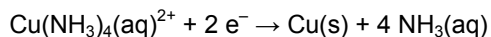
Iz periodnog sustava elemenata vidimo da je kadmij jedini dvovalentan metal s molarnom masom od oko 112 g mol⁻¹. Kadmij se može izlučiti elektrolizom iz vodene otopine. Srebrnasto je bijele boje, a njegove su soli bezbojne.

Otopina sadržava kadmijev sulfat, **CdSO₄**.

11.12. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

Napišimo jednadžbu reakcije na katodi pri elektrolizi otopine $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{aq})^{2+}$:



Iz jednadžbe reakcije proizlazi da su za izlučivanje jednog mola atoma bakra potrebna 2 mola elektrona. Možemo postaviti omjer:

$$n(\text{e}^-) : n(\text{Cu}) = 2 : 1$$

odnosno:

$$n(\text{Cu}) = \frac{1}{2} n(\text{e}^-)$$

Kako je

$$n(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{M(\text{Cu})} = \frac{1 \text{ g}}{63,55 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0157 \text{ mol}$$

proizlazi

$$n(\text{e}^-) = 2 n(\text{Cu}) = 2 \times 0,0157 \text{ mol} = 0,0315 \text{ mol},$$

odnosno:

$$Q = n(\text{e}^-) \times F = 0,0315 \text{ mol} \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1} = 3037 \text{ C}$$

Naboj od 96 500 C izluči 16,8 dm³ praskavca.

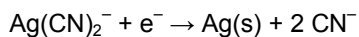
Odavde proizlazi:

$$V(\text{praskavac, n.u.}) = 16,8 \text{ dm}^3 \times \frac{Q}{96\,500 \text{ C}} = 16,8 \text{ dm}^3 \times \frac{3037 \text{ C}}{96\,500 \text{ C}} = \mathbf{0,529 \text{ dm}^3}$$

Rezultat nije potpuno realan jer se pri elektrolizi otopine $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{aq})^{2+}$ uvijek izlučuje i vodik.

b)

Napišimo jednadžbu reakcije na katodi pri elektrolizi otopine $\text{KAg}(\text{CN})_2$:



Iz jednadžbe reakcije proizlazi da je za izlučivanje jednog mola atoma srebra potreban 1 mol elektrona, pa vrijedi:

$$n(\text{Ag}) = n(\text{e}^-) = 2 n(\text{Cu})$$

Već smo izračunali da je množina izlučena bakra, $n(\text{Cu}) = 0,0157 \text{ mol}$.

Za množinu srebra dobivamo:

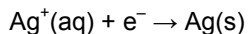
$$n(\text{Ag}) = 2 n(\text{Cu}) = 2 \times 0,0157 \text{ mol} = 0,314 \text{ mol}$$

Za masu izlučeba srebra dobivamo:

$$m(\text{Ag}) = n(\text{Ag}) \times M(\text{Ag}) = 0,314 \text{ mol} \times 107,9 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{3,39 \text{ g}}$$

11.13. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu katodne reakcije.



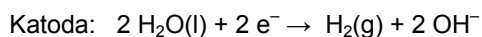
Za izlučivanje 1 mola srebra potreban je 1 mol elektrona. Količinu elektrike koju nosi 1 mol elektrona nazivamo Faradayevom konstantom, $F = 96\,487 \text{ C mol}^{-1}$.

Kako je naboj 1 elektrona, $e = 1,602\,19 \times 10^{-19} \text{ C}$, za Avogdrovu konstantu dobivamo:

$$N_A = \frac{F}{e} = \frac{96\,487 \text{ C mol}^{-1}}{1,602\,19 \times 10^{-19} \text{ C}} = 6,02219 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

11.14. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu katodne reakcije:



Možemo postaviti omjer:

$$n(\text{e}^-) : n(\text{H}_2) = 2 : 1$$

Odavde proizlazi:

$$n(\text{e}^-) = 2 n(\text{H}_2)$$

Kako elektrolizom 1 mola vode nastaje 1 mol vodika, vrijedi:

$$n(\text{H}_2) = n(\text{H}_2\text{O})$$

Kako je

$$Q = n(\text{e}^-) \times F$$

Količina elektrike (naboj) potreban za elektrolitičko razlaganje 1 mola vode na elemente je:

$$Q = n(\text{e}^-) \times F = 2 n(\text{H}_2) \times F = 2 n(\text{H}_2\text{O}) \times F = 2 \times 1 \text{ mol} \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1} = 193\,000 \text{ C}.$$

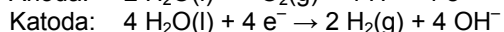
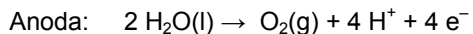
Kako je $1 \text{ C} = 1 \text{ A s}$, za vrijeme elektrolize, t , strujom jakosti $I = 2 \text{ A}$, dobiva se:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{193\,000 \text{ C}}{2 \text{ C s}^{-1}} = 96\,500 \text{ s} = \mathbf{26,8 \text{ h}}$$

11.15. Vidi STEHIOMETRIJA

Elektrolizom vodene otopine natrijeva hidroksida na katodi se izlučuje vodik a na anodi kisik.

Napišimo najprije jednadžbe katodne i anodne reakcije:



Na temelju ovih jednadžbi možemo postaviti omjere:

Anoda:

$$n(\text{O}_2) : n(\text{e}^-) = 1 : 4,$$

$$\text{odnosno: } n(\text{O}_2) = \frac{1}{4} n(\text{e}^-)$$

Katoda:

$$n(\text{H}_2) : n(\text{e}^-) = 2 : 4,$$

$$\text{odnosno: } 4 n(\text{H}_2) = 2 n(\text{e}^-), \text{ ili skraćeno:}$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} n(\text{e}^-)$$

Iz gornjih jednadžbi proizlazi da su za izlučivanje jednog mola kisika potrebna četiri mola elektrona.

Ista množina elektrike izluči dva mola vodika. Kroz elektrolizer je proteklo 193 000 C. Prema tome ova će množina elektrike izlučiti:

:

Anoda:

$$\begin{aligned} V(\text{O}_2) &= V_m^n(\text{O}_2) \times n(\text{O}_2) = V_m^n(\text{O}_2) \times \frac{1}{4} n(\text{e}^-) = V_m^n(\text{O}_2) \times \frac{1}{4} \times \frac{Q}{F} \\ &= 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{193\,000 \text{ C}}{4 \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \mathbf{11,2 \text{ dm}^3} \end{aligned}$$

$$m(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_m^n(\text{O}_2)} \times M(\text{O}_2) = \frac{11,2 \text{ dm}^3}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} \times 32 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{16 \text{ g}}$$

Katoda:

$$\begin{aligned} V(\text{H}_2) &= V_m^n(\text{H}_2) \times n(\text{H}_2) = V_m^n(\text{H}_2) \times \frac{1}{2} n(\text{e}^-) = V_m^n(\text{H}_2) \times \frac{1}{2} \times \frac{Q}{F} \\ &= 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{193\,000 \text{ C}}{2 \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \mathbf{22,4 \text{ dm}^3} \end{aligned}$$

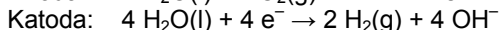
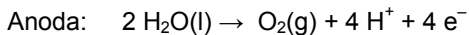
$$m(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m^n(\text{H}_2)} \times M(\text{H}_2) = \frac{22,4 \text{ dm}^3}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} \times 2 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{2 \text{ g}}$$

11.16. Vidi STEHIOMETRIJA

Elektrolizom aluminijeva sulfata na katodi se izlučuje vodik, a na anodi kisik. Kad se kao anoda pri elektrolizi neutralnih ili kiselih vodenih otopina, koje ne sadržavaju halogene elemente, upotrijebi aluminij, on se prevuče zaštitnim slojem aluminijeva oksida. Aluminij se ne otapa, već se na anodi izlučuje kisik.

Prema tome, problem se svodi na elektrolizu vode, a to ćemo riješiti istim postupkom kao u zadatku 11.15.

Napišimo najprije jednadžbe katodne i anodne reakcije:



Na temelju ovih jednadžbi možemo postaviti omjere:

Anoda:

$$n(\text{O}_2) : n(\text{e}^-) = 1 : 4,$$

$$\text{odnosno: } n(\text{O}_2) = \frac{1}{4} n(\text{e}^-)$$

Katoda:

$$n(\text{H}_2) : n(\text{e}^-) = 2 : 4,$$

$$\text{odnosno: } 4 n(\text{H}_2) = 2 n(\text{e}^-), \text{ ili skraćeno:}$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} n(\text{e}^-)$$

Iz gornjih jednadžbi proizlazi da su za izlučivanje jednog mola kisika potrebna četiri mola elektrona. Ista množina elektrike izluči dva mola vodika. Kroz elektrolizer je tijekom 2 sata tekla struja jakosti 3 A. Količina elektrike (naboj) koja je protekla kroz elektrolizer je:

$$Q = I \times t = 3 \text{ A} \times 2 \text{ h} = 6 \text{ A h} = 21\,600 \text{ A s} = 21\,600 \text{ C}$$

:

Anoda:

$$V(\text{O}_2) = V_m^n(\text{O}_2) \times n(\text{O}_2) = V_m^n(\text{O}_2) \times \frac{1}{4} n(\text{e}^-) = V_m^n(\text{O}_2) \times \frac{1}{4} \times \frac{Q}{F}$$

$$= 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{21\,600 \text{ C}}{4 \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \mathbf{1,25 \text{ dm}^3}$$

$$m(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_m^n(\text{O}_2)} \times M(\text{O}_2) = \frac{1,25 \text{ dm}^3}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} \times 32 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{1,790 \text{ g}}$$

Katoda:

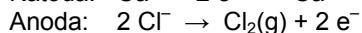
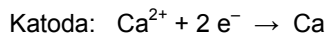
$$V(\text{H}_2) = V_m^n(\text{H}_2) \times n(\text{H}_2) = V_m^n(\text{H}_2) \times \frac{1}{2} n(\text{e}^-) = V_m^n(\text{H}_2) \times \frac{1}{2} \times \frac{Q}{F}$$

$$= 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{21\,600 \text{ C}}{2 \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \mathbf{2,50 \text{ dm}^3}$$

$$m(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m^n(\text{H}_2)} \times M(\text{H}_2) = \frac{2,50 \text{ dm}^3}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} \times 2 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{0,224 \text{ g}}$$

11.17. Vidi STEHIOMETRIJA

Elektrolizom taline kalcijeva klorida na katodi se izlučuje elementarni kalcij a na anodi klor. Napišimo najprije jednadžbe reakcija na elektrodama.



Kroz elektrolizer je tijekom 30 minuta tekala struja, $I = 20 \text{ A}$. Kroz elektrolizer je protekao naboj:

$$Q = I \times t = 20 \text{ A} \times 1800 \text{ s} = 36\,000 \text{ A s} = 36\,000 \text{ C}$$

Na temelju ovih jednadžbi možemo postaviti omjere:

Katoda:

$$n(\text{Ca}) : n(\text{e}^-) = 1 : 2$$

Odavde proizlazi:

$$n(\text{Ca}) = \frac{1}{2} n(\text{e}^-) = \frac{1}{2} \times \frac{Q}{F} = \frac{1}{2} \times \frac{36\,000 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 0,186 \text{ mol}$$

$$m(\text{Ca}) = n(\text{Ca}) \times M(\text{Ca}) = 0,186 \text{ mol} \times 40,1 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{7,48 \text{ g}}$$

Anoda:

$$n(\text{Cl}_2) : n(\text{e}^-) = 1 : 2$$

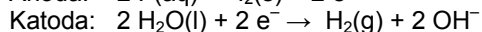
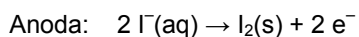
Odavde proizlazi:

$$n(\text{Cl}_2) = \frac{1}{2} n(\text{e}^-) = \frac{1}{2} \times \frac{Q}{F} = \frac{1}{2} \times \frac{36\,000 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 0,186 \text{ mol}$$

$$m(\text{Cl}_2) = n(\text{Cl}_2) \times M(\text{Cl}_2) = 0,186 \text{ mol} \times 70,9 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{13,22 \text{ g}}$$

11.18. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu reakcije.



Na temelju ovih jednadžbi možemo postaviti omjere:

Anoda:

$$n(\text{I}_2) : n(\text{e}^-) = 1 : 2$$

Odavde proizlazi:

$$n(\text{e}^-) = 2 n(\text{I}_2)$$

$$Q = n(\text{e}^-) \times F = 2 n(\text{I}_2) \times F = 2 \times \frac{m(\text{I}_2)}{M(\text{I}_2)} \times F = 2 \times \frac{10 \text{ g}}{253,8 \text{ g mol}^{-1}} \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1} = 7604 \text{ C} = \mathbf{2,11 \text{ A h}}$$

Katoda:

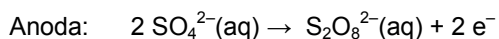
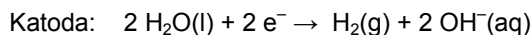
$$n(\text{H}_2) : n(\text{e}^-) = 1 : 2$$

Odavde proizlazi:

$$n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} n(\text{e}^-)$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} n(\text{e}^-) = \frac{1}{2} \times \frac{Q}{F} = \frac{1}{2} \times \frac{7604 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 0,0394 \text{ mol}$$

$$m(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \times M(\text{H}_2) = 0,0394 \text{ mol} \times 2 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{0,079 \text{ g}}$$

11.19. Vidi STEHIOMETRIJA

Na temelju anodne reakcije možemo postaviti omjer:

$$n(\text{S}_2\text{O}_8^{2-}) : n(\text{e}^-) = 1 : 2$$

Odavde proizlazi:

$$n(\text{e}^-) = 2 \times n(\text{S}_2\text{O}_8^{2-})$$

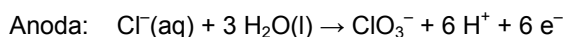
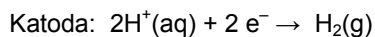
Uzmemo li u obzir iskorištenje struje u ovom procesu, $\eta = 0,20$, dobivamo:

$$Q = \frac{n(\text{e}^-) \times F}{\eta} = \frac{2 \times n(\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8) \times F}{\eta} = \frac{2 \times m(\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8) \times F}{\eta \times M(\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8)}$$

$$= \frac{2 \times 20 \text{ g} \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}}{0,20 \times 270,3 \text{ g mol}^{-1}} = 71\,402 \text{ C} = 19,8 \text{ A h}$$

11.20. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo najprije jednadžbe katodne i anodne reakcije.



Iz jednadžbe anodne reakcije proizlazi:

$$n(\text{ClO}_3^-) : n(\text{e}^-) = 1 : 6$$

odnosno

$$n(\text{e}^-) = 6 \times n(\text{ClO}_3^-)$$

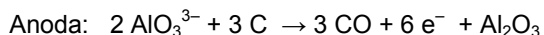
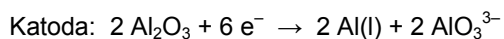
Uzmemo li u obzir iskorištenje struje u ovom procesu, $\eta = 0,50$, dobivamo:

$$Q = \frac{n(\text{e}^-) \times F}{\eta} = \frac{6 \times n(\text{ClO}_3^-) \times F}{\eta} = \frac{6 \times m(\text{KClO}_3) \times F}{\eta \times M(\text{KClO}_3)}$$

$$= \frac{6 \times 1000 \text{ g} \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1}}{0,50 \times 138,55 \text{ g mol}^{-1}} = 8,36 \times 10^6 \text{ C} = 2320 \text{ A h}$$

11.21. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo najprije jednažbe reakcija:



Katoda:

Iz jednažbe katodne reakcije proizlazi:

$$n(\text{Al}) : n(\text{e}^-) = 2 : 6$$

odnosno

$$n(\text{e}^-) = 3 \times n(\text{Al})$$

Naboj koji mora proći kroz elektrolizer da bi se proizvelo 1000 kg Al je:

$$\begin{aligned} Q &= n(\text{e}^-) \times F = 3 \times n(\text{Al}) \times F = 3 \times \frac{m(\text{Al})}{M(\text{Al})} \times F = \\ &= 3 \times \frac{10^6 \text{ g}}{27 \text{ g mol}^{-1}} \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1} = 1,072 \times 10^{10} \text{ C} = \mathbf{2,98 \times 10^6 \text{ A h}} \end{aligned}$$

Kako je

$$1 \text{ V} \times 1 \text{ A} = 1 \text{ W}$$

za proizvodnju 1000 kg aluminija potrebno je izvršiti rad, w , odnosno utrošiti sljedeću količinu električne energije:

$$w = V \times C = 5 \text{ V} \times 1,072 \times 10^{10} \text{ C} = 5,36 \times 10^{10} \text{ W} = \mathbf{14\,892 \text{ kW h}}$$

Anoda:

Iz jednažbe anodne reakcije proizlazi:

$$n(\text{CO}) : n(\text{e}^-) = 3 : 6$$

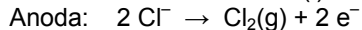
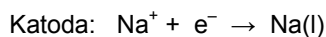
Oдавde proizlazi

$$n(\text{CO}) = \frac{3}{6} \times n(\text{e}^-) = \frac{1}{2} \times n(\text{e}^-) = \frac{1}{2} \times \frac{Q}{F} = \frac{1}{2} \times \frac{1,072 \times 10^{10} \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 55\,555 \text{ mol}$$

$$m(\text{CO}) = n(\text{CO}) \times M(\text{CO}) = 55\,555 \text{ mol} \times 28 \text{ g mol}^{-1} = 1,555 \times 10^6 \text{ g} = \mathbf{1555 \text{ kg}}$$

11.22. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbe katodne i anodne reakcije.

**Katoda:**

Iz jednadžbe reakcije na katodi vidimo da vrijedi sljedeći odnos: $n(\text{e}^-) = n(\text{Na})$

Za količinu elektrike, odnosno naboj koji mora proći kroz elektrolizer dobivamo:

$$Q = n(\text{e}^-) \times F = n(\text{Na}) \times F = \frac{m(\text{Na})}{M(\text{Na})} \times F = \frac{1000 \text{ g}}{23 \text{ g mol}^{-1}} \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1} = \mathbf{4,196 \times 10^6 \text{ C}}$$

Anoda:

Iz jednadžbe reakcije na anodi vidimo da vrijedi sljedeći odnos: $n(\text{Cl}) : n(\text{e}^-) = 1 : 2$

Oдавде proizlazi:

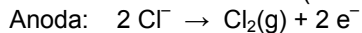
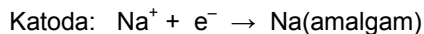
$$n(\text{Cl}) = \frac{1}{2} \times n(\text{e}^-) = \frac{1}{2} \times \frac{Q}{F} = \frac{1}{2} \times \frac{4,196 \times 10^6 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 21,74 \text{ mol}$$

$$V(\text{Cl}_2, \text{n.u.}) = V_m^n \times n(\text{Cl}) = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times 21,74 \text{ mol} = \mathbf{487 \text{ dm}^3}$$

11.23. Vidi STEHIOMETRIJA

Pri elektrolizi zasićene otopine natrijeva klorida na katodi o žive izlučuje se natrij koji se odmah otapa u živi i tako tvori amalgam. Na anodi od ugljika izlučuje se klor.

Napišimo jednadžbe katodne i anodne reakcije.

**Katoda:**

Iz jednadžbe reakcije na katodi vidimo da vrijedi sljedeći odnos: $n(\text{e}^-) = n(\text{Na})$

Masa natrija koji se prolaskom naboja od 96 500 C izluči na katodi je:

$$\begin{aligned} m(\text{Na}) &= n(\text{Na}) \times M(\text{Na}) = n(\text{e}^-) \times M(\text{Na}) = \frac{Q}{F} \times M(\text{Na}) = \\ &= \frac{96\,500 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} \times 23 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{23 \text{ g}} \end{aligned}$$

Anoda:

Iz jednadžbe reakcije na anodi vidimo da vrijedi sljedeći odnos: $n(\text{Cl}) : n(\text{e}^-) = 1 : 2$

Masa klora izlučena na anodi prolaskom naboja od 96 500 C je:

$$\begin{aligned} m(\text{Cl}_2) &= n(\text{Cl}_2) \times M(\text{Cl}_2) = \frac{1}{2} \times n(\text{e}^-) \times M(\text{Cl}_2) = \frac{1}{2} \times \frac{Q}{F} \times M(\text{Cl}_2) = \\ &= \frac{1}{2} \times \frac{96\,500 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} \times 70,9 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{35,45 \text{ g}} \end{aligned}$$

11.24. Vidi STEHIOMETRIJA

Izrazimo naboj 336 C jedinicom množine. Ako je metal jednovalentan tad je množina izlučena metala jednaka množini elektrike. Pođimo od te pretpostavke.

$$n(e^-) = \frac{Q}{F} = \frac{336 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 0,00348 \text{ mol}$$

Pretpostavljena molarna masa metala je.

$$M(l, \text{metal}) = \frac{m(\text{metal})}{n(e^-)} = \frac{0,376 \text{ g}}{0,00348 \text{ mol}} = 108 \text{ g mol}^{-1}$$

Ovaj rezultat daje nam naslutiti da je dobiveni metal najvjerojatnije srebro. Pretpostavku ćemo provjeriti tako da izračunamo maseni udio kisika u srebrovu oksidu, Ag_2O .

$$w(\text{O}, \text{Ag}_2\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{m(\text{Ag}_2\text{O})} = \frac{M(\text{O})}{M(\text{Ag}_2\text{O})} = \frac{16 \text{ g mol}^{-1}}{231,8 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0690 = 6,9 \% \quad \text{Ag}_2\text{O}$$

11.25. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbu anodne reakcije:



Na temelju jednadžbe reakcije na anodi možemo postaviti omjer:

$$n(\text{PbO}_2) : n(e^-) = 1 : 2$$

Oдавде proizlazi:

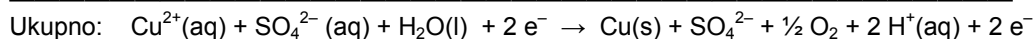
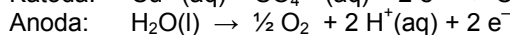
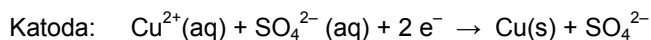
$$n(e^-) = 2 \times n(\text{PbO}_2)$$

Za količinu elektrike (naboj) dobivamo:

$$Q = n(e^-) \times F = 2 \times n(\text{PbO}_2) \times F = 2 \times \frac{m(\text{PbO}_2)}{M(\text{PbO}_2)} \times F = 2 \times \frac{0,125 \text{ g}}{239,2 \text{ g mol}^{-1}} \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1} = \mathbf{101 \text{ C}}$$

11.26. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo jednadžbe katodne i anodne reakcije



Ukupna jednadžba reakcije pokazuje da elektrolizom jednog mola modre galice nastaje jedan mol sumporne kiseline. Prema uvjetima zadatka proizlazi:

$$n(\text{Cu}) = n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{Cu})}{M(\text{Cu})} = \frac{0,500 \text{ g}}{63,55 \text{ g mol}^{-1}} = 0,00786 \text{ mol}$$

Oдавде proizlazi:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{H}_2\text{SO}_4) \times M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,00786 \text{ mol} \times 98 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{0,771 \text{ g}}$$

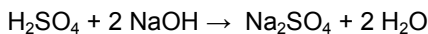
$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \times M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,00786 \text{ mol} \times 249,7 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{1,965 \text{ g}}$$

11.27. Vidi STEHIOMETRIJA

U zadatku 11.26. pokazali smo da je $n(\text{Cu}) = n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$.

25 cm³ otopine bakrova(II) sulfata elektrolizirano je do nestanka boje. Zaostala otopina troši za neutralizaciju 15 cm³ otopine natrijeva hidroksida, $c(\text{NaOH}) = 0,105 \text{ mol dm}^{-3}$.

Jednadžba neutralizacije sumporne kiseline natrijevim hidroksidom je:



Iz jednadžbe neutralizacije proizlazi:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) : n(\text{NaOH}) = 1 : 2$$

odnosno

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2} \times n(\text{NaOH})$$

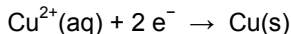
Dalje slijedi:

$$\begin{aligned} n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) &= n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2} \times n(\text{NaOH}) = \frac{1}{2} \times V(\text{NaOH}) \times c(\text{NaOH}) \\ &= \frac{1}{2} \times 0,015 \text{ dm}^3 \times 0,105 \text{ mol dm}^{-3} = 0,0007875 \text{ mol} \end{aligned}$$

Za koncentraciju otopine bakrova(II) sulfata dobivamo:

$$c(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}{V(\text{otop})} = \frac{0,0007875 \text{ mol}}{0,025 \text{ dm}^3} = \mathbf{0,0315 \text{ mol dm}^{-3}}$$

Elektrolizom otopine bakrova(II) sulfata na katodi se događa sljedeća reakcija:



Odavde proizlazi

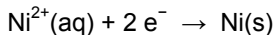
$$\begin{aligned} Q &= n(\text{e}^-) \times F = 2 \times n(\text{Cu}^{2+}) \times F = 2 \times n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \times F = 2 \times \frac{c(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})}{V(\text{otop})} \times F = \\ &= 2 \times \frac{0,0315 \text{ mol dm}^{-3}}{1 \text{ dm}^3} \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1} = 6079,5 \text{ C} = \mathbf{1,69 \text{ A h}} \end{aligned}$$

11.28. Vidi STEHIOMETRIJA

Množina elektrike koja je protekla kroz elektrolizer je:

$$n(\text{e}^-) = \frac{Q}{F} = \frac{4 \text{ A h}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \frac{14\,400 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 0,150 \text{ mol}$$

Množina elektrike potrebna za izlučivanje 1 g nikla je:



$$n(\text{Ni}) : n(\text{e}^-) = 1 : 2$$

$$n_1(\text{e}^-) = 2 \times n(\text{Ni}) = 2 \times \frac{m(\text{Ni})}{M(\text{Ni})} = 2 \times \frac{1 \text{ g}}{58,69 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0341 \text{ mol}$$

Za iskorištenje struje dobivamo:

$$\eta = \frac{n_1(\text{e}^-)}{n(\text{e}^-)} = \frac{0,0341 \text{ mol}}{0,150 \text{ mol}} \times 100 = 22,7\%$$

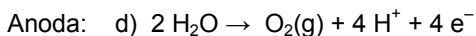
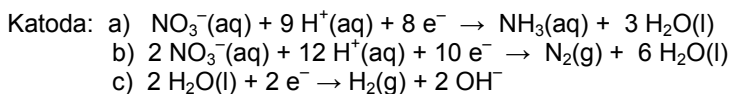
11.29. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije množinu dušične kiseline u uzorku i množinu elektrike protekle kroz elektrolizer.

$$n(\text{HNO}_3) = \frac{w \times m(\text{otop. HNO}_3)}{M(\text{HNO}_3)} = \frac{0,10 \times 100 \text{ g}}{63 \text{ g mol}^{-1}} = 0,159 \text{ mol}$$

$$n(e^-) = \frac{96\,500 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 1 \text{ mol}$$

Napišimo sada jednadžbe reakcija na elektrodama.



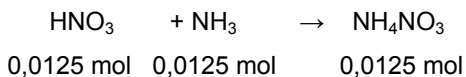
Razmotrimo redom sve slučajeve.

a) Redukcija nitrata do amonijaka na katodi

Iz jednadžbe reakcije proizlazi:

$$n(\text{NO}_3^-) = n(\text{NH}_3) = \frac{1}{8} \times n(e^-) = \frac{1}{8} \times \frac{0,1 \times 96\,500 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 0,0125 \text{ mol}$$

Amonijak reagira s viškom dušične kiseline.



0,0125 mol amonijaka nastalog redukcijom HNO_3 neutralizira se s 0,0125 mol dušične kiseline pa je ukupan utrošak dušične kiseline:

$$n_a(\text{HNO}_3) = \mathbf{0,0250 \text{ mol}}$$

$$m(\text{NH}_4\text{NO}_3) = m(\text{NH}_4\text{NO}_3) \times M(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0,0125 \text{ mol} \times 80 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{1 \text{ g}}$$

b) Redukcija nitrata do dušika na katodi

Iz jednadžbe reakcije proizlazi:

$$n(\text{NO}_3^-) = \frac{1}{5} \times n(e^-) = \frac{1}{5} \times \frac{0,2 \times 96\,500 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 0,04 \text{ mol}$$

Redukcijom do dušika utrošeno je: $n_b(\text{HNO}_3) = 0,04 \text{ mol}$

Množina preostale dušične kiseline:

$n(\text{HNO}_3) = 0,1587 \text{ mol}$	na početku elektrolize
$n_a(\text{HNO}_3) = -0,0250 \text{ mol}$	utrošeno redukcijom do NH_3 i reakcijom s NH_3
$n_b(\text{HNO}_3) = -0,0400 \text{ mol}$	utrošeno redukcijom do N_2
<hr/>	
0,0937 mol	neutrošena HNO_3

Nakon dovršene elektrolize otopina sadržava:

$$m(\text{HNO}_3) = n(\text{HNO}_3) \times M(\text{HNO}_3) = 0,0937 \text{ mol} \times 63 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{5,90 \text{ g}}$$

Volumen izlučena dušika je:

$$V(\text{N}_2) = V_m^n(\text{N}_2) \times n(\text{N}_2) = V_m^n(\text{N}_2) \times \frac{1}{2} n(e^-) = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{1}{2} \times 0,040 \text{ mol} = \mathbf{0,448 \text{ dm}^3}$$

c) Redukcija vode do vodika

Najprije moramo izračunati množinu elektrike utrošene za redukciju dušične kiseline do amonijaka. Preostala množina elektrike troši se na redukciju vode. Iz jednažbi katodnih reakcija proizlazi:

$$\text{Redukcija nitrata do amonijaka: } n(e^-) = 8 \times n(\text{NO}_3^-) = 8 \times 0,0125 \text{ mol} = 0,100 \text{ mol}$$

$$\text{Redukcija nitrata do dušika } n(e^-) = 5 \times n(\text{NO}_3^-) = 5 \times 0,0400 \text{ mol} = 0,200 \text{ mol}$$

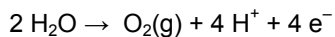
$$\text{Ukupno utrošeno za redukciju nitrata } n(e^-) = 0,300 \text{ mol}$$

Preostala množina elektrike, $1,000 \text{ mol} - 0,300 \text{ mol} = 0,700 \text{ mol}$, troši se na redukciju vode.

Volumen izlučena vodika je:

$$V(\text{H}_2) = V_m^n(\text{H}_2) \times n(\text{H}_2) = V_m^n(\text{H}_2) \times \frac{1}{2} n(e^-) = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{1}{2} \times 0,700 \text{ mol} = \mathbf{7,84 \text{ dm}^3}$$

d) Oksidacija vode na anodi



Možemo postaviti omjer:

$$n(\text{O}_2) : n(e^-) = 1 : 4$$

Odatve proizlazi:

$$n(\text{O}_2) = \frac{1}{4} \times n(e^-) = \frac{1}{4} \times 1 \text{ mol} = 0,25 \text{ mol}$$

Volumen izlučena kisika je:

$$V(\text{O}_2) = V_m^n(\text{O}_2) \times n(\text{O}_2) = V_m^n(\text{H}_2) \times \frac{1}{4} n(e^-) = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{1}{4} \times 1,000 \text{ mol} = \mathbf{5,6 \text{ dm}^3}$$

11.30. Vidi STEHIOMETRIJA

Iskažimo sve zadane veličine jedinicam množine:

$$n(e^-) = \frac{Q}{F} = \frac{0,8 \text{ A} \times 2400 \text{ s}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \frac{1920 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 0,020 \text{ mol}$$

$$n(\text{Cu}) = \frac{0,432 \text{ g}}{63,55 \text{ g mol}^{-1}} = 0,068 \text{ mol}$$

$$n(\text{Pb}) = n(\text{PbO}_2) = \frac{m(\text{PbO}_2)}{M(\text{PbO}_2)} = \frac{0,150 \text{ g}}{239,2 \text{ g mol}^{-1}} = 0,000627 \text{ mol}$$

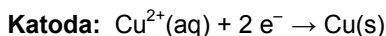
$$m(\text{Pb}) = n(\text{PbO}_2) \times M(\text{Pb}) = \frac{m(\text{PbO}_2)}{M(\text{PbO}_2)} \times M(\text{Pb}) = \frac{0,150 \text{ g}}{239,2 \text{ g mol}^{-1}} \times 207,2 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{0,130 \text{ g}}$$

Sastav bronce:

$$w(\text{Cu}) = 0,432 = 43,2 \%$$

$$w(\text{Pb}) = 0,130 = 13,0 \%$$

$$w(\text{Zn}) = 0,438 = 43,8 \%$$



Množina elektrike potrebna za izlučivanje 0,432 g bakra je:

$$n(\text{Cu}) : n(e^-) = 1 : 2$$

$$n_1(e^-) = 2 \times n(\text{Cu}) = 2 \times \frac{m(\text{Cu})}{M(\text{Cu})} = 2 \times \frac{0,432 \text{ g}}{63,55 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0136 \text{ mol}$$

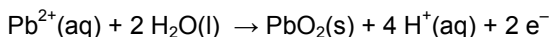
Množina elektrike utrošene za izlučivanje vodika na katodi = 0,020 mol – 0,0136 mol = 0,0064 mol

Za volumen izlučena vodika dobivamo:

$$V(\text{H}_2) = V_m^n(\text{H}_2) \times n(\text{H}_2) = V_m^n(\text{H}_2) \times \frac{1}{2} n(e^-) = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{1}{2} \times 0,0064 \text{ mol} = \mathbf{0,072 \text{ dm}^3}$$

Anoda:

Množina elektrike utrošene za oksidaciju $\text{Pb}^{2+}(\text{aq})$ u PbO_2 :

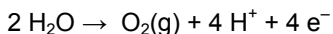


$$n(\text{PbO}_2) : n(e^-) = 1 : 2$$

$$n(e^-) = 2 \times n(\text{PbO}_2) = 2 \times \frac{m(\text{PbO}_2)}{M(\text{PbO}_2)} = 2 \times \frac{0,150 \text{ g}}{239,2 \text{ g mol}^{-1}} = 0,00125 \text{ mol}$$

Množina elektrike utrošene na razvijanje kisika na anodi = 0,020 mol – 0,00125 mol = 0,1875 mol

Za volumen kisika razvijena na anodi dobivamo:



Možemo postaviti omjer: $n(\text{O}_2) : n(e^-) = 1 : 4$

Odavde proizlazi:

$$n(\text{O}_2) = \frac{1}{4} \times n(e^-)$$

Volumen izlučena kisika je:

$$V(\text{O}_2) = V_m^n(\text{O}_2) \times n(\text{O}_2) = V_m^n(\text{H}_2) \times \frac{1}{4} \times n(e^-) = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{1}{4} \times 0,1875 \text{ mol} = \mathbf{0,105 \text{ dm}^3}$$

11.31. Vidi STEHIOMETRIJA

Otpor metalnog vodiča, R , ovisi o njegovim dimenzijama:

$$R = \rho \times \frac{l}{A}$$

U ovom je izrazu:

ρ - električna otpornost u $\Omega \text{ m}$ (zastarjeli naziv specifični otpor)

l - duljina vodiča u m

A - presjek vodiča u m^2

Iz dobivenih podataka proizlazi da je električna otpornost bakra:

$$\rho = \frac{R \times A}{l} = \frac{0,017 \Omega \times 10^{-6} \text{ m}^2}{1 \text{ m}} = 17 \times 10^{-9} \Omega \text{ m}$$

Električna provodnost, κ , jednaka je recipročnoj vrijednosti električne otpornosti, ρ . Kako je $\Omega^{-1} = \text{S}$, dobivamo:

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{17 \times 10^{-9} \Omega \text{ m}} = 5,9 \times 10^7 \text{ S m}^{-1} = \mathbf{5,9 \times 10^5 \text{ S cm}^{-1}}$$

11.32. Vidi STEHIOMETRIJA

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{R \times A} = \frac{0,05 \text{ m}}{4,4 \Omega \times 2 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 5682 \text{ S m}^{-1} = \mathbf{56,82 \text{ S cm}^{-1}}$$

11.33. Vidi STEHIOMETRIJA

Konstanta posude je omjer duljine posude i njezina presjeka, l/A .

Izračunajmo najprije otpor, R , vodiča zadanih dimenzija.

Ohmov zakon, $I = U/R$, primjenjen na elektrolitne otopine glasi::

$$R = \rho \times \frac{l}{A} = \rho \times K_{\text{cell}} = 700 \text{ k}\Omega \text{ cm} \times 2,2 \text{ cm}^{-1} = 1540 \text{ k}\Omega$$

Ovdje je: ρ — električna otpornost (zastarjeli naziv specifični otpor)

l — duljina posude

A — presjek posude

Za jakost struje koja prolazi kroz posudicu za mjerenje električne provodnosti dobivamo:

$$I = U/R = 220 \text{ V} / 1540 \text{ k}\Omega = \mathbf{1,43 \times 10^{-4} \text{ A}}$$

Za otpor vode pročišćene preko ionskog izmjenjivača, u posudici za mjerenje električne provodnosti kojoj je $K_{\text{cell}} = 2,2 \text{ cm}^{-1}$, dobivamo:

$$R = U/I = 220 \text{ V} / 5 \times 10^{-5} \text{ A} = 4400 \text{ k}\Omega$$

Oдавде proizlazi da je električna otpornost vode pročišćene preko ionskog izmjenjivača:

$$\rho = R / K_{\text{cell}} = 4400 \text{ k}\Omega / 2,2 \text{ cm}^{-1} = \mathbf{2000 \text{ k}\Omega \text{ cm}}$$

11.34. Vidi STEHIOMETRIJA

Otpor elektrolitskog vodiča izračunavamo prema izrazu:

$$R = \rho \times \frac{l}{A} = \rho \times K_{\text{cell}}$$

Odavde proizlazi:

$$K_{\text{cell}} = \frac{R}{\rho} = \kappa \times R = 1,278 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1} \times 625 \Omega = \mathbf{0,80 \text{ cm}^{-1}}$$

Ne zaboravimo da je električna provodnost $\kappa = 1 / \rho$, i da je $S = \Omega^{-1}$.

11.35. Vidi STEHIOMETRIJA

Konstanta posude je: $K_{\text{cell}} = 0,80 \text{ cm}^{-1}$ (rješenje zadatka 11.34.). Posuda za mjerenje vodljivosti (zadatak 11.34) napunjena je otopinom klorovodične kiseline, i izmjeren je otpor od 125Ω

Konstantu posude u zadatku 11.34. izračunali smo prema izrazu:

$$K_{\text{cell}} = \frac{R}{\rho} = \kappa \times R$$

Za električnu provodnost otopine, κ , dobivamo:

$$\kappa = \frac{K_{\text{cell}}}{R} = \frac{0,80 \text{ cm}^{-1}}{125 \Omega} = \mathbf{6,4 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}}$$

11.36. Vidi STEHIOMETRIJA

Molarna provodnost elektrolita definirana je izrazom:

$$\Lambda = \frac{\kappa}{c}$$

Ovdje je: κ — električna provodnost elektrolita, S m^{-1}

c — koncentracija elektrolita, mol m^{-3}

Λ — molarna provodnost elektrolita, $\text{S m}^2 \text{ mol}^{-1}$

Iz ovog se izraza za koncentraciju elektrolita dobiva:

$$c = \frac{\kappa}{\Lambda}$$

U zadatku 11.35. izračunali smo da je električna provodnost otopine klorovodične kiseline $\kappa = 6,4 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$. Prema tome slijedi:

$$c = \frac{\kappa}{\Lambda} = \frac{6,4 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}}{426 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}} \approx 1,5 \times 10^{-5} \text{ mol cm}^{-3} = \mathbf{0,015 \text{ mol dm}^{-3}}$$

11.37. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije konstantu posudice

$$K_{\text{cell}} = \frac{R}{\rho} = \kappa \times R = 1,167 \times 10^{-2} \text{ S cm}^{-1} \times 85,8 \Omega = 1,00 \text{ cm}^{-1}$$

Provodnost otopine octene kiseline, $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1 \text{ mol dm}^{-3}$, je:

$$\kappa = \frac{K_{\text{cell}}}{R} = \frac{1,00 \text{ cm}^{-1}}{693 \Omega} = 1,44 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$$

Za molarnu provodnost octene kiseline dobivamo:

$$\Lambda = \frac{\kappa}{c} = \frac{1,44 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}}{1 \text{ mol dm}^{-3}} = \frac{1,44 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}}{1 \text{ mol (10 cm)}^{-3}} = 1,44 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

Stupanj disocijacije octene kiseline u otopini, $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1 \text{ mol dm}^{-3}$, je:

$$\alpha = \frac{\Lambda}{\Lambda^\circ} = \frac{1,44 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}{390,7 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}} = 0,0037 = \mathbf{0,37 \%}$$

11.38. Vidi STEHIOMETRIJA

Stupanj disocijacije definiran je omjerom molarne provodnosti otopine zadane koncentracije i molarne provodnosti pri beskonačnoj razrijeđenosti

$$\alpha = \frac{\Lambda}{\Lambda^\circ}$$

Oдавде se za molarnu provodnost otopine octene kiseline, $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,016 \text{ mol dm}^{-3}$, dobiva:

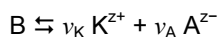
$$\Lambda = \alpha \times \Lambda^\circ = 0,0336 \times 390,7 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} = 13,13 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

Provodnost otopine octene kiseline je:

$$\begin{aligned} \kappa &= \Lambda \times c = 13,13 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \times 0,016 \text{ mol dm}^{-3} \\ &= 13,13 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \times 0,016 \text{ mol (10 cm)}^{-3} = \mathbf{2,1 \times 10^{-4} \text{ S cm}^{-1}} \end{aligned}$$

11.39. Vidi STEHIOMETRIJA

Prema zakonu o neovisnom putovanju iona za elektrolit B, koji disocira na ovaj način :



vrijedi

$$\Lambda_B = \nu_K \lambda_{K^{z+}} + \nu_A \lambda_{A^{z-}}$$

gdje je: ν_K — stehiometrijski koeficijent za katione K^{z+} ,

ν_A — stehiometrijski koeficijent za anione A^{z-} ,

z^+ — broj naboja kationa K,

z^- — broj naboja aniona A,

Λ_B — molarna provodnost elektrolita B,

$\lambda_{K^{z+}}$ — molarna provodnost kationa K^{z+} ,

$\lambda_{A^{z-}}$ — molarna provodnost aniona, A^{z-} .

Iz podataka za molarne ionske provodnosti pri beskonačnoj razrijeđenosti (tablica 13.11.) dobivamo:

$$\Lambda(\text{H}_2\text{O}) = \lambda(\text{H}^+) + \lambda(\text{OH}^-) = (349,65 + 198) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} = \mathbf{547,65 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}$$

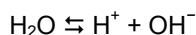
Molarnu provodnost vode izračunat ćemo iz omjera:

$$\begin{aligned}\Lambda(\text{H}_2\text{O}, 0^\circ\text{C}) &= \frac{\kappa}{c} = \frac{0,015 \times 10^{-6} \text{ S cm}^{-1}}{55,5 \text{ mol dm}^{-3}} = \frac{0,015 \times 10^{-6} \text{ S cm}^{-1}}{55,5 \text{ mol (10 cm)}^{-3}} \\ &= 1000 \times \frac{0,015 \times 10^{-6} \text{ S cm}^{-1}}{55,5 \text{ mol cm}^{-3}} = 2,7 \times 10^{-7} \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \\ \Lambda(\text{H}_2\text{O}, 18^\circ\text{C}) &= 1000 \times \frac{0,043 \times 10^{-6} \text{ S cm}^{-1}}{55,5 \text{ mol cm}^{-3}} = 7,7 \times 10^{-7} \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \\ \Lambda(\text{H}_2\text{O}, 25^\circ\text{C}) &= 1000 \times \frac{0,062 \times 10^{-6} \text{ S cm}^{-1}}{55,5 \text{ mol cm}^{-3}} = 11,2 \times 10^{-7} \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \\ \Lambda(\text{H}_2\text{O}, 34^\circ\text{C}) &= 1000 \times \frac{0,095 \times 10^{-6} \text{ S cm}^{-1}}{55,5 \text{ mol cm}^{-3}} = 17,1 \times 10^{-7} \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \\ \Lambda(\text{H}_2\text{O}, 50^\circ\text{C}) &= 1000 \times \frac{0,187 \times 10^{-6} \text{ S cm}^{-1}}{55,5 \text{ mol cm}^{-3}} = 33,7 \times 10^{-7} \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}\end{aligned}$$

Stupanj disocijacije definiran je omjerom molarne provodnosti i molarne provodnosti pri beskonačnoj razrijeđenosti.

$$\begin{aligned}\alpha(\text{H}_2\text{O}, 0^\circ\text{C}) &= \frac{\Lambda}{\Lambda^\circ} = \frac{2,7 \times 10^{-7} \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}{547,65 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}} = 0,49 \times 10^{-9} \\ \alpha(\text{H}_2\text{O}, 18^\circ\text{C}) &= \frac{\Lambda}{\Lambda^\circ} = \frac{7,7 \times 10^{-7} \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}{547,65 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}} = 1,41 \times 10^{-9} \\ \alpha(\text{H}_2\text{O}, 25^\circ\text{C}) &= \frac{\Lambda}{\Lambda^\circ} = \frac{11,2 \times 10^{-7} \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}{547,65 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}} = 2,05 \times 10^{-9} \\ \alpha(\text{H}_2\text{O}, 34^\circ\text{C}) &= \frac{\Lambda}{\Lambda^\circ} = \frac{17,1 \times 10^{-7} \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}{547,65 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}} = 3,12 \times 10^{-9} \\ \alpha(\text{H}_2\text{O}, 50^\circ\text{C}) &= \frac{\Lambda}{\Lambda^\circ} = \frac{33,7 \times 10^{-7} \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}{547,65 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}} = 6,15 \times 10^{-9}\end{aligned}$$

Pod stupnjem disocijacije razumije se omjer množina disocirane i nedisocirane molekulske vrste. Disocijaciju vode prikazujemo jednačinom:



pa za stupanj disocijacije vrijedi:

$$\alpha = \frac{[\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{O}]} = \frac{[\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$

Ionski produkt vode dan je izrazom:

$$K_w = [\text{H}^+] \times [\text{OH}^-]$$

Prema tome vrijedi:

$$\begin{aligned}0^\circ\text{C} \quad [\text{H}^+] = [\text{OH}^-] &= \alpha \times c(\text{H}_2\text{O}) = 0,49 \times 10^{-9} \times 55,5 \text{ mol dm}^{-3} = 2,7 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3} \\ K_w &= [\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = (2,7 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3})^2 = 7,4 \times 10^{-16} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}\end{aligned}$$

$$18\text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = \alpha \times c(\text{H}_2\text{O}) = 1,41 \times 10^{-9} \times 55,5 \text{ mol dm}^{-3} = 7,8 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$K_w = [\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = (7,8 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3})^2 = 6,1 \times 10^{-15} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

$$25\text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = \alpha \times c(\text{H}_2\text{O}) = 2,05 \times 10^{-9} \times 55,5 \text{ mol dm}^{-3} = 11,3 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$K_w = [\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = (11,3 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3})^2 = 1,29 \times 10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

$$34\text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = \alpha \times c(\text{H}_2\text{O}) = 3,12 \times 10^{-9} \times 55,5 \text{ mol dm}^{-3} = 17,3 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$K_w = [\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = (17,3 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3})^2 = 3,0 \times 10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

$$50\text{ }^{\circ}\text{C} \quad [\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = \alpha \times c(\text{H}_2\text{O}) = 6,15 \times 10^{-9} \times 55,5 \text{ mol dm}^{-3} = 34,1 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$K_w = [\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = (34,1 \times 10^{-8} \text{ mol dm}^{-3})^2 = 1,2 \times 10^{-13} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

Rezultati izračunavanja:

Temperatura $t / ^{\circ}\text{C}$	Molarna provodnost vode $\Lambda / \text{S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$	Stupanj disocijacije α	Ionski produkt vode $K_w / \text{mol}^2 \text{ dm}^{-6}$
0	$2,7 \times 10^{-7}$	$0,49 \times 10^{-9}$	$7,4 \times 10^{-16}$
18	$7,7 \times 10^{-7}$	$1,41 \times 10^{-9}$	$6,1 \times 10^{-15}$
25	$11,2 \times 10^{-7}$	$2,05 \times 10^{-9}$	$1,29 \times 10^{-14}$
34	$17,1 \times 10^{-7}$	$3,12 \times 10^{-9}$	$3,0 \times 10^{-14}$
50	$33,7 \times 10^{-7}$	$6,15 \times 10^{-9}$	$1,2 \times 10^{-13}$

11.40. Vidi STEHIOMETRIJA

Zadane molarne provodnosti možemo iskazati kao zbroj molarnih provodnosti iona.

$$\Lambda^{\circ}(\text{NH}_4\text{Cl}) = \lambda^{\circ}(\text{NH}_4^+) + \lambda^{\circ}(\text{Cl}^-) = 149,7 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1},$$

$$\Lambda^{\circ}(\text{NaCl}) = \lambda^{\circ}(\text{Na}^+) + \lambda^{\circ}(\text{Cl}^-) = 126,45 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1},$$

$$\Lambda^{\circ}(\text{NaOH}) = \lambda^{\circ}(\text{Na}^+) + \lambda^{\circ}(\text{OH}^-) = 248,1 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}.$$

Ako od molarne provodnosti NH_4Cl odbijemo molarnu provodnost NaCl , i tome pribrojimo molarnu provodnost NaOH , dobit ćemo molarnu provodnost amonijaka. Uvedenoj otopini amonijak disocira na ione NH_4^+ i OH^-

$$\begin{aligned} \Lambda^{\circ}(\text{NH}_4\text{OH}) &= \lambda^{\circ}(\text{NH}_4^+) + \lambda^{\circ}(\text{Cl}^-) - \lambda^{\circ}(\text{Na}^+) - \lambda^{\circ}(\text{Cl}^-) + \lambda^{\circ}(\text{Na}^+) + \lambda^{\circ}(\text{OH}^-) \\ &= \lambda^{\circ}(\text{NH}_4^+) + \lambda^{\circ}(\text{OH}^-) \end{aligned}$$

odnosno

$$\Lambda^{\circ}(\text{NH}_4\text{OH}) = (149,7 - 126,45 + 248,1) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} = \mathbf{271,35 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}$$

11.41. Vidi STEHIOMETRIJA

Postupamo na jednak način kao u zadatku 11.40. Ako od molarne provodnosti AgNO_3 odbijemo molarnu provodnost NaNO_3 i tome pribrojimo molarnu provodnost natrijeva acetata dobit ćemo molarnu provodnost srebrova acetata.

$$\begin{aligned}\Lambda^\circ(\text{AgAc}) &= \Lambda^\circ(\text{Ag}^+) + \Lambda^\circ(\text{NO}_3^-) - \Lambda^\circ(\text{Na}^+) - \Lambda^\circ(\text{NO}_3^-) + \Lambda^\circ(\text{Na}^+) + \Lambda^\circ(\text{Ac}^-) \\ &= \Lambda^\circ(\text{Ag}^+) + \Lambda^\circ(\text{Ac}^-)\end{aligned}$$

odnosno

$$\Lambda^\circ(\text{AgAc}) = (133,36 - 125,55 + 91,01) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} = \mathbf{98,82 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}$$

11.42. Vidi STEHIOMETRIJA

- a) $\Lambda^\circ(\text{NH}_4\text{OH}) = \Lambda^\circ(\text{NH}_4^+) + \Lambda^\circ(\text{OH}^-) = (73,5 + 198) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} = \mathbf{271,5 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}$
 b) $\Lambda^\circ(\text{HAc}) = \Lambda^\circ(\text{H}^+) + \Lambda^\circ(\text{Ac}^-) = (349,7 + 40,9) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} = \mathbf{390,6 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}$
 c) $\Lambda^\circ(\frac{1}{2} \text{Ag}_2\text{SO}_4) = \Lambda^\circ(\text{Ag}^+) + \Lambda^\circ(\frac{1}{2} \text{SO}_4^{2-}) = (61,9 + 80) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} = \mathbf{141,9 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}$
 d) $\Lambda^\circ(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4) = \Lambda^\circ(\text{H}^+) + \Lambda^\circ(\frac{1}{2} \text{SO}_4^{2-}) = (349,7 + 80) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} = \mathbf{429,7 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}$
 e) $\Lambda^\circ(\frac{1}{2} \text{BaSO}_4) = \Lambda^\circ(\frac{1}{2} \text{Ba}^{2+}) + \Lambda^\circ(\frac{1}{2} \text{SO}_4^{2-}) = (63,6 + 80) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} = \mathbf{143,6 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}$

11.43. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz ionskog produkta vode izračunat ćemo koncentracije iona H^+ , odnosno OH^- pri 25 °C.

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = \sqrt{K_w} = \sqrt{1 \times 10^{-14} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}} = 1 \times 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3}$$

Kako je.

$$\begin{aligned}\kappa &= \Lambda \times c = \Lambda^\circ(\text{H}^+) + \Lambda^\circ(\text{OH}^-) \times c = (349,8 + 198,0) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \times 1 \times 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3} \\ &= 547,8 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \times 1 \times 10^{-7} \text{ mol (10 cm)}^{-3} = \mathbf{5,49 \times 10^{-8} \text{ S cm}^{-1}}\end{aligned}$$

11.44. Vidi STEHIOMETRIJA

Izračunajmo najprije množinu ugljikova dioksida otopljena u 1 dm³ vode. Pođimo od opće plinske jednačbe, $pV = nRT$.

$$n(\text{CO}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{100\,000 \text{ Pa} \times 0,0005 \text{ m}^3}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 298 \text{ K}} = 0,0202 \text{ mol}$$

Ta je množina ugljikova dioksida otopljena u 1 dm³ vode. Pretpostavimo li da sav otopljeni ugljikov dioksid tvori ugljičnu kiselinu, njezina je koncentracija, $c(\text{H}_2\text{CO}_3) = 0,0202 \text{ mol dm}^{-3}$

Koncentraciju iona $\text{H}^+(\text{aq})$ i HCO_3^- u otopini određuje prvi stupanj disocijacije.

$$K_1(\text{H}_2\text{CO}_3) = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HCO}_3^-]}{0,0202 \text{ mol dm}^{-3}} = 3 \times 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3}$$

Oдавde proizlazi:

$$[\text{H}^+] = [\text{HCO}_3^-] = \sqrt{3 \times 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3} \times 0,0202 \text{ mol dm}^{-3}} = 7,78 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$$

Za provodnost vodene otopine CO_2 dobivamo:

$$\begin{aligned}\kappa &= \Lambda \times c = (\Lambda^\circ(\text{H}^+) + \Lambda^\circ(\text{HCO}_3^-)) \times c = (349,8 + 44,5) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \times 7,78 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3} \\ &= 394,3 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \times 7,78 \times 10^{-5} \text{ mol (10 cm)}^{-3} = \mathbf{3,06 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}}\end{aligned}$$

11.45. Vidi STEHIOMETRIJA

Iz podatka o produktu topljivosti barijeva sulfata izračunajmo najprije koncentracije iona Ba^{2+} i SO_4^{2-}

$$[\text{Ba}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}] = \sqrt{K_{\text{sol}}(\text{BaSO}_4)} = \sqrt{1,1 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}} = 1,05 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$$

Električna provodnost, κ , izračuna se prema izrazu:

$$\kappa = \Lambda \times c$$

Električna provodnost, κ , je recipročna vrijednost električne otpornosti, ρ , pa vrijedi:

$$\rho = \frac{1}{\kappa} = \frac{1}{\Lambda^\circ(\text{BaSO}_4) \times c} = \frac{1}{2 \Lambda^\circ(\frac{1}{2} \text{Ba}^{2+}) + 2 \Lambda^\circ(\frac{1}{2} \text{SO}_4^{2-})}$$

$$\frac{1}{2 \times (143,44 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}) \times 1,0488 \times 10^{-5} \text{ mol (10 cm)}^{-3}} = 3,32 \times 10^5 \Omega \text{ cm}$$

11.46. Vidi STEHIOMETRIJA

Kalcijevi i sulfatni ioni u zasićenoj otopini kalcijeva sulfata pridonose provodnosti vode. Znamo da je provodnost takve otopine veća za $1,087 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ od provodnosti čiste vode.

Električna provodnost, κ , izračuna se prema izrazu:

$$\kappa = \Lambda \times c$$

Molarnu provodnost kalcijeva sulfata pri beskonačnoj razrijeđenosti možemo izračunati na temelju podataka u tablici 13.11.

$$\Lambda(\frac{1}{2} \text{CaSO}_4) = \Lambda^\circ(\frac{1}{2} \text{Ca}^{2+}) + \Lambda^\circ(\frac{1}{2} \text{SO}_4^{2-}) = (59,47 + 80) \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} = 139,47 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

Za koncentraciju kalcijevih i sulfatnih iona dobivamo:

$$c(\text{Ca}^{2+}) = c(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{\kappa}{\Lambda(\text{CaSO}_4)} = \frac{\kappa}{2 \times \Lambda(\frac{1}{2} \text{CaSO}_4)}$$

$$= \frac{1,087 \times 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}}{2 \times 139,47 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}} = 3,9 \times 10^{-6} \text{ mol cm}^{-3} = 3,9 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$$

Za produkt topljivosti dobivamo:

$$K_{\text{sol}}(\text{CaSO}_4) = [\text{Ca}^{2+}] \times [\text{SO}_4^{2-}] = (3,9 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3})^2 = 1,52 \times 10^{-5} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

11.47. Vidi STEHIOMETRIJA

Produkt topljivosti magnezijeva hidroksida je:

$$K_{\text{sol}}(\text{Mg}(\text{OH})_2) = [\text{Mg}^{2+}] \times [\text{OH}^-]^2 = 5,5 \times 10^{-12} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}.$$

Da bismo izračunali provodnost vode zasićene magnezijevim hidroksidom moramo najprije pomoću produkta topljivosti izračunati koncentracije iona Mg^{2+} i OH^- .

Magnezijev hidroksid disocira prema jednadžbi:



Vidimo da je koncentracija iona OH^- dva puta veća od koncentracije iona Mg^{2+} .

Da bismo iz produkta topljivosti izračunali koncentracije iona, označimo znakom S koncentraciju iona Mg^{2+} . Koncentraciju iona OH^- označit ćemo s 2 S jer je ona dva puta veća od koncentracije iona Mg^{2+} . Odavde proizlazi:

$$K_{\text{sol}} = S \times (2 S)^2 = 4 S^3$$

odnosno

$$S^3 = \frac{1}{4} \times K_{\text{sol}}$$

Primjenimo ovaj zaključak na produkt topljivosti magnezijeva hidroksida pa dobivamo:

$$S^3 = \frac{1}{4} \times 5,5 \times 10^{-12} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}.$$

Treći korijen daje nam vrijednost $S = 1,11 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$

Odavde proizlazi

$$[\text{Mg}^{2+}] = 1,11 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{OH}^-] = 2 \times 1,11 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3} = 2,22 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$$

Električna provodnost, κ , izračuna se prema izrazu:

$$\kappa = \Lambda \times c$$

Molarne provodnosti pri beskonačnoj razrijeđenosti očitati ćemo iz tablice 13.11.

$$\Lambda^\circ (\frac{1}{2} \text{Mg}^{2+}) = 53 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

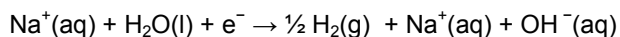
$$\Lambda^\circ (\text{OH}^-) = 198 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

Za provodnost vode zasićene magnezijevim hidroksidom konačno dobivamo:

$$\begin{aligned} \kappa &= \Lambda \times c = 2 \times \Lambda^\circ (\frac{1}{2} \text{Mg}^{2+}) \times c(\text{Mg}^{2+}) + \Lambda^\circ (\text{OH}^-) \times c(\text{OH}^-) \\ &= (106 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \times 1,11 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}) + (198 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1} \times 2,22 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}) \\ &= 1,18 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1} + 4,39 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1} \\ &= \mathbf{5,57 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}} \end{aligned}$$

11.48. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo najprije jednadžbu reakcije.



Odavde proizlazi

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{e}^-)$$

Kako je

$$Q = n(\text{e}^-) \times F$$

slijedi

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{e}^-) = \frac{Q}{F} = \frac{1000 \text{ A h}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \frac{3,6 \times 10^6 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 37,3 \text{ mol}$$

$$m(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) \times M(\text{NaOH}) = 37,3 \text{ mol} \times 40 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{1492 \text{ g}}$$

Prijenosni broj iona Na^+ je: $t(\text{Na}^+) = 0,40$.

$$0,40 \times 37,3 \text{ mol} = 14,92 \text{ mol}$$

Prijenosni broj iona Cl^- je: $t(\text{Cl}^-) = 0,60$

$$0,60 \times 37,3 \text{ mol} = 22,38 \text{ mol}$$

Pri prolasku 37,3 mol elektrona kroz elektrolit događaju se sljedeće promjene:

Anodni prostor:

37,30 mol iona Cl^-	se izbije
22,38 mol iona Cl^-	doputuje
14,92 mol iona Na^+	odputuje

Gubitak Cl^-	14,92 mol
Gubitak Na^+	14,92 mol
Gubitak NaCl	14,92 mol

Smanjenje sadržaja NaCl u anodnom prostoru iznosi:

$$m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \times M(\text{NaCl}) = 14,92 \text{ mol} \times 58,44 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{872 \text{ g}}$$

Katodni prostor:

37,30 mol iona Na^+	se izbije
22,38 mol iona Cl^-	odputuje
14,92 mol iona Na^+	doputuje

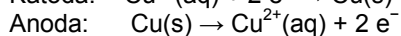
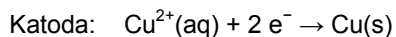
Gubitak Cl^-	22,38 mol
Gubitak Na^+	22,38 mol
Gubitak NaCl	22,38 mol

Smanjenje sadržaja NaCl u katodnom prostoru iznosi:

$$m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \times M(\text{NaCl}) = 22,38 \text{ mol} \times 58,44 \text{ g mol}^{-1} = \mathbf{1308 \text{ g}}$$

11.49. Vidi STEHIOMETRIJA

Napišimo najprije jednadžbe reakcija:



Oдавде proizlazi da je:

$$n(\text{Cu}) : n(\text{e}^{-}) = 1 : 2, \text{ odnosno: } n(\text{Cu}) = \frac{1}{2} \times n(\text{e}^{-})$$

Izračunajmo množinu elektrike koja je protekla kroz elektrolizer.

Kako je $Q = n(\text{e}^{-}) \times F$, slijedi

$$n(\text{e}^{-}) = \frac{Q}{F} = \frac{1 \text{ A} \times 3000 \text{ s}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \frac{3000 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 0,0311 \text{ mol}$$

Oдавде proizlazi da se na anodi otopila, a na katodi izlučila sljedeća množina bakra:

$$n(\text{Cu}) = \frac{1}{2} \times n(\text{e}^{-}) = \frac{1}{2} \times 0,0311 \text{ mol} = \mathbf{0,0155 \text{ mol}}$$

Prijenosni broj iona $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ je: $t(\text{Cu}^{2+}) = 0,38$.

Množina iona Cu^{2+} koja prelazi iz anodnog u katodni prostor:

$$n(\text{Cu}^{2+}) = t(\text{Cu}^{2+}) \times n(\text{Cu}) = 0,38 \times 0,0155 \text{ mol} = 0,0059 \text{ mol}$$

Razmotrimo sad što se događa u katodnom i anodnom prostoru volumena 50 cm^3 .

Anodni prostor:

	0,0155 mol iona Cu^{2+}	ulazi u anolit
	0,0059 mol iona Cu^{2+}	odputuje
Dobitak Cu^{2+}	0,0096 mol	

$$\text{Prirast koncentracije iona } \text{Cu}^{2+} \text{ u anodnom prostoru: } \Delta c(\text{Cu}^{2+}) = + \frac{0,0096 \text{ mol}}{0,050 \text{ dm}^3} = 0,192 \text{ mol}$$

Koncentracija anolita:

$$c(\text{Cu}^{2+}, \text{anolit}) = (0,5 + 0,192) \text{ mol dm}^{-3} = \mathbf{0,692 \text{ mol dm}^{-3}}$$

Katodni prostor:

	0,0155 mol iona Cu^{2+}	se izbije
	0,0059 mol iona Cu^{2+}	doputuje
Gubitak Cu^{2+}	0,0096 mol	

$$\text{Prirast koncentracije iona } \text{Cu}^{2+} \text{ u katodnom prostoru: } \Delta c(\text{Cu}^{2+}) = - \frac{0,0096 \text{ mol}}{0,050 \text{ dm}^3} = - 0,192 \text{ mol}$$

Koncentracija katolita:

$$c(\text{Cu}^{2+}, \text{katolit}) = (0,5 - 0,192) \text{ mol dm}^{-3} = \mathbf{0,308 \text{ mol dm}^{-3}}$$

11.50. Vidi STEHIOMETRIJA

Na temelju zakona o neovisnom putovanju iona

$$\Lambda^{\circ} = \Lambda^{\circ}_{\text{K}} + \Lambda^{\circ}_{\text{A}}$$

za prijenosne brojeve pojedinih iona dobiva se

$$t_{\text{K}} = \frac{\Lambda^{\circ}_{\text{K}}}{\Lambda^{\circ}_{\text{K}} + \Lambda^{\circ}_{\text{A}}} \quad t_{\text{A}} = \frac{\Lambda^{\circ}_{\text{A}}}{\Lambda^{\circ}_{\text{K}} + \Lambda^{\circ}_{\text{A}}}$$

Iz tablice 13.11. proizlazi:

a) ioni $\text{H}^{+}(\text{aq})$ u octenoj kiselini,

$$t_{\text{K}} = \frac{\Lambda^{\circ}_{\text{K}}}{\Lambda^{\circ}_{\text{K}} + \Lambda^{\circ}_{\text{A}}} = \frac{\Lambda^{\circ}(\text{H}^{+})}{\Lambda^{\circ}(\text{H}^{+}) + \Lambda^{\circ}(\text{CH}_3\text{COO}^{-})} = \frac{349,65}{349,65 + 40,9} = \frac{349,65}{390,55} = \mathbf{0,89}$$

b) ioni $\text{OH}^{-}(\text{aq})$ u vodi,

$$t_{\text{K}} = \frac{\Lambda^{\circ}_{\text{K}}}{\Lambda^{\circ}_{\text{K}} + \Lambda^{\circ}_{\text{A}}} = \frac{\Lambda^{\circ}(\text{H}^{+})}{\Lambda^{\circ}(\text{H}^{+}) + \Lambda^{\circ}(\text{OH}^{-})} = \frac{198}{349,65 + 198} = \frac{198}{547,65} = \mathbf{0,36}$$

c) ioni $\text{K}^{+}(\text{aq})$ u kalijevu hidroksidu,

$$t_{\text{K}} = \frac{\Lambda^{\circ}_{\text{K}}}{\Lambda^{\circ}_{\text{K}} + \Lambda^{\circ}_{\text{A}}} = \frac{\Lambda^{\circ}(\text{K}^{+})}{\Lambda^{\circ}(\text{K}^{+}) + \Lambda^{\circ}(\text{OH}^{-})} = \frac{73,48}{73,48 + 198} = \frac{73,48}{271,48} = \mathbf{0,27}$$

d) ioni $\text{K}^{+}(\text{aq})$ u kalijevu sulfatu.

$$t_{\text{K}} = \frac{\Lambda^{\circ}_{\text{K}}}{\Lambda^{\circ}_{\text{K}} + \Lambda^{\circ}_{\text{A}}} = \frac{\Lambda^{\circ}(\text{K}^{+})}{\Lambda^{\circ}(\text{K}^{+}) + \frac{1}{2} \Lambda^{\circ}(\text{SO}_4^{2-})} = \frac{73,48}{73,48 + 80} = \frac{73,48}{153,48} = \mathbf{0,48}$$

11.51. Vidi STEHIOMETRIJA

Prijenosni brojevi pojedinih ionskih vrsta mogu se definirati na osnovi pokretljivosti te ionske vrste prema sumi električnih pokretljivosti svih iona prisutnih u elektrolitu, pa možemo pisati:

$$t_B = \frac{|z_B| c_B u_B}{\sum |z_i| c_i u_i}$$

gdje je z — broj naboja pojedine ionske vrste,
 c — koncentracija pojedine ionske vrste,
 u — električna pokretljivost pojedine ionske vrste.

Ako je prijenosni broj kalijevih iona, $t(K^+) = 0,547$, tada je prijenosni broj permanganatnih iona, $t(MnO_4^-) = 1 - t(K^+) = 1 - 0,547 = 0,453$. U zadanom primjeru ioni K^+ i MnO_4^- imaju jednak nabojni broj, odnosno 1. Imamo samo dvije ionske vrste, ione K^+ i MnO_4^- .

Uzmemo li da je:

$$\begin{aligned} u(K^+) / \text{cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ V}^{-1} &= 7,62 \times 10^{-4} \\ u(MnO_4^-) / \text{cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ V}^{-1} &= y \\ t(K^+) &= 0,547 \end{aligned}$$

i u gornju opću jednadžbu uvrstimo poznate činjenice dobivamo::

$$t(K^+) = \frac{u(K^+)}{u(K^+) + u(MnO_4^-)} = \frac{7,62 \times 10^{-4}}{7,62 \times 10^{-4} + y} = 0,547$$

Odavde proizlazi:

$$7,62 \times 10^{-4} = 0,547 \times (7,62 \times 10^{-4} + y)$$

$$7,62 \times 10^{-4} = 4,17 \times 10^{-4} + 0,547 y$$

$$3,45 \times 10^{-4} = 0,547 y$$

$$y = \frac{3,45 \times 10^{-4}}{0,547} = 6,31 \times 10^{-4}$$

odnosno

$$u(MnO_4^-) = 6,31 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ V}^{-1}$$

Električna pokretljivost pojedinih iona obično se definira brzinom putovanja iona u vodi pri 18 °C u električnom polju čiji je gradijent 1 V m⁻¹. Prema tome za električnu pokretljivost možemo pisati

$$u_B = \frac{v_B}{E}$$

gdje je u_B — električna pokretljivost iona B,
 v_B — brzina putovanja iona B,
 E — jakost električnog polja u kojem se ioni B gibaju.

Za brzinu putovanja iona $MnO_4^-(aq)$ dobivamo:

$$v(MnO_4^-(aq)) = u(MnO_4^-) \times E = 6,31 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ V}^{-1} \times 100 \text{ V} / 15 \text{ cm} = 0,0042 \text{ cm s}^{-1}$$

Put, s , koji ioni MnO_4^- prevale tijekom 30 minuta je:

$$s = v(MnO_4^-(aq)) \times t = 0,0042 \text{ cm s}^{-1} \times 1800 \text{ s} = 7,57 \text{ cm}$$

11.52. Vidi STEHIOMETRIJA

- a) $\text{Hg}^{2+}(\text{aq}) + \text{Zn}(\text{s}) \rightarrow \text{Hg}(\text{l}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$,
 b) $2 \text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{Zn}(\text{s}) \rightarrow 2 \text{Ag}(\text{s}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$,
 c) $2 \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{Zn}(\text{s}) \rightarrow 2 \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$,
 d) $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{Zn}(\text{s}) \rightarrow \text{Cu}(\text{s}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$,
 e) $2 \text{H}^{+}(\text{aq}) + \text{Zn}(\text{s}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$.

11.53. Vidi STEHIOMETRIJA

a) Kiseline koje mogu djelovati kao oksidans ne otapaju željezo. To su koncentrirana sumporna i koncentrirana dušična kiselina. Djelovanjem tih kiselina željezo postaje "pasivno" jer se prevuče zaštitnim slojem željezovih oksida.

b) Aluminij se ne otapa u dušičnoj kiselini bilo koje koncentracije. Dušična kiselina oksidira aluminij tako da na njegovoj površini nastane zaštitni oksidni sloj.

c) d) Standardni elektrodni potencijali, $E(\text{Cu}^{2+} | \text{Cu})$ i $E(\text{Ag}^{+} | \text{Ag})$ pozitivniji su od E_{SHE} i zato se ne otapaju u neoksidirajućim kiselinama kao što su klorovodična i fluorovodična kiselina. Što je standardni elektrodni potencijal redoks-sustava pozitivniji u odnosu na SHE, to je njegov oksidirani oblik jači oksidans, a reducirani oblik slabiji reducens. Obratno, što je standardni elektrodni potencijal redoks-sustava negativniji u odnosu na SHE, to je njegov reducirani oblik jači reducens, a oksidirani oblik slabiji oksidans.

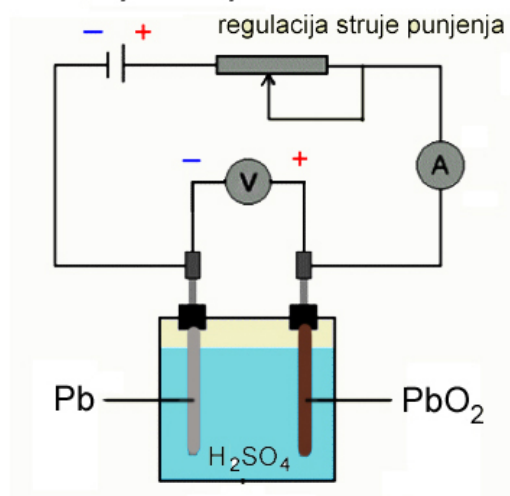
e) Na površini olova stvara se zaštitni sloj netopljiva olovova(II) sulfata.

11.54. Vidi STEHIOMETRIJA

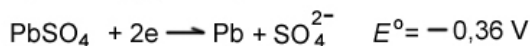
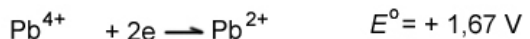
Otopinu treba elektrolizirati s netopljivom, primjerice platinskom anodom. Bakar će se kvantitativno izlučiti na katodi od bilo kojeg električki vodljivog materijala (primjerice električki vodljive plastike). Nakon izlučivanja bakra otopina sadržava samo željezov(II) sulfat. Pažljivim uparavanjem otopine pri temperaturi oko 50 °C (nikako ne višoj od 55 °C) dobit ćemo zasićenu otopinu. Kad je postignuta točka zasićenja lako je uočiti po kristalićima koji se pojavljuju na rubovima otopine u porculanskoj zdjelici za uparavanje. Hlađenjem sva se zasićena otopina iskristalizira u obliku svjetlozelenih kristala željezova(II) sulfata heptahidrata.

11.55. Vidi STEHIOMETRIJA

izvor istosmjerne struje

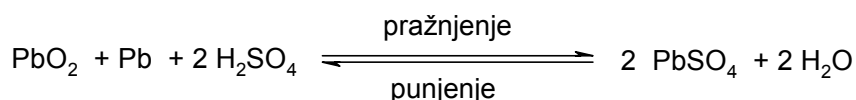


- pol olovna rešetka sa spužvastim olovom
 + pol olovna rešetka ispunjena olovovim(IV) oksidom



$$E_{\text{MF}} = E(\text{Pb}^{4+}/\text{Pb}^{2+}) - E(\text{PbSO}_4/\text{Pb})$$

$$= 1,67 \text{ V} - (-0,36 \text{ V}) = 2,03 \text{ V}$$

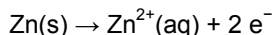


11.56. Vidi STEHIOMETRIJA

Množina elektrike koju očekujemo iz suhe baterije je:

$$n(e^-) = \frac{Q}{F} = \frac{0,3 \text{ A} \times 43\,200 \text{ s}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = \frac{12\,960 \text{ C}}{96\,500 \text{ C mol}^{-1}} = 0,134 \text{ mol}$$

Napšimo jednadžbu anodne reakcije:



Možemo postaviti omjer:

$$n(\text{Zn}) : n(e^-) = 1 : 2$$

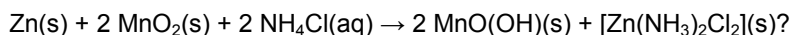
Odavde proizlazi:

$$n(\text{Zn}) = \frac{1}{2} \times n(e^-) = \frac{1}{2} \times 0,134 \text{ mol} = \mathbf{0,067 \text{ mol}}$$

Kako se u suhoj bateriji može iskoristiti samo 50 % cinka ($\eta = 0,5$), čašica suhe baterije mora imati masu:

$$m(\text{Zn}) = \frac{n(\text{Zn}) \times M(\text{Zn})}{\eta} = \frac{0,067 \text{ mol} \times 65,41 \text{ g mol}^{-1}}{0,50} \approx \mathbf{8,8 \text{ g}}$$

Manganov dioksid djeluje kao depolarizator. ju prema jednadžbi:



Iz jednadžbe reakcije proizlazi:

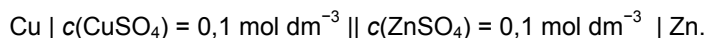
$$n(\text{MnO}_2) = 2 \times n(\text{Zn}) = 2 \times 0,067 \text{ mol} = 0,134 \text{ mol}.$$

Za masu manganova dioksida dobivamo:

$$m(\text{MnO}_2) = n(\text{MnO}_2) \times M(\text{MnO}_2) = 0,134 \text{ mol} \times 86,94 \text{ g mol}^{-1} \approx \mathbf{11,7 \text{ g}}$$

11.57. Vidi STEHIOMETRIJA

U zadanom su galvanskom članku



koncentracije iona $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ i $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ jednake, i ne utječu na razliku potencijala elektroda, odnosno E_{MF} članka.

Standardna elektromotorna sila ovog članka bit će jednaka razlici standardnih elektrodnih potencijala elektroda koje sačinjavaju članak. E_{MF} članka izračuna se tako da se od elektrodnog potencijala one elektrode koja djeluje kao katoda (lijevo napisana elektroda na kojoj se događa redukcija) odbije elektrodni potencijal elektrode koja djeluje kao anoda (desno napisane elektrode na kojoj se zbiva oksidacija).

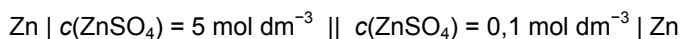
Standardne elektrodne potencijale bakra i cinka uronjene u otopinu njihovih iona možemo pročitati u tablici 13.12. pa dobivamo:

$$E_{\text{MF}} = E_k - E_a = E(\text{Cu}^{2+} \mid \text{Cu}) - E(\text{Zn}^{2+} \mid \text{Zn}) = 0,34 \text{ V} - (-0,76 \text{ V}) = \mathbf{1,10 \text{ V}}$$

Ako se uzmu otopine koncentracije $0,01 \text{ mol dm}^{-3}$ razlika elektrodnih potencijala je također **1,10 V**

11.58. Vidi STEHIOMETRIJA

Zadan je tipičan koncentracijski galvanski članak:



Ovisnost elektrodnih potencijala redoks-reakcija o aktivitetu oksidiranog i reduciranog oblika redoks-sustava u otopini izučavao je W. Nerast i našao da se može opisati jednažbom:

$$E = E^\circ + \frac{RT}{zF} \ln \frac{(a_{\text{oksid. oblik}})^{v_o}}{(a_{\text{red. oblik}})^{v_r}}$$

Ako se u ovoj jednažbi izračunaju konstantni članovi, uvrsti temperatura od 25 °C, prirodni logaritmi prevedu u dekadске, uzme da su stehiometrijski koeficijenti jednaki jedan, te da je reducirani oblik krutina za koju je aktivitet jednak 1, gornja jednažba dobiva oblik:

$$E = E^\circ + \frac{0,0592 \text{ V}}{z} \lg (a_{\text{oksid. oblik}})$$

E_{MF} koncentracijskog galvanskoga članka dobit ćemo tako da izračunamo razliku elektrodnih potencijala elektroda:

$$E_1(\text{Zn}^{2+} \mid \text{Zn}) = E^\circ(\text{Zn}^{2+} \mid \text{Zn}) + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \lg a_1(\text{Zn}^{2+})$$

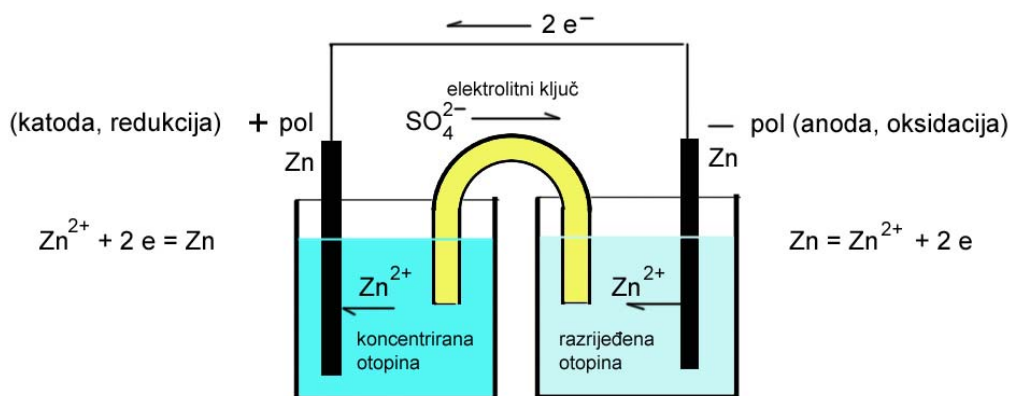
$$E_2(\text{Zn}^{2+} \mid \text{Zn}) = E^\circ(\text{Zn}^{2+} \mid \text{Zn}) + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \lg a_2(\text{Zn}^{2+})$$

Za elektromotornu silu koncentracijskog članka izlazi

$$\begin{aligned} E_{\text{MF}} &= E_1 - E_2 \\ &= \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \lg \frac{a_1(\text{Zn}^{2+})}{a_2(\text{Zn}^{2+})} \end{aligned}$$

Ako aktivite zamijenimo numeričkim vrijednostima koncentracije, dobivamo:

$$E_{\text{MF}} \approx \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \lg \frac{5}{0,1} \approx 0,0296 \text{ V} \times 1,7 \approx \mathbf{0,050 \text{ V.}}$$



Da bi se E_{MF} članka smanjila na polovicu početne vrijednosti, tj. na 0,025 volta mora logaritam omjera koncentracija biti upola manji. Tako dobivamo sljedeći omjer koncentracija:

$$\lg (a_1(\text{Zn}^{2+})/a_2(\text{Zn}^{2+})) = 0,025 \text{ V} / 0,0296 \text{ V} = 0,8446$$

$$(a_1(\text{Zn}^{2+})/a_2(\text{Zn}^{2+})) = \text{antilog. } 0,8446 \approx 7$$

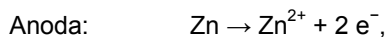
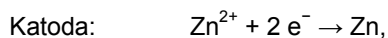
Volumeni katolita i anolita su jednaki, 1 dm^3 , i zajedno sadržavaju $5,1 \text{ mol}$ iona Zn^{2+} . Omjer koncentracija $7 : 1$ postići će se kada bude:

$$(a_1(\text{Zn}^{2+})) = \frac{7}{8} \times 5,1 = 4,463$$

$$(a_2(\text{Zn}^{2+})) = \frac{1}{8} \times 5,1 = 0,637$$

Gubitak iona Zn^{2+} u katolitu jednak je dobitku iona Zn^{2+} u anolitu i iznosi **0,537 mol**

Množinu elektrike koja će proteći metalnim vodičem doznat ćemo na temelju reakcija na katodi ili anodi.



Oдавде proizlazi omjer.

$$n(\text{Zn}^{2+}) : n(\text{e}^-) = 1 : 2,$$

odnosno

$$n(\text{e}^-) = 2 \times n(\text{Zn}^{2+}) = 2 \times 0,537 \text{ mol} = 1,074 \text{ mol}.$$

Za naboj koji je protekao kroz metalni vodič dobivamo:

$$Q = n(\text{e}^-) \times F = 1,074 \text{ mol} \times 96\,500 \text{ C mol}^{-1} \approx \mathbf{103\,600 \text{ C}}$$

11.59. Vidi STEHIOMETRIJA

Produkt topljivosti kalomela je:

$$K_{\text{sol}}(\text{Hg}_2\text{Cl}_2) = [\text{Hg}_2^{2+}] \times [\text{Cl}^-]^2 = 2,2 \times 10^{-18} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}$$

a) $c(\text{KCl}) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$,

Za koncentraciju iona Hg_2^{2+} dobivamo:

$$[\text{Hg}_2^{2+}] = \frac{K_{\text{sol}}(\text{Hg}_2\text{Cl}_2)}{[\text{Cl}^-]^2} = \frac{2,2 \times 10^{-18} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}}{(0,1 \text{ mol dm}^{-3})^2} = 2,2 \times 10^{-16} \text{ mol dm}^{-3}$$

Uzmemo li da je $c(\text{Hg}_2^{2+}) / \text{mol dm}^{-3} \approx a(\text{Hg}_2^{2+})$, za elektrodni potencijal dobivamo:

$$\begin{aligned} E(\text{Hg}_2^{2+} | 2 \text{ Hg}) &= E^\ominus(\text{Hg}_2^{2+} | 2 \text{ Hg}) + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg (c(\text{Hg}_2^{2+}) / \text{mol dm}^{-3}) \\ &= 0,79 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg (2,2 \times 10^{-16}) = 0,79 \text{ V} - 0,46 \text{ V} = \mathbf{0,33 \text{ V}} \end{aligned}$$

b) $c(\text{KCl}) = 1 \text{ mol dm}^{-3}$

Za koncentraciju iona Hg_2^{2+} dobivamo:

$$[\text{Hg}_2^{2+}] = \frac{K_{\text{sol}}(\text{Hg}_2\text{Cl}_2)}{[\text{Cl}^-]^2} = \frac{2,2 \times 10^{-18} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}}{(1 \text{ mol dm}^{-3})^2} = 2,2 \times 10^{-18} \text{ mol dm}^{-3}$$

Uzmemo li da je $c(\text{Hg}_2^{2+}) / \text{mol dm}^{-3} \approx a(\text{Hg}_2^{2+})$, za elektrodni potencijal dobivamo:

$$\begin{aligned} E(\text{Hg}_2^{2+} | 2 \text{ Hg}) &= E^\ominus(\text{Hg}_2^{2+} | 2 \text{ Hg}) + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg (c(\text{Hg}_2^{2+}) / \text{mol dm}^{-3}) \\ &= 0,79 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg (2,2 \times 10^{-18}) = 0,79 \text{ V} - 0,52 \text{ V} = \mathbf{0,27 \text{ V}} \end{aligned}$$

11.60. Vidi STEHIOMETRIJA

Produkt topljivosti olovova klorida je:

$$K_{\text{sol}}(\text{PbCl}_2) = [\text{Pb}^{2+}] \times [\text{Cl}^-]^2 = 2 \times 10^{-5} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}.$$

Iz produkta izračunat ćemo koncentraciju iona Pb^{2+} na način opisan u **zadatku 11.47.**

Da bismo iz produkta topljivosti izračunali koncentracije iona, označimo znakom S koncentraciju iona Pb^{2+} . Koncentraciju iona Cl^- označit ćemo s 2 S jer je ona dva puta veća od koncentracije iona Pb^{2+} . Odatavde proizlazi:

$$K_{\text{sol}} = S \times (2 S)^2 = 4 S^3$$

odnosno

$$S^3 = \frac{1}{4} \times K_{\text{sol}}$$

Primjenimo ovaj zaključak na produkt topljivosti olovova klorida pa dobivamo:

$$S^3 = \frac{1}{4} \times 2 \times 10^{-5} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}.$$

Treći korijen daje nam vrijednost $S = 2,15 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$. Odatavde proizlazi

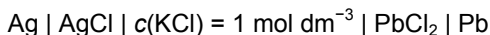
$$[\text{Pb}^{2+}] = 2,15 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$$

Elektrodni potencijal olova u otopini zasićenoj olovovim(II) kloridom je:

$$\begin{aligned} E(\text{Pb}^{2+} | \text{Pb}) &= E^\circ(\text{Pb}^{2+} | \text{Pb}) + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg (c(\text{Pb}^{2+}) / \text{mol dm}^{-3}) \\ &= -0,126 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg (2,15 \times 10^{-2}) = -0,126 \text{ V} - 0,049 \text{ V} = \mathbf{-0,175 \text{ V}} \end{aligned}$$

11.61. Vidi STEHIOMETRIJA

Treba izračunati elektromotornu silu galvanskog članka



Za koncentraciju iona Ag^+ iz produkta topljivosti AgCl dobivamo:

$$K_{\text{sol}}(\text{AgCl}) = [\text{Ag}^+] \times [\text{Cl}^-] = 1,56 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

$$[\text{Ag}^+] = \frac{K_{\text{sol}}(\text{AgCl})}{[\text{Cl}^-]} = \frac{1,56 \times 10^{-10} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}}{1 \text{ mol dm}^{-3}} = \mathbf{1,56 \times 10^{-10} \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$\begin{aligned} E(\text{Ag}^+ | \text{Ag}) &= E^\circ(\text{Ag}^+ | \text{Ag}) + \frac{0,0592 \text{ V}}{1} \lg (c(\text{Ag}^+) / \text{mol dm}^{-3}) = 0,80 \text{ V} + 0,0592 \text{ V} \times \lg (1,56 \times 10^{-10}) \\ &= 0,80 \text{ V} + (-0,58 \text{ V}) = \mathbf{0,22 \text{ V}} \end{aligned}$$

Za koncentraciju iona Pb^{2+} u otopini $c(\text{KCl}) = 1 \text{ mol dm}^{-3}$ dobivamo:

$$K_{\text{sol}}(\text{PbCl}_2) = [\text{Pb}^{2+}] \times [\text{Cl}^-]^2 = 2 \times 10^{-5} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}.$$

$$[\text{Pb}^{2+}] = \frac{K_{\text{sol}}(\text{PbCl}_2)}{[\text{Cl}^-]^2} = \frac{2 \times 10^{-5} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}}{(1 \text{ mol dm}^{-3})^2} = \mathbf{2 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$\begin{aligned} E(\text{Pb}^{2+} | \text{Pb}) &= E^\circ(\text{Pb}^{2+} | \text{Pb}) + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \lg (c(\text{Pb}^{2+}) / \text{mol dm}^{-3}) = -0,13 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg (2 \times 10^{-5}) \\ &= -0,13 \text{ V} + (-0,14 \text{ V}) = \mathbf{-0,27 \text{ V}} \end{aligned}$$

$$E_{\text{MF}} = E(\text{Ag}^+ | \text{Ag}) - E(\text{Pb}^{2+} | \text{Pb}) = 0,22 \text{ V} - (-0,27 \text{ V}) = \mathbf{0,49 \text{ V}}$$

11.62. Vidi STEHIOMETRIJA

Pretpostavimo li da je

$$c(\text{HCl}) / \text{mol dm}^{-3} = a(\text{H}^+) = 0,0015$$

tada je

$$\text{pH} = -\lg a(\text{H}^+) = -\lg 0,0015 = \mathbf{2,82}$$

Nernstovu jednadžbu, primijenjenu na vodikovu elektrodu, pišemo ovako:

$$E(\text{H}^+|\text{H}_2|\text{Pt}) = E^\circ(\text{H}^+|\text{H}_2|\text{Pt}) + \frac{0,0592 \text{ V}}{z} \lg a_{\text{H}^+}$$

Kako je za vodik $E^\circ(\text{H}^+|\text{H}_2|\text{Pt}) = 0 \text{ V}$, $z = 1$, za potencijal vodikove elektrode dobivamo

$$E(\text{H}^+|\text{H}_2|\text{Pt}) = 0,0592 \text{ V} \times \lg a_{\text{H}^+}$$

Budući da je po dogovoru

$$-\lg a_{\text{H}^+} = -\lg (c_{\text{H}^+} \times \gamma / \text{mol dm}^{-3}) = \text{pH},$$

možemo pisati:

$$E(\text{H}^+|\text{H}_2|\text{Pt}) = -0,0592 \text{ V} \times \text{pH} = -0,0592 \text{ V} \times 2,82 = \mathbf{-0,167 \text{ V}}$$

11.63. Vidi STEHIOMETRIJA

U zadatku 11.62 pokazali smo da je:

$$E(\text{H}^+|\text{H}_2|\text{Pt}) = -0,0592 \text{ V} \times \text{pH}$$

Oдавde proizlazi:

$$\text{pH} = \frac{E(\text{H}^+|\text{H}_2|\text{Pt})}{-0,0592 \text{ V}} = \frac{-0,350 \text{ V}}{-0,0592 \text{ V}} = \mathbf{5,9}$$

11.64. Vidi STEHIOMETRIJA

Potencijal srebro - srebrov jodid elektrode možemo pročitati iz tablica. $E(\text{Ag}^+ | \text{AgI} | \text{Ag}) = -0,15 \text{ V}$, ili izračunati iz produkta topljivosti. Pođimo od produkta topljivosti srebrova jodida.

$$K_{\text{sol}}(\text{AgI}) = 8,6 \times 10^{-17} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}$$

Koncentracija iona $\text{Ag}^+(\text{aq})$ je:

$$[\text{Ag}^+] = \frac{K_{\text{sol}}(\text{AgI})}{[\text{I}]} = \frac{8,6 \times 10^{-17} \text{ mol}^2 \text{ dm}^{-6}}{1 \text{ mol dm}^{-3}} = \mathbf{8,6 \times 10^{-17} \text{ mol dm}^{-3}}$$

$$\begin{aligned} E(\text{Ag}^+ | \text{Ag}) &= E^\circ(\text{Ag}^+ | \text{Ag}) + \frac{0,0592 \text{ V}}{1} \times \lg (c(\text{Ag}^+) / \text{mol dm}^{-3}) = 0,80 \text{ V} + 0,0592 \text{ V} \times \lg (8,6 \times 10^{-17}) \\ &= 0,80 \text{ V} + (-0,95 \text{ V}) = \mathbf{-0,15 \text{ V}} \end{aligned}$$

Potencijal vodikove elektrode izračunat ćemo na osnovi odnosa: $E_{\text{MF}} = E_{\text{K}} - E_{\text{A}}$, pa dobivamo:

$$E_{\text{K}} = E_{\text{MF}} + E_{\text{A}} = 0,090 \text{ V} - 0,15 \text{ V} = \mathbf{-0,06 \text{ V}}$$

Oдавde proizlazi:

$$\text{pH} = E(\text{H}^+|\text{H}_2|\text{Pt}) / (-0,0592 \text{ V}) = -0,06 \text{ V} / (-0,0592 \text{ V}) \approx \mathbf{1}$$

11.65. Vidi STEHIOMETRIJA

Znamo da između elektrodnog potencijala vodikove elektrode i pH otopine vrijedi ovaj odnos:

$$\text{pH} = \frac{E(\text{H}^+ | \text{H}_2 | \text{Pt})}{-0,0592 \text{ V}}$$

Odavde proizlazi

$$E(\text{H}^+ | \text{H}_2 | \text{Pt}) = -0,0592 \text{ V} \times \text{pH}$$

Za lijevo prikazanu elektrodu dobivamo:

$$E_K(\text{H}^+ | \text{H}_2 | \text{Pt}) = -0,0592 \text{ V} \times \text{pH} = -0,0592 \text{ V} \times 2 = -0,1184 \text{ V}$$

Za desno prikazanu elektrodu vrijedi:

$$E_A(\text{H}^+ | \text{H}_2 | \text{Pt}) = -0,0592 \text{ V} \times \text{pH} = -0,0592 \text{ V} \times 6 = -0,3552 \text{ V}$$

Elektromotorna sila galvanskog članka je:

$$E_{\text{MF}} = E_K - E_A = -0,1184 \text{ V} - (-0,3552 \text{ V}) = \mathbf{0,237 \text{ V}}$$

Ne zaboravimo: Uvijek je E_K pozitivniji od E_A .

11.66. Vidi STEHIOMETRIJA

Produkt topljivosti kalomela je:

$$K_{\text{sol}}(\text{Hg}_2\text{Cl}_2) = [\text{Hg}_2^{2+}] \times [\text{Cl}^-]^2 = 2,2 \times 10^{-18} \text{ mol}^3 \text{ dm}^{-9}$$

Odavde se za koncentraciju iona Hg_2^{2+} dobiva:

$$[\text{Hg}_2^{2+}] = \frac{K_{\text{sol}}(\text{Hg}_2\text{Cl}_2)}{[\text{Cl}^-]^2}$$

Vidimo da koncentracija iona Hg_2^{2+} ovisi o koncentraciji kloridnih iona. Uzmemo li da je koncentracija kloridnih iona, $c(\text{Cl}^-) = 1 \text{ mol dm}^{-3}$, za standardni elektrodni potencijal kalomelove elektrode iz Nernstove jednadžbe dobivamo:

$$\begin{aligned} E(\text{Hg}_2^{2+} | 2 \text{ Hg}) &= E^\ominus(\text{Hg}_2^{2+} | 2 \text{ Hg}) + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg (c(\text{Hg}_2^{2+}) / \text{mol dm}^{-3}) \\ &= 0,790 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg \left(\frac{K_{\text{sol}}(\text{Hg}_2\text{Cl}_2) / \text{mol}^3 \text{ dm}^{-9}}{(c(\text{Cl}^-) / \text{mol dm}^{-3})^2} \right) \\ &= 0,790 \text{ V} + 0,0296 \text{ V} \times (\lg 2,2 \times 10^{-18} - 2 \lg 1) \quad (\lg 1 = 0) \\ &= 0,790 \text{ V} + 0,0296 \text{ V} \times (-17,66) \\ &= 0,790 \text{ V} - 0,522 \text{ V} = \mathbf{+0,268 \text{ V}} \end{aligned}$$

Zadana kalomelova elektroda ima elektrodni potencijal $E(\text{Hg}_2^{2+} | 2 \text{ Hg}) = 0,252 \text{ V}$. Uvrstimo poznate podatke u Nernstovu jednadžbu pa dobivamo:

$$0,252 \text{ V} = 0,790 \text{ V} + 0,0296 \text{ V} \times (\lg 2,2 \times 10^{-18} - 2 \lg (c(\text{Cl}^-) / \text{mol dm}^{-3}))$$

Ovdje je jedina nepoznanica koncentracija kloridnih iona. Uredimo jednadžbu pa dobivamo:

$$0,252 \text{ V} = 0,790 \text{ V} + 0,0296 \text{ V} \times (-17,66) - 0,0296 \text{ V} \times 2 \lg (c(\text{Cl}^-) / \text{mol dm}^{-3})$$

$$0,252 \text{ V} = 0,790 \text{ V} - 0,522 \text{ V} - 0,0296 \text{ V} \times 2 \lg (c(\text{Cl}^-) / \text{mol dm}^{-3})$$

$$-0,016 \text{ V} = -0,0593 \text{ V} \times \lg (c(\text{Cl}^-) / \text{mol dm}^{-3})$$

$$\lg (c(\text{Cl}^-) / \text{mol dm}^{-3}) = 0,016 / 0,0592 = 0,270$$

$$c(\text{KCl}) = \mathbf{1,86 \text{ mol dm}^{-3}}$$

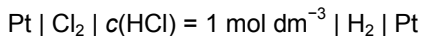
11.67. Vidi STEHIOMETRIJA

Pretpostavljamo da je HCl potpuno disocirana pa je:

$$c(\text{H}^+) / \text{mol dm}^{-3} = 1$$

$$c(\text{Cl}^-) / \text{mol dm}^{-3} = 1$$

Odavde proizlazi da će E_{MF} članka



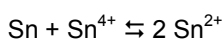
biti jednaka razlici standardnih elektrodnih potencijala. Kako je potencijal SHE = 0 V, proizlazi:

$$E_{\text{MF}} = E_{\text{K}} - E_{\text{A}} = 1,36 \text{ V} - 0 \text{ V} = \mathbf{1,36 \text{ V}}$$

11.68. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

Napišimo jednadžbu reakcije.



Konstanta ravnoteže za ovu reakciju je:

$$K_c = \frac{[\text{Sn}^{2+}]^2}{[\text{Sn}^{4+}]} \quad (\text{aktivitet krute faze uvijek je 1})$$

Iz tablice elektrodnih potencijala doznajemo:



Prema Nernstovoj jednadžbi možemo pisati:

$$E(\text{Sn}^{4+} | \text{Sn}^{2+}) = 0,15 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg \frac{a(\text{Sn}^{4+})}{a(\text{Sn}^{2+})}$$

$$E(\text{Sn}^{2+} | \text{Sn}) = - 0,14 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg a(\text{Sn}^{2+})$$

U stanju ravnoteže mora biti

$$E(\text{Sn}^{2+} | \text{Sn}) = E(\text{Sn}^{4+} | \text{Sn}^{2+})$$

odnosno

$$- 0,14 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg a(\text{Sn}^{2+}) = 0,15 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg \frac{a(\text{Sn}^{4+})}{a(\text{Sn}^{2+})}$$

Odavde proizlazi:

$$0,0296 \text{ V} \times \left(\lg a(\text{Sn}^{2+}) - \lg \frac{a(\text{Sn}^{4+})}{a(\text{Sn}^{2+})} \right) = 0,29 \text{ V}$$

Uredimo ovaj izraz pa dobivamo:

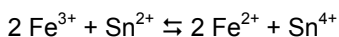
$$\lg \left(\frac{(a(\text{Sn}^{2+}))^2}{a(\text{Sn}^{4+})} \right) = 9,797$$

Odavde proizlazi da je konstanta ravnoteže ovog sustava:

$$K_c \approx \frac{(a(\text{Sn}^{2+}))^2}{a(\text{Sn}^{4+})} \approx \frac{[\text{Sn}^{2+}]^2}{[\text{Sn}^{4+}]} \approx \mathbf{6,3 \times 10^9 \text{ mol dm}^{-3}}$$

11.68. b)

Napišimo jednadžbu reakcije.



Konstanta ravnoteže za ovu reakciju je:

$$K_c = \frac{[\text{Fe}^{2+}]^2 \times [\text{Sn}^{4+}]}{[\text{Fe}^{3+}]^2 \times [\text{Sn}^{2+}]}$$

Iz tablice elektrodnih potencijala doznajemo:



Prema Nernstovoj jednadžbi možemo pisati:

$$E(\text{Sn}^{4+} | \text{Sn}^{2+}) = 0,15 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg \frac{a(\text{Sn}^{4+})}{a(\text{Sn}^{2+})}$$

$$E(\text{Fe}^{3+} | \text{Fe}^{2+}) = 0,77 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{1} \times \lg \frac{a(\text{Fe}^{3+})}{a(\text{Fe}^{2+})} = 0,77 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg \frac{(a(\text{Fe}^{3+}))^2}{(a(\text{Fe}^{2+}))^2}$$

U stanju ravnoteže mora biti

$$E(\text{Sn}^{4+} | \text{Sn}^{2+}) = E(\text{Fe}^{3+} | \text{Fe}^{2+})$$

odnosno

$$0,15 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg \frac{a(\text{Sn}^{4+})}{a(\text{Sn}^{2+})} = 0,77 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg \frac{(a(\text{Fe}^{3+}))^2}{(a(\text{Fe}^{2+}))^2}$$

Oдавde proizlazi:

$$0,0296 \text{ V} \times \left(\lg \frac{a(\text{Sn}^{4+})}{a(\text{Sn}^{2+})} - \lg \frac{(a(\text{Fe}^{3+}))^2}{(a(\text{Fe}^{2+}))^2} \right) = 0,62 \text{ V}$$

Uredimo ovaj izraz pa dobivamo:

$$\lg \left(\frac{a(\text{Sn}^{4+}) \times (a(\text{Fe}^{2+}))^2}{a(\text{Sn}^{2+}) \times (a(\text{Fe}^{3+}))^2} \right) = 20,946$$

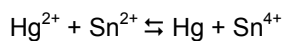
Oдавde proizlazi da je konstanta ravnoteže ovog sustava:

$$K_c \approx \frac{(a(\text{Sn}^{2+}))^2}{a(\text{Sn}^{4+})} \approx \frac{[\text{Sn}^{2+}]^2}{[\text{Sn}^{4+}]} \approx$$

$$K_c \approx \frac{a(\text{Sn}^{4+}) \times (a(\text{Fe}^{2+}))^2}{a(\text{Sn}^{2+}) \times (a(\text{Fe}^{3+}))^2} \approx \frac{[\text{Sn}^{4+}] \times [\text{Fe}^{2+}]^2}{[\text{Sn}^{2+}] \times [\text{Fe}^{3+}]^2} \approx 8,8 \times 10^{20} \text{ mol dm}^{-3}$$

11.68. c)

Napišimo jednadžbu reakcije.



Konstanta ravnoteže za ovu reakciju je:

$$K_c = \frac{[\text{Hg}] \times [\text{Sn}^{4+}]}{[\text{Hg}^{2+}] \times [\text{Sn}^{2+}]} \quad (\text{Za aktivitet Hg uzimamo da je 1})$$

Iz tablice elektrodnih potencijala doznajemo:



Prema Nernstovoj jednadžbi možemo pisati:

$$E(\text{Sn}^{4+} | \text{Sn}^{2+}) = 0,15 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg \frac{a(\text{Sn}^{4+})}{a(\text{Sn}^{2+})}$$

$$E(\text{Hg}^{2+} | \text{Hg}) = 0,86 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg a(\text{Hg}^{2+})$$

U stanju ravnoteže mora biti

$$E(\text{Sn}^{4+} | \text{Sn}^{2+}) = E(\text{Hg}^{2+} | \text{Hg})$$

odnosno

$$0,15 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg \frac{a(\text{Sn}^{4+})}{a(\text{Sn}^{2+})} = 0,86 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg a(\text{Hg}^{2+})$$

Oдавde proizlazi:

$$0,0296 \text{ V} \times \left(\lg \frac{a(\text{Sn}^{4+})}{a(\text{Sn}^{2+})} - \lg a(\text{Hg}^{2+}) \right) = 0,71 \text{ V}$$

Uredimo ovaj izraz pa dobivamo:

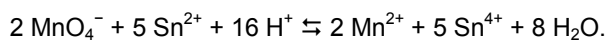
$$\lg \left(\frac{a(\text{Sn}^{4+})}{a(\text{Sn}^{2+}) \times a(\text{Hg}^{2+})} \right) = 23,986$$

Oдавde proizlazi da je konstanta ravnoteže ovog sustava:

$$K_c \approx \frac{a(\text{Sn}^{4+})}{a(\text{Sn}^{2+}) \times a(\text{Hg}^{2+})} \approx \frac{[\text{Sn}^{4+}]}{[\text{Sn}^{2+}] \times [\text{Hg}^{2+}]} \approx 9,7 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3$$

11.68. d)

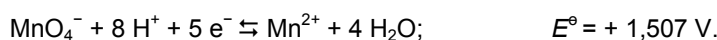
Napišimo jednađbu reakcije



Konstanta ravnoteže za ovu reakciju je:

$$K_c = \frac{[\text{Mn}^{2+}]^2 \times [\text{Sn}^{4+}]^5}{[\text{MnO}_4^-]^2 \times [\text{Sn}^{2+}]^5 \times [\text{H}^+]^{16}}$$

Iz tablice elektrodnih potencijala doznajemo:



Prema Nernstovoj jednađbi možemo pisati:

$$E(\text{Sn}^{4+} | \text{Sn}^{2+}) = 0,15 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg \frac{a(\text{Sn}^{4+})}{a(\text{Sn}^{2+})}$$

$$E(\text{MnO}_4^- | \text{Mn}^{2+}) = 1,507 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{5} \lg \frac{a(\text{MnO}_4^-) \times (a(\text{H}^+))^8}{a(\text{Mn}^{2+})}$$

U stanju ravnoteže mora biti

$$E(\text{Sn}^{4+} | \text{Sn}^{2+}) = E(\text{MnO}_4^- | \text{Mn}^{2+})$$

odnosno

$$0,15 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg \frac{a(\text{Sn}^{4+})}{a(\text{Sn}^{2+})} = 1,507 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{5} \lg \frac{a(\text{MnO}_4^-) \times (a(\text{H}^+))^8}{a(\text{Mn}^{2+})}$$

$$\frac{0,0592 \text{ V}}{10} \times \lg \frac{(a(\text{Sn}^{4+}))^5}{(a(\text{Sn}^{2+}))^5} - \frac{0,0592 \text{ V}}{10} \times \lg \frac{(a(\text{MnO}_4^-))^5 \times (a(\text{H}^+))^{16}}{(a(\text{Mn}^{2+}))^2} = 1,357 \text{ V}$$

$$\frac{0,0592 \text{ V}}{10} \times \lg \left(\frac{(a(\text{Sn}^{4+}))^5 \times (a(\text{Mn}^{2+}))^2}{(a(\text{Sn}^{2+}))^5 \times (a(\text{MnO}_4^-))^5 \times (a(\text{H}^+))^{16}} \right) = 1,357 \text{ V}$$

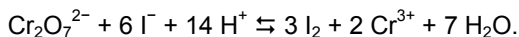
$$\lg \left(\frac{(a(\text{Sn}^{4+}))^5 \times (a(\text{Mn}^{2+}))^2}{(a(\text{Sn}^{2+}))^5 \times (a(\text{MnO}_4^-))^5 \times (a(\text{H}^+))^{16}} \right) = 229$$

$$K_c = \frac{[\text{Mn}^{2+}]^2 \times [\text{Sn}^{4+}]^5}{[\text{MnO}_4^-]^2 \times [\text{Sn}^{2+}]^5 \times [\text{H}^+]^{16}} \approx 10^{229} \text{ mol}^{-16} \text{ dm}^{48}$$

11.69. Vidi STEHIOMETRIJA

a)

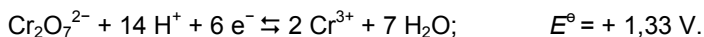
Napišimo jednađbu reakcije



Konstanta ravnoteže za ovu reakciju je:

$$K_c = \frac{[\text{Cr}^{3+}]^2}{[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]^2 \times [\text{I}^-]^6 \times [\text{H}^+]^{14}}$$

Iz tablice elektrodnih potencijala doznajemo:



Prema Nernstovoj jednađbi možemo pisati:

$$E(\text{I}_2 | 2 \text{I}^-) = 0,54 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg \frac{a(\text{I}_2)}{a(\text{I}^-)^2} \quad (\text{za aktivitet krute faze uzimamo da je 1})$$

$$E(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} | \text{Cr}^{3+}) = 1,33 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{6} \times \lg \frac{a(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) \times (a(\text{H}^+))^{14}}{a(\text{Cr}^{3+})^2}$$

U stanju ravnoteže mora biti

$$E(\text{I}_2 | 2 \text{I}^-) = E(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} | \text{Cr}^{3+})$$

odnosno

$$0,54 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg \frac{1}{a(\text{I}^-)^2} = 1,33 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{6} \times \lg \frac{a(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) \times (a(\text{H}^+))^{14}}{a(\text{Cr}^{3+})^2}$$

$$0,54 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{6} \times \lg \frac{1}{a(\text{I}^-)^6} = 1,33 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{6} \times \lg \frac{a(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) \times (a(\text{H}^+))^{14}}{a(\text{Cr}^{3+})^2}$$

Uredimo jednađbu pa dobivamo:

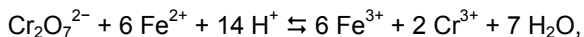
$$\frac{0,0592 \text{ V}}{6} \times \lg \left(\frac{1}{a(\text{I}^-)^2} - \frac{a(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) \times (a(\text{H}^+))^{14}}{a(\text{Cr}^{3+})^2} \right) = 0,79 \text{ V}$$

$$\lg \left(\frac{a(\text{Cr}^{3+})^2}{a(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) \times (a(\text{H}^+))^{14} \times a(\text{I}^-)^2} \right) = 80$$

$$K_c \approx \frac{[\text{Cr}^{3+}]^2}{[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] \times [\text{I}^-]^6 \times [\text{H}^+]^{14}} \approx 10^{80} \text{ mol}^{-19} \text{ dm}^{57}$$

11.69. b)

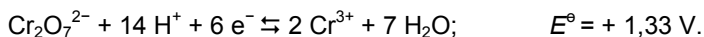
Napišimo jednadžbu reakcije



Konstanta ravnoteže za ovu reakciju je:

$$K_c = \frac{[\text{Fe}^{3+}]^6 \times [\text{Cr}^{3+}]^2}{[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] \times [\text{Fe}^{2+}]^6 \times [\text{H}^+]^{14}}$$

Iz tablice elektrodnih potencijala doznajemo:



Prema Nernstovoj jednadžbi možemo pisati:

$$E(\text{Fe}^{3+} | \text{Fe}^{2+}) = 0,77 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{1} \times \lg \frac{a(\text{Fe}^{3+})}{a(\text{Fe}^{2+})} = 0,77 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{6} \times \lg \frac{(a(\text{Fe}^{3+}))^6}{(a(\text{Fe}^{2+}))^6}$$

$$E(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} | \text{Cr}^{3+}) = 1,33 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{6} \times \lg \frac{a(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) \times (a(\text{H}^+))^{14}}{a(\text{Cr}^{3+})^2}$$

U stanju ravnoteže mora biti

$$E(\text{Fe}^{3+} | \text{Fe}^{2+}) = E(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} | \text{Cr}^{3+})$$

odnosno

$$0,77 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{6} \times \lg \frac{(a(\text{Fe}^{3+}))^6}{(a(\text{Fe}^{2+}))^6} = 1,33 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{6} \times \lg \frac{a(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) \times (a(\text{H}^+))^{14}}{a(\text{Cr}^{3+})^2}$$

Uredimo jednadžbu pa dobivamo:

$$\frac{0,0592 \text{ V}}{6} \times \lg \left(\frac{(a(\text{Fe}^{3+}))^6}{(a(\text{Fe}^{2+}))^6} - \frac{a(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) \times (a(\text{H}^+))^{14}}{a(\text{Cr}^{3+})^2} \right) = 0,56 \text{ V}$$

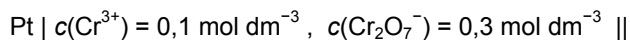
$$\lg \left(\frac{(a(\text{Fe}^{3+}))^6 \times a(\text{Cr}^{3+})^2}{(a(\text{Fe}^{2+}))^6 \times a(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) \times (a(\text{H}^+))^{14}} \right) = 56,7$$

$$K_c \approx \frac{[\text{Fe}^{3+}]^6 \times [\text{Cr}^{3+}]^2}{[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] \times [\text{Fe}^{2+}]^6 \times [\text{H}^+]^{14}} \approx 10^{57} \text{ mol}^{-13} \text{ dm}^{39}$$

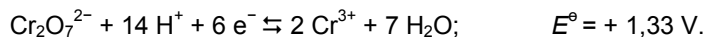
11.70. Vidi STEHIOMETRIJA

Potrebno je odrediti elektrodni potencijal svakog polučlanka zasebno. Razlika njihovih potencijala jednaka je E_{MF} članka.

I. polučlanak



Iz tablice elektrodnih potencijala možemo pročitati:



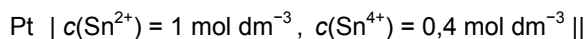
Primjenimo Nernstovu jednadžbu pa dobivamo:

$$E(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \mid \text{Cr}^{3+}) = 1,33 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{6} \times \lg \frac{a(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) \times (a(\text{H}^+))^{14}}{a(\text{Cr}^{3+})^2}$$

Uzmimo da je aktivitet iona H^+ jednak 1 i da su brojčane vrijednosti analitičkih koncentracija iona u otopini jednake njihovim aktivitetima. Tad za elektrodni potencijal polučlanka dobivamo:

$$E(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \mid \text{Cr}^{3+}) = 1,333 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{6} \times \lg \frac{0,3}{(0,1)^2} = 1,333 \text{ V} + 0,015 \text{ V} = 1,348 \text{ V}$$

II. polučlanak



Iz tablice elektrodnih potencijala možemo pročitati:



Primjenimo Nernstovu jednadžbu pa dobivamo

$$E(\text{Sn}^{4+} \mid \text{Sn}^{2+}) = 0,151 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg \frac{a(\text{Sn}^{4+})}{a(\text{Sn}^{2+})}$$

Uzmimo da su brojčane vrijednosti analitičkih koncentracija iona u otopini jednake njihovim aktivitetima. Tad za elektrodni potencijal polučlanka dobivamo:

$$E(\text{Sn}^{4+} \mid \text{Sn}^{2+}) = 0,151 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \times \lg \frac{0,4}{1} = 0,151 \text{ V} - 0,012 \text{ V} = 0,139 \text{ V}$$

E_{MF} članka

$$E_{MF} = E_K - E_A = 1,348 \text{ V} - 0,139 \text{ V} = 1,209 \text{ V}$$

Ioni Sn^{2+} oksidirat će se u ione Sn^{4+} .

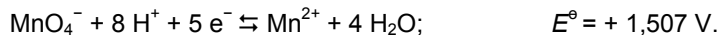
11.71. Vidi STEHIOMETRIJA

Potrebno je odrediti elektrodni potencijal svakog polučlanka zasebno. Razlika njihovih potencijala jednaka je E_{MF} članka.

I. polučlanak

Pt | $c(\text{MnO}_4^-) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{Mn}^{2+}) = 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$, pH = 1 ||

Iz tablice elektrodnih potencijala možemo pročitati:



Primjenimo Nernstovu jednadžbu pa dobivamo:

$$E(\text{MnO}_4^- | \text{Mn}^{2+}) = 1,507 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{5} \lg \frac{a(\text{MnO}_4^-) \times (a(\text{H}^+))^8}{a(\text{Mn}^{2+})}$$

Uzmimo da je aktivitet iona H^+ jednak 0,1 (pH = 1) i da su brojčane vrijednosti analitičkih koncentracija iona u otopini jednake njihovim aktivitetima. Tad za elektrodni potencijal platine dobivamo:

$$E(\text{MnO}_4^- | \text{Mn}^{2+}) = 1,507 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{5} \lg \frac{0,1 \times (0,1)^8}{0,01} = 1,507 \text{ V} - 0,083 \text{ V} = 1,424 \text{ V}$$

II. polučlanak

Pt | $c(\text{Fe}^{2+}) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{Fe}^{3+}) = 0,001 \text{ mol dm}^{-3}$ ||

Iz tablice elektrodnih potencijala možemo pročitati:



Primjenimo Nernstovu jednadžbu pa dobivamo

$$E(\text{Fe}^{3+} | \text{Fe}^{2+}) = 0,771 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{1} \times \lg \frac{a(\text{Fe}^{3+})}{a(\text{Fe}^{2+})}$$

Uzmimo da su brojčane vrijednosti analitičkih koncentracija iona u otopini jednake njihovim aktivitetima. Tad za elektrodni potencijal polučlanka dobivamo:

$$E(\text{Fe}^{3+} | \text{Fe}^{2+}) = 0,771 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{1} \times \lg \frac{0,001}{0,1} = 0,771 \text{ V} - 0,118 \text{ V} = 0,653 \text{ V}$$

E_{MF} članka

$$E_{MF} = E_K - E_A = 1,424 \text{ V} - 0,653 \text{ V} = \mathbf{0,771 \text{ V}}$$

Ioni Fe^{2+} se oksidiraju

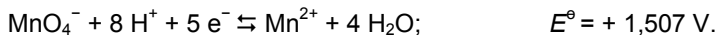
11.72. Vidi STEHIOMETRIJA

Potrebno je odrediti elektrodni potencijal svakog polučlanka zasebno. Razlika njihovih potencijala jednaka je E_{MF} članka.

I. polučlanak

Pt | $c(\text{MnO}_4^-) = 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$, $c(\text{Mn}^{2+}) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$, pH = 0 ||

Iz tablice elektrodnih potencijala možemo pročitati:



Primjenimo Nernstovu jednadžbu pa dobivamo:

$$E(\text{MnO}_4^- | \text{Mn}^{2+}) = 1,507 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{5} \lg \frac{a(\text{MnO}_4^-) \times (a(\text{H}^+))^8}{a(\text{Mn}^{2+})}$$

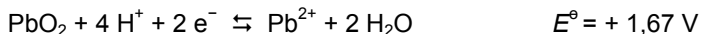
Uzmimo da je aktivitet iona H^+ jednak 1 (pH = 0) i da su brojčane vrijednosti analitičkih koncentracija iona u otopini jednake njihovim aktivitetima. Tad za elektrodni potencijal platine dobivamo:

$$E(\text{MnO}_4^- | \text{Mn}^{2+}) = 1,507 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{5} \lg \frac{0,01 \times (1)^8}{0,1} = 1,507 \text{ V} - 0,012 \text{ V} = 1,495 \text{ V}$$

II. polučlanak

Pt | PbO_2 | $c(\text{Pb}^{2+}) = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$, pH = 0 ||

Iz tablice elektrodnih potencijala možemo pročitati:



Primjenimo Nernstovu jednadžbu pa dobivamo:

$$E(\text{PbO}_2 | \text{Pb}^{2+}) = 1,67 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \lg \frac{a(\text{PbO}_2) \times (a(\text{H}^+))^4}{a(\text{Pb}^{2+})}$$

Uzmimo da je aktivitet iona H^+ jednak 1 (pH = 0) i da su brojčane vrijednosti analitičkih koncentracija iona u otopini jednake njihovim aktivitetima. Tad za elektrodni potencijal platine dobivamo:

$$E(\text{PbO}_2 | \text{Pb}^{2+}) = 1,67 \text{ V} + \frac{0,0592 \text{ V}}{2} \lg \frac{1}{0,1} = 1,67 \text{ V} + 0,0296 \text{ V} = 1,70 \text{ V}$$

E_{MF} članka

$$E_{MF} = E_K - E_A = 1,70 \text{ V} - 1,495 \text{ V} = \mathbf{0,205 \text{ V}}$$

Ioni Mn^{2+} se oksidiraju u MnO_4^- .

(Dokazivanje mangna zagrijavanjem otopine Mn^{2+} s minijem i dušičnom kiselinom. Ako je mangan prisutan pojavljuje se ljubičasta boja svojstvena permanganatnim ionima.)