

TERMOHEMIJA

ENERGETSKE PROMENE PRI HEMIJSKIM REAKCIJAMA

- Odigravanje hemijske reakcije uvek je praćeno energetsom promenom (toplotni efekat reakcije).
- Do energetske promene pri hemijskoj reakciji dolazi usled promene energije sistema (reakcionog).
- Energija sistema potiče od energije kretanja molekula, međudejstva jezgra i elektrona u atomima, unutrašnje energije jezgra itd.
- Zakon o održanju energije ~ energija se ne može uništiti, niti stvoriti, već se razmenjuje sa okolinom:

$$\Delta E(\text{sistema}) = -\Delta E(\text{okoline})$$

- Promena energije sistema jednaka je sumi toplote i rada razmenjenih između sistema i okoline.

TERMOHEMIJA

SISTEM I OKOLINA

- **Sistem** je skup supstanci u određenom delu prostora.
- **Okolina** je sve ono što je van sistema (reakcionog).
- Sistem je od okoline odvojen granicom.



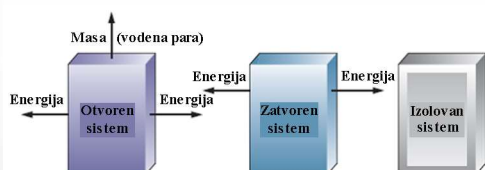
Sistem - reakciona smeša
(reaktanti i proizvodi)
Okolina (epruveta i vazduh)



TERMOHEMIJA

SISTEM I OKOLINA

- Sistem može biti:
 - izolovan - ne razmenjuje ni energiju ni masu sa okolinom,
 - zatvoren - razmenjuje energiju sa okolinom,
 - otvoren - razmenjuje i energiju i masu sa okolinom.



TERMOHEMIJA

RAZMENA TOPLOTE



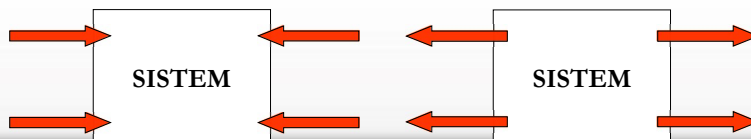
$$q > 0$$

(toplota prelazi iz okoline u sistem)



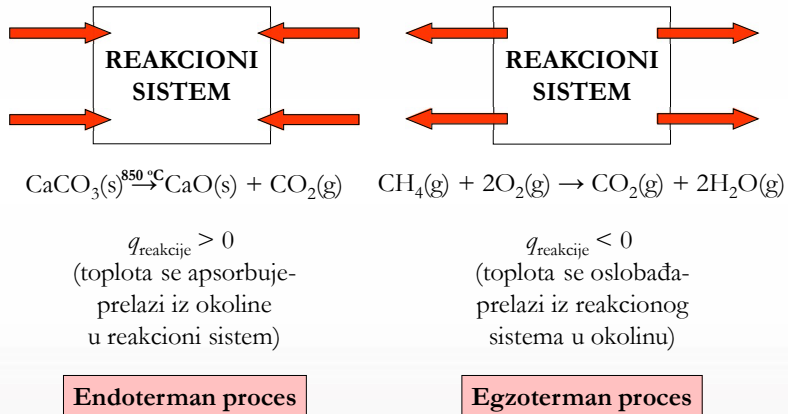
$$q < 0$$

(toplota prelazi iz sistema u okolinu)



TERMOHEMIJA

TOPLOTNI EFEKAT HEMIJSKE REAKCIJE



TERMOHEMIJA

ENTALPIJA

- Kada se reakcija odigrava na konstantnom pritisku, toplota koja se razmeni u reakcionom sistemu jednaka je promeni entalpije (ΔH), tj. razlici entalpija proizvoda i reaktanata:

$$q_{\text{reakcije}} = \Delta H = H_{\text{proizvoda}} - H_{\text{reaktanata}}$$

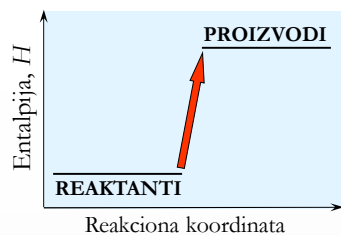
- Reakcije koje se u laboratoriji odigravaju u otvorenom sudu, odigravaju se na konstantnom pritisku (atmosferskom).

TERMOHEMIJA

ENTALPIJA

Endoterman proces

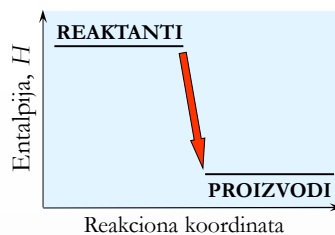
$$\Delta H > 0$$



$$H_{\text{proizvoda}} > H_{\text{reaktanata}}$$

Egzoterman proces

$$\Delta H < 0$$

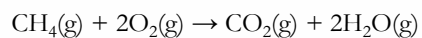


$$H_{\text{proizvoda}} < H_{\text{reaktanata}}$$

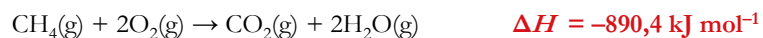
TERMOHEMIJA

TERMOHEMIJSKE JEDNAČINE

- Hemijska jednačina:



- Termo**hemijska jednačina:



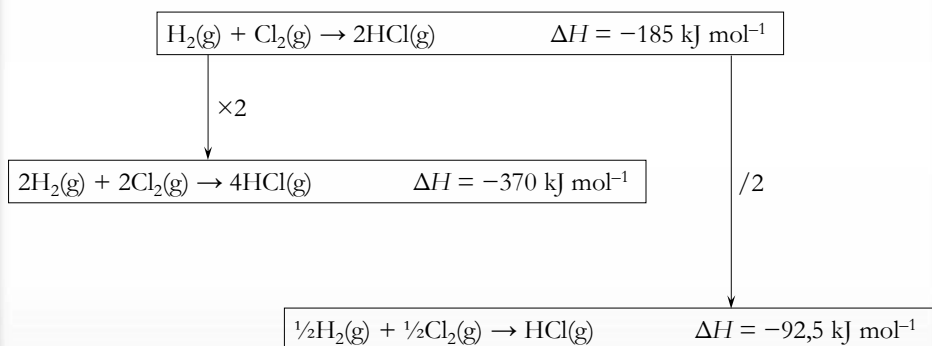
- predznak ΔH ukazuje na to da li je reakcija egzotermna ili endotermna
- neophodno je navesti agregatno stanje svih supstanci [$\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \neq \text{H}_2\text{O}(\text{l})$]
- navedena vrednost ΔH važi za slučaj kada su reaktanti i proizvodi na istoj temperaturi ($\sim 25^\circ\text{C}$)

$$\Delta H = \Delta_r H \text{ promena entalpije reakcije (toplotni efekat reakcije)}$$

TERMOHEMIJA

PRAVILA TERMOHEMIJE

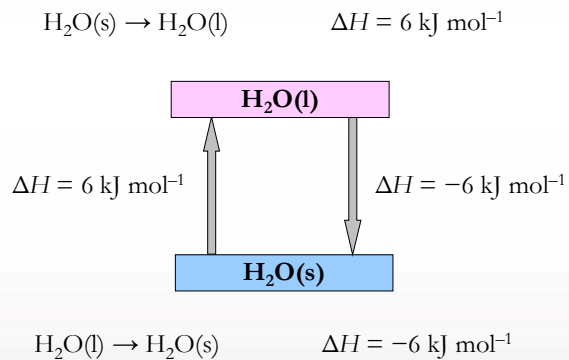
1. Vrednost ΔH je direktno proporcionalna količini reaktanata ili proizvoda.



TERMOHEMIJA

PRAVILA TERMOHEMIJE

2. Suprotna reakcija ima istu apsolutnu vrednost ΔH , ali sa suprotnim predznakom.



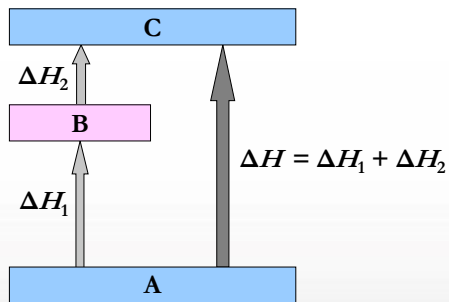
TERMOHEMIJA

PRAVILA TERMOHEMIJE

3. Vrednost ΔH reakcije je ista nezavisno od toga da li se ona odvija u jednom stupnju ili u više stupnjeva.

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \dots$$

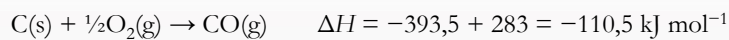
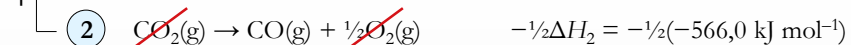
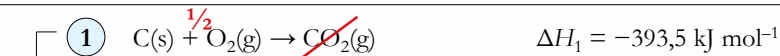
HESOV ZAKON – Promena entalpije hemijske reakcije ne zavisi od puta kojim se reakcija odvija, već samo od početnog i krajnjeg stanja.



TERMOHEMIJA

PRAVILA TERMOHEMIJE

- Hesov zakon se koristi za izračunavanje $\Delta_r H$ koje se teško eksperimentalno određuju:

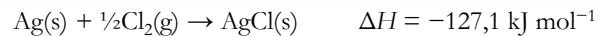


TERMOHEMIJA

STANDARDNE ENTALPIJE STVARANJA JEDINJENJA

$$\Delta_f H^\ominus$$

- Promena entalpije pri stvaranju jednog mola jedinjenja iz elemenata u stabilnom obliku na standardnom pritisku i definisanoj temperaturi.



$$\Delta_f H^\ominus(\text{AgCl, s}) = -127,1 \text{ kJ mol}^{-1} \quad \begin{array}{l} p^\ominus = 101325 \text{ Pa} \\ t = 25^\circ\text{C} \end{array}$$

- Termohemijska jednačina se piše tako da stehiometrijski koeficijent jedinjenja koje nastaje bude jednak 1.
- Standardnim entalpijama stvaranja (formiranja) elemenata u najstabilnijem obliku pripisana je vrednost nula.
- $\Delta_f H^\ominus(\text{Br}_2, \text{l}) = 0$ $\Delta_f H^\ominus(\text{Br}_2, \text{g}) = 111,9 \text{ kJ mol}^{-1}$
- Vrednosti $\Delta_f H^\ominus$ su relativne.

TERMOHEMIJA

IZRAČUNAVANJE STANDARDNE PROMENE ENTALPIJE REAKCIJE

$$\Delta_r H^\ominus = \Sigma \Delta_f H^\ominus(\text{proizvoda}) - \Sigma \Delta_f H^\ominus(\text{reaktanata})$$

- Elementi u svojim stabilnim stanjima mogu da se izostave.
- Stehiometrijski koeficijenti u termohemijskoj jednačini moraju da se uzmu u obzir.



proizvodi

reaktanti

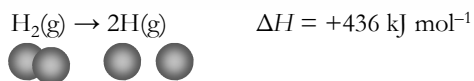
$$\Delta_r H^\ominus = 3\Delta_f H^\ominus(\text{CO}_2, \text{g}) + 4\Delta_f H^\ominus(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) - [\Delta_f H^\ominus(\text{C}_3\text{H}_8, \text{g}) + 5\cancel{\Delta_f H^\ominus(\text{O}_2, \text{g})}]$$

$$\Delta_r H^\ominus = 3 \cdot (-393,5) + 4 \cdot (-285,8) - (-103,8) = -2219,9 \text{ kJ mol}^{-1}$$

TERMOHEMIJA

ENTALPIJA HEMIJSKE VEZE

- Promena entalpije pri raskidanju jednog mola hemijskih veza u gasovitoj supstanci (~energija veze).

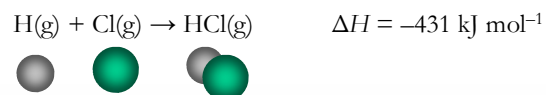


- Uvek ima pozitivnu vrednost, jer je raskidanje hemijske veze uvek endoterman proces (potrebno je uložiti energiju).

TERMOHEMIJA

ENTALPIJA HEMIJSKE VEZE

- Nastanak hemijske veze je uvek egzoterman proces (energija se oslobađa).
- Što je entalpija hemijske veze veća, veza je jača.



TERMOHEMIJA

ENTALPIJA HEMIJSKE VEZE

- Na osnovu entalpija hemijskih veza moguće je objasniti kada će reakcija biti endotermna, odnosno egzotermna.
- Reakcija će biti endotermna:

1. Ako su hemijske veze u reaktantima jače od hemijskih veza u proizvodima.



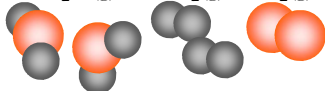
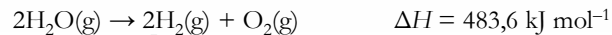
$$\text{HF}(2 \times 569 \text{ kJ mol}^{-1}) \quad [\text{H}_2(-436 \text{ kJ mol}^{-1}) + \text{F}_2(-159 \text{ kJ mol}^{-1})] = -595 \text{ kJ mol}^{-1}$$

- Više energije treba utrošiti na raskidanje veza u reaktantima, nego što se energije oslobodi nastajanjem veza u proizvodima.

TERMOHEMIJA

ENTALPIJA HEMIJSKE VEZE

2. Ako je ukupan broj veza u reaktantima veći od broja veza u proizvodima.



- Više energije takođe treba utrošiti na raskidanje veza u reaktantima, nego što se energije oslobodi nastajanjem veza u proizvodima.

TERMOHEMIJA

Primeri:

1. Izračunati standardnu entalpiju rastvaranja amonijum-nitrata u vodi i napisati odgovarajuću termohemijsku jednačinu.

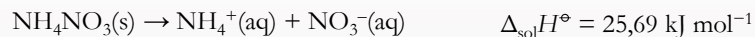


$$\Delta_f H^\circ = \Delta_f H^\circ(\text{NH}_4\text{NO}_3, \text{aq}) - \Delta_f H^\circ(\text{NH}_4\text{NO}_3, \text{s})$$

$$\Delta_f H^\circ(\text{NH}_4\text{NO}_3, \text{s}) = -365,56 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_f H^\circ(\text{NH}_4\text{NO}_3, \text{aq}) = -339,87 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta_r H^\circ = \Delta_{\text{sol}} H^\circ = -339,87 - (-365,56) = 25,69 \text{ kJ mol}^{-1}$$



TERMOHEMIJA

2. Izračunati standardnu entalpiju stvaranja SO_3 i napisati odgovarajuću termohemijsku jednačinu.

