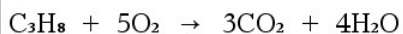


Tehtävä 1

Laske sidosenergioiden avulla propaanin palamisreaktion reaktiolämpö. Pyöristä tulos kahden merkitsevän numeron tarkkuuteen.

Ratkaisu:

Tasapainotettu reaktioyhtälö:



Lähtöaineiden sidokset: Sitoutuva energiamäärä:

$$2 \cdot 1\text{mol } \text{C}-\text{C} \qquad 2\text{mol} \cdot 348\text{kJ/mol} = 696 \text{ kJ}$$

$$8 \cdot 1\text{mol } \text{H}-\text{C} \qquad 8\text{mol} \cdot 412\text{kJ/mol} = 3296 \text{ kJ}$$

$$1 \cdot 5\text{mol } \text{O}=\text{O} \qquad 5\text{mol} \cdot 496\text{kJ/mol} = 2480 \text{ kJ}$$

$$\text{yhteensä} \qquad 6472 \text{ kJ}$$

Reaktiotuotteiden sidokset: Vapautuva energiamäärä:

$$2 \cdot 3\text{mol } \text{C}=\text{O} \qquad -6\text{mol} \cdot 743\text{kJ/mol} = -4458 \text{ kJ}$$

$$2 \cdot 4\text{mol } \text{H}-\text{O} \qquad -8\text{mol} \cdot 463\text{kJ/mol} = -3704 \text{ kJ}$$

$$\text{yhteensä} \qquad -8162 \text{ kJ}$$

Lasketaan yhteen sitoutuva ja vapautuva energiamäärä, jolloin saadaan selville reaktiolämpö:

$$\Delta H = 6472\text{kJ} - 8162\text{kJ} = -1690 \text{ kJ} \approx -1700 \text{ kJ}$$

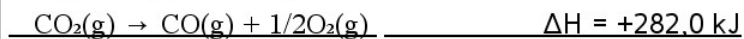
Vastaus: Reaktiolämpö on -1700 kJ

Tehtävä 2

Laske reaktion $C(s) + 1/2 O_2(g) \rightarrow CO(g)$ reaktiolämpö, kun tunnetaan seuraavat entalpiamuutokset:



Ratkaisu: Sovelletaan Hessin lakia. Käännetään jälkimmäinen reaktio ympäri, jolloin entalpiamuutoksen etumerkki muuttuu:



Vastaus: $\Delta H = -111,5 \text{ kJ}$

Tehtävä 3

Kun sekoitetaan keskenään hopea- ja kloridi-ioneja sisältävät vesiliuokset, tapahtuu saostumisreaktio $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$ $\Delta H = -65,5 \text{ kJ}$

Laske entalpiamuutos, kun 7,00 g hopeakloridia liukenee veteen. Jäähtyykö vai lämpeneekö liuos liukenemisen aikana?

Ratkaisu: Hopeakloridin liukenemista kuvaa käänteinen reaktio $AgCl(s) \rightarrow Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$, jolloin $\Delta H = +65,5 \text{ kJ}$. Koska $\Delta H > 0$, kyseessä on endoterminen reaktio, joka vaatii energiaa. Tämän energia otetaan ympäristöstä, jolloin liuoksen lämpötila pienenee, eli liuos jäähtyy.

Hopeakloridin ainemäärä:

$$n(AgCl) = \frac{m(AgCl)}{M(AgCl)} = \frac{7,00 \text{ g}}{(107,87 + 35,45) \text{ g/mol}} = 0,048842 \text{ mol}$$

Entalpiaero on annettu yhden moolin liukenemista kohden, joten nyt

$$\Delta H = 0,048842 \text{ mol} \cdot 65,5 \text{ kJ/mol} = 3,1991 \dots \text{ kJ} \approx 3,20 \text{ kJ}$$

Vastaus: $\Delta H = 3,20 \text{ kJ}$, liuos jäähtyy

Tehtävä 4

Avaruussukkuloiden polttoaineena voidaan hyödyntää kiinteän alumiinin ja ammoniumperkloraaatin seosta. Polttoainesäiliössä tapahtuu reaktio

$3\text{Al} + 3\text{NH}_4\text{ClO}_4 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{AlCl}_3 + 3\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$. Laske reaktiolämpö, kun 2,5 kg alumiinia reagoi (ammoniumperkloraaattia on ylimäärin). Eri aineiden muodostumislämmöt ovat:

$$\Delta H_f(\text{NH}_4\text{ClO}_4) = -358 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f(\text{Al}_2\text{O}_3) = -1670 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f(\text{AlCl}_3) = -706 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f(\text{NO}) = +90 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f(\text{H}_2\text{O}) = -286 \text{ kJ/mol}$$

Ratkaisu: Reaktiolämpö muodostumislämpöjen avulla annetulle reaktioyhtälölle:

$$\begin{aligned}\Delta H &= \sum \Delta H_f(\text{reaktiotuotteet}) - \sum \Delta H_f(\text{lähtöaineet}) \\ &= (\Delta H_f(\text{Al}_2\text{O}_3) + \Delta H_f(\text{AlCl}_3) + 3 \cdot \Delta H_f(\text{NO}) + 6 \cdot \Delta H_f(\text{H}_2\text{O})) - (3 \cdot \Delta H_f(\text{Al}) + 3 \cdot \Delta H_f(\text{NH}_4\text{ClO}_4)) \\ &= (-1670 \text{ kJ} - 706 \text{ kJ} + 3 \cdot 90 \text{ kJ} + 6 \cdot (-286 \text{ kJ})) - (3 \cdot 0 \text{ kJ} + 3 \cdot (-358 \text{ kJ})) \\ &= -2748 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Alumiinin ainemäärä:

$$n(\text{Al}) = \frac{m(\text{Al})}{M(\text{Al})} = \frac{2500 \text{ g}}{26,98 \text{ g/mol}} = 92,6612 \text{ mol}$$

Reaktiolämpö on kolmea alumiinimoolia kohden, joten nyt

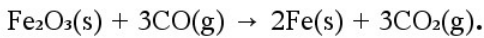
$$Q = \frac{92,6612 \text{ mol}}{3 \text{ mol}} \cdot (-2748 \text{ kJ}) = -84877,7 \text{ kJ} \approx -85 \text{ MJ}$$

Vastaus: -85 MJ

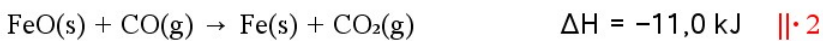
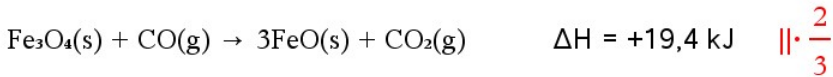
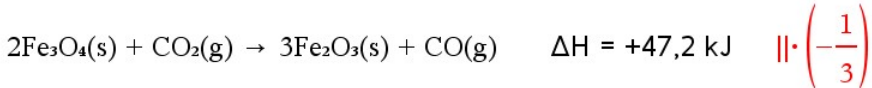
Tehtävä 5

Teollisuudessa raudan puhdistus tehdään rautamalmeja kemiallisesti pelkistämällä.

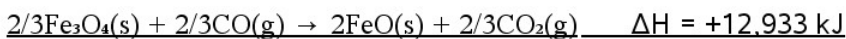
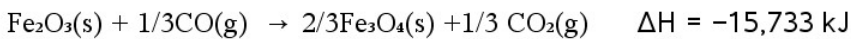
Rauta(III)oksidista eli hematitista rautaa pelkistetään reaktiolla



Laske tämän reaktion reaktiolämpö, kun tunnetaan seuraavat reaktiot:



Ratkaisu: Sovelletaan Hessin lakia:



Vastaus: $\Delta H = -24,8 \text{ kJ}$

Tehtävä 6

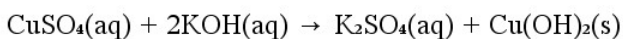
Opiskelija mittasi kalorimetriin 50,0 ml CuSO_4 -liuosta, jonka konsentraatio oli $1,00 \text{ mol/dm}^3$ ja 75,0 ml KOH -liuosta, jonka konsentraatio oli $2,00 \text{ mol/dm}^3$. Molempien liuosten lämpötila oli $21,5^\circ\text{C}$. Reaktion aikana liuoksen lämpötila nousi $27,7^\circ\text{C}$:een. Avattuaan kalorimetrin opiskelija huomasi, että sen pohjalle oli muodostunut kiinteää ainetta.

a) Päättelä, mitä muodostunut kiinteä aine oli ja kirjoita kalorimetrissä tapahtuneen reaktion reaktioyhtälö.

b) Ratkaise reaktion entalpiamuutos, kun kiinteää ainetta muodostuu yksi mooli.

Ratkaisu:

a) Pohjalle syntyy todennäköisesti jotain niukkaliukoista suolaa. Vaihtoehtoina ovat kupari(II)hydroksidi ja kaliumsulfaatti. Koska kaliumsulfaatti on Maolin taulukon mukaan veteen helposti liukeneva, suola on todennäköisesti kupari(II)hydroksidia.



b) Kuparisulfaatin ainemäärä:

$$c = \frac{n}{V} \Rightarrow n(\text{CuSO}_4) = c(\text{CuSO}_4) \cdot V_1 = 1,00 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,05 \text{ dm}^3 = 0,05 \text{ mol}$$

Kaliumhydroksidin ainemäärä:

$$n(\text{KOH}) = c(\text{KOH}) \cdot V_2 = 2,00 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,075 \text{ dm}^3 = 0,15 \text{ mol}$$

Reaktioyhtälön kertoimista nähdään, että kaliumhydroksidia tulee olla kaksinkertainen määrä kuparisulfaattiin nähden. Nyt kaliumhydroksidia on kolminkertainen määrä, joten kuparisulfaatti on reaktion rajoittavana tekijänä.

Reaktiossa vapautunut lämpö lämmittää liuosta. Liuoksen massa on likimain saman vesimäärän massa $((0,05 \text{ l} + 0,075 \text{ l}) \cdot 1,00 \text{ kg/l} = 0,125 \text{ kg})$ ja ominaislämpökapasiteetti on likimain veden ominaislämpökapasiteetti $(4,19 \text{ kJ/(kgK)})$. Tuoksen lämpenemiseen kuluva energia

$$Q = cm\Delta T = 4,19 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{C)} \cdot 0,125 \text{ kg} \cdot (27,7 - 21,5)^\circ\text{C} = 3,24725 \text{ kJ}$$

Reaktioyhtälön kertoimien perusteella kuparihydroksidia syntyy yhtä suuri ainemäärä kuin kuparisulfaattia on, joten vapautuva energia moolia kohti on

$$\Delta H = \frac{-Q}{n(\text{Cu}(\text{OH})_2)} = \frac{-3,24725 \text{ kJ}}{0,05 \text{ mol}} = -64,9 \text{ kJ/mol}$$

Vastaus: -64,9 kJ/mol