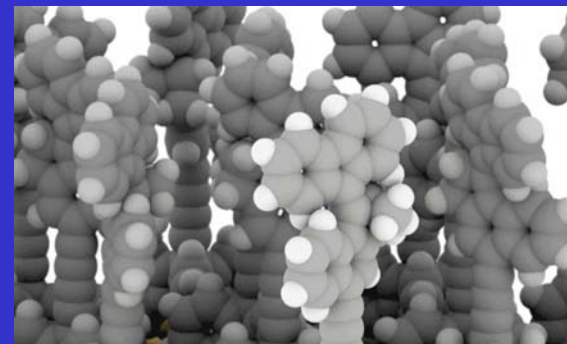


Termodynamika - Formy energie

Energetické přeměny při chemických a fyzikálních procesech, přenos energie mezi látkami, vzájemné přeměny různých druhů **energie**

- Rozhoduje pouze **počáteční a konečný stav**
 - Nezávisí na mechanismu změny
 - Předpověď směru, samovolnosti a rozsahu reakcí
 - Nepočítá s časem, neurčí rychlost nebo mechanismus děje
-
- Chemická
 - Teplo – exo, endotermické reakce
 - Světlo – fotochemické reakce
 - Elektrická – elektrolýza, galvanické články
 - Nukleární
 - Mechanická – molekulární motory



Teplo a energie

Benjamin Thomson hrabě Rumdorf
(1753 –1814)

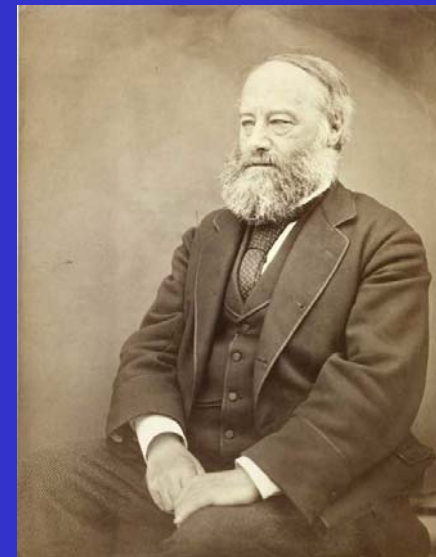
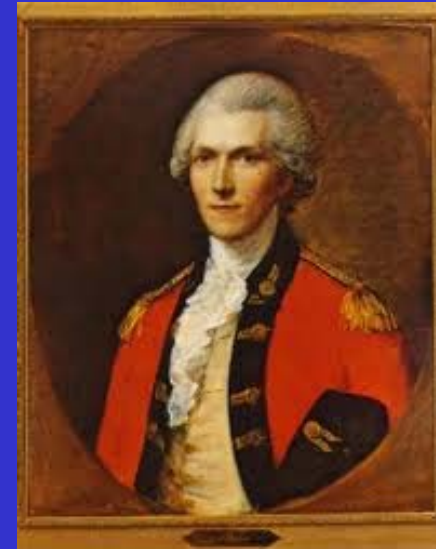
1798 teplo pochází z mechanické práce
- vrtání dělových hlavni

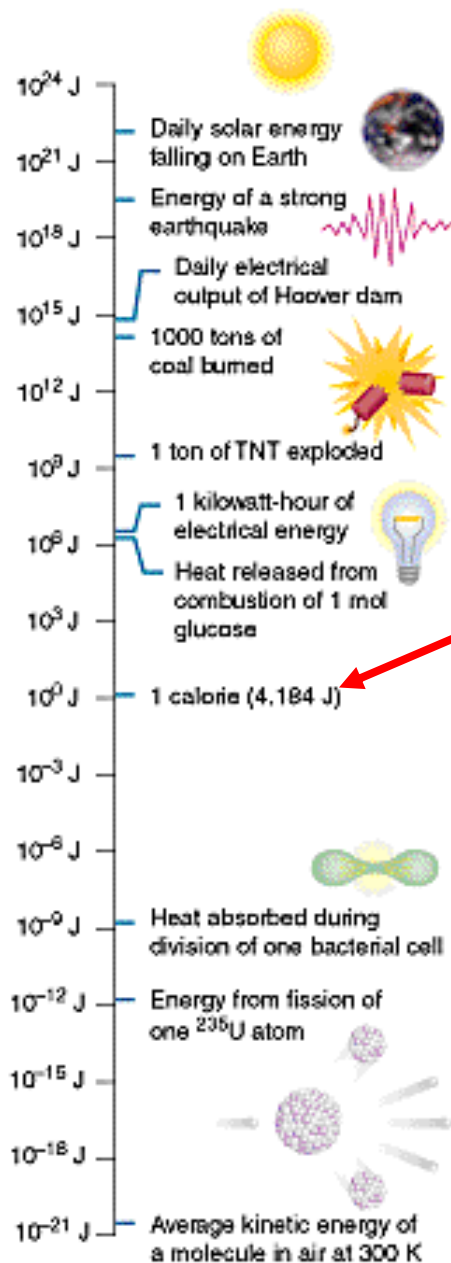
Q, teplo = W, práce

James Prescot Joule (1818 – 1889)

1849 přeměny různých druhů energie
na teplo

Teplo = Energie





Energie

1 Joule \cong energie úderu lidského srdce

1 kalorie = 4,1868 J

1 eV = $1,602 \cdot 10^{-19}$ J

1 eV (molekula) $^{-1}$ = 96,485 kJ mol $^{-1}$

Práce

$$W_{\text{mechan}} = F \times l = m \times a \times l$$

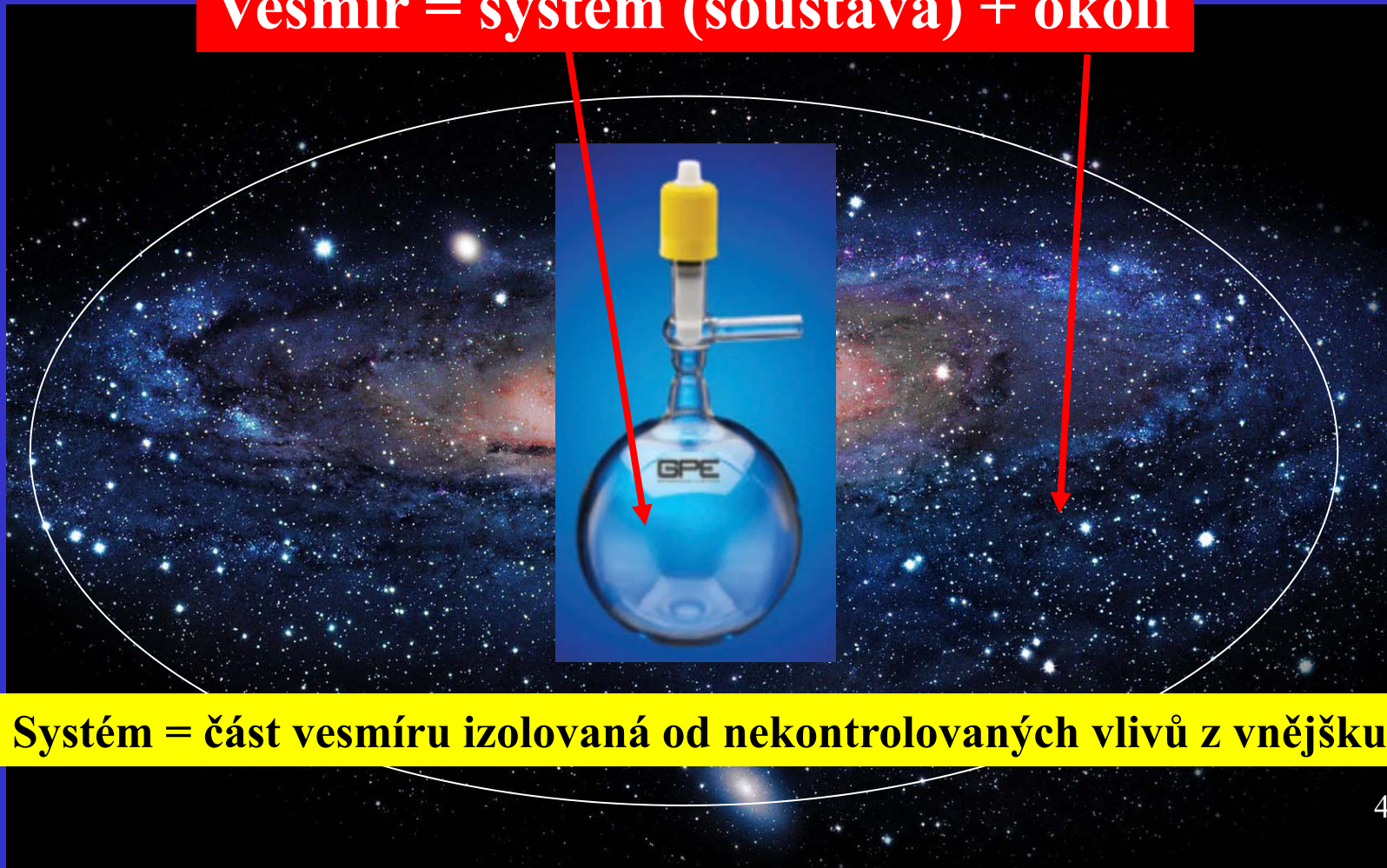
$$1 \text{ J} = 1 \text{ N m} = 1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

$$W_{\text{el}} = P \times t$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W s} = 1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

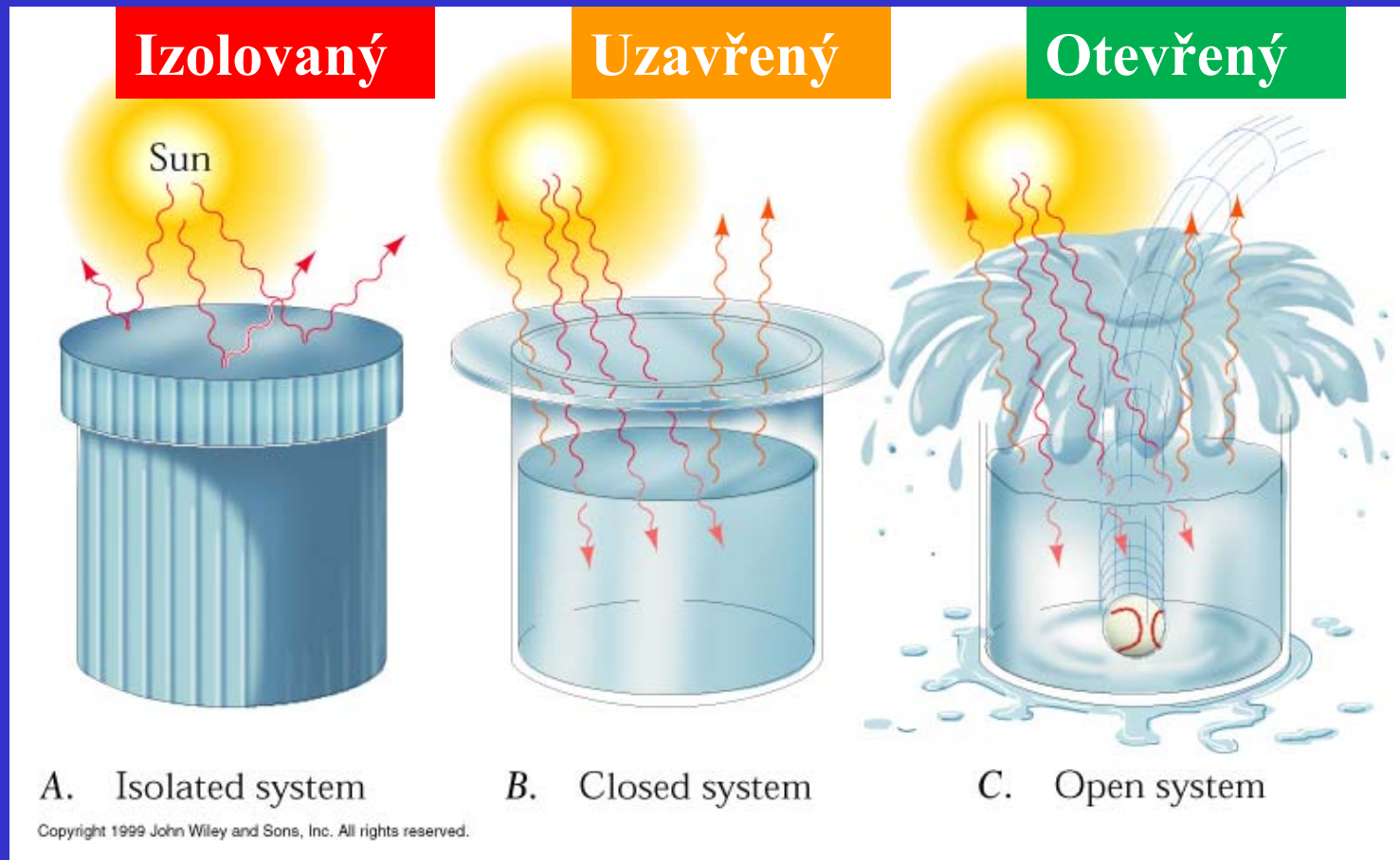
Vesmír, systém a okolí

Vesmír = systém (soustava) + okolí



Systém = část vesmíru izolovaná od nekontrolovaných vlivů z vnějšku

Typy systémů



Vyměňuje se: Nic

Energie

Energie a hmota

Termodynamické děje

Izotermický konstantní teplota $dT = 0$

Izobarický konstantní tlak $dp = 0$

Izochorický konstantní objem $dV = 0$

Adiabatický nevyměňuje se teplo $dQ = 0$

Diatermický vyměňuje se teplo $dQ \neq 0$

Popis systému

* **Extenzivní** veličiny: závisí na příspěvcích od jednotlivých částí soustavy, jsou **aditivní** - hmotnost, elektrický náboj, látkové množství,

* **Intenzivní** veličiny: **nejsou aditivní** - teplota, tlak, viskozita, koncentrace, hustota,

Stav systému je popsán **intenzivními** veličinami (T, p, c)

Stavová funkce : fyzikální charakteristika, jejíž hodnota závisí na stavu soustavy : **U, H, S, G**

U, H, S, G jsou funkcí **T, p, c**

Termodynamický děj

Termodynamický děj probíhá
od **počátečního** stavu do stavu **konečného** = rovnováhy
Za rovnováhy se nemění TD vlastnosti systému

Rovnováhy

- Tepelné
- Fázové
- Chemické

Termodynamický děj:

- **Reverzibilní** - vratné - pomalé, stále blízko rovnováhy, směr lze kdykoliv obrátit
- **Ireverzibilní** - nevratné - konečný čas, trvalé změny

Teplo, teplota, kalorimetrie

System nemá teplo, to se pouze vyměňuje
Měření tepla Q pomocí změny teploty

$$Q = C \times \Delta T$$

$$C = \text{tepelná kapacita} \quad \Delta T = Q / C$$

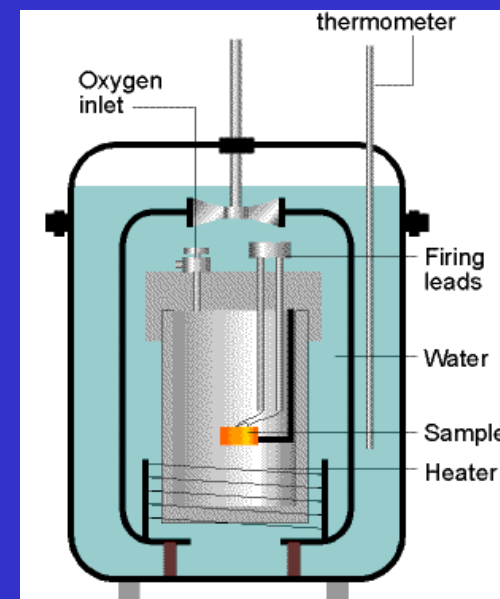
$$Q = m \times c_s \times \Delta T$$

c_s = specifické teplo = množství tepla potřebné k ohřátí 1 g látky o 1 K bez fázové přeměny [$\text{J K}^{-1} \text{g}^{-1}$]

c_M = specifické molární teplo [$\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$]

$$c_M = M c_s$$

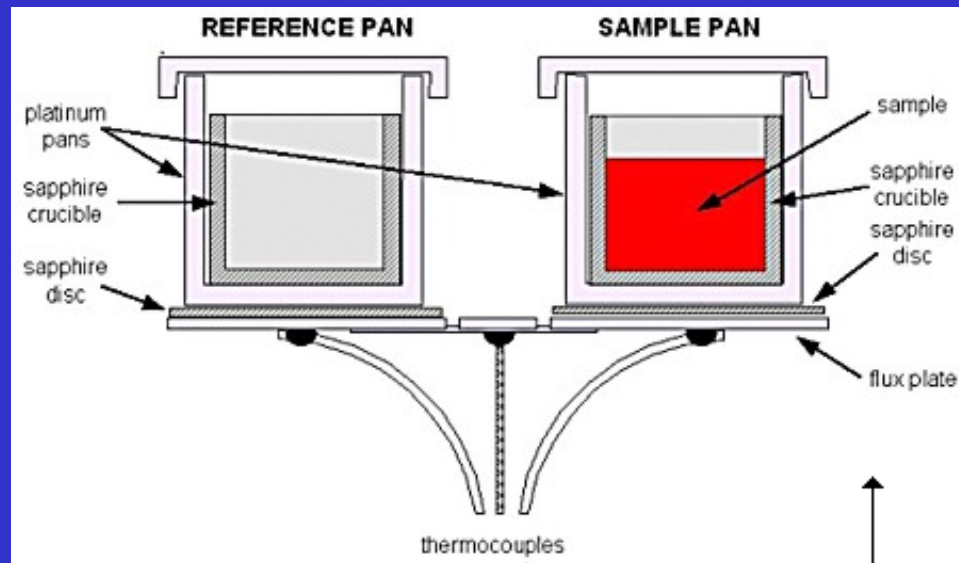
Kalorimetr



DSC Diferenční skenovací kalorimetrie

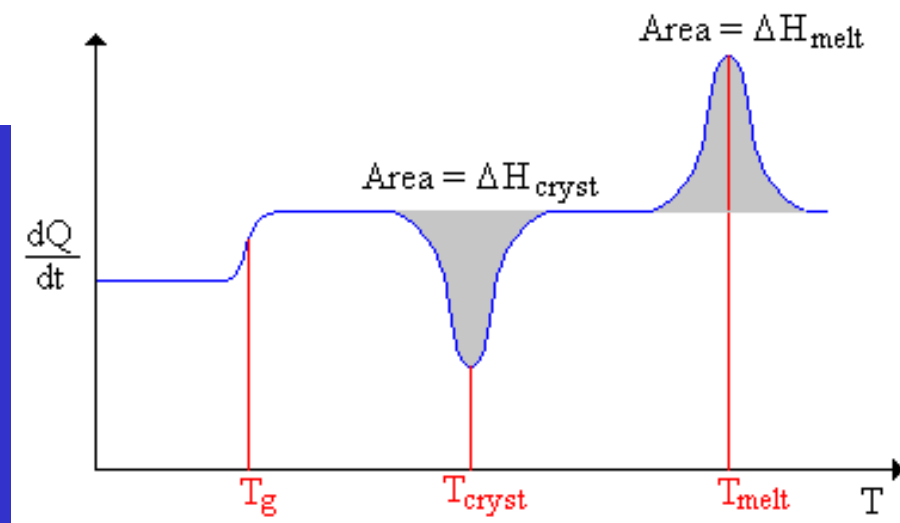
Inertní látka

Vzorek



Rozdíl mezi teplotou vzorku a inertní látky

- Krystalizace
- Tání
- Rozklad



Dulong-Petitovo pravidlo

1819 P. L. Dulong (NCl_3), A. T. Petit – specifické teplo (c_s) velmi různé hodnoty pro různé látky, ALE

Specifické molární teplo c_M je přibližně konstantní pro různé látky

$$c_M = 3R = 24,94 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

Pro prvky s $A > 35$, pro normální a vysoké teploty

Použito v první polovině 19. století k hrubému odhadu atomových hmotností prvků: $c_M = M \times c_s$

Bi $c_s = 0,123 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$$c_s = \frac{c_M}{M}$$

Nultá věta (zákon) TD

Jsou-li dvě různá tělesa A a B v tepelné rovnováze (mají stejnou teplotu) s tělesem třetím C, potom jsou v rovnováze i navzájem

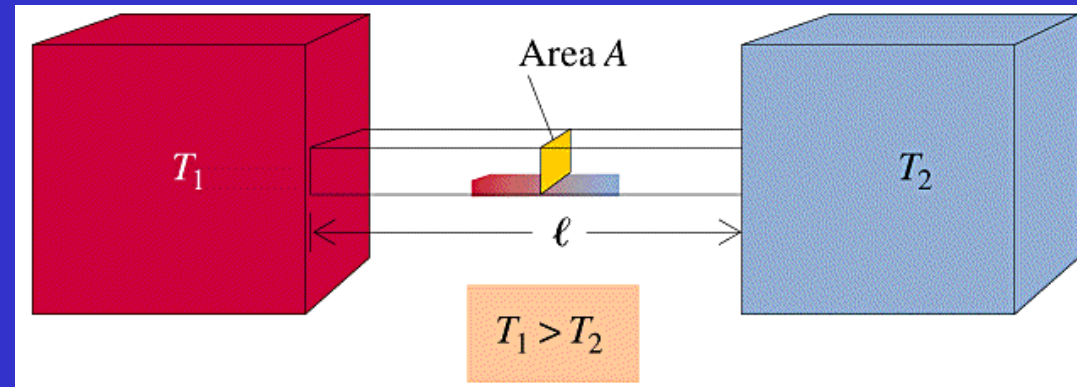
$$T_A = T_C \text{ a } T_B = T_C \quad \text{pak } T_A = T_B$$

Empirická definice teploty:

Pokud jsou dvě tělesa v kontaktu a jsou ve stavu termodynamické rovnováhy, tj. nedochází mezi nimi k přenosu tepla, pak jejich teploty jsou stejné

Přenos tepla

Ustálené
vedení tepla



$$\frac{Q}{t} = \frac{KA(T_1^{\text{horké}} - T_2^{\text{studené}})}{l}$$

Q/t = teplo přenesené za čas t

K = tepelná vodivost

A = plocha

T = teploty

l = tloušťka překážky

$K = 1,1 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

diamant	895–2300
stříbro	429
měď	386
zlato	317
křemen	7

sklo	1,35
voda	0,6062
polystyren	0,033
vzduch	0,0262
aerogel	0,015

Kinetická a potenciální energie

Kinetická energie E_k – pohybová, aktivní, koná práci:

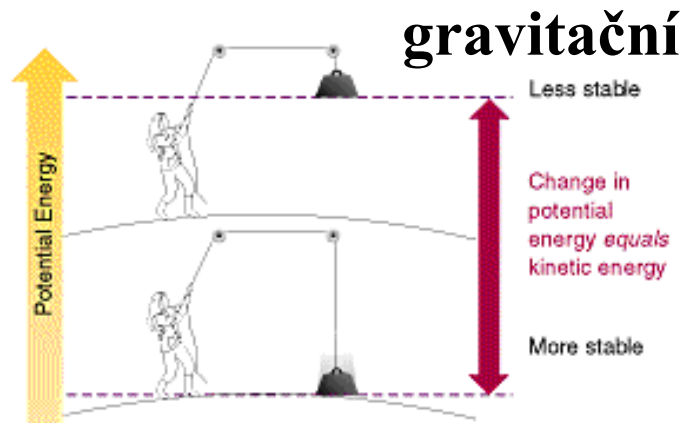
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Potenciální energie – inaktivní, připravena konat práci, výsledek relativní pozice nebo struktury

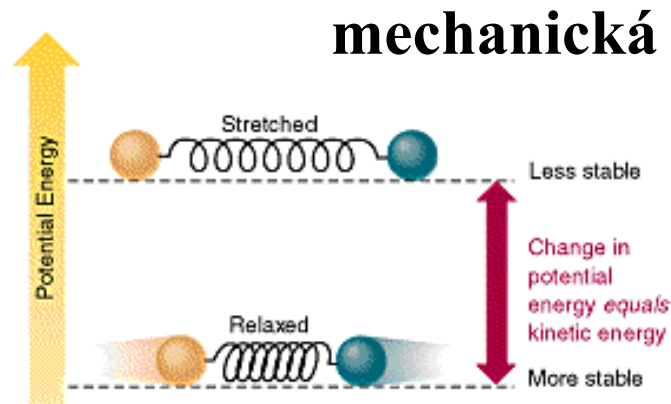
Přeměny energie:

kinetická \leftrightarrow potenciální

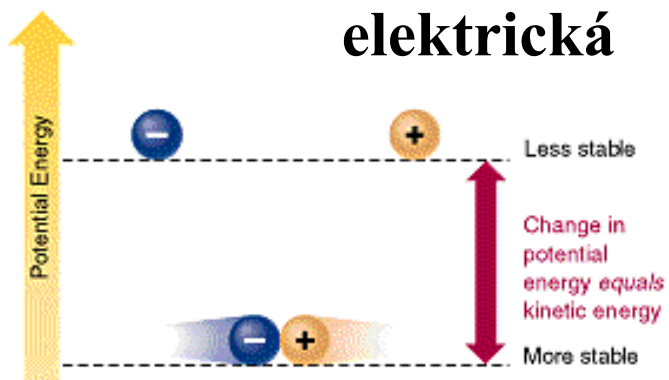
Přeměny kinetické a potenciální energie



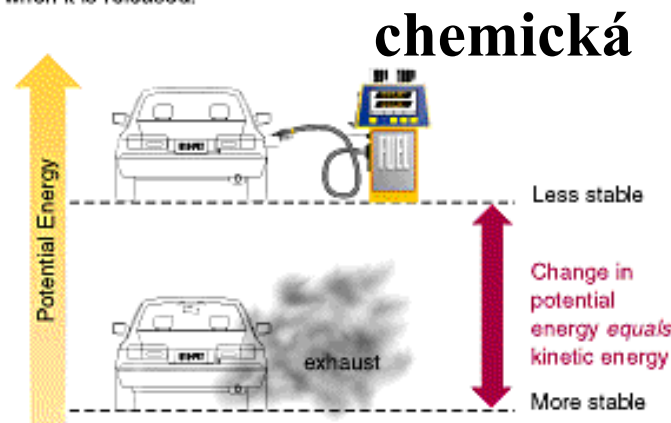
A A gravitational system. The E_p gained when a weight is lifted is converted to E_k as the weight falls.



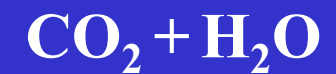
B A system of two balls attached by a spring. The E_p gained when the spring is stretched is converted to E_k of the moving balls when it is released.



C A system of oppositely charged particles. The E_p gained when the charges are separated is converted to E_k as the attraction pulls them together.

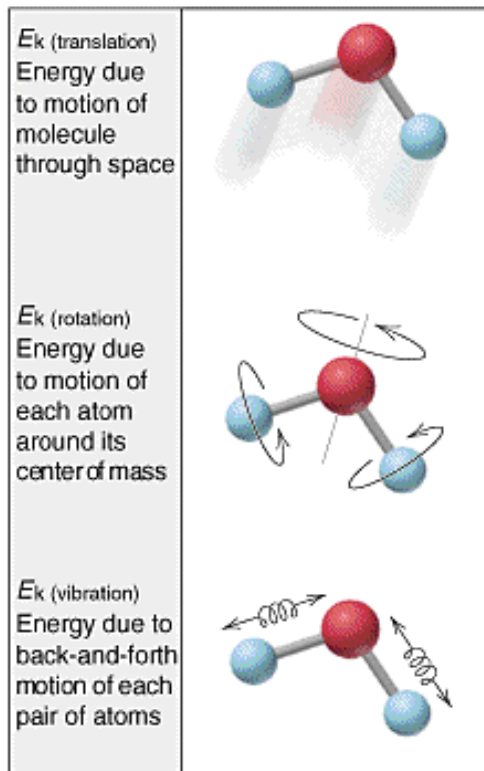


D A system of fuel and exhaust. A fuel is higher in chemical E_p than the exhaust. As the fuel burns, some of its E_p is converted to E_k of the moving car.



Kinetická a potenciální energie

Kinetická

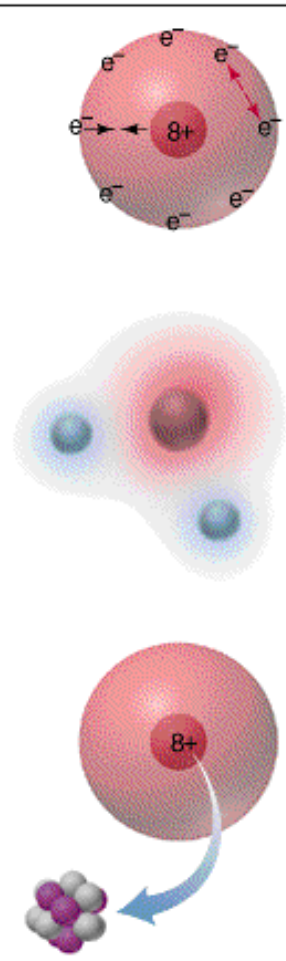


A Contributions to kinetic energy (E_k)

E_p (atom)
Energy due to attraction between nucleus and electrons; repulsion between electrons

E_p (bond)
Energy due to attraction between nuclei and shared electrons

E_p (nuclei)
Energy due to attraction between particles in nucleus



B Contributions to potential energy (E_p)

Potenciální

Elektronová
(e-j a e-e
uvnitř atomu)

Vazebná
(valenční e v
molekulách)

Jaderná

Translační

Rotační

Vibrační

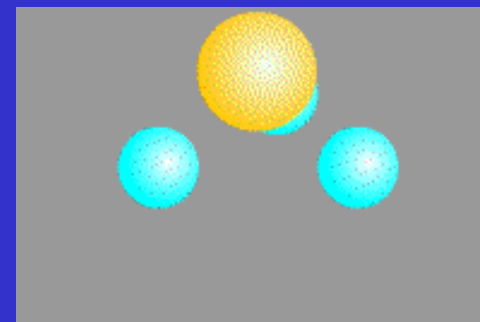
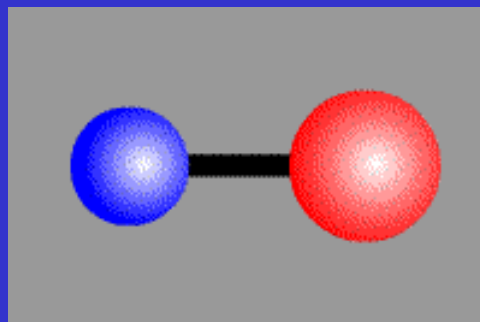
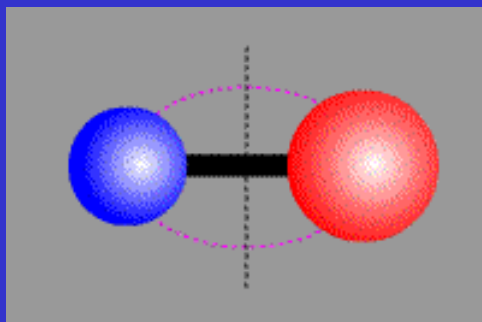
Energie

Celková energie molekuly

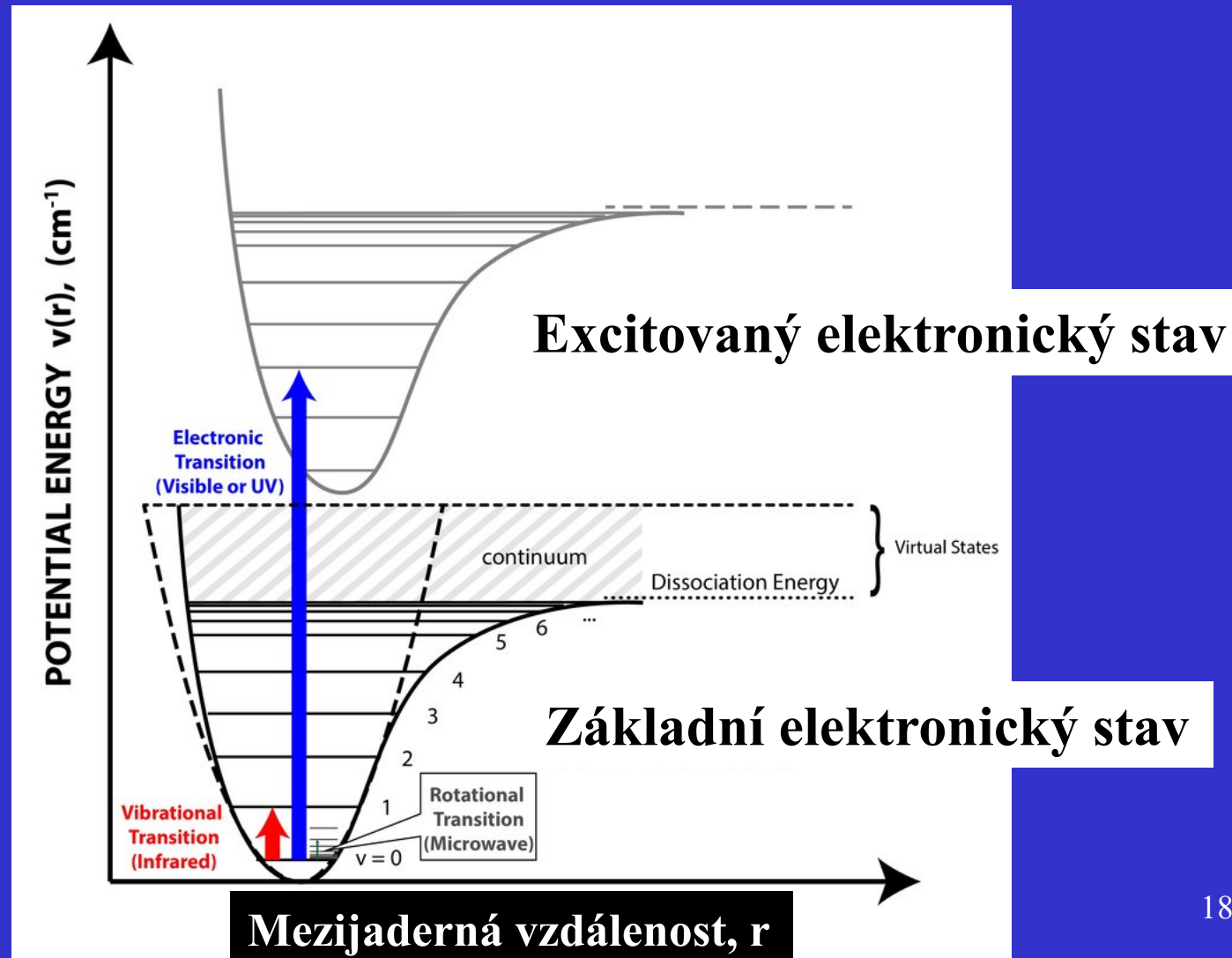
Jednotlivé složky E_{celk} jsou nezávislé – velmi rozdílné velikosti

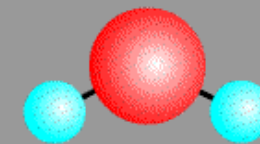
$E_{\text{celk}} = \text{translační} + \text{rotační} + \text{vibrační} + \text{elektronová}$

$E(\text{elektronová})$	100 kJ mol^{-1}	UV a viditelná
$E(\text{vibrační})$	$1,5 - 50 \text{ kJ mol}^{-1}$	Infračervěná
$E(\text{rotační})$	$0,1 - 1,5 \text{ kJ mol}^{-1}$	Mikrovlnná a daleká IČ



Elektronové, vibrační a rotační přechody





Energetické stavy – vibrační hladiny

Kvantování vibrační energie

Schrödingerova rovnice

$$E(\text{vibrační}) = h\nu_0 \left(v + \frac{1}{2} \right)$$

ν_0 = vibrační frekvence

v = vibrační kvantové číslo

Výběrové pravidlo: $\Delta v = \pm 1$

Energie nulového bodu:

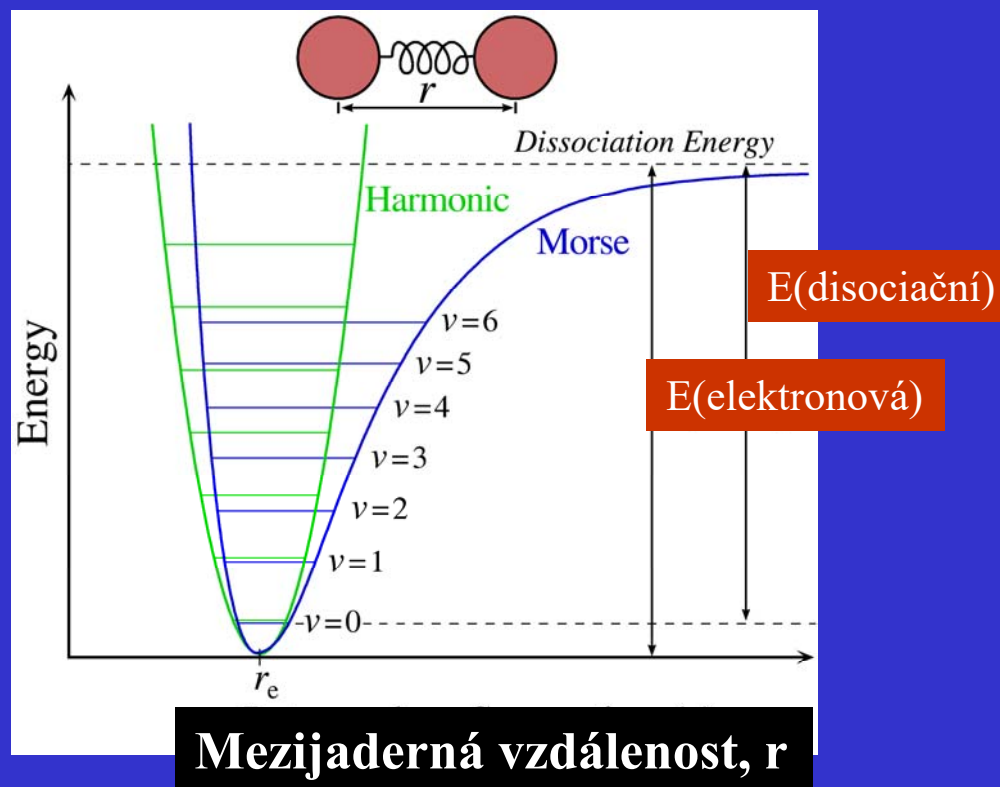
$$\text{Pro } v = 0 \quad E(\text{vibrační}) = \frac{1}{2} h\nu_0$$

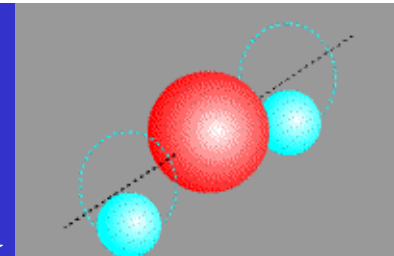
$$\text{H}_2 \quad E(\text{elektronová}) = 458 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$E(\text{disociační}) = 432 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$E(v = 0) = 26 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Za normální teploty jsou molekuly v základním vibračním stavu $v = 0$, nemají dost energie na populaci vyšších hladin





Energetické stavy – rotační hladiny

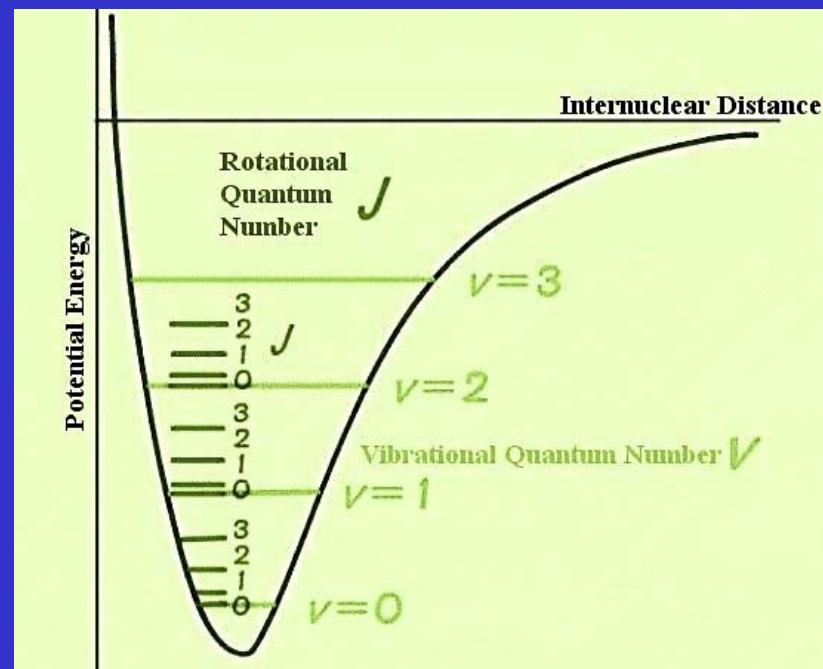
Kvantování rotační energie

$$E(\text{rotační}) = (\hbar^2/2I) J(J + 1)$$

J = rotační kvantové číslo

I = moment setrvačnosti (μr^2)

Výběrové pravidlo $\Delta J = \pm 1$



Mezijaderná vzdálenost, r

Za normální teploty jsou molekuly v mnoha excitovaných rotačních stavech, rotační energie srovnatelná s tepelnou energií pohybu molekul

Vnitřní energie, U

U = součet všech typů energie: translační, rotační, vibrační, kmitů mřížky, vazebné energie, jaderné.....

U je stavová funkce – závisí na T, p, ... a mění se s jejich změnou

Hodnotu U nelze změřit ani vypočítat

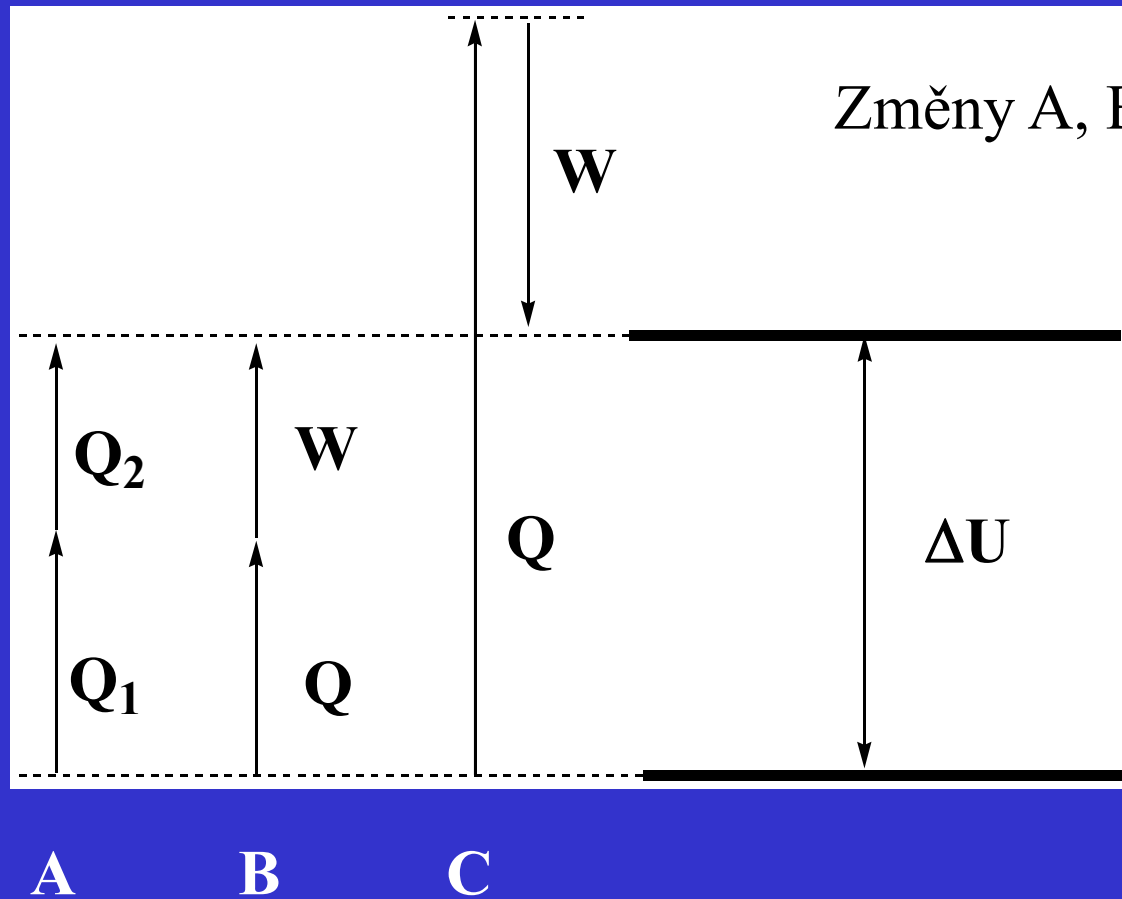
Změny U lze měřit při výměně:

tepla Q, práce W, elektrické energie E_{el}

$$\Delta U = U_{kon} - U_{poč}$$

Nezávisí na cestě a způsobu změny U, ale jen na počátečním a konečném stavu

Změny U



Změny A, B, C způsobí stejnou ΔU

U_{kon} Konečný stav

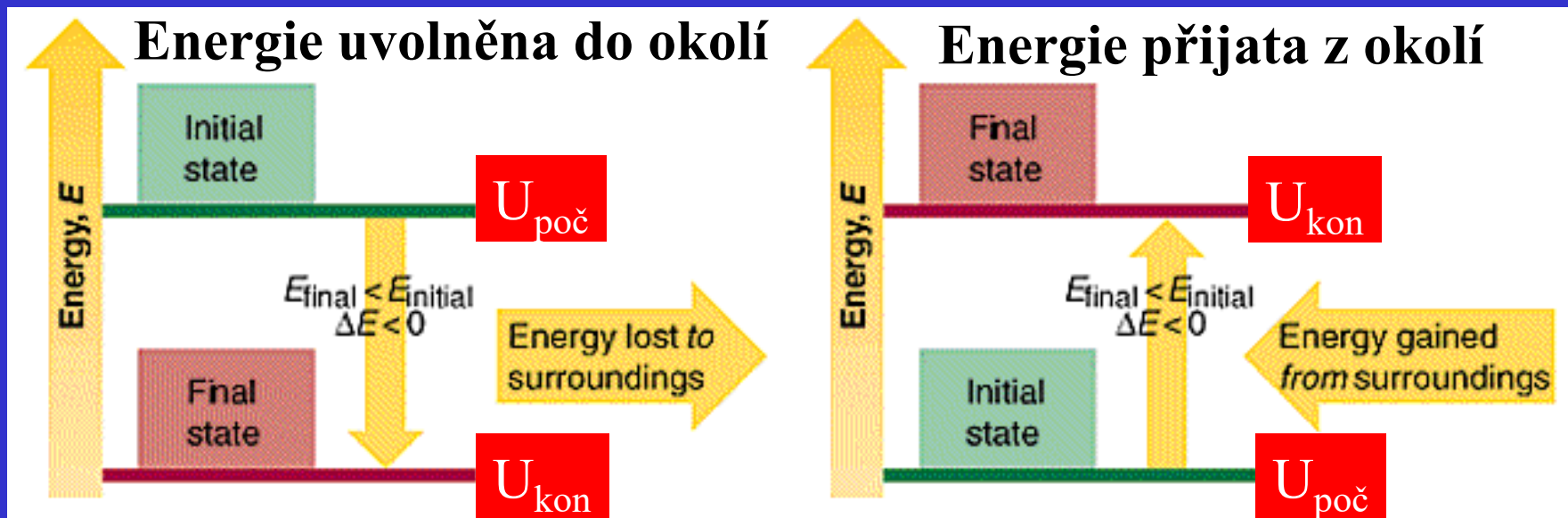
$$\Delta U = U_{\text{kon}} - U_{\text{poč}}$$

$U_{\text{poč}}$ Počáteční stav

$Q = \text{teplo}, W = \text{práce}$

Výměna energie (tepla Q, práce W,...)

System nemá **teplo** nebo **práci**, ty se pouze vyměňují



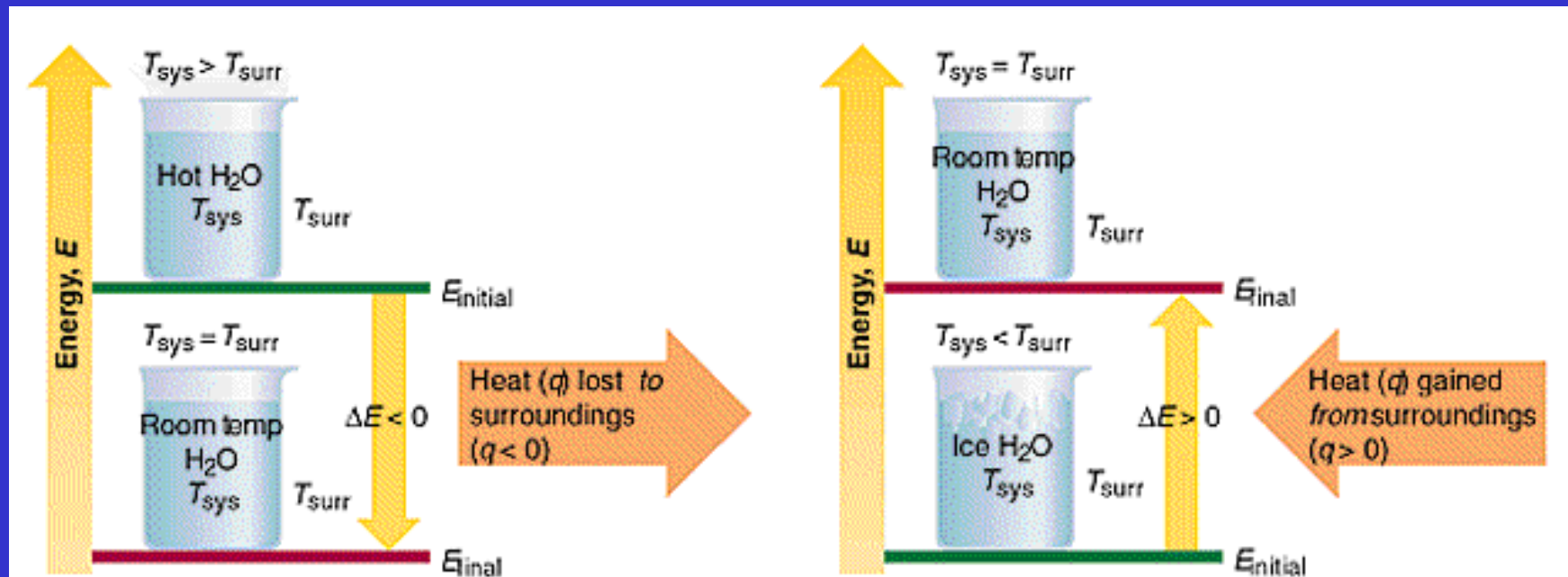
$$\Delta U = U_{\text{kon}} - U_{\text{poč}} < 0$$

$$\Delta U = U_{\text{kon}} - U_{\text{poč}} > 0$$

Znaménko změny vzhledem k systému

Výměna tepla Q

Teplo, Q není stavová veličina

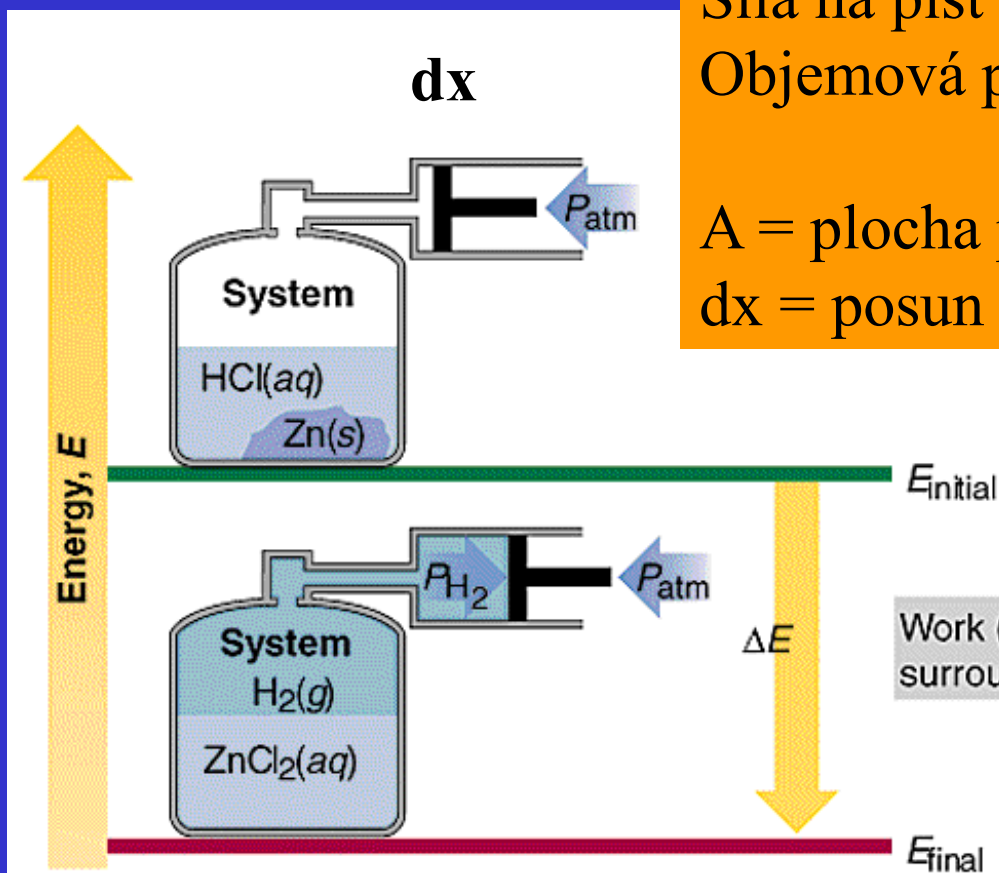


Vydané teplo $-Q$ ($Q < 0$)

Přijaté teplo $+Q$ ($Q > 0$)

Znaménko změny vzhledem k systému

Objemová práce, W



Síla na píst $F = p \times A$

Objemová práce $W = F \, dx = p \, A \, dx = p \, dV$

A = plocha pístu

dx = posun pístu $dV = A \times dx$

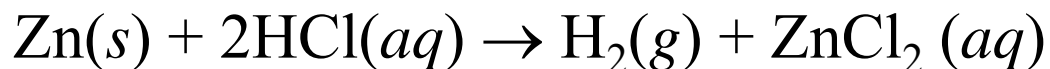
Práce vykonaná $-W$ ($W < 0$)

Expanze plynu $dV > 0$

Work (w) done on surroundings ($w < 0$)

Práce přijatá $+W$ ($W > 0$)

Stlačení plynu $dV < 0$



První věta (zákon) TD

1840: J. von Mayer, J. Joule, H. von Helmholtz

Zákon zachování energie

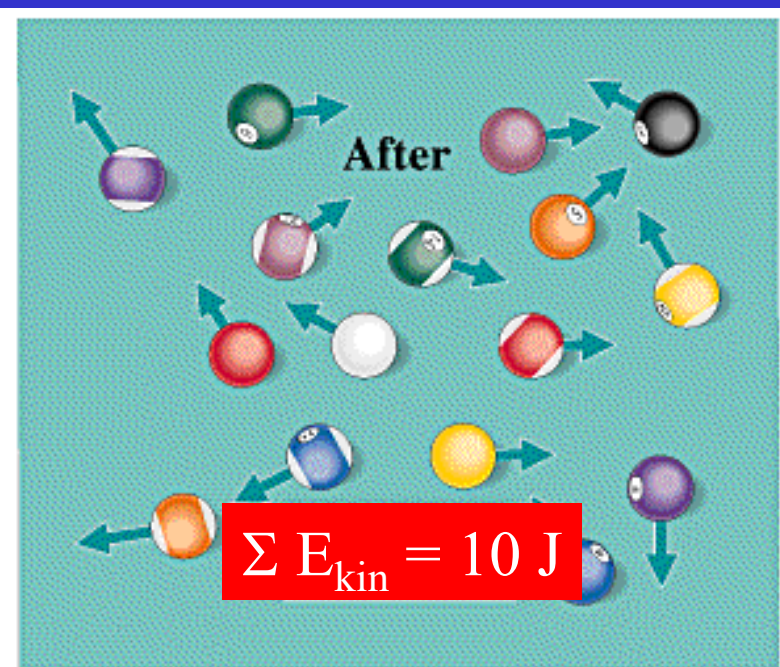
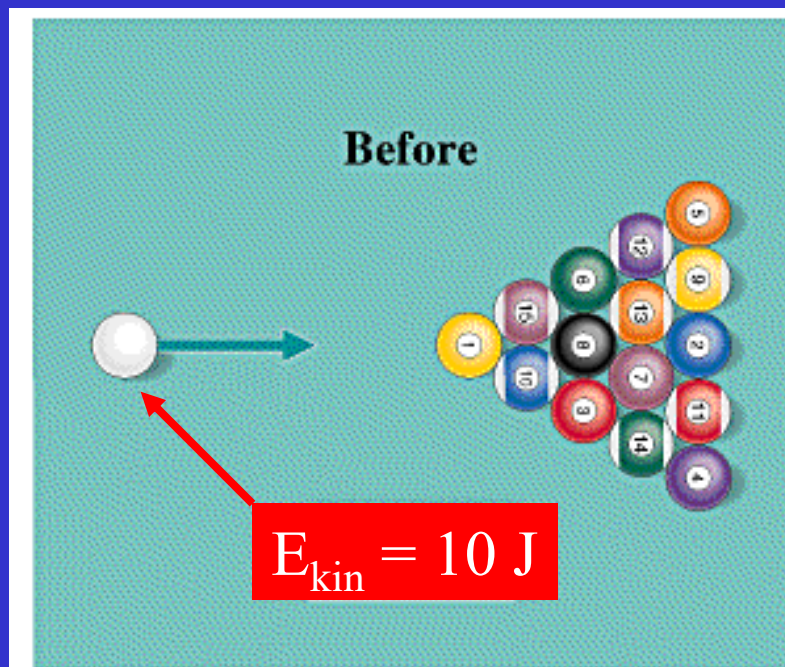
Energie se nevytváří ani nemizí

Celková energie vesmíru je konstantní

Jeden druh energie se přeměňuje na jiný



Hermann von Helmholtz
(1821 – 1894)



První věta (zákon) TD

$$\Delta U = Q + W$$

Ekvivalence práce a tepla

Postulát (nedokazatelné tvrzení)

Změna vnitřní energie ΔU izolovaného systému se rovná součtu vyměněného tepla Q a práce W

Práce vykonaná $-W$ ($W < 0$)
Expanze plynu $dV > 0$

Práce přijatá $+W$ ($W > 0$)
Stlačení plynu $dV < 0$

Vydané teplo $-Q$ ($Q < 0$)

Přijaté teplo $+Q$ ($Q > 0$)

Znaménková konvence: vzhledem k systému

Reakční teplo při konstantním objemu, Q_V

Konstantní objem $V = \text{konst.}$

když $\Delta V = 0$

pak i objemová práce $p \Delta V = 0$ a $W = 0$

$$\Delta U = Q_V$$

Reakční teplo při konstantním objemu je rovno ΔU

tj. např. dodané reakční teplo se využije na zvýšení vnitřní energie soustavy

Reakční teplo při konstantním tlaku, Q_p

Konstantní tlak $p = \text{konst.}$ Běžná situace v chemii

$\Delta U = Q_p - p \Delta V$ vykonaná objemová práce

$$U_2 - U_1 = Q_p - p (V_2 - V_1)$$

$$Q_p = (U_2 + p V_2) - (U_1 + p V_1) = H_2 - H_1 = \Delta H$$

Enthalpie $H = U + p V$ je stavová funkce, není to teplo

Při dodání Q_p se teplo přemění částečně na U a částečně na W

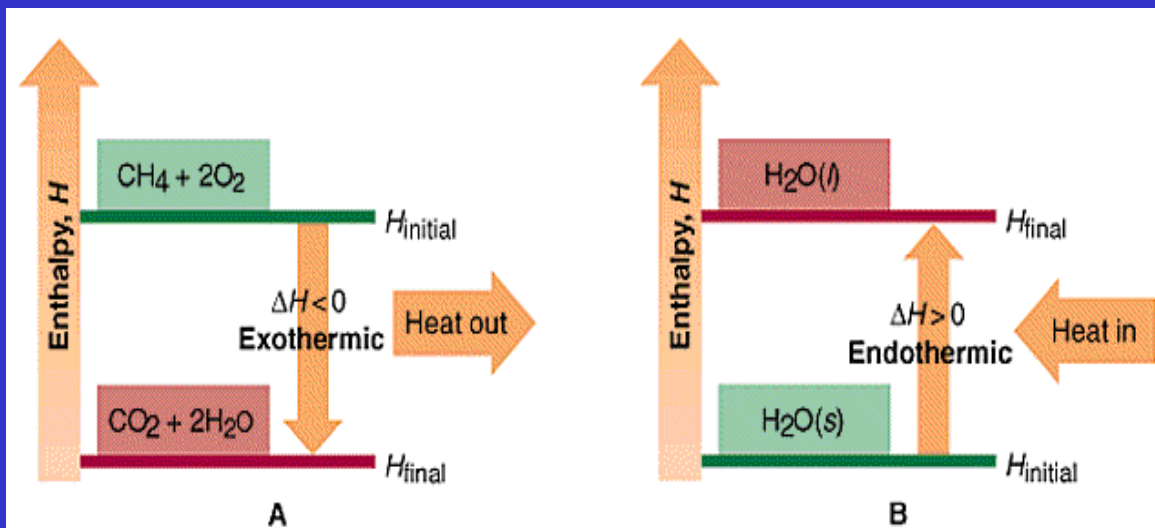
Exotermní a endotermní děje

Exotermní děj

$\Delta H < 0$ soustava odevzdává teplo do okolí, energetický obsah soustavy se zmenšuje

Endotermní děj

$\Delta H > 0$ soustava přijímá teplo od okolí, energetický obsah soustavy se zvětšuje



Standardní stav

Hodnoty stavových veličin U , H , G a S závisí na T , p , c

Standardní stav = definované podmínky pro srovnání

Značí se horním indexem nula H^0

Dohodou stanovené, definují se pro g, l, roztoky

$$T_{\text{st}} = 298,15 \text{ K} \quad (25 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{st}} = 100\,000 \text{ Pa} = 1 \text{ bar} \quad (\text{dříve } p_{\text{st}} = 1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa})$$

$$c_{\text{M}} = 1 \text{ mol l}^{-1}$$

Pozor: Standardní stav není stejný jako standardní podmínky (STP) pro plyny:

$$p = 101\,325 \text{ Pa}, T = 273,15 \text{ K} \quad (0 \text{ }^\circ\text{C})$$

Enthalpie prvků

Enthalpie **prvků** H není známa (stejně jako sloučenin)

Pro **prvky** bylo dohodnuto:

$$H^0 = 0$$

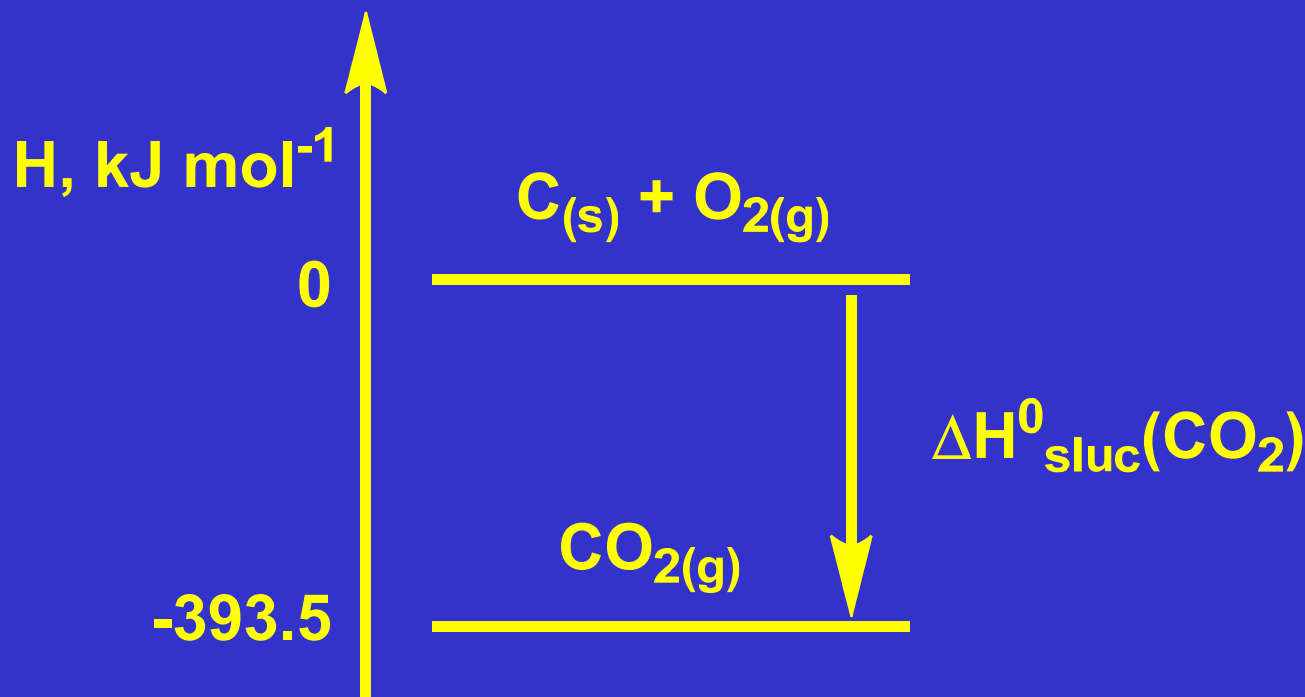
při standardním stavu ($T = 298,15 \text{ K}$, $p = 1 \text{ bar}$)

a ve skupenství v němž se prvek vyskytuje ve standardním stavu

Slučovací enthalpie, $\Delta H^0_{\text{sluč}}$

$\Delta H^0_{\text{sluč}}$ pro reakci při níž vzniká 1 mol látky z prvků ve standardních stavech ($H^0 = 0$) při standardních podmínkách p , T

Tabelované hodnoty pro sloučeniny $\Delta H^0_{\text{sluč}}$ [kJ mol^{-1}]



Slučovací enthalpie, $\Delta H^0_{\text{sluč}}$

Látka	Skupenství	$\Delta H^0_{\text{sluč}}$ [kJ mol ⁻¹]
SiO ₂	s	-911
NO ₂	g	+33
NO	g	+90
H ₂ O	l	-285,8
H ₂ O	g	-241,82
CO ₂	g	-393,5
CH ₄	g	-74,53
Br ₂	l	0
Br ₂	g	+31
I ₂	s	0
I ₂	g	+62
ZnSO ₄	aq	-980,14

Reakční enthalpie, ΔH^0_r

ΔH^0_r udává o kolik se produkty reakce liší od výchozích látek

Lze vypočítat dvěma způsoby:

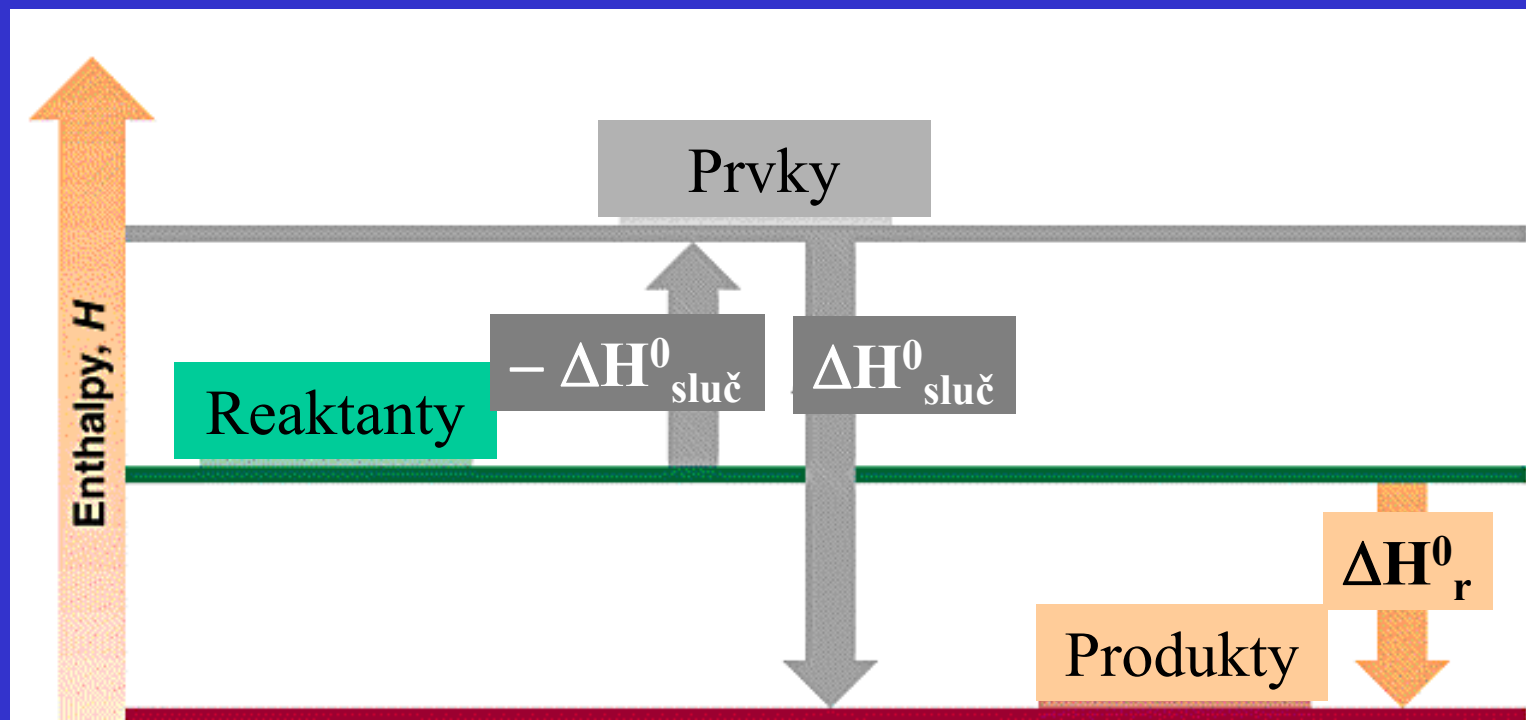
1) ze slučovacích enthalpií pro reakci

Reaktanty \rightarrow Produkty

$$\Delta H^0_r = \sum n_{\text{prod}} \Delta H^0_{\text{sluč}} (\text{Prod}) - \sum n_{\text{vých}} \Delta H^0_{\text{sluč}} (\text{Reakt})$$

n = stechiometrické koeficienty !!!!

Reakční enthalpie, ΔH^0_r



$$\Delta H^0_r = \sum n_{\text{prod}} \Delta H^0_{\text{sluč}} (\text{Produkty}) - \sum n_{\text{vých}} \Delta H^0_{\text{sluč}} (\text{Reaktanty})$$

Reakční enthalpie, ΔH°_r ze slučovacích enthalpií



$\Delta H^{\circ}_{\text{sluč}}$	$\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$	9,66 kJ mol ⁻¹
	$\text{H}_2(\text{g})$	0 kJ mol ⁻¹
	$\text{N}_2(\text{g})$	0 kJ mol ⁻¹
	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	-241,82 kJ mol ⁻¹

$$\Delta H^{\circ}_r = [1\text{mol}(\Delta H(\text{N}_2)) + 4\text{mol}(\Delta H(\text{H}_2\text{O}))] - [1\text{mol}(\Delta H(\text{N}_2\text{O}_4)) + 4\text{mol}(\Delta H(\text{H}_2))]$$

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}_r &= [1\text{mol}(0 \text{ kJ mol}^{-1}) + 4\text{mol}(-241,82 \text{ kJ mol}^{-1})] - [1\text{mol}(9,66 \text{ kJ mol}^{-1}) + \\ &4\text{mol}(0 \text{ kJ mol}^{-1})] \\ &= -976 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Exothermní reakce = Raketové palivo

Reakční enthalpie, ΔH_r^0



$\Delta H_{\text{sluč}}^0$	KOH(s)	-424,7 kJ mol ⁻¹
	CO ₂ (g)	-393,5 kJ mol ⁻¹
	K ₂ CO ₃ (s)	-1150,18 kJ mol ⁻¹
	H ₂ O(g)	-241,82 kJ mol ⁻¹

$$\Delta H_r^0 = [1\text{mol}(\Delta H(\text{K}_2\text{CO}_3)) + 1\text{mol}(\Delta H(\text{H}_2\text{O}))] - [2\text{mol}(\Delta H(\text{KOH})) + 1\text{mol}(\Delta H(\text{CO}_2))]$$

$$\Delta H_r^0 = [1\text{mol}(-1150,18 \text{ kJ mol}^{-1}) + 1\text{mol}(-241,82 \text{ kJ mol}^{-1})] - [2\text{mol}(-424,7 \text{ kJ mol}^{-1}) + 1\text{mol}(-393,5 \text{ kJ mol}^{-1})]$$

$$= -149,1 \text{ kJ}$$

Reakční enthalpie, ΔH_r^0

Enthalpie je extenzivní veličina

(velikost ΔH závisí na látkovém množství):



Reakční enthalpie, ΔH_r^0

Reakční enthalpie závisí na skupenství reaktantů



Reakční enthalpie, ΔH^0_r

Obrácená reakce má opačné znaménko ΔH :

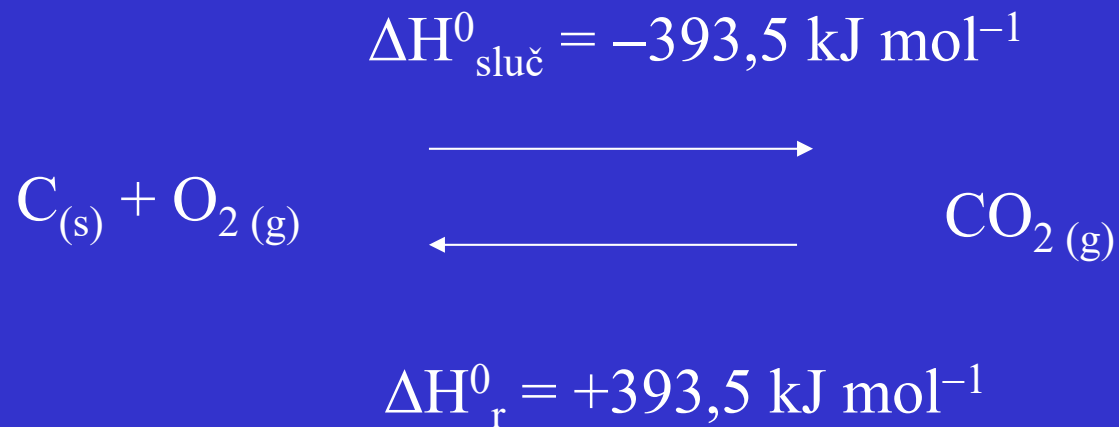
(První Hessův zákon nebo Lavoisier-Laplaceův zákon)



Hesovy zákony

První Hessův zákon nebo Lavoisier-Laplaceův zákon

Tepelný efekt reakce v jednom směru a opačném směru je číselně stejný, liší se znaménkem



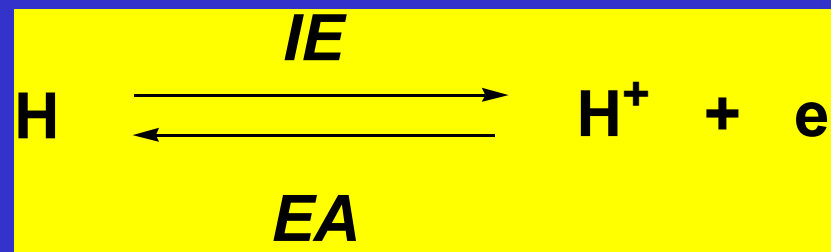
Germain Henri Hess
(1802 - 1850)

Hesovy zákony

První Hessův zákon

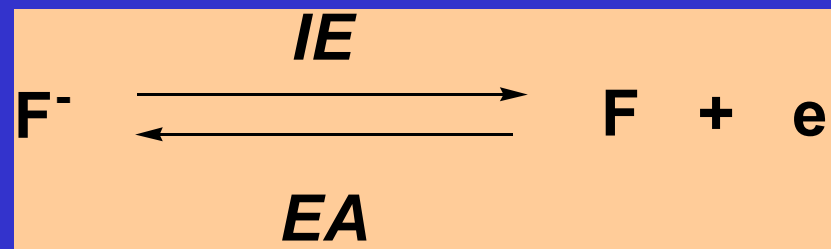
Ionizační energie H

Elektronová afinita H^+



Ionizační energie F^-

Elektronová afinita F



Hesovy zákony

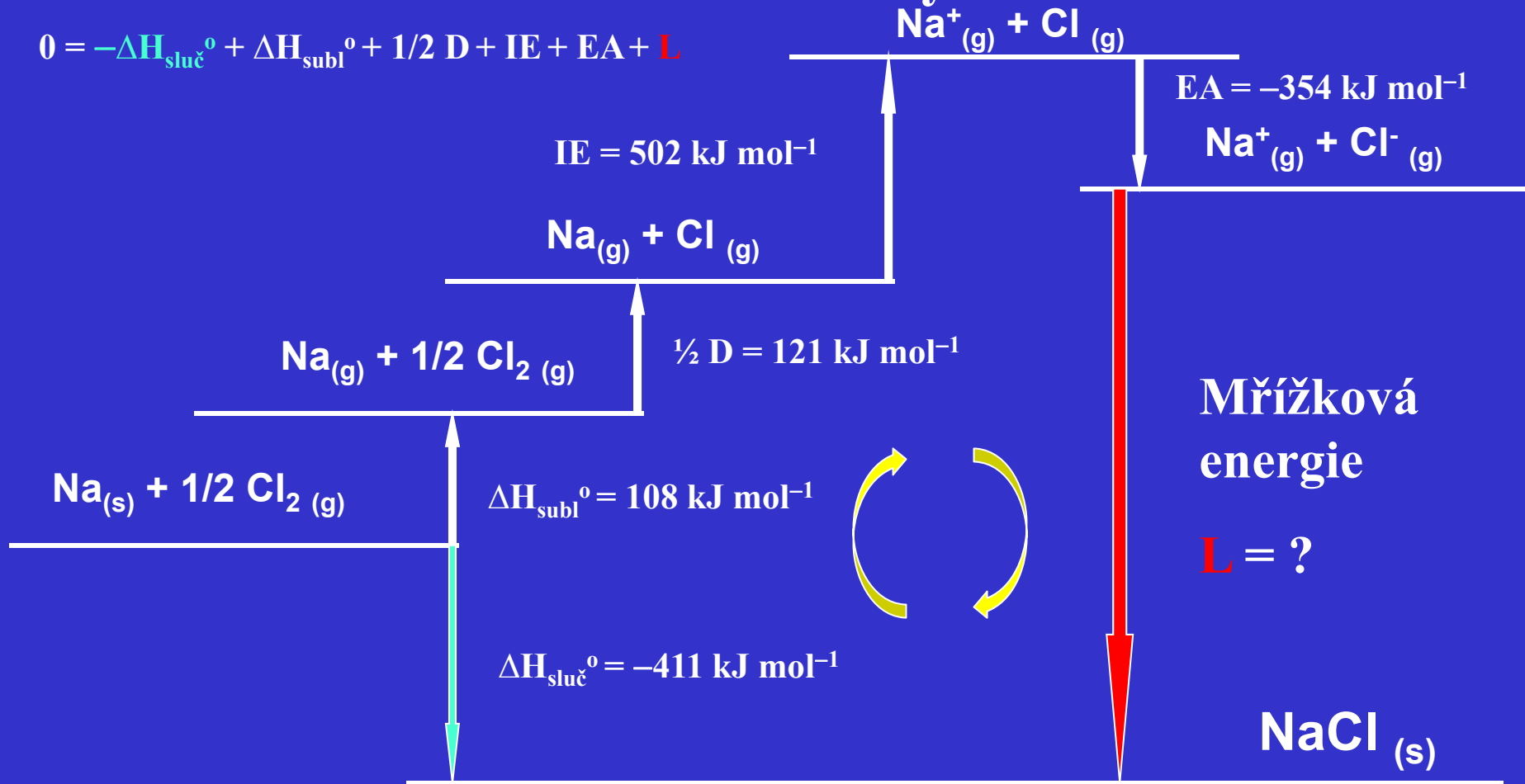
Druhý Hessův zákon

Součet reakčních tepel na cestě (počtu reakčních kroků) od reaktantů k produktům závisí jen na **počátečním a konečném** stavu, nezávisí na průběhu reakce

Výsledné reakční teplo jakékoliv reakce se rovná součtu reakčních tepel soustavy reakcí, jejichž součet je ekvivalentní celkové reakci

Born-Haberův cyklus

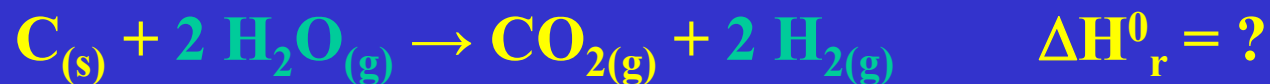
$$0 = -\Delta H_{\text{sluč}}^{\circ} + \Delta H_{\text{subl}}^{\circ} + 1/2 D + \text{IE} + \text{EA} + L$$



$$0 = 411 + 108 + 121 + 502 + (-354) + L$$

$$L = -788 \text{ kJ mol}^{-1} \quad 45$$

Hesovy zákony - Termochemie



$$\Delta H^0_r = -394 \text{ kJ mol}^{-1} + 484 \text{ kJ mol}^{-1} = +90 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Reakční enthalpie, ΔH^0_r

Lze vypočítat:

2) z vazebných enthalpií ΔH^0_{vaz} všech měnících se vazeb
pro reakci

Reaktanty \rightarrow Produkty

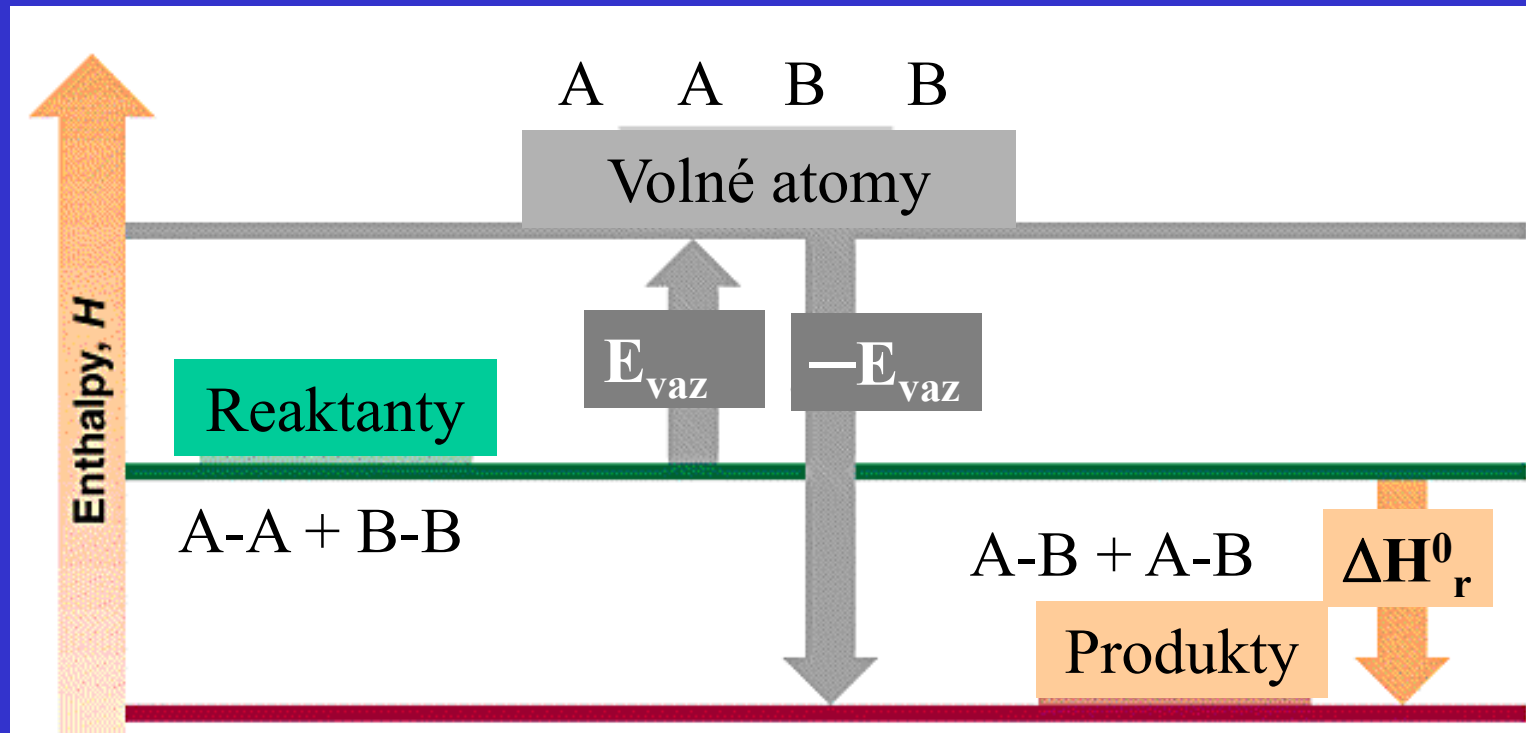


Energie spotřebovaná na
přetržení vazeb A-A a B-B

Energie uvolněná při
tvorbě vazeb A-B

$$\Delta H^0_r = \sum x E_{\text{vaz}} (\text{A-A a B-B}) - \sum y E_{\text{vaz}} (\text{A-B})$$

Reakční enthalpie, ΔH^0_r



$$\Delta H^0_r = \sum x E_{\text{vaz}} (\text{Reaktanty}) - \sum y E_{\text{vaz}} (\text{Produkty})$$

$x, y =$ počet vazeb

Vazebná energie pro diatomické molekuly

Energie potřebná k oddělení dvou atomů do velké vzdálenosti

Energie vazebných elektronů je nejnižší, když je mezi atomy vazebná vzdálenost, energie na přetržení vazby se spotřebuje na zvýšení energie elektronů a vzdálení atomů daleko od sebe

Při tvorbě vazby se odpovídající energie uvolňuje



$$E(\text{H-H}) = 436 \text{ kJ mol}^{-1}$$

**Energie spotřebovaná
na přetržení vazby H-H**

$$E(\text{H-Br}) = 366 \text{ kJ mol}^{-1}$$

**Energie uvolněná
při tvorbě vazby H-Br**

$$\Delta H_{\text{r}}^0 = E(\text{H-H}) - E(\text{H-Br}) = +70 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Vazebná energie pro diatomické molekuly



$$E(\text{H}-\text{H}) = 436 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$2 \times E(\text{H}-\text{Br}) = 366 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$E(\text{Br}-\text{Br}) = 193 \text{ kJ mol}^{-1}$$

**Energie spotřebovaná
na přetržení vazeb**

$$629 \text{ kJ mol}^{-1}$$

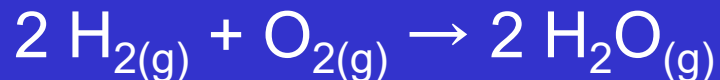
**Energie uvolněná
při tvorbě vazeb**

$$-732 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{r}}^0 = \sum x E_{\text{vaz}} (\text{Reaktanty}) - \sum y E_{\text{vaz}} (\text{Produkty})$$

$$\Delta H_{\text{r}}^0 = -103 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Vazebná energie pro polyatomické molekuly



$$\Delta H_r^0 = 2(436,0) + (498,3) - 2(926,9) = -483,5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

přetržené

vytvořené

Celková enthalpie souhlasí – obě vazby O-H přetrženy⁵¹

Vazebná energie pro polyatomické molekuly



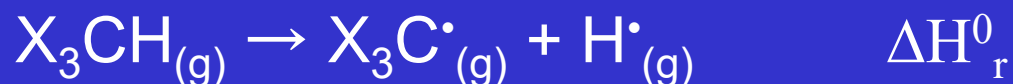
Průměrná vazebná energie O–H $926,9/2 = 463,5 \text{ kJ mol}^{-1}$



Vazebná energie pro polyatomické molekuly



Průměrná vazebná energie C–H $1663/4 = 416 \text{ kJ mol}^{-1}$

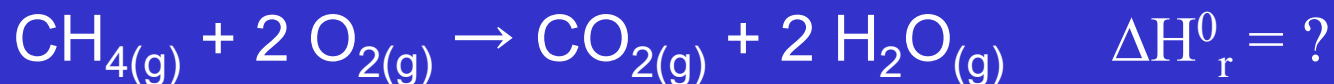


400 kJ mol⁻¹ H–CCl₃

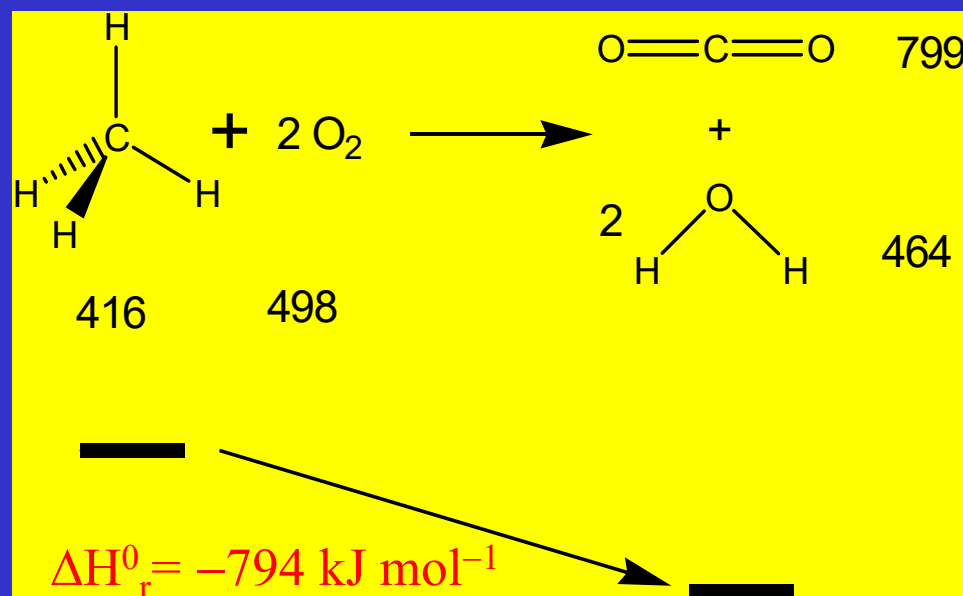
414 kJ mol⁻¹ H₂CCl₂

422 kJ mol⁻¹ H₃CCl

Průměrná vazebná energie pro odhad tepelného zbarvení reakce



Vazebná energie	kJ mol^{-1}
$E(\text{C-H})$ průměrná	416
$E(\text{O=O})$	498
$E(\text{C=O})$	799
$E(\text{O-H})$ průměrná	464



$$\Delta H_r^0 = \sum x E_{\text{vaz}} (\text{Reaktanty}) - \sum y E_{\text{vaz}} (\text{Produkty})$$

$$\Delta H_r^0 = 4 E(\text{C-H}) + 2 E(\text{O=O}) - 2 E(\text{C=O}) - 4 E(\text{O-H}) = -794 \text{ kJ mol}^{-1} \quad 54$$

Tepelné zabarvení reakce



$\Delta H_{\text{sluč}}^0$ kJ mol^{-1}

$\text{CH}_4(\text{g})$ -75

$\text{O}_2(\text{g})$ 0

$\text{CO}_2(\text{g})$ -394

$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ -242

$$\Delta H_r^0 = \sum n_{\text{prod}} \Delta H_{\text{sluč}}^0 (\text{Produkty}) - \sum n_{\text{vých}} \Delta H_{\text{sluč}}^0 (\text{Reaktanty})$$

$$\Delta H_r^0 = [(-394) + 2 (-242)] - [-75 + 0] = -802 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Enthalpie, H

Prvky H_2, N_2
 $H^\circ = 0 \text{ kJ mol}^{-1}$

Slučovací

Sloučenina HN_3
 $\Delta H^\circ_{\text{sluč}} = +294,1 \text{ kJ mol}^{-1}$

Sloučenina NH_3
 $\Delta H^\circ_{\text{sluč}} = -46,1 \text{ kJ mol}^{-1}$

Reakční

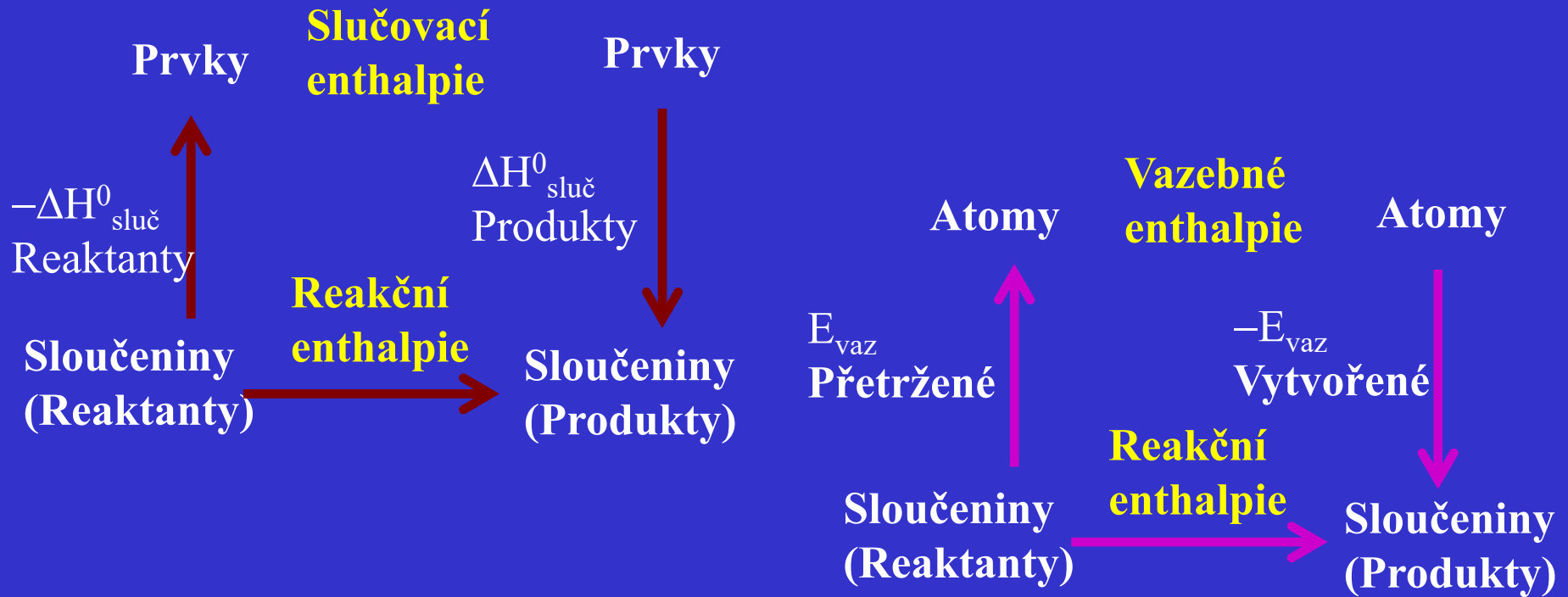
Sloučeniny (Reaktanty)

Sloučeniny (Produkty)

$$1) \Delta H^\circ_r = \sum n_{\text{prod}} \Delta H^\circ_{\text{sluč}} (\text{Produkty}) - \sum n_{\text{vých}} \Delta H^\circ_{\text{sluč}} (\text{Reaktanty})$$

$$2) \Delta H^\circ_r = \sum x E_{\text{vaz}} (\text{přetržené}) - \sum y E_{\text{vaz}} (\text{vytvořené})$$

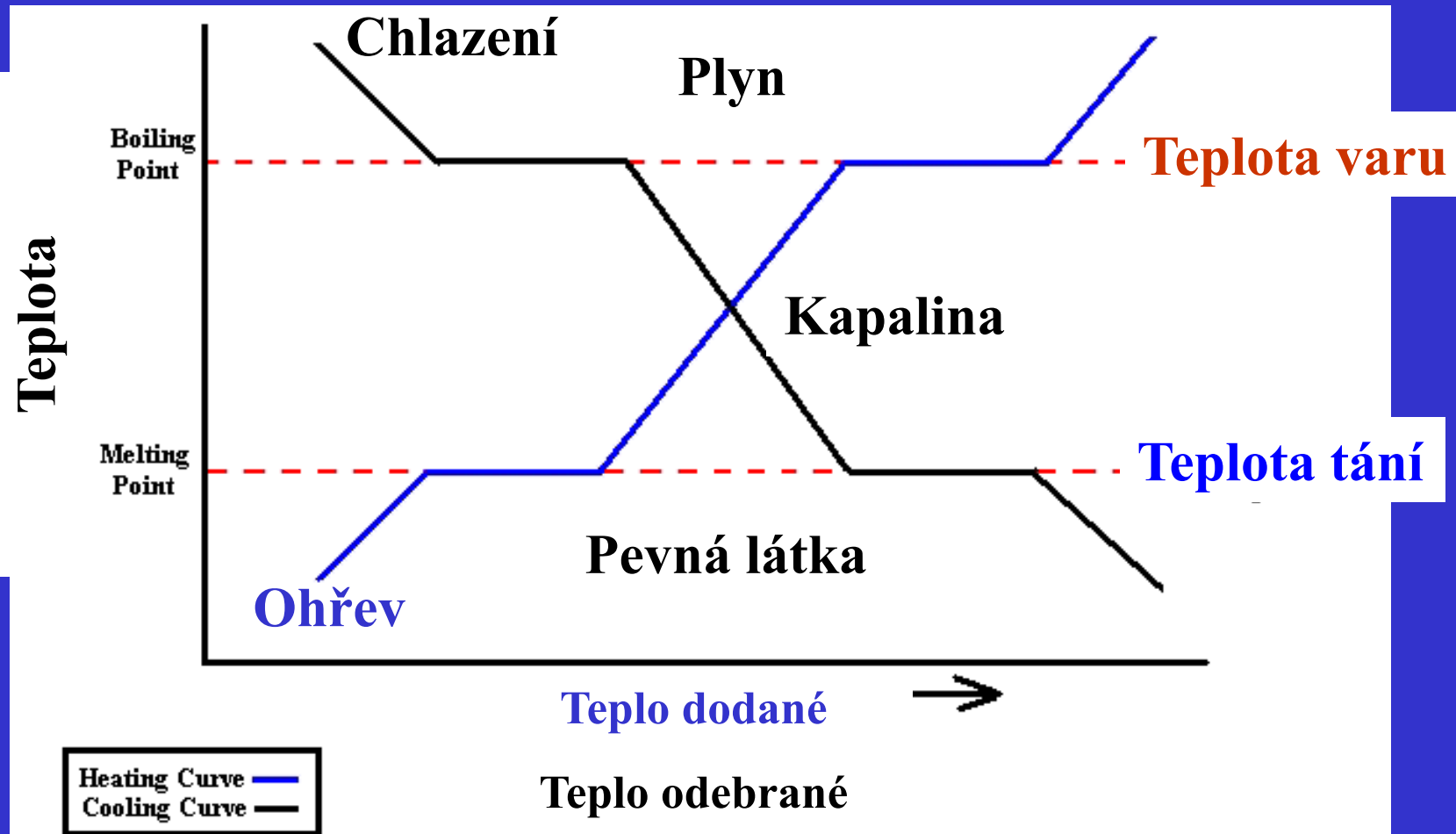
Enthalpie, H



$$1) \quad \Delta H^0_r = \sum n_{\text{prod}} \Delta H^0_{\text{sluč}} (\text{Produkty}) - \sum n_{\text{vých}} \Delta H^0_{\text{sluč}} (\text{Reaktanty})$$

$$2) \quad \Delta H^0_r = \sum x E_{\text{vaz}} (\text{Přetržené}) - \sum y E_{\text{vaz}} (\text{Vytvořené})$$

Enthalpie při fázových přeměnách



Enthalpie při fázových přeměnách

Endotermické		Exotermické	
Sublimace	$\Delta H_{\text{subl}} > 0$	Depozice	$\Delta H_{\text{dep}} < 0$
Vypařování	$\Delta H_{\text{výp}} > 0$	Kondenzace	$\Delta H_{\text{kon}} < 0$
Tání	$\Delta H_{\text{tání}} > 0$	Tuhnutí	$\Delta H_{\text{tuh}} < 0$

Enthalpie při fázových přeměnách

