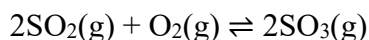


1. Во една голема индустриска фабрика, инженерите работат на оптимизација на производството на сулфурна киселина, една од најважните хемикалии во светот. Клучен чекор во овој процес (познат како контактен процес) е претворањето на сулфур диоксид во сулфур триоксид, а реакцијата се изведува на температура од 1100 K.



Во реакторот се контролираат температурата и притисокот, бидејќи дури и мали промени можат да влијаат значително на приносот.

A. Во затворен реакциски сад со волумен од 2,00 dm³ се внесуваат 0,120 mol SO₂ и 0,120 mol O₂. Системот се загрева на 1100 K и се остава да достигне состојба на рамнотежа. По воспоставување на рамнотежата, количеството на SO₃(g) во реакторот е 0,060 mol.

- i. Да се напише изразот за пресметување на константата на рамнотежа (K_c) за реакција опишана со равенката дадена погоре.

Решение:

$$K_c = \frac{c^2(\text{SO}_3)}{c^2(\text{SO}_2) \cdot c(\text{O}_2)}$$

(1)

- ii. Да се пресмета концентрацијата на O₂(g) по воспоставување на рамнотежата.

Решение:

SO ₂			
O ₂			
SO ₃			

Според добиеното количество на продуктот може да се определи x

$$2x = 0,060 \text{ mol} \rightarrow x = 0,030 \text{ mol} \quad (1)$$

$$n(\text{O}_2) = 0,120 \text{ mol} - 0,030 \text{ mol} = 0,090 \text{ mol} \quad (1)$$

$$c(\text{O}_2) = n(\text{O}_2)/V = 0,090 \text{ mol}/2 \text{ dm}^3 = 0,045 \text{ mol/dm}^3 \quad (1)$$

iii. Да се пресмета константата на рамнотежа K_c за реакција на образување на $\text{SO}_3(\text{g})$ на 1100 K.

Решение:

$$n(\text{SO}_2) = 0,120 \text{ mol} - 2x = 0,120 \text{ mol} - 0,060 \text{ mol} = 0,060 \text{ mol} \quad (1)$$

$$n(\text{SO}_3) = 0,060 \text{ mol}$$

$$\rightarrow c(\text{SO}_2) = c(\text{SO}_3) = 0,060 \text{ mol} / 2 \text{ dm}^3 = 0,030 \text{ mol/dm}^3 \quad (1)$$

$$K_c = \frac{(0,030 \text{ mol/dm}^3)^2}{(0,030 \text{ mol/dm}^3)^2 \cdot (0,045 \text{ mol/dm}^3)} = 22,2 \text{ mol}^{-1} \text{ dm}^3 \quad (1)$$

B. Стандардните енталпии на образување (формирање), $\Delta_f H^\circ$ се -297 kJ/mol за $\text{SO}_2(\text{g})$ и -395 kJ/mol за $\text{SO}_3(\text{g})$.

i. Да се пресмета реакционата енталпија ($\Delta_r H$) за реакцијата при која 2 mol од $\text{SO}_2(\text{g})$ се претвораат во 2 mol од $\text{SO}_3(\text{g})$.

Решение:

$$\Delta_r H^\circ = \sum \Delta_f H^\circ (\text{продукти}) - \sum \Delta_f H^\circ (\text{реактанти})$$

Стандардна состојба на кислород е $\text{O}_2(\text{g})$ и затоа $\Delta_f H^\circ(\text{O}_2) = 0$

$$\Delta_r H^\circ = 2 \cdot (-395 \text{ kJ/mol}) - 2 \cdot (-297 \text{ kJ/mol}) = -196 \text{ kJ/mol} \quad (2)$$

ii. Дали реакцијата е егзотермна или ендотермна?

Егзотермна (0,5)

C. Во која агрегатна состојба се наоѓа сулфур триоксид на собна температура (околу 25°C)?

- најчесто во форма на безбојна течност (0,5)
- лесно испарлива супстанца што дава бели пареи
- Во пракса често се среќава во димни (fuming) течни/аеросолни форми, бидејќи енергично реагира со влагата од воздухот.

Се признава било кој од наведените одговори.

D. Да се објаснат чекорите на добивање на сулфурна киселина од сулфидна руда (пирит, FeS_2) или сулфур. Дали во некој чекор е потребно да се користи катализатор? (Ако да, да се наведе во кој чекор).

I. Добивање на сулфур диоксид (SO_2)

\rightarrow со согорување на сулфур или сулфидни руди: $\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$ (0,5)

II. Оксидација на SO₂ во SO₃ (клучен чекор)

→ $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$, → овој чекор бара катализатор: ванадиум(V) оксид (V₂O₅) (1)

III. Апсорпција на SO₃ и формирање на H₂SO₄

→ Добивање на олеум: SO₃ не се додава директно во вода (затоа што реагира бурно), туку: $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ (олеум) (0,5)

IV. Растворање на олеумот во вода

→ Потоа: $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4$ (0,5)

Одговорите не е неопходно да бидат поткрепени со равенки, доволно е процесот да биде опишан текстуално.

Е. Да се наведат три примени на сулфурната киселина.

Добивање на други киселини (HCl, HNO₃, HF), добивање соли, производство на ѓубрива, електролит во оловни акумулатори, производство на детергенти, бои, експлозивни и лекови.

(1,5)

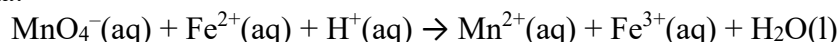
2. Содржината на железо во примерок од таблети кои се користат како додаток на исхрана е определена со помош на оксидациско-редукциска титрација.

Според декларацијата на производителот, секоја таблета содржи 320 mg железо(II) сулфат. За проверка на декларираната вредност, некој студент ја измерил масата на 5 таблети (10,2567 g), а потоа ги спрашил таблетите со цел да обезбеди колку што може похомоген примерок.

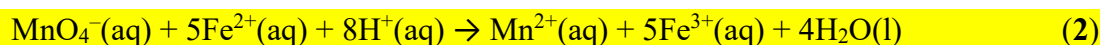
Од хомогенизираниот примерок прецизно измерил 1,0568 g и квантитативно го префрлил во ерленмаер. Додал определено количество сулфурна киселина за да се раствори таблетата. Смесата ја исфилтрирал и филтратот го собрал во тиквичка од 100,0 cm³, која потоа ја дополнил до марката со дестилирана вода.

Потоа со помош на мешеста пипета испипетираше 20,00 cm³ од растворот кој содржел железо во ерленмаер, додал сулфурна киселина (титрацијата се случува во силно кисела средина) и започнал да титрира со стандарден раствор од KMnO₄ со концентрација 0,00175 mol/dm³, се до појава на бледорозово обојување, што означувало дека анализот (растворот од Fe²⁺) и титрантот (раствор KMnO₄) изреагирале стехиометриски помеѓу себе (момент кој се означува како еквивалентна точка). За постигнување на еквивалентната точка потрошил 25,50 cm³ од растворот од KMnO₄.

Реакцијата помеѓу анализот и титрантот во кисела средина може да се прикаже со следната равенка:



- A. Да се израмни оксидациско-редукциската равенка со редокс шема.



- B. Да се подвлече точниот поим:

Fe²⁺ е оксиданс/редуктор, а процесот на оддавање електрони е оксидација/редукција.

Редуктор/оксидација (1)

- C. Да се пресмета масата на FeSO₄ ($M = 151,91 \text{ g/mol}$) во пробата. Резултатот да се изрази како маса во mg (FeSO₄) / 1 таблета и добиената вредност да се спореди со декларираната вредност од 320 mg. $M(\text{FeSO}_4) = 151,91 \text{ g/mol}$, $M(\text{Fe}) = 55,85 \text{ g/mol}$.

Решение:

$$m(5 \text{ таблети}) = 10,2567 \text{ g}$$

$$m(1 \text{ таблета}) = 2,05134 \text{ g}$$

$$m(\text{проба}) = 1,0568 \text{ g}$$

$$V_0(\text{проба}) = 100,0 \text{ cm}^3$$

$$V_1(\text{проба}) = 20,00 \text{ cm}^3$$

$$V(\text{KMnO}_4) = 25,50 \text{ cm}^3 = 0,02550 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{KMnO}_4) = 0,00175 \text{ mol/dm}^3$$

$$n(\text{Fe}^{2+}) = 5 \cdot n(\text{KMnO}_4) = 5 \cdot c(\text{KMnO}_4) \cdot V(\text{KMnO}_4) = 5 \cdot 0,00175 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,02550 \text{ dm}^3 = 0,000223125 \text{ mol} \rightarrow \text{во } 20,00 \text{ cm}^3 \quad (1)$$

$$n(\text{Fe}^{2+}) = 5 \cdot 0,000223125 \text{ mol} = 0,001115625 \text{ mol} \rightarrow \text{во } 100,00 \text{ cm}^3 \quad (1)$$

$$n(\text{FeSO}_4) = n(\text{Fe}^{2+})$$

$$m(\text{FeSO}_4) = n(\text{FeSO}_4) \cdot M(\text{FeSO}_4) = 0,001115625 \text{ mol} \cdot 151,91 \text{ g/mol} = 0,169474 \text{ g}$$
$$m(\text{FeSO}_4) = 169,47 \text{ mg} \rightarrow \text{во } 1,0568 \text{ g проба} \quad (1)$$

$$m(\text{FeSO}_4)_{1 \text{ таблета}} = 169,47 \text{ mg} \cdot \frac{m(1 \text{ таблета})}{m(\text{проба})} = 169,47 \text{ mg} \cdot \frac{2,05134 \text{ g}}{1,0568 \text{ g}} = 0,32896 \text{ g}$$

$$m(\text{FeSO}_4) = 328,96 \text{ mg} = 329 \text{ mg во } 1 \text{ таблета} \quad (1)$$

3. При реакции на киселини и бази, во зависност од нивната јачина, концентрација и стехиометрискиот сооднос, може да се добијат раствори со различни рН-вредности. При овие реакции промената на рН често е придружена и со ослободување на топлината.

Во прехранбената и фармацевтската индустријата, при производството на соли, познавањето на промената на енталпијата за време на реакцијата е клучно за избор на соодветен тип на реактор, контрола на температурата, спречување на прегревање и обезбедување безбедност на процесот. За да се утврди каков тип на реактор е најсоодветен за производство на калиум хлорид (KCl) со постапка на неутрализација, изведен е калориметриски експеримент во полистиренска чаша (која може да се смета за калориметар со занемарлив топлински капацитет).

Во чашата се ставаат $100,0 \text{ cm}^3$ раствор на KOH со концентрација $1,00 \text{ mol/dm}^3$ (почетна температура на растворот е $19,7 \text{ }^\circ\text{C}$). Потоа се додаваат $120,0 \text{ cm}^3$ раствор на HCl со концентрација $1,00 \text{ mol/dm}^3$ (при иста почетна температура $19,7 \text{ }^\circ\text{C}$). Киселината е додадена во мал вишок за да се осигура целосна реакција на базата. По брзо мешање, максималната температура на смесата достигнува $25,9 \text{ }^\circ\text{C}$.

Со оглед на тоа дека станува збор за разредени раствори, да се смета дека густината на почетните раствори и на реакционата смеса е $1,00 \text{ g/cm}^3$, а специфичниот топлински капацитет на смесата да се смета дека е $4,18 \text{ J g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (ист како за чистата вода).

- A. Да се пресмета количеството на топлина кое се ослободило при реакцијата на неутрализација.

Решение:

$$t_1 = 19,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 25,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$V(\text{растворот по мешање}) = 220 \text{ mL}$$

$$\rho = 1,00 \text{ g/cm}^3$$

$$m(\text{раствор}) = 220 \text{ g}$$

$$q = m \cdot c_s \cdot \Delta t = 220 \text{ g} \cdot 4,18 \text{ J g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot (25,9 \text{ }^\circ\text{C} - 19,7 \text{ }^\circ\text{C}) = 5701 \text{ J} = 5,70 \text{ kJ}$$

Ова количество топлина се ослободува, реакцијата е егзотермна. $q = -5,70 \text{ kJ}$ (2)

Ако не е напишан знакот – се одземаат 0,5 поени

- B. Да запише равенката за реакцијата и да се пресмета енталпијата ($\Delta_n H$) на неутрализација. При пресметката, да се земе предвид само топлинскиот капацитет на растворот (да се занемарат топлинските капацитети на чашата и термометарот).

Решение:

Прво треба да се пресмета количеството на вода што се образувало.



$$n_0(\text{KOH}) = c(\text{KOH}) \cdot V(\text{KOH}) = 1,00 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,100 \text{ dm}^3 = 0,100 \text{ mol} \quad (0,5)$$



ТЕОРЕТСКИ ПРОБЛЕМИ

$$n_0(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = 1,00 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,120 \text{ dm}^3 = 0,120 \text{ mol} \quad (0,5)$$

Количеството на вода се определува врз база на оној реактант кој е лимитирчки реагенс, а тоа е КОН. Што значи дека ќе се формираат 0,100 mol вода.

(0,5)

$$\Delta_r H = \frac{q}{n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{-5,70 \text{ kJ}}{0,1 \text{ mol}} = -57,0 \text{ kJ/mol}$$

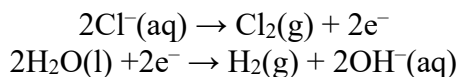
(2)

С. Ако во истиот експеримент наместо силна киселина (HCl) се употреби слаба киселина (на пр. CH₃COOH) со иста концентрација и волумен, дали се очекува промената на температурата (ΔT) да биде **поголема**, **помала** или **еднаква**? Да се објасни одговорот.

Ослободената топлина ќе биде помала, бидејќи слабата киселина е само делумно дисоцирана и дел од топлината се троши за дисоцијација/јонизација (2)

4. Во мала пилот-постројка за производство на алкалии, инженерите тестираат нов процес за добивање на базни раствори со електролиза. Наместо чиста супстанца од NaCl, поради поевтина суровина се користи техничка сол која содржи смеса од NaCl и KCl со масени удели од 70 % за NaCl и 30 % KCl.

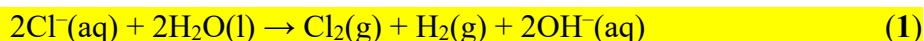
За изведување на експериментот некој аналитичар подготвил 500,0 cm³ раствор со растворање на 5,85 g од смесата во дестилирана вода. Вака добиениот раствор бил подложен на процес на електролиза, при што настануваат следните полуреакции:



- A. На која електрода (катода или анода) се издвојува Cl₂, а на која OH⁻?

Cl₂ се издвојува на анода, а OH⁻ јоните на катода. (1)

- B. Да се запише равенката која ја опишува сумарната реакција што се случува за време на процесот на електролиза.



- C. Да се пресметаат количества на NaCl ($M = 58,5 \text{ g/mol}$) и KCl ($M = 74,5 \text{ g/mol}$) во почетниот раствор, како и вкупното количество на Cl⁻ јоните.

Решение:

Вкупна маса смеса = 5,85 g

- 70,0% NaCl
- 30,0% KCl
- $V = 500,0 \text{ mL} = 0,500 \text{ dm}^3$

$$\begin{aligned}w(\text{NaCl}) &= 70 \% \\ \rightarrow m(\text{NaCl}) &= 0,70 \times 5,85 = 4,095 \text{ g} \quad (0,5)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}w(\text{KCl}) &= 30 \% \\ \rightarrow m(\text{KCl}) &= 0,30 \times 5,85 = 1,755 \text{ g} \quad (0,5)\end{aligned}$$

$$n(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{4,095 \text{ g}}{58,5 \text{ g/mol}} = 0,070 \text{ mol} \quad (1)$$

$$n(\text{KCl}) = \frac{m(\text{KCl})}{M(\text{KCl})} = \frac{1,755 \text{ g}}{74,5 \text{ g/mol}} = 0,0236 \text{ mol} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}n(\text{Cl}^{-})_{\text{вкупно}} &= n(\text{Cl}^{-})_{\text{NaCl}} + n(\text{Cl}^{-})_{\text{KCl}} = n(\text{NaCl}) + n(\text{KCl}) = 0,070 \text{ mol} + 0,0236 \text{ mol} \\ &= 0,0936 \text{ mol} \quad (1)\end{aligned}$$

- D. Да се пресмета количеството на OH⁻ што се создало при електролизата и да се пресмета pH на добиениот раствор.



ТЕОРЕТСКИ ПРОБЛЕМИ

Решение:

Според равенката за реакцијата на електролиза може да се заклучи дека:

$$n(\text{OH}^-)_{\text{вкупно}} = n(\text{Cl}^-)_{\text{вкупно}} = 0,09356 \text{ mol}$$

$$c(\text{OH}^-) = \frac{n(\text{OH}^-)_{\text{вкупно}}}{V_{\text{p-p}}} = \frac{0,0936 \text{ mol}}{0,500 \text{ dm}^3} = 0,1872 \text{ mol/dm}^3$$

(1)

$$\text{pOH} = -\log \{c(\text{OH}^-)\} = -\log (0,1872) = 0,73$$

(1)

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 0,73 = 13,27$$

(1)

Е. Да се предвиди каква ќе биде рН-вредноста на растворот добиен со мешање на **еквимоларни количества** (т.е. точно стехиометриски сооднос) од следниве парови (одговори со > 7 , $= 7$ или < 7):

- i. NaOH и CH₃COOH, рН > 7
- ii. KOH и HBr, рН = 7
- iii. NH₄OH и HCl, рН < 7
- iv. Ba(OH)₂ и HCl, рН = 7

(4×0,5=2)

„Од ред на реактивност до заштита од корозија“

Група студенти имаат задача да ја утврдат релативна реактивност на неколку метали и да предложат начин за заштита на железо од корозија.

Во лабораторија се испитуваат својствата на металите: Mg, Zn, Pb, Cu. Студентите ги изведуваат следните експерименти:

Експеримент	Метал	Раствор	Набљудување
I	Zn	бакар(II) сулфат	Се појавува кафеав слој, сината боја избледува
II	Zn	олово(II) нитрат	Се формира сив слој
III	Cu	олово(II) нитрат	Нема реакција
IV	Zn	магнезиум нитрат	Нема реакција

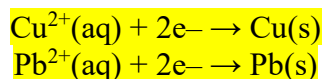
A. Да се напише јонската равенка на реакцијата која се случува во експериментот I. Кој метал/јон се оксидира, а кој се редуцира?



Cu^{2+} се редуцира, а Zn се оксидира (1)

B. Што значи појавата на метален слој во експериментите I и II? Да се напишат полурациите кои ја опишуваат оваа појава.

Cu^{2+} и Pb^{2+} јоните примаат електрони и се редуцираат до елементарен Cu и Pb, кои се таложат (депонираат) како метален слој или редукцијата на јоните доведува до таложење на металот.



(1,5)

C. Што може да се заклучи од експериментот III за реактивноста на Cu и Pb? Кој е посилен редуктор?

Од експериментот III заклучуваме дека Pb е поактивен од Cu, односно Pb е посилен редуктор од Cu. Затоа Cu не може да го истисне Pb од неговата сол.

Pb е посилен редуктор од Cu, и затоа Cu не може да го истисне од неговата сол. (1)

D. Да се подредат металите од најреактивен (најсилен редуктор), кон најмалку реактивен.

_____ > _____ > _____ > _____

$\text{Mg} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu}$ (2)

E. Студентите сакаат да направат галванска ќелија со Zn и Cu.

i. Кој метал ќе биде анода?

Zn

ii. Кој ќе биде катода?

Cu

iii. Во кој правец ќе течат електроните?

Од Zn кон Cu или од анода кон катода

(1,5)

F. Железна конструкција (Fe) треба да се заштити од корозија.

i. Кој метал би го избрал за заштита: Mg, Zn или Cu и зошто?

Zn (или Mg) (1)

И Mg и Zn се пореактивни од Fe и можат да го заштитат преку катодна заштита. Меѓутоа, Mg е многу пореактивен и реагира многу брзо со вода/влага, па често се троши неприфатливо бргу.

Zn е стандарден избор за заштита на железо (поцинкување/галванизација), бидејќи има оптимална реактивност – доволно е активен да го заштити Fe, но не се троши прекумерно бргу.

ii. Дали железото ќе биде катода или анода?

Катода (0,5)

iii. На кој начин се разликува заштитата од корозија на железо со Zn во однос на Cr.

Цинкот самиот се оксидира и на тој начин ја спречува корозијата, додека хромот формира пасивен заштитен оксиден слој (Cr_2O_3) кој ја спречува понатамошната корозија (1)