

1. Převod elektrické energie na tepelnou

Varná konvice má příkon 1700 W. Za jak dlouho se přivede k varu litr vody 15 °C teplé? Specifická tepelná kapacita vody je 4.2 J K⁻¹ g⁻¹.

⌘ ⑆ ⑆

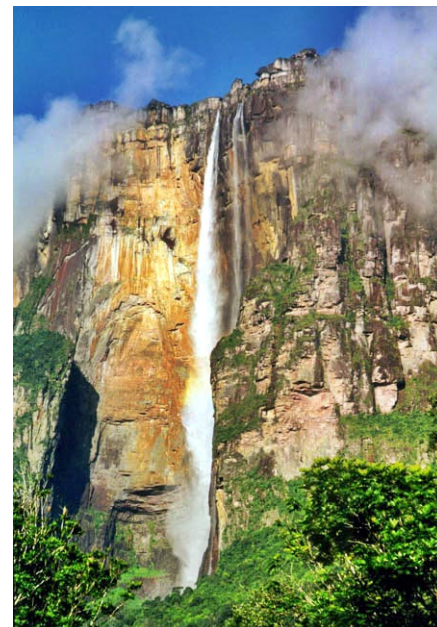
$$\begin{aligned} \Delta T &= (100 \text{ }^\circ\text{C}) - (15 \text{ }^\circ\text{C}) = 85 \text{ K} \\ C_{\text{sp}} &= 4.2 [\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}] = 4200 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1} \\ \text{to } \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} &= 4.2 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \\ m &= 1 [\text{kg}] = 1 \text{ kg} \\ Q &= C_{\text{sp}} \cdot \Delta T \cdot m = 3.57 \text{e}+05 \text{ J} \\ t &= Q / 1700 [\text{W}] = 210 \text{ s} \\ \text{to min} &= 3.5 \text{ min} \end{aligned}$$

2. +Převod mechanické energie na tepelnou

Nejvyšší vodopád světa, Salto Angel ve Venezuele, je vysoký 979 m. O kolik se voda pádem ohřeje?

⌘ ⑆ ⑆

$$\begin{aligned} H &= 979 [\text{m}] = 979 \text{ m} \\ g &= 9.807 \text{ m s}^{-2} \\ E &= H \cdot g = 9601 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ na jednotkovou hmotnost vody} \\ \text{to kJ/kg} &= 9.601 \text{ kJ/kg} \\ C_{\text{sp}} &= 4.2 \text{e}3 [\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}] = 4.2 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \\ \Delta T &= E / C_{\text{sp}} = 2.286 \text{ K} \end{aligned}$$



Přepočítání reakční U a H : $\Delta_r H_m^\ominus = \Delta_r U_m^\ominus + \Delta_r \nu^{(g)} RT$

3. Kalorimetrie, přepočítání reakční U a H

Vzorek kapalného acetonu ($M = 58.08 \text{ g/mol}$) vážící 0.586 g byl spálen v kalorimetrické bombě. Tepelná kapacita kalorimetrické bomby včetně vzorku činila 5640 J/K. Při pokusu bylo zaznamenáno zvýšení teploty z 22.87 °C na 24.56 °C. Určete standardní spalnou vnitřní energii a entalpii.

$$\Delta_{\text{sp}} U_m^\ominus = -947.2 \text{ kJ mol}^{-1}, \Delta_{\text{sp}} H_m^\ominus = -947.2 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\begin{aligned} m &= 0.586 [\text{g}] = 0.000586 \text{ kg} \\ M &= 58.08 [\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}] = 58.08 \text{ g mol}^{-1} \\ C &= 5640 [\text{J} \cdot \text{K}^{-1}] = 5640 \text{ J K}^{-1} \\ \Delta t &= (24.56 \text{ }^\circ\text{C}) - (22.87 \text{ }^\circ\text{C}) = 1.69 \text{ K} \\ Q &= -C \cdot \Delta t = -9532 \text{ J} \\ n &= m / M = 0.01009 \text{ mol} \\ \Delta U_m &= Q / n = -9.447 \text{e}+05 \text{ J mol}^{-1} \\ \text{CH}_3\text{COCH}_3(\text{l}) + 4 \text{ O}_2(\text{g}) &\rightarrow 3 \text{ CO}_2(\text{g}) + 3 \text{ H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta_r \nu^{(g)} = -1 \\ \Delta n_{\text{u}} &= -1 = -1 \\ T &= 298.15 [\text{K}] = 298.1 \text{ K} \\ \Delta H_m &= \Delta U_m + \Delta n_{\text{u}} \cdot R \cdot T = -9.472 \text{e}+05 \text{ J mol}^{-1} \\ \text{to kJ} \cdot \text{mol}^{-1} &= -947.2 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

$$\text{Hessův zákon: } \Delta_r H_m^\ominus = \sum_{i=1}^k \nu_i \Delta_{\text{sl}} H_{mi}^\ominus, \quad \Delta_r H_m^\ominus = - \sum_{i=1}^k \nu_i \Delta_{\text{spal}} H_{mi}^\ominus \quad (\nu_i \text{ zde jsou jiné!})$$

4. Hessův zákon – spalné entalpie

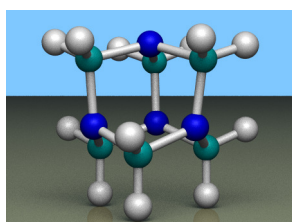
Vypočítejte standardní slučovací enthalpii ethylenu na základě následujících standardních spalných enthalpií:

látka	C ₂ H ₄ (g)	H ₂ (g)	C(s)
$\Delta_{\text{sp}} H_m^\ominus / (\text{kJ mol}^{-1})$	-1411.0	-285.8	-393.5

52.4 kJ mol⁻¹



$$\text{DH}_{\text{sl}} = 2 \cdot (-393.5) + 2 \cdot (-285.8) - (-1411.0) = 52.4 \text{ v kJ mol}^{-1}$$



5. + Spalná entalpie

Kolik vody ohřejete k varu (z 20 °C) jednou kostkou suchého lihu (hexamethylenetetramin, C₆H₁₂N₄) o hmotnosti 5g? Ztráty (zahrnující i to, že zplohdiny reakce vč. nadbytku vzduchu mají vyšší teplotu než 25 °C) činí asi 30 %. Data (25 °C): $\Delta_{\text{spal}} H^\ominus(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4) = -4200 \text{ kJ mol}^{-1}$, $\Delta_{\text{vyp}}(\text{H}_2\text{O}) = 44 \text{ kJ mol}^{-1}$. $C_{\text{psp}}(\text{H}_2\text{O}) = 4.2 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$

300 g vody



$$\text{DspH20l} = -4200 [\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}] = -4200 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\text{DspH20g} = \text{DspH20l} + 6 \cdot 44 [\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}] = -3936 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\text{Dspsp} = \text{DspH20g} / M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4) = -2.808 \text{e}+04 \text{ kJ/kg}$$

$$m = 5 [\text{g}] = 0.005 \text{ kg}$$

$$Q = -0.7 \cdot m \cdot \text{Dspsp} = 9.827 \text{e}+04 \text{ J}$$

$$C_{\text{sp}} = 4.2 [\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}] = 4.2 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$$

$$dt = 100 \text{ oC} - (20 \text{ oC}) = 80 \text{ K}$$

$$m_{\text{voda}} = Q / C_{\text{sp}} / dt = 0.2925 \text{ kg}$$

$$\text{Kirchhoffova věta: } \Delta_r H_m^\ominus(T) = \Delta_r H_m^\ominus(T_0) + \int_{T_0}^T \Delta_r C_{\text{pm}}^\ominus(T) dT$$

6. Kirchhoffova věta

Vypočítejte standardní reakční entalpii hydrogenace 1,3-butadienu (g) na butan (g) při 200 °C. Data:

látka	$\Delta_{\text{sl}} H_m^\ominus(298 \text{ K}) / (\text{kJ mol}^{-1})$	$\bar{C}_{\text{pm}} / (\text{J K}^{-1} \text{ mol}^{-1})$
1,3-butadien	110	119
butan	-126	95
vodík	0	29

-250.35 kJ mol⁻¹ ≈ -250 kJ mol⁻¹



$$\text{DH}_{298} = (-126 [\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}] - 110 [\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}]) = -236 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\text{DC}_{\text{pm}} = (95 - 119 - 2 \cdot 29) \cdot 1 [\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}] = -82 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$\text{DH} = \text{DH}_{298} + ((200 \text{ oC}) - (25 \text{ oC})) \cdot \text{DC}_{\text{pm}} = -250.3 \text{ kJ mol}^{-1}$$

7. +Kirchhoffova věta

Při syntéze anilinu hydrogenací 1 kg nitrobenzenu se stechiometrickým množstvím vodíku za teploty 250 °C se uvolnilo 2.8 MJ tepla. Vypočítejte, z kolika procent reakce proběhla. Data:

Látka	$\Delta_{sl}H_m^\circ(298\text{ K})/(\text{kJ mol}^{-1})$	$C_{pm}^\circ/(\text{J K}^{-1}\text{ mol}^{-1})$
H ₂ (g)	0	28
H ₂ O (g)	-242	33
nitrobenzen (g)	55	110
anilin (g)	101	102

% 8L



$$n=1[\text{kg}]/M(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = 8.123 \text{ mol}$$

$$Q=-2.8[\text{MJ}] = -2.8\text{e}+06 \text{ J}$$

$$\text{DHskut}=Q/n = -344.7 \text{ kJmol}^{-1}$$

$$\text{DH298}=101[\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}]+2\cdot(-242)[] - 55[] = -438 \text{ kJmol}^{-1}$$

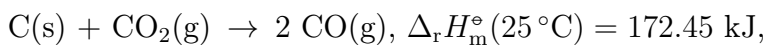
$$\text{DCp}=102[\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}]+2\cdot 33[] -110[] -3\cdot 28[] = -26 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$$

$$\text{DHteor}=\text{DH298}+\text{DCp}\cdot((250 \text{ oC})-(25 \text{ oC})) = -443.9 \text{ kJmol}^{-1}$$

$$\text{proc}=100\cdot\text{DHskut}/\text{DHteor} = 77.66 \text{ \%}$$

8. +Kirchhoffova věta

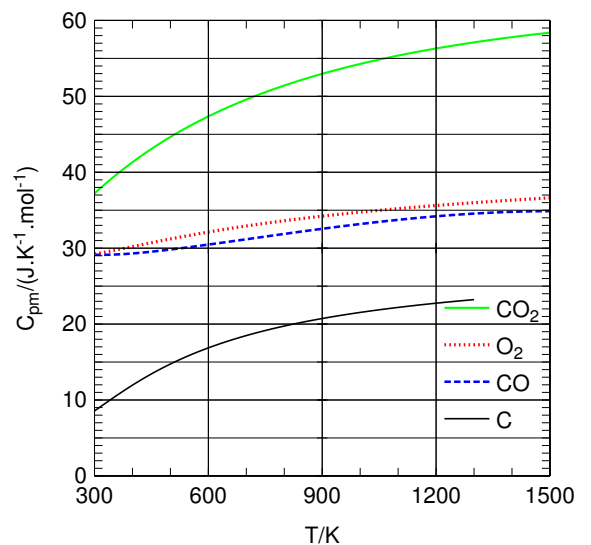
Oxid uhelnatý se vyrábí přeháněním směsi CO₂ a O₂ přes rozžhavený uhlík za normálního tlaku. Probíhají současně tyto reakce:



přičemž reaktanty mají teplotu

$T=1200[\text{K}] = 1200 \text{ K}$. Určete poměr látkového množství O₂:CO₂ tak, aby úhrnné reakční teplo bylo nulové. Střední tepelné kapacity odhadněte z grafu.

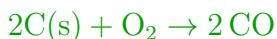
($d_{CO_2} : d_{CO} \approx 0.75$) může se lišit dle odhadu (d_{CO})



$$T_0=25 \text{ oC} = 298.1 \text{ K}$$



$$\text{DH1T298}=172.45[\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}] = 172.4 \text{ kJmol}^{-1}$$



$$\text{DH2T298}=-2\cdot 111.53[\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}] = -223.1 \text{ kJmol}^{-1}$$

$$C_{pCO_2}=50[\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}] = 50 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \text{ odhad z grafu}$$

$$C_{pO_2}=33 [\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}] = 33 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \text{ odhad z grafu}$$

$$C_{pCO}=32 [\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}] = 32 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \text{ odhad z grafu}$$

$$C_{pC}=17 [\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}] = 17 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \text{ odhad z grafu}$$

$$\text{DCp1}=2\cdot C_{pCO}-C_{pC}-C_{pCO_2} = -3 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \Delta_{r,1}C_{pm}$$

$$\text{DH1}=\text{DH1T298}+(T-T_0)\cdot\text{DCp1} = 169.7 \text{ kJmol}^{-1}$$

$$\text{DCp2}=2\cdot C_{pCO}-2\cdot C_{pC}-C_{pO_2} = -3 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \Delta_{r,2}C_{pm}$$

$$\text{DH2}=\text{DH2T298}+(T-T_0)\cdot\text{DCp2} = -225.8 \text{ kJmol}^{-1}$$

$$\text{pomer}=(\text{DH1})/\text{DH2} = 0.7519 \text{ poměr O}_2:\text{CO}_2$$

9. Entalpie integrací

Vypočítejte molární entalpii kyslíku za teploty 1000 K, je-li entalpie kyslíku za teploty 298 K rovna nule a jeho molární izobarická tepelná kapacita v závislosti na teplotě je v rozsahu 298 až 1000 K daná vzorcem (podle NIST, zjednodušeno a zaokrouhleno)

$$C_{pm}/(\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}) = 21.92 + 0.0212(T/\text{K}) - 8.49 \times 10^{-6}(T/\text{K})^2 - \frac{166900}{(T/\text{K})^2}$$

Jiné vyjádření téže závislosti:

$$C_{pm} = 21.92 + 0.0212 T - 8.49 \times 10^{-6} T^2 - 166900/T^2 \quad (\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}, \text{K})$$

22.7 kJ mol⁻¹

H=integ T=298,1000 21.92+0.0212*T-8.49e-6*T**2+166900/T**2 = 2.268e+04 J.mol-1
H/1000 = 22.68 kJ.mol-1