



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## TERMOCHEMIE

### Entalpie $H$

= Údaj o celkové ..... látky, není možné ji změřit, ale můžeme měřit ..... entalpie:  $\Delta H$

### Změna entalpie $\Delta H$

= Změna energie v reakci, k níž dochází při konstantních ....., reaktanty a produkty jsou stejné ..... (energie přijaté reakčním systémem).

$\Delta H > 0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \Rightarrow$  reakce potřebuje energii, tepelná energie je přeměněna na.....  
energií  $\Rightarrow$  *ENDOTERMICKÁ/EXOTERMICKÁ* reakce

$\Delta H < 0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \Rightarrow$  energie se při reakci uvolňuje, ..... energie je přeměněna na  
..... energií  $\Rightarrow$  *ENDOTERMICKÁ/EXOTERMICKÁ* reakce. Uvolněnou energií se  
..... teplota systému, a ta se pak opět vrátí k normálu, jak je teplo odvedeno do okolí.

### Změna standardní entalpie $\Delta H^\circ$

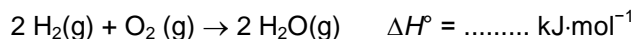
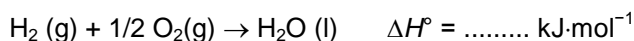
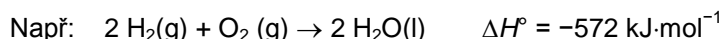
= Změna entalpie, která nastává za standardního tlaku 101 325 Pa a teploty 298 K (25°C).

1. *Klasifikujte tyto změny jako exotermické nebo endotermické:*
  - a. *Vodní pára kondenzuje v oblacích.*
  - b.  *$\text{H}_2\text{SO}_4$  se rozpouští ve vodě a teplota se zvyšuje.*
  - c. *Suchý led (pevný  $\text{CO}_2$ ) samovolně sublimuje při pokojové teplotě.*
  - d.  *$\text{NaCl}$  se smíchá s ledem v poměru 1:3 a teplota okolí poklesne na  $-20^\circ\text{C}$ .*
  - e. *Kyslík a vodík se explozivně spojí za vzniku vody.*

### Termochemická rovnováha

Rovnice shrnující všechny informace potřebné k provedení energetické studie

- Množství reaktantů a produktů ( v molech)
- Skupenství reaktantů a produktů: s = .....  
l = .....  
g = .....  
aq = .....
- Množství energie v reakci





INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

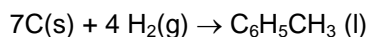
2. *Použijte rovnice pro výpočet změny entalpie když:*
  - a. 4 moly kapalné vody jsou vytvořeny z prvků
  - b. 5 molů vodíku shoří s kyslíkem za vzniku kapalné vody
  - c. 64 gramů kyslíku reaguje s vodíkem za vzniku vodní páry
  
3.  $2 \text{ Al (s)} + 3 \text{ Cl}_2(\text{l}) \rightarrow 2 \text{ AlCl}_3(\text{s}) \quad \Delta H^\circ = -705.63 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$   
Vypočítejte změnu entalpie v reakci, když reaguje 270 g hliníku s chlorem za tvorby chloridu hlinitého.
  
4. *Napište termochemickou rovnici ukazující, jak je 1 mol uhlíku dokonale spálen v kyslíku a uvolní se 394 kJ tepla.*
  
5. *Vypočítejte změnu entalpie úplného spálení:*
  - a. 3 molů uhlíku
  - b. 0.1 molů uhlíku
  - c. 6 g uhlíku
  - d. 50 g uhlíku
  
6. *Jaké množství uhlíku by mělo být spáleno na výrobu:*
  - a. 788 kJ
  - b. 1000 kJ

### **Tabulkové změny entalpie:**

Určité typy reakcí a jejich entalpická změna jsou uvedeny v tabulkách

### **Změna standardní slučovací entalpie $\Delta H_f^\circ$ (teplo .....**)

Teplo pohlceno, když je jeden mol látky vytvořen přímo z prvků za standardních podmínek. Například slučovací entalpie toluenu:  $\Delta H_f^\circ [\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 (\text{l})] = 12 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  odpovídá reakci popsané rovnicí:



$$\Delta H_f^\circ[\text{prvky (ve standardním stavu)}] = \dots\dots \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

7. *Změna slučovací entalpie uhličitanu barnatého je  $-1922 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Napište kompletní termochemickou rovnici pro tuto změnu entalpie.*
8. *Zapište termochemické rovnice pro změny entalpií, v tabulkách najdete hodnoty, které k tomu potřebujete.*
  - a.  $\Delta H_f^\circ[\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}(\text{s})]$
  - b.  $\Delta H_f^\circ[\text{C}_6\text{H}_6(\text{l})]$
  - c.  $\Delta H_f^\circ[\text{KClO}_3(\text{s})]$



EVROPSKÁ UNIE

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVYOP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Standardní změna spalného tepla  $\Delta H_c^\circ$  (teplo .....**)

= Změna entalpie, při které je spálen jeden mol látky v nadbytku kyslíku za standardních podmínek. Zejména pro organické látky (látky obsahující uhlík, vodík a kyslík) které hořením poskytují oxid uhličitý a vodu.

9. Spalné teplo toluenu je  $-3910 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Napište kompletní termochemickou rovnici pro tuto změnu entalpie.

10. Zapište termochemické rovnováhy pro změny entalpií, v tabulkách najdete hodnoty, které k tomu potřebujete.

- $\Delta H_c^\circ[\text{HCOOH}(l)]$  (kyselina mravenčí)
- $\Delta H_c^\circ[\text{C}_6\text{H}_6(l)]$  (benzen)
- $\Delta H_c^\circ[\text{CH}_3\text{OH}(l)]$  (methanol)
- $\Delta H_c^\circ[\text{Ca}(s)]$
- $\Delta H_c^\circ[\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2(l)]$  (nitrobenzen)

11. Určete, které veličiny popisují změny entalpií v těchto reakcích:

- $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l) + 3 \text{O}_2(g) \rightarrow 2 \text{CO}_2(g) + 3 \text{H}_2\text{O}(l)$
- $\text{H}_2(g) + 1/2 \text{O}_2(g) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$
- $\text{P}(\text{red}) + 5/4 \text{O}_2(g) \rightarrow 1/4 \text{P}_4\text{O}_{10}(s)$

Použitím vašich tabulek s entalpiemi přiřipšte ke každé reakci změnu entalpie.

12. Napište kompletní termochemickou rovnováhu následujících reakcí:

- standardní spalné teplo ethenu,  $\text{C}_2\text{H}_4$
- standardní slučovací teplo chloridu hořečnatého,  $\text{MgCl}_2$
- standardní slučovací teplo kyseliny octové,  $\text{CH}_3\text{COOH}$

13. Napište termochemické rovnice (včetně hodnot  $\Delta H^\circ$ ) reprezentující následující reakce za standardních podmínek:

- spalování 2 molů síry
- vytvoření 1 molu chloridu hlinitého z prvků
- spalování 1 molu pentanu,  $\text{C}_5\text{H}_{12}(g)$

**První termochemický zákon**

14. Použijte tabulky pro zapsání termochemických rovnic u těchto příkladů:

- vznik  $\text{HI}(g)$
- rozklad  $\text{HI}(g)$  na vodík a jod

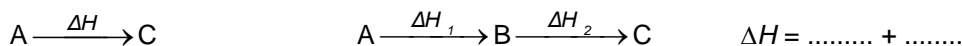
- c. změna entalpie spalování glukosy  
d. fotosyntéza

Hodnoty změn entalpií v reakcích probíhajících zleva do prava jsou .....jako u reakcí probíhajících opačným směrem až na .....

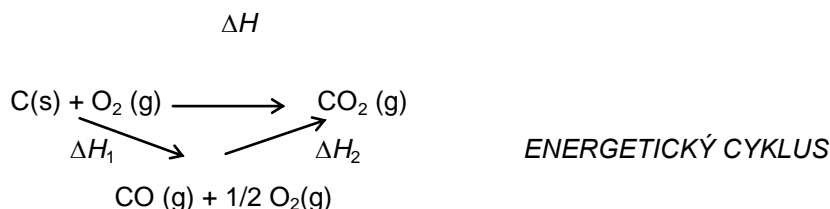
### Druhý termochemický zákon



**Hessův zákon:** Celková změna standardní entalpie v reakci je rovna součtu změn entalpií v jejích jednotlivých krocích.



Reakční teplo nezávisí na cestě reakce, ale jenom na počátečním a konečném stavu reaktantů a produktů.



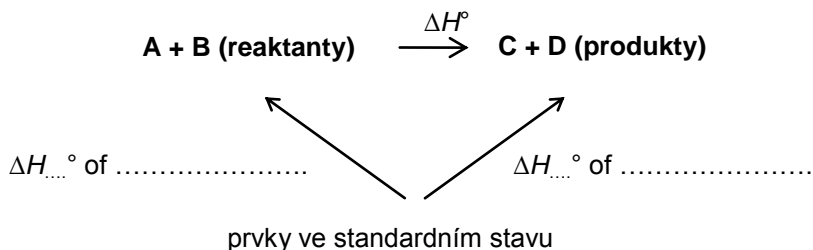
15. Užitím druhého termochemického zákona a energetického cyklu vypočítejte změnu entalpie v reakci  $2 \text{NO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ , máte dány následující termochemické rovnice:



16. Užitím druhého termochemického zákona vypočítejte změnu entalpie v reakci a zapište energetický cyklus pro tuto reakci  $\text{PbO(s)} + 1/2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{PbO}_2(\text{s})$   $\Delta H_f^\circ[\text{PbO(s)}] = -219 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$   
 $\Delta H_f^\circ[\text{PbO}_2(\text{s})] = -277.4 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

### Výpočet změny standardní entalpie

#### 1. ze změny slučovacího tepla, $\Delta H_f^\circ$



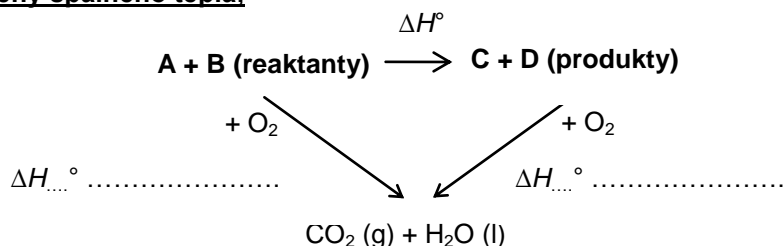
$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_f^\circ (\dots\dots\dots) - \sum \Delta H_f^\circ (\dots\dots\dots)$$

17. Vypočítejte změnu entalpie v reakci užitím  $\Delta H_f^\circ$ .

- a.  $2 \text{H}_2\text{S}(\text{g}) + \text{SO}_2(\text{g}) \rightarrow 3 \text{S}(\text{s}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$  ( $\Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{S}(\text{g})) = -20.63 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) (-233  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
- b.  $\text{CH}_3\text{OH}(\text{l}) + 3/2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$  (-726.5  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
- c.  $\text{ZnCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{ZnO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$  (-71  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
- d.  $2 \text{Al}(\text{s}) + \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) \rightarrow 2 \text{Fe}(\text{s}) + \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$  (-851  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
- e.  $\text{MgO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{MgCO}_3(\text{s})$ ,  
 $\Delta H_f^\circ(\text{MgCO}_3(\text{s})) = -20.63 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  (974  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
- f.  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$  (250.5  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
- g.  $1/2 \text{N}_2(\text{g}) + 3/2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{NH}_3(\text{g}) + 3/4 \text{O}_2(\text{g})$  (383  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
- h.  $\text{HCl}(\text{g}) + \text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}(\text{g})$  ( $\Delta H_f^\circ[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}(\text{g})] = -106.7 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) (-66.7  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
- i.  $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{HCl}(\text{g}) \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$  (-176  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )

18. Klasifikujte každou reakci jako exotermickou nebo endotermickou.

#### 2. ze změny spalného tepla,



$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_c^\circ (\dots\dots\dots) - \sum \Delta H_c^\circ (\dots\dots\dots)$$

19. Vypočítejte změnu entalpie v reakci užitím  $\Delta H_c^\circ$

- a.  $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$   $\Delta H_c^\circ[\text{H}_2(\text{g})] = \Delta H_f^\circ[\text{H}_2\text{O}(\text{l})]$  (-311  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
- b.  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$  (-137  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )

- c.  $C_2H_4(g) + H_2O(l) \rightarrow C_2H_5OH(l)$   $\Delta H_c^\circ[H_2O(l)] = 0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  voda je produktem hoření ( $-44 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
- d.  $C_2H_5OH(l) \rightarrow CH_3CHO(l) + H_2(g)$  ( $99 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
- e.  $C_2H_5OH(l) + O_2(g) \rightarrow CH_3COOH(l) + H_2O(l)$  ( $-492 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )
- f.  $2CH_3OH(l) \rightarrow H_2O(l) + CH_3OCH_3(g)$  ( $\Delta H_d[CH_3OCH_3(g)] = -1460 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) ( $-18 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )

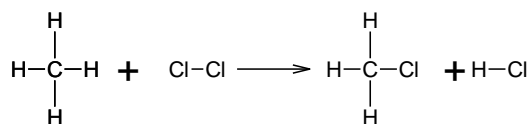
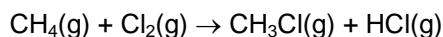
### 3. z vazebných entalpií, $H_D$

**Entalpie vazby** = energie potřebná k přerušení vazeb v molekule

Chemická reakce = rozbití vazeb v reaktantech (potřeba energie) + vznik nových vazeb u produktů (uvolňování energie)

#### Příklad:

Vypočítejte změnu entalpie v reakci užitím vazebných energií



Vazba zaniká:

(energie .....

Vazba vzniká:

(energie .....

$$\Delta H_r = \sum H_D(\text{vazby} \dots\dots\dots \text{v} \dots\dots\dots) - \sum H_D(\text{vazby} \dots\dots\dots \text{v} \dots\dots\dots)$$

20. Vypočítejte standardní změnu entalpie pro následující reakce užitím  $H_D$ . Použijte hodnoty z tabulek a následující údaje:  $H_D(C=C)_{C_3H_8} = 598 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  $H_D(C-C)_{C_3H_8} = 356 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  $H_D(C-Br) = 284 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  $H_D(C-Cl)_{C_2H_5Cl} = 340 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  (je stejná ve všech halogenalkanech),  $H_D(C-OH) = 427 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  $H_D(C-I) = 238 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  $H_D(C=C)_{C_2H_4} = 682 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Pro  $H_D(C-H)$  a  $H_D(C-C)$  v etanolu ( $C_2H_5OH$ ) a jodetanu ( $C_2H_5I$ ) použijte hodnoty pro odpovídající  $H_D(C-H)$  a  $H_D(C-C)$  v etanu ( $C_2H_6$ ) (v tabulkách).

- $H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2 HCl(g)$
- $CH_2=CH-CH_3(g) + Br_2(l) \rightarrow CH_2BrCHBrCH_3(l)$
- $C_2H_6(g) + Cl_2(g) \rightarrow C_2H_5Cl(g) + HCl(g)$ ,
- $C_2H_4(g) + H_2O(g) \rightarrow C_2H_5OH(g)$
- $C_2H_4(g) + HI(g) \rightarrow C_2H_5I$

#### Další otázky:

- $C_3H_8(g) + 5 O_2(g) \rightarrow 3 CO_2(g) + 4 H_2O(l)$   $\Delta H = -2.19 \text{ MJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ , vypočítejte:
  - teplo vzniklé spálením jednoho gramu propanu ( $49.77 \text{ kJ}$ )
  - $\Delta H$  pro tvorbu 3 molů  $CO_2$  spálením propanu ( $-3.65 \text{ MJ}$ )



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

2.  $2 \text{Fe(s)} + 3/2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) \quad \Delta H = -831.1 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \quad M_r(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 160$   
 Vypočítejte teplo z těchto reakcí kdy:
- reaguje 0.1 mol železa (41.555 kJ)
  - reaguje 0.5 mol železa (207.775 kJ)
  - je vytvořeno 320 g produktu (1662.2 kJ)
  - je vytvořeno 400 g produktu (2077.75 kJ)
3. Jaké teplo se uvolní, když spálíme 50 dm<sup>3</sup> etanu?  $\Delta H_c[\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})] = -1560 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ,  
 $V_m(\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})) = 22.4 \text{ dm}^3\cdot\text{mol}^{-1}$  (3482 kJ)
4. Vypočítejte teplo hydrogenace etenu  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$  z následujících dat:
- $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -1410.9 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
  - $2\text{C}_2\text{H}_6(\text{g}) + 7\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 4\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -3119.1 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
  - $\text{H}_2(\text{g}) + 1/2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -285.9 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- (-637.25 kJ·mol<sup>-1</sup>)
5. Užijte rovnici (i) a (ii) zjistěte změny slučovací entalpie FeO(s) a Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(s) a užijte je pro výpočet změny entalpie v následující reakci:  
 $2 \text{FeO(s)} + 1/2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$  a rozhodněte zda je reakce exotermická nebo endotermická.
- $\text{Fe(s)} + 1/2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{FeO(s)} \quad \Delta H = -269.2 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
  - $2 \text{Fe(s)} + 3/2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) \quad \Delta H = -831.1 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- (-292.7 kJ·mol<sup>-1</sup>)
6.  $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H^\circ = -571.8 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  Určete uvolněná tepla, když
- v reakční směsi je 7 molů vodíku a 3 moly kyslíku (17154 kJ)
  - reaguje 1 mol H<sub>2</sub> a 0.5 molu O<sub>2</sub>? (285.9 kJ)
  - vzniká 5 molů vody? (1429.5 kJ)
7.  $\text{SO}_2 + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3 \quad \Delta H = -97.7 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Jaké je  $\Delta H$  reakce, kdy vznikají 2 moly oxidu siřevého? (195.4 kJ)
  - Jaké je  $\Delta H$  reakce, při které reagují 2 moly oxidu siřičitého s kyslíkem? (-195.4 kJ)
8.  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -804 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$   
 Spočítejte teplo uvolněné když:
- je spáleno 0.5 molu metanu? (402 kJ)
  - je spáleno 2.5 molu metanu? (2010 kJ)
  - vzniká 22 g oxidu uhličitého? (2010 kJ)