

# Termochemie

**Termochemie je oblast termodynamiky zabývající se studiem tepelného zbarvení chemických reakcí**, tzn. zajímá se, zda se teplo při chemické reakci **uvolňuje** či **spotřebovává**. Tato tepelná energie vzniká nebo je spotřebována v důsledku štěpení vazeb ve výchozích látkách a vzniku nových vazeb v produktech. Na rozštěpení vazeb je třeba energii dodávat, zatímco při vzniku vazeb se energie uvolňuje.

Většina chemických reakcí probíhá za izobarických podmínek (konstantní tlak) kdy je reakční teplo rovno enthalpii  $\Delta Q_p = \Delta H$ . Tyto izobarické reakce dělíme na reakce exotermické a endotermické.

Reakce, při kterých systém teplo uvolňuje, se nazývají **exotermické**, tedy  **$\Delta H < 0$**  (změna enthalpie za konstantního tlaku je záporná), systém předal teplo do okolí a je o tuto energii chudší. Průběh těchto dějů může být doprovázen i světelnými efekty, například hořením. Mezi exotermní reakce patří například hoření železa v kyslíkové atmosféře, hoření hořčíkové pásky, ředění kyselin, katalytický rozklad peroxidu vodíku oxidem manganičitým, zapálení prskavky. Kromě „prudkých“ reakcí existují i reakce, ve kterých se také uvolňuje energie, a přitom nemusí hořet. Příkladem mohou být některé krystalizace.

Reakce spojené se spotřebou tepla jsou označovány jako **endotermické**, pak  $\Delta H > 0$  (změna enthalpie za konstantního tlaku je kladná), systém od okolí energii přijal. Jsou to tedy reakce, kterým musíte dodávat energii. Například tepelný rozklad vápence.

**Reakční teplo** = maximální teplo přijaté soustavou. Reakční tepla exotermických reakcí jsou záporná, reakční tepla endotermických reakcí jsou kladná.

*Enthalpie (tepla) skupenských přeměn*

Teplo tání

Výparné teplo

Sublimační teplo

*Enthalpie (tepla) rozpouštěcí a zředovací*

*Reakční enthalpie*

Slučovací teplo

Spalné teplo

*Výhřevnost*

Teplo, které se uvolní, popřípadě spotřebuje při provedení chemické reakce s látkami ve standardním stavu, se nazývá **standardní reakční teplo**, nebo lépe **standardní reakční enthalpie**.

**Standardní reakční enthalpie** udává změnu enthalpie určité reakce při teplotě 298,15 K (25°C) a tlaku 101,325 kPa. Standardní reakční enthalpii označujeme obvykle jako  $\Delta H^\circ_{298}$ .

**I. zákon termochemie** (Lavoisier-Laplaceův zákon) říká, že *reakční enthalpie přímé a zpětné reakce jsou až na znaménka stejné*.

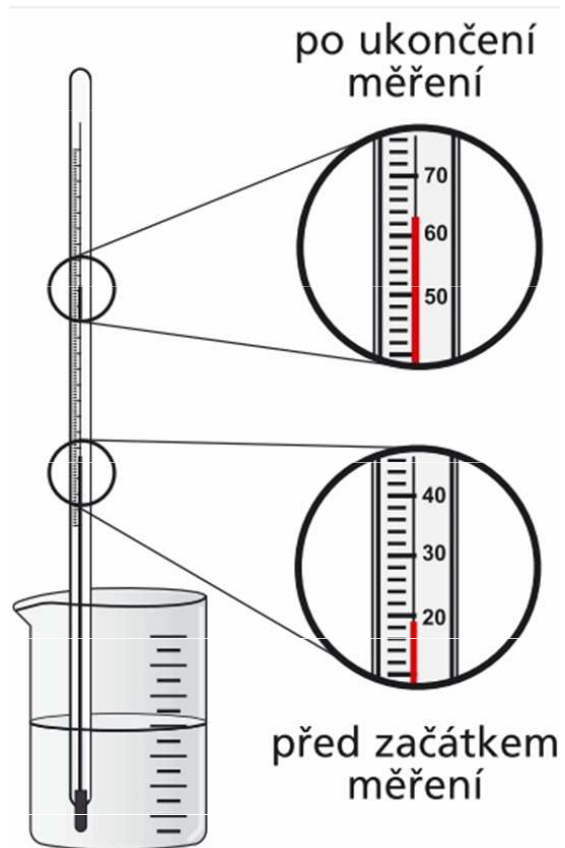


Hodnota reakční enthalpie závisí mj. na teplotě, při níž reakce probíhá, ale také na skupenském stavu. U plynných reakčních složek na jejich tlaku. Proto v termochemických rovnicích je třeba označit skupenský stav.

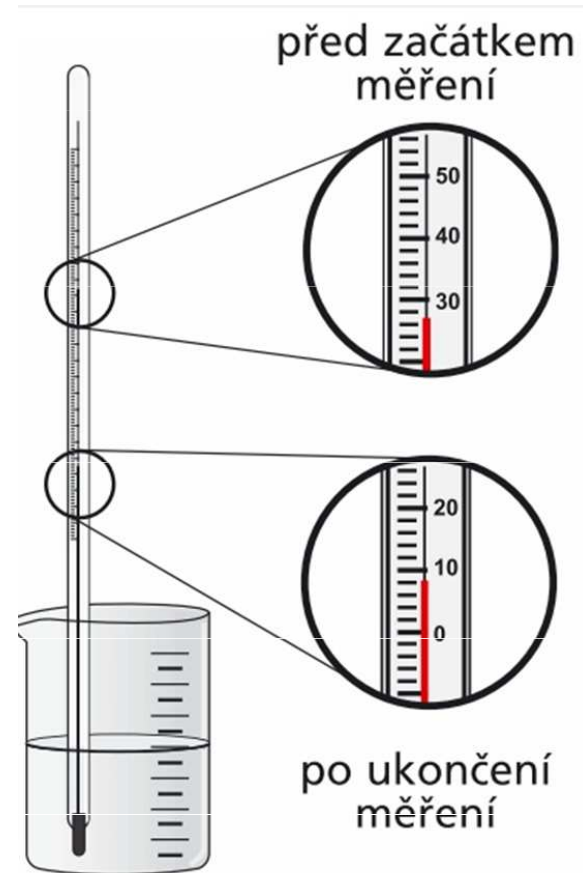
pevná látka – s (solid)

kapalná látka – l (liquid)

plynná látka – g (gas)



exotermická reakce



endotermická reakce

**II. zákon termochemie (Hessův zákon):** *Reakční enthalpie kterékoliv chemické reakce nezávisí na způsobu jejího průběhu, ale pouze na počátečním a konečném stavu soustavy.* Z druhého termochemického zákona vyplývá, že celkové tepelné zabarvení vícestupňové reakce je dáno součtem reakčních enthalpií všech dílčích reakcí.

**Příklad:**

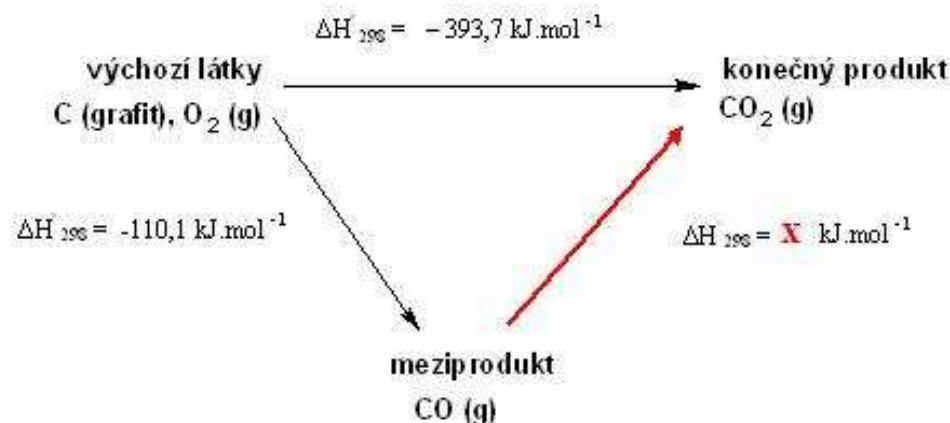
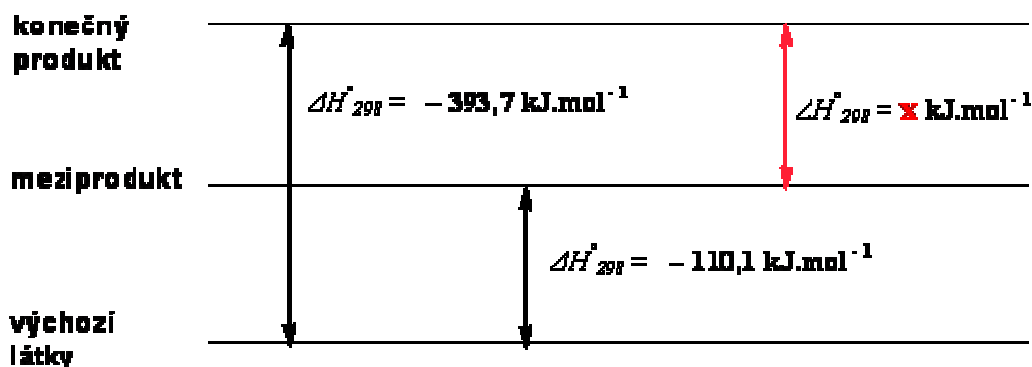
$$-393,7 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} = -110,1 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} + \mathbf{X}$$



$$\mathbf{X = -283,6 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}}$$



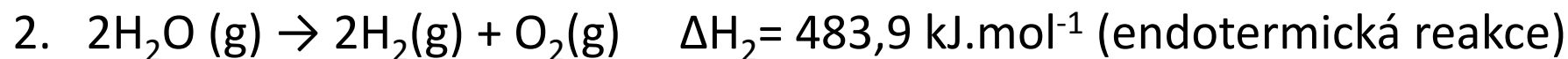
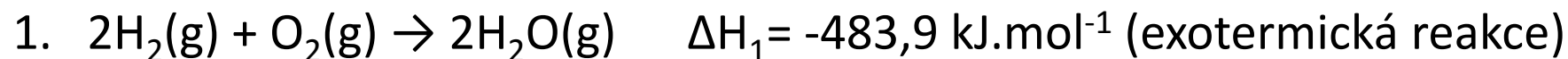
Reakční enthalpie oxidace grafitu na oxid uhelnatý je rovno **-283,6 kJ.mol<sup>-1</sup>**.



# Termochemické zákony

## 1. termochemický zákon (zákon Laplace – Lavoisierův):

Reakční teplo přímé a zpětné reakce jsou až na znaménko stejné.



### Příklad:

Určete změnu enthalpie při reakci rozkladu sulfanu na vodík a síru, víte-li, že  $\Delta H$  reakce  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{S}(\text{s}) \rightarrow \text{H}_2\text{S}(\text{g})$  je  $-19,74 \text{ kJ}$

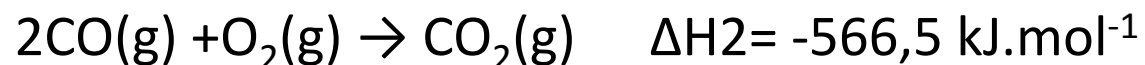
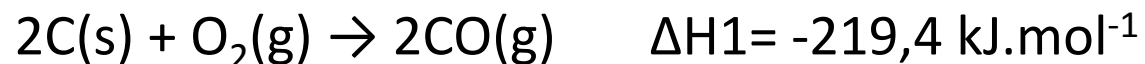
### Řešení:

Na základě 1. termochemického zákona určíme, že  $\Delta H = +19,74 \text{ kJ}$

# Termochemické zákony

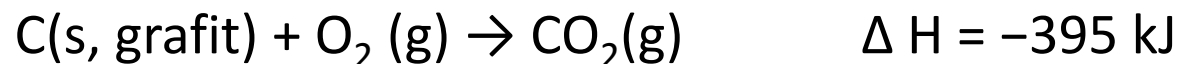
## 2. termochemický zákon (zákon Hessův):

Reakční teplo dané reakce je součtem tepel postupně prováděných reakcí, vycházejících ze stejných počátečních látek a končících stejnými produkty reakce.



### Příklad:

Určete reakční enthalpii  $\Delta H$  reakce  $\text{CO(g)} + 1/2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$



### Řešení:

$$\Delta H = -395 - (-111) = -284 \text{ kJ}$$

Součet reakčních tepel dílčích reakcí musí být roven reakčnímu teplu reakce souhrnné.

## Teplo slučovací a spalné

**Slučovací teplo** sloučeniny je reakční teplo reakce, při níž vznikne jednotkové látkové množství (1 mol) této sloučeniny přímo z prvků v nejstálejším stavu za daných podmínek.

**Standardní slučovací teplo** dané látky  $(\Delta H^\circ_T)_{sluč}$  je standardní reakční teplo reakce, při které vznikne 1 mol této látky přímo z prvků ve standardním stavu za standardních podmínek, přičemž dané prvky jsou při zvolené teplotě a standardním tlaku ve své nejstálejší podobě. (například při 25°C je to grafit a ne diamant)

Standardní slučovací teplo prvků v jejich nejstálejší podobě je **nulové** a totéž platí při všech ostatních teplotách.

**Spalné teplo** sloučeniny je reakční teplo reakce, při níž se jednotkové látkové množství (1 mol) dané sloučeniny zoxiduje na nejstálejší oxidy anebo nejstálejší produkty oxidace.

**Standardní spalné teplo** dané látky  $(\Delta H^\circ_T)_{spal}$  je standardní reakční teplo reakce, při které dojde ke spálení 1 molu této látky v nejstálejší podobě za standardních podmínek na konečné spalné produkty (obvykle nejstálejší oxidy, například u uhlíku je to  $\text{CO}_2$ , u železa je to  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , apod.).



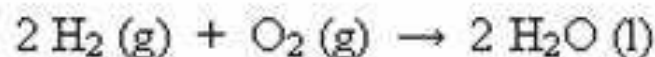
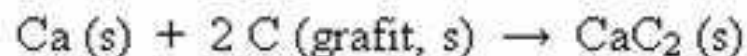
Standardní spalná a standardní slučovací tepla jsou tabelována. Na základě druhého termochemického zákona lze vypočítat standardní reakční teplo libovolné reakce, známe-li standardní spalná nebo slučovací tepla výchozích látek a produktů.

## Výpočet reakčního tepla ze slučovacích tepel

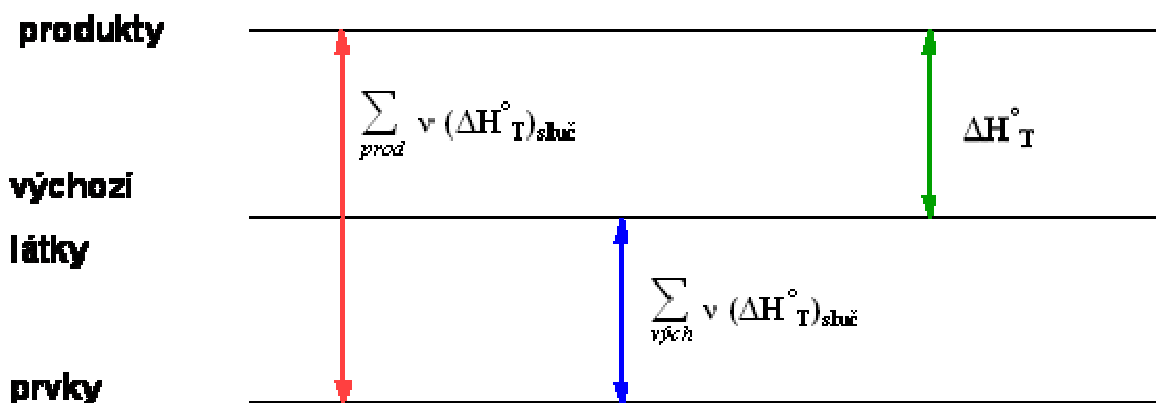
- přímá přeměna prvků na produkty

- přímá přeměna prvků na výchozí látky

- výsledek (to, co chcete spočítat  $\Delta H^\circ T$ ) – přeměna výchozích látek na produkty



Odečtením reakčních tepel odpovídajících přípravě výchozích látek přímo z prvků od reakčních tepel odpovídající přípravě produktů přímo z prvků, dostaneme reakční teplo hledané reakce.



Pro obecnou reakci:



kde  $a, b, c, d$  jsou stechiometrické koeficienty látek **A, B, C, D**

**A, B** jsou výchozí látky

**C, D** jsou produkty,

pro výchozí látky  $a, b < 0$

pro produkty  $c, d > 0$ .

je reakční teplo:

$$\Delta H^{\circ} = c \cdot \Delta H^{\circ}_{\text{stluč}}(\mathbf{C}) + d \cdot \Delta H^{\circ}_{\text{stluč}}(\mathbf{D}) - a \cdot \Delta H^{\circ}_{\text{stluč}}(\mathbf{A}) - b \cdot \Delta H^{\circ}_{\text{stluč}}(\mathbf{B})$$

$$\Delta H^{\circ}_T = \sum_{\text{prod}} \nu (\Delta H^{\circ}_T)_{\text{stluč}} - \sum_{\text{vých}} \nu (\Delta H^{\circ}_T)_{\text{stluč}}$$

## Standardní slučovací teplo

Teplo, při kterém vzniká 1 mol látky přímo z prvků, reakční látky musí být ve standardním stavu (jednotka:  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ). Standardní slučovací tepla prvků jsou rovna nule.

Vzorec výpočtu reakčního tepla:

$$\Delta H^0_{298} = \sum(\Delta H^0_{\text{sluč}})_{\text{prod.}} - \sum(\Delta H^0_{\text{sluč}})_{\text{vých.l.}}$$

### Příklad:

Vypočítejte reakční teplo reakce uhlíku s vodní párou ze slučovacích tepel.

$$\Delta H^0_{\text{sluč.}}(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) = -241,8 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^0_{\text{sluč.}}(\text{CO}(\text{g})) = -110,5 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^0_{298} = ?$$

### Řešení:

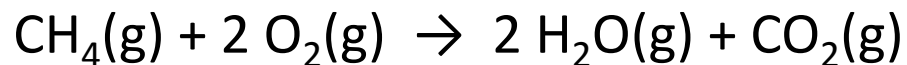


$$\Delta H^0_{298} = \sum(\Delta H^0_{\text{sluč}})_{\text{prod.}} - \sum(\Delta H^0_{\text{sluč}})_{\text{vých.l.}} = -110,5 - (-241,8) = 131,3 \text{ kJ}$$

Tepelné zabarvení reakce je 131,3 kJ.

## Příklad:

Kolik se uvolní tepla při spalování methanu?



Víme-li slučovací tepla:

$$(\Delta H_{298}^0)_{\text{sluč}} \text{CH}_4(\text{g}) = -76,37 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$(\Delta H_{298}^0)_{\text{sluč}} \text{CO}_2(\text{g}) = -393,97 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$(\Delta H_{298}^0)_{\text{sluč}} \text{H}_2\text{O}(\text{g}) = -242,00 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

## Řešení:

Od součtu standardních slučovacích tepel **produktu** odečteme součet standardních tepel **reaktantů**.

Slučovací tepla **prvků** se považují za nulová.

$$\Delta H_{298}^0 = \sum_{\text{produkty}} \nu \cdot (\Delta H_{0298}^0)_{\text{sluč}} - \sum_{\text{reaktanty}} \nu \cdot (\Delta H_{0298}^0)_{\text{sluč}}$$

$$\Delta H_{298}^0 = (2 \cdot (-242,00) + (-393,97)) - (-76,37) \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{298}^0 = -801,60 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

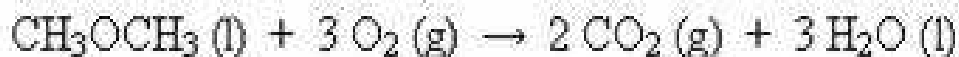
Při spalování methanu se uvolní teplo  $801,60 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

# Výpočet reakčního tepla ze spalných tepel

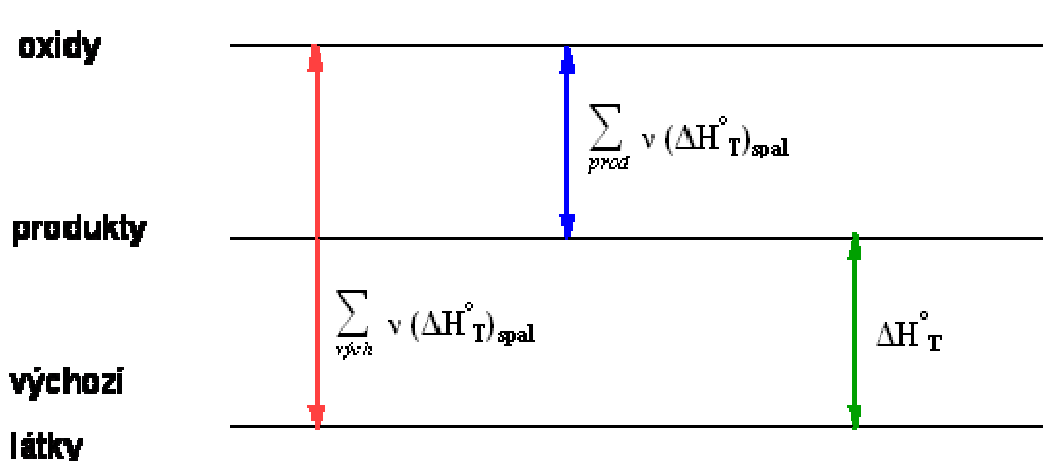
**výchozí látky se spálí v kyslíku na nejstálejší oxidy**

**produkty se spálí v kyslíku na nejstálejší oxidy**

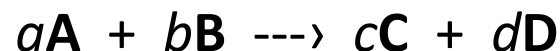
**výsledek (to, co chcete spočítat  $\Delta H^\circ T$ ) – přeměna výchozích látek na produkty**



Je zřejmé, že pokud odečteme **reakční tepla** odpovídající přeměně **produktů** na jejich nejstálejší oxidy od **reakčních tepel** odpovídajících přeměně **reaktantů** na jejich nejstálejší oxidy, dostanete **reakční teplo** hledané reakce.



Pro obecnou chemickou reakci



kde  $a, b, c, d$  jsou stechiometrické koeficienty látek **A, B, C, D**

**A, B** jsou výchozí látky

**C, D** jsou produkty,

pro výchozí látky  $a, b > 0$

pro produkty  $c, d < 0$ .

Při výpočtu reakčních tepel ze slučovacích tepel jsou znaménka stechiometrických koeficientů u výchozích látek a produktů **obráceně**, než je tomu u slučovacích tepel.

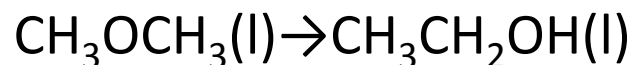
Pak reakční teplo

$$\Delta H^\circ = a \cdot \Delta H^\circ_{\text{spal}}(\mathbf{A}) + b \cdot \Delta H^\circ_{\text{spal}}(\mathbf{B}) - c \cdot \Delta H^\circ_{\text{spal}}(\mathbf{C}) - d \cdot \Delta H^\circ_{\text{spal}}(\mathbf{D})$$

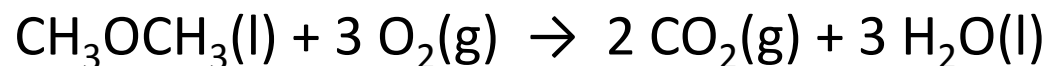
$$\Delta H^\circ_{\text{T}} = \sum_{\text{vých}} \nu (\Delta H^\circ_{\text{T}})_{\text{spal}} - \sum_{\text{prod}} \nu (\Delta H^\circ_{\text{T}})_{\text{spal}}$$

### **Příklad:**

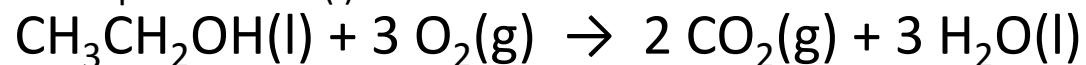
Vypočítejte reakční teplo izomerace dimethyletheru na ethanol:



známe-li spalná tepla:



$$(\Delta H_{298}^0)_{\text{spalCH}_3\text{OCH}_3(\text{l})} = -1454 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$



$$(\Delta H_{298}^0)_{\text{spalCH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\text{l})} = -1402 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

### **Řešení:**

Od součtu spalných tepel reaktantů, od kterých jsou odečtena spalná tepla produktů:

$$\Delta H_{298}^0 = (-1454) - (-1402) = -52 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Reakční teplo reakce je  $-52 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

## Standardní spalné teplo

Teplo, při kterém se spálí 1 mol látky v nadbytku kyslíku (jednotka: kJ.mol<sup>-1</sup>).  
Spalná tepla prvků jsou nenulová (výjimkou je kyslík).

Vzorec výpočtu reakčního tepla:

$$\Delta H^0_{298} = \sum(\Delta H^0_{sluč})_{vých.l.} - \sum(\Delta H^0_{sluč})_{prod.}$$

### Příklad:

Vypočítejte standardní reakční teplo reakce  $6 \text{ C}(s, \text{ grafit}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6(\text{l})$

$$\Delta H^0_{spal.} \text{ C}(s) = -393,51 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^0_{spal.} \text{ H}_2(\text{g}) = -285,85 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^0_{spal.} \text{ C}_6\text{H}_6(\text{l}) = -3\,271,89 \text{ kJ/mol}$$

### Řešení:

$$\Delta H^0_{298} = \sum(\Delta H^0_{sluč})_{vých.l.} - \sum(\Delta H^0_{sluč})_{prod.}$$

$$\Delta H^0_{298} = \{6 \cdot \Delta H^0_{spal.} \text{ C} + 3 \cdot \Delta H^0_{spal.} \text{ H}_2\} - (\Delta H^0_{298} \text{ C}_6\text{H}_6)$$

$$\Delta H^0_{298} = 6 \cdot (-393,51) + 3 \cdot (-285,85) - (-3\,271,89) = 53,28$$

$$\Delta H^0_{298} = 53,28 \text{ kJ}$$

Reakční teplo vzniku benzenu z prvků je 53,28 kJ, reakce je endotermická.



## Příklad:

Kolik se uvolní tepla při spalování methanu  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$  ?

Slučovací tepla:

$$(\Delta H_{298}^0)_{\text{sluč}} \text{CH}_4(\text{g}) = -76,37 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$(\Delta H_{298}^0)_{\text{sluč}} \text{CO}_2(\text{g}) = -393,97 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$(\Delta H_{298}^0)_{\text{sluč}} \text{H}_2\text{O}(\text{g}) = -242,00 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

## Řešení:

$$\Delta H_{298}^0 = \sum v_{\text{reaktanty}} \cdot (\Delta H_{298}^0)_{\text{spal}} - \sum v_{\text{průduky}} \cdot (\Delta H_{298}^0)_{\text{spal}}$$

$$\Delta H_{298}^0 = (-1454) - (-1402)$$

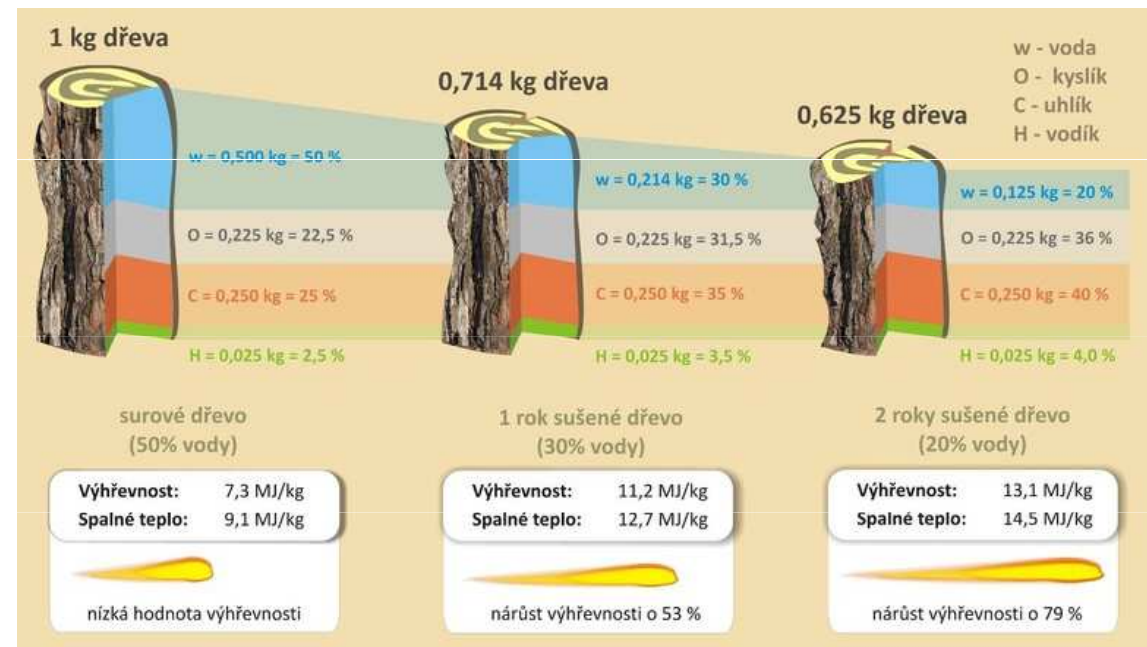
$$\Delta H_{298}^0 = -52 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Reakční teplo reakce je  $-52 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

# Spalné teplo a výhřevnost v energetice

**Spalné teplo** je takové množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením jednotkového množství paliva (J/kg, resp. J/mol nebo J/m<sup>3</sup>). Předpokládá se, že voda, uvolněná spalováním, zkondenzuje a energii chemické reakce není třeba redukovat o její skupenské teplo. Tím se spalné teplo liší od výhřevnosti, kde se předpokládá na konci reakce voda v plynném skupenství. Proto je hodnota spalného tepla vždy větší nebo rovna hodnotě výhřevnosti. Rovnost nastává, když spalováním nevzniká voda.

**Výhřevnost** je vlastnost paliva, která udává, kolik energie se uvolní úplným spálením jedné jednotky (obvykle 1 kg). Proti spalnému teplu není v hodnotě zahrnuto měrné skupenské teplo páry, obsažené ve spalinách (předpokládá se, že její teplo je nevyužitelné a uniká v plynném stavu se spalinami).



<b>Pevná paliva</b>	<b>Výhřevnost [MJ/kg]</b>
HU tříděné Sokolov	14,17
HU tříděné Most	17,18
ČU energetické Kladno	22,61
ČU energetické Ostrava	29,21
Koks otopový	27,49
Brikety	23,05
Dřevěné brikety	16,21
Dřevo palivové	14,62
Sláma obilná	15,50
Papír	14,11
Komunální odpad	9,12

<b>Kapalná paliva</b>	<b>Výhřevnost [MJ/kg]</b>
Těžký topný olej	40,61
Lehký topný olej	42,30
Motorová nafta	42,61
Autobenzín	43,59

<b>Plynná paliva</b>	<b>Výhřevnost [MJ/m<sup>3</sup>]</b>
Zemní plyn	33,48
Propan-Butan	46,40
Bioplyn	22,50
Koksárenský plyn	15,62
Svítiplyn	14,50

Určete hmotnost střelného prachu potřebného k tomu, aby střela o hmotnosti 50 g při svislém výstřelu z pušky dosáhla výšky 2 km. Účinnost je 15%, výhřevnost 2,94 MJ.kg<sup>-1</sup>. (Odpor vzduchu zanedbejte)

$$m = 5 \cdot 10^{-2} \text{ kg}, h = 2 \cdot 10^3 \text{ m}, \eta = 15\%, H = 2,94 \cdot 10^6 \text{ J.kg}^{-1}, g = 10 \text{ m.s}^{-2}$$

$$Q_1 = E_p$$

$$\eta \cdot m_1 \cdot H = m \cdot g \cdot h$$

$$m_1 = \frac{m \cdot g \cdot h}{\eta \cdot H}$$

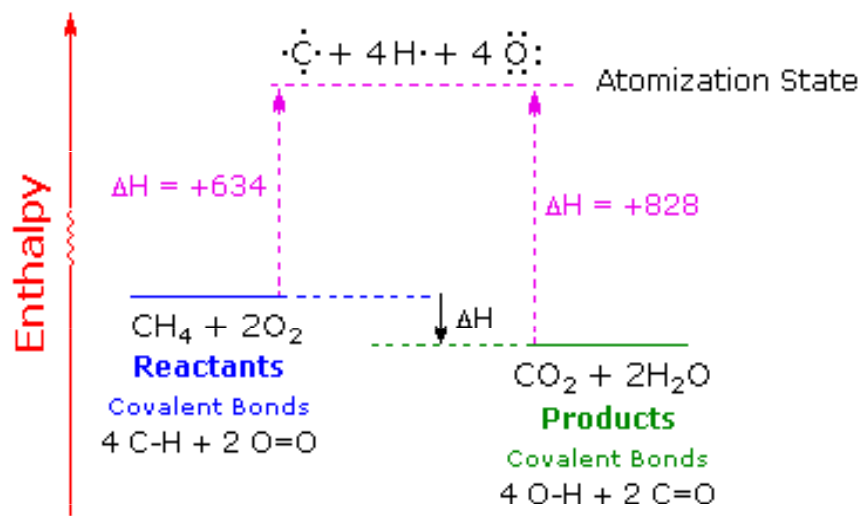
$$m_1 = \frac{5 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot 10 \text{ m.s}^{-2} \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ m}}{0,15 \cdot 2,94 \cdot 10^6 \text{ J.kg}^{-1}} = 2,268 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = 2,268 \text{ g}$$

$$\underline{m_1 = 2,268 \text{ g}}$$

# Výpočet reakčního tepla z vazelných energií

Při vzniku chemické vazby se energie uvolňuje ( vazebná energie ) a při štěpení chemických vazeb se musí energie dodávat. (disociační energie).

$$\Delta H^{\circ}_{\text{reaction}} = \sum \Delta H_{\text{bonds broken (reactants)}} - \sum \Delta H_{\text{bonds formed (products)}}$$



## Average Bond Energies

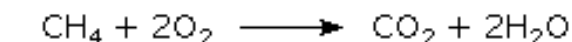
O=O	119 kcal/mol
C-H	99
O-H	111
C=O (in CO <sub>2</sub> )	192

## Single Bond Energies (kJ/mol of bonds)

	H	C	N	O	S	F	Cl	Br	I
H	436								
C	413	346							
N	391	305	163						
O	463	358	201	146					
S	347	272	—	—	226				
F	565	485	283	190	284	155			
Cl	432	339	192	218	255	253	242		
Br	366	285	—	201	217	249	216	193	
I	299	213	—	201	—	278	208	175	151

## Multiple Bond Energies (kJ/mol of bonds)

C=C	602	C=N	615	C=O	799
C≡C	835	C≡N	887	C≡O	1072
N=N	418	N=O	607		
N≡N	945	O=O	498		



$$-[\Sigma(\text{Product Bond Energies}) - \Sigma(\text{Reactant Bond Energies})] = \Delta H(\text{reaction})$$

$$-[(444 + 384) - (396 + 238)] = -[828 - 634] = -194 \text{ kcal/mol}$$

Correcting for the heat of condensation of 2 H<sub>2</sub>O product molecules 2(-10.5)

$$\Delta H^{\circ} = -194 - 21 = -215 \text{ kcal/mol}$$

### **Příklad:**

Vypočítejte reakční teplo reakce  $\text{CH}_4(\text{g}) + 4 \text{F}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CF}_4(\text{g}) + 4 \text{HF}(\text{g})$

Vazebné energie:

$$E_{\text{C-H}} = 416,17 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$E_{\text{C-F}} = 489,86 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$E_{\text{H-F}} = 569,40 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$E_{\text{F-F}} = 158,26 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

### **Řešení:**

Reakcí se rozštěpí na straně reaktantů 4 vazby C-H a 4 vazby F-F, vzniknou na straně produktů 4 vazby C-F a 4 vazby H-F:

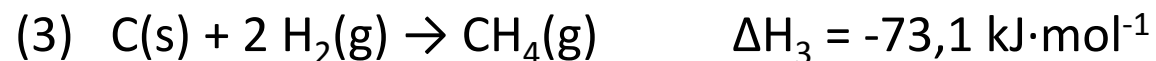
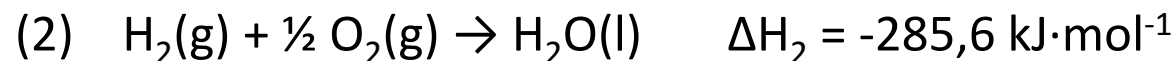
$$\Delta H_{298}^0 = \sum \text{reaktanty} \cdot (\Delta H_{298}^0)_{\text{vaz}} - \sum \text{produkty} \cdot (\Delta H_{298}^0)_{\text{vaz}}$$

$$\Delta H_{298}^0 = (4 \cdot 416,17 + 4 \cdot 158,26) - (4 \cdot 489,86 + 4 \cdot 569,40)$$

$$\Delta H_{298}^0 = -1939,32 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

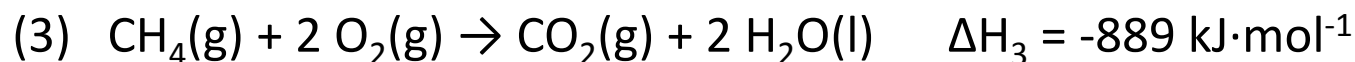
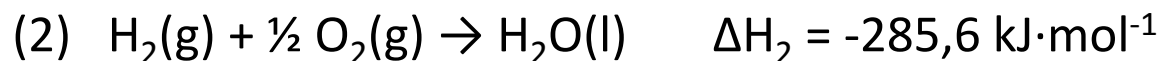
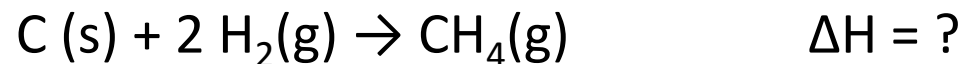
Reakční teplo je  $-1939,32 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

Z daných hodnot vypočítejte reakční teplo následující reakce:



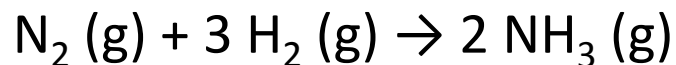
Reakční teplo reakce je  $-891,2 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

Z daných hodnot vypočítejte reakční teplo následující reakce:



Reakční teplo reakce je  $710,9 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

Jaká bude hodnota reakčního tepla zpětné reakce?



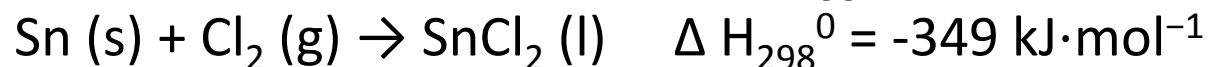
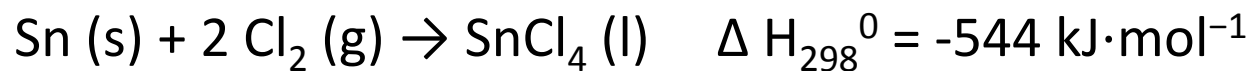
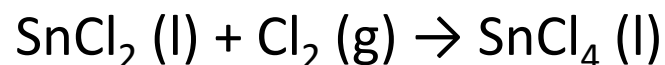
$$\Delta H_{298}^0 = -92,4 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$92.4 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Pokud je reakční teplo chemické reakce  $-386,3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ , je reakce exotermní?

Ano

Pomocí uvedených rovnic a hodnot reakčních tepel vypočítejte reakční teplo následující reakce:



$$-195 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$



Kolik se uvolní tepla při reakci



znáte-li velikost energie vazeb:

H-H 435 kJ·mol<sup>-1</sup>

I-I 150 kJ·mol<sup>-1</sup>

H-I 299 kJ·mol<sup>-1</sup>

13 kJ·mol<sup>-1</sup>

Vypočítejte reakční teplo reakce



znáte-li velikost energie vazeb:

C-H 416,2 kJ·mol<sup>-1</sup>

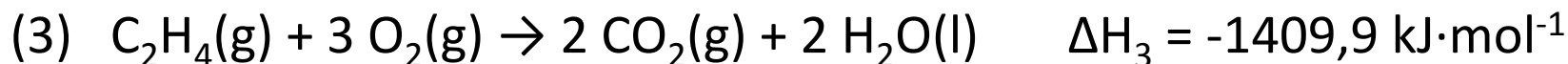
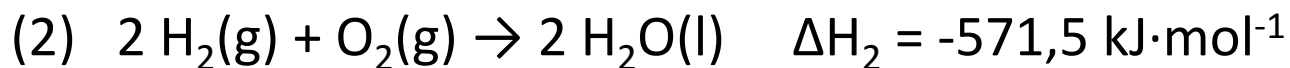
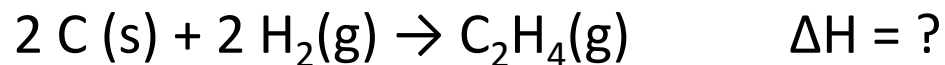
F-F 158,3 kJ·mol<sup>-1</sup>

C-F 489,9 kJ·mol<sup>-1</sup>

H-F 569,4 kJ·mol<sup>-1</sup>

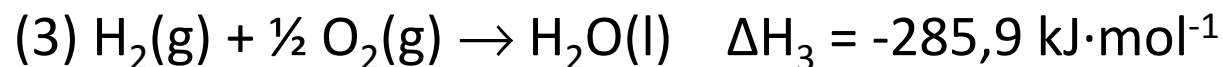
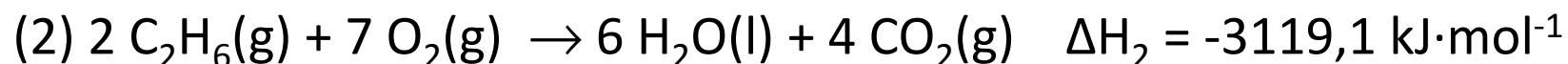
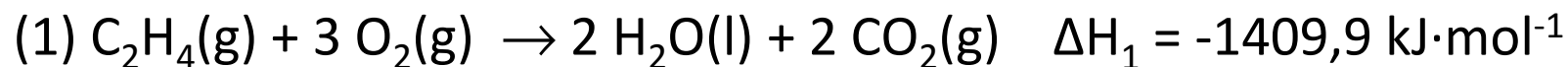
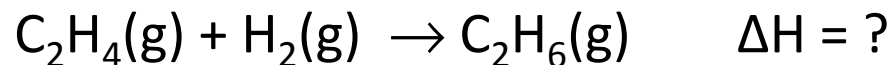
-1939.32 kJ·mol<sup>-1</sup>

Určete množství tepla, které se spotřebuje nebo uvolní při vzniku 20 g C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>.



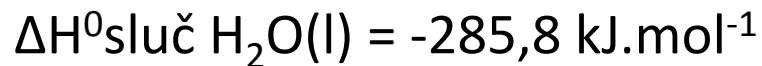
Při reakci se spotřebuje 37,29 kJ tepla.

Určete reakční teplo reakce. Vypočítejte, jaké množství tepla se uvolní při reakci 60 g C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>.



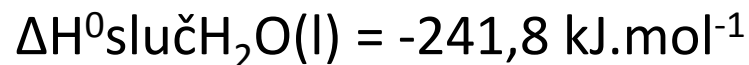
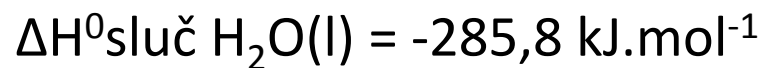
[-136,25 kJ·mol<sup>-1</sup>, 255,47 kJ]

Jaké množství tepla se uvolní spálením 50 l vodíku za konstantního tlaku (za normálních podmínek)?



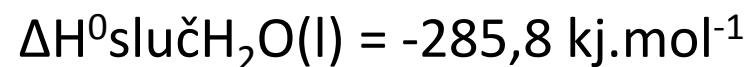
637,3 kJ

Jaké teplo je za standardních podmínek potřeba na převedení 1 kg vody z kapalného stavu do plynného



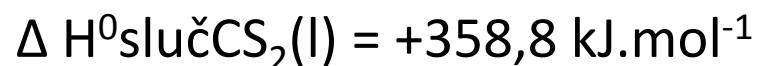
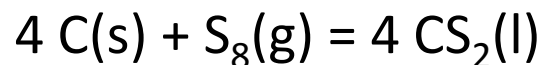
2444,6 kJ

Jaké množství tepla se uvolní spálením vodíku, který vznikl rozpuštěním 90 g zinku ve zředěné kyselině sírové? Spalování proběhlo za standardních podmínek a



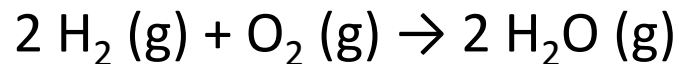
393,6 kJ

Jaké množství tepla je nutno do systému dodat aby vzniklo 40 g sirouhlíku?



47,2 kJ

Reakce probíhá podle termochemické rovnice:

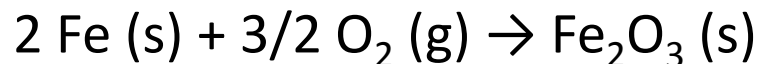


$$\Delta H^0_{298} = -483,6 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Jaké teplo se uvolní, jestliže reakcí vznikne 5 mol  $\text{H}_2\text{O}$ ?

1209 kJ

Jaké teplo se uvolní při vzniku 379 g produktu, probíhá-li reakce podle rovnice:



$$\Delta H^0_{298} = -822 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$M(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 159,69 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

2.3733 mol

1950.89 kJ

Vypočítejte standardní slučovací teplo  $\Delta H^0_{298}$  ( $\text{NH}_3$  (g) sluč, znáte-li:



$$(\Delta H^0_{298}) \text{ sluč} = -904,8 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$(\Delta H^0_{298}) \text{ O}_2 (\text{g}) \text{ sluč} = 0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$(\Delta H^0_{298}) \text{ NO} (\text{g}) \text{ sluč} = 90,3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$(\Delta H^0_{298}) \text{ H}_2\text{O} (\text{g}) \text{ sluč} = -241,8 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

-46.2 kJ·mol<sup>-1</sup>

Vypočítejte standardní reakční teplo reakce:



$$(\Delta H_{298}^0) \text{ sluč C (s)} = 0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

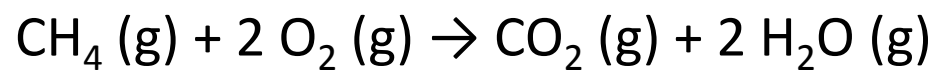
$$(\Delta H_{298}^0) \text{ sluč H}_2\text{O (g)} = -241,8 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1},$$

$$(\Delta H_{298}^0) \text{ sluč CO (g)} = -110,5 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$(\Delta H_{298}^0) \text{ sluč H}_2 \text{(g)} = 0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$131.3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Jaké teplo se uvolní při vzniku 17 g CO<sub>2</sub>?



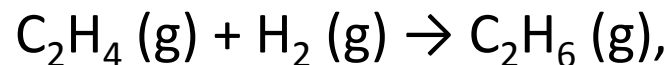
$$M(\text{CO}_2) = 44,01 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{298}^0 = -855,8 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$0.3863 \text{ mol}$$

$$330.57 \text{ kJ}$$

Vypočítejte reakční teplo reakce:



$$(\Delta H_{298}^0) \text{ C}_2\text{H}_4 \text{(g) spal} = -1411,3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

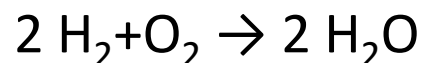
$$(\Delta H_{298}^0) \text{ H}_2 \text{(g) spal} = 285,9 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$(\Delta H_{298}^0) \text{ C}_2\text{H}_6 \text{(g) spal} = -1560,2 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$-137 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Jaké množství tepla se uvolní spálením 10 dm<sup>3</sup> vodíku (za normálních podmínek), probíhá-li reakce při konstantním tlaku? Standardní slučovací teplo

$$\text{H}_2\text{O(l)} = -285,80 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$



$$0.4462 \text{ mol}$$

$$127.53 \text{ kJ}$$

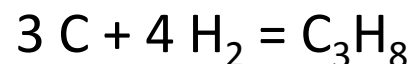
Jaké množství tepla se uvolní spálením 250 g acetylenu?  $M_{\text{C}_2\text{H}_2} = 26$ ,  $\Delta H^{\circ}\text{spal C}_2\text{H}_2 = -1300 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

$$12506 \text{ kJ}$$

24 g uhlíku bylo za standardních podmínek spáleno na CO<sub>2</sub>. V průběhu reakce se uvolnilo teplo 787,4 kJ. Vypočítejte standardní slučovací teplo CO<sub>2</sub>.

$$-393,7 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Vypočítejte standardní slučovací teplo propanu.



$$\Delta H^{\circ}\text{spalC}_3\text{H}_8(\text{g}) = -2220 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$\Delta H^{\circ}\text{spalC}(\text{s})\text{grafit} = -393,7 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$\Delta H^{\circ}\text{slučH}_2\text{O(l)} = -285,8 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$-104,3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$