

Norges teknisk-naturvitenskapelige
universitet
Institutt for materialteknologi

TMT4115 Generell
kjemi
Høst 2019
Øving 8

Veiledning: Tirsdag 5. november kl. 08:15-10:00 i S5.

Innleveringsfrist: Fredag 8. november kl. 10:15. Levering i hylle merket TMT4115 utenfor R7.

Noen stikkord:

Norsk:	Engelsk:
Entalpi	Enthalpy
Kalorimetri	Calorimetry
Varme	Heat
Arbeid	Work
Tilstandsfunksjon	State function
Salpetersyre	Nitric acid
Forbrenning	Combustion
Varmekapasitet	Heat capacity
Indre energi	Internal energy
Reaksjonsvei	Reaction pathway
Standardtilstand	Standard state
Utvidelse	Expansion
Kompresjon	Compression
Indre energi	Internal energy
Molar fordampningsentalpi	Molar enthalpy of vaporization
Molar sublimeringssentalpi	Molar enthalpy of sublimation
Molar smelteentalpi	Molar enthalpy of fusion/melting
Molar dannelsesentalpi	Molar enthalpy of formation

1 Beregn arbeidet w som gjøres på ett mol av en gass når

- trykket endres fra 1 til 2 atm ved konstant volum
- volumet endres fra 1 dm³ til 2 dm³ ved konstant trykk lik 1 atm
- gassen utvider seg isotermt ved temperatur 25 °C fra 1 dm³ til 2 dm³

I det siste tilfellet må du utlede ligningen for arbeidet selv. Du kan anta en ideell gass. Hint: Del volumutvidelsen opp i små (infinitesimale) volumendringer dV , og integrer opp arbeidet $p(V)dV$ når du antar at trykket $p(V)$ er konstant for hver av de infinitesimale volumendringene. Se for øvrig Ref. [1, s. 422] og [2, s. 292].

2 Hvor mye varme går med til å varme opp 1 kg etan C₂H₆ fra 25 °C til 75 °C ved

a) konstant trykk lik 2.00 atm?

b) konstant volum?

Beregn også endring i indre energi ΔU , i entalpi ΔH og arbeidet utført av gassen, w , i de to tilfellene.

[*Hint:* I tabellene i SI [3] finner du ikke tall for varmekapasitet ved konstant volum (c_v), bare for varmekapasiteten ved konstant trykk (c_p). For å regne om fra c_p til c_v kan vi tilnærme $P\Delta V$ for C_2H_6 med $P\Delta V = R\Delta T$ per mol som for en ideell gass. Siden (per mol) $q_P = \Delta H = \Delta(U + PV) = \Delta U + P\Delta V \approx \Delta U + R\Delta T$ er $c_p = dH/dT \approx dU/dT + R = c_v + R$.¹ Vi får derfor endelig at $c_v \approx c_p - R$ per mol, en relativt god tilnærming for mange reelle gasser.]

- 3 En metallprøve på 46.2 g varmes til 95.4 °C og plasseres så i et kalorimeter som inneholder 75 g vann ved 19.6 °C. Vannet og metallens sluttemperatur er 21.8 °C.

Beregn den spesifikke varmekapasiteten til prøven under antagelse av at all varme tapt fra metallet tas opp av vannet.

- 4 Vis ved hjelp av Hess' lov at flg. relasjon

$$\Delta H_{\text{vap}}^0(M) = \Delta H_s^0(M) - \Delta H_m^0(M) \quad (1)$$

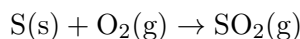
må gjelde for en vilkårlig forbindelse M, der $\Delta H_{\text{vap}}^0(M)$ er fordampningsentalpien til M, $\Delta H_s^0(M)$ sublimeringsentalpien og $\Delta H_m^0(M)$ smelteentalpien.

- 5 Per skal koke poteter og setter en gryte som inneholder 1 L vann ved 10 °C på komfyren og skrur på en plate med effekt² 1000 W. Trykket er 1 atm. Så glemmer Per å ha i potetene og går tur i stedet.

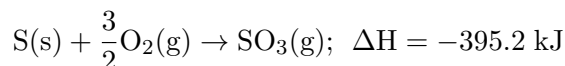
Hvor lenge kan Per være på tur før gryten koker tørr (og huset brenner ned)?

Se bort fra varmekapasiteten til gryten og eventuell fordampning før kokepunktet.

- 6 a) Beregn ΔH for reaksjonen



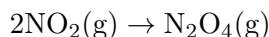
fra flg data



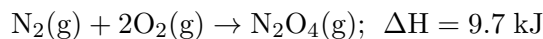
¹Egentlig skal dette skrives $\partial H/\partial T$ osv der ∂ betyr "partiell-derivert". Her kun en matematisk detalj gitt for å forebygge eventuelle misforståelser i senere kurs i termodynamikk. $\partial U/\partial T = c_v$ siden gassen ikke utfører arbeid ved konstant volum og *all* varmen går med til å øke den indre energien.

²Effekt er (her) den varmen per tid som overføres til gryten. Effekt har enheten W som er det samme som J/s.

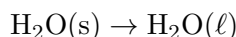
- b) Beregn ΔH for reaksjonen



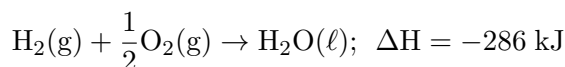
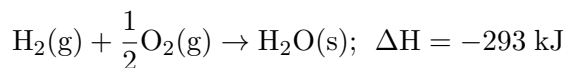
fra flg data



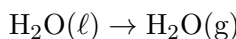
- c) Beregn ΔH for reaksjonen (smelteentalpien)



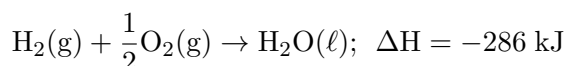
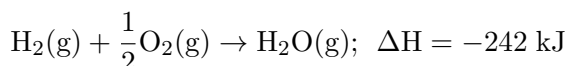
fra flg data



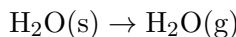
- d) Beregn ΔH for reaksjonen (fordampningsentalpien)



fra flg data



- e) Beregn ΔH for reaksjonen (sublimeringsentalpien)



- 7 a) Angi standardtilstand ved 298 K for flg grunnstoff og forbindelser: oksygen, ammoniakk (NH_3), jern, karbon, metan (CH_4), bor, karbondioksid, metanol (CH_3OH), vann

- b) *Standard dannelsesentalpi* ΔH_f^0 er definert som entalpien til reaksjonen



når alle produkter og reaktanter befinner seg i standardtilstand. Slå opp i SI Chemical Data [3] og finn standard dannelses-entalpi for forbindelsene i pkt (a). Kan du se noe mønster i tallene?

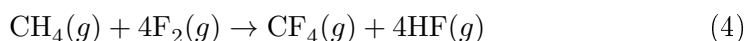
- 8 Beregn entalpien fra de alternative reaksjonsveiene angitt for reaksjonene nedenfor. Vis at den alternative reaksjonsveien gir samme resultat som en får ved å benytte formelen

$$\Delta H_{\text{reaksjon}}^0 = \sum \Delta H_f^0(\text{produkter}) - \sum \Delta H_f^0(\text{reaktanter}) \quad (3)$$

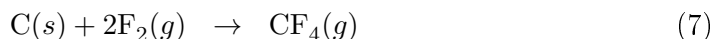
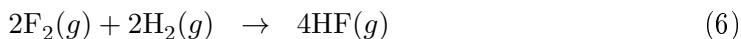
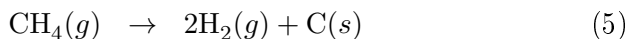
for den opprinnelige reaksjonen, der $\sum \Delta H_f^0(\text{produkter})$ er summen av standard dannelsesentalpi for produktene i reaksjonen og det siste leddet summen av standard dannelsesentalpier for reaktantene.

Avgjør om reaksjonene er eksoterme eller endoterme.

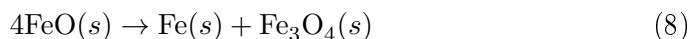
a)



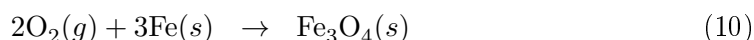
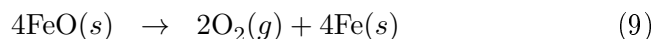
Alternativ reaksjonsvei:



b)

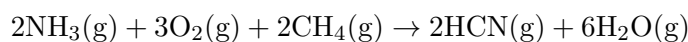


Alternativ reaksjonsvei:

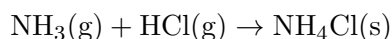


9 Regn ut ΔH^0 ved 298 K for reaksjonene nedenfor.³ Du kan benytte formelen (3).

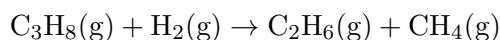
a)



b)

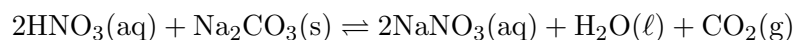


c)



Ekstra-oppgaver om tiden strekker til:

10 Påskesøndag 03. april 1983 rant det ut fra en tankbil i sentrum av Denver, USA, 100 m³ salpetersyre med en styrke på 70 wt% ren HNO_3 . For å nøytralisere syren ble store mengder natriumkarbonat (soda) fordelt over utslippet, og følgende reaksjon fant sted:



a) Beregn ΔH° for denne reaksjonen. (Tips 1: Hvilke ioner utgjør $\text{NaNO}_3(\text{aq})$ og $\text{HNO}_3(\text{aq})$? Tips 2: Hva med å sette opp en netto ionelikning?)

b) Hvor mye varme utvikles totalt ved reaksjonen, når 70 wt% salpetersyre har tetthet 1.42 g/cm³?

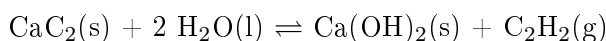
c) Hvilke flyktige komponenter som kunne utgjøre et miljøproblem var myndighetene i Denver opptatt av i forbindelse med utslippet og behandlingen?

11 Fyrstikker lages vanligvis av tre, med en tennsats som antennes av friksjonsvarme når den strykes mot en ru overflate. Et forslag til tennsats er en blanding av 3 deler (i mol) sort antimontrisulfid (Sb_2S_3) og 11 deler kaliumklorat (KClO_3).

³ $\Delta H_f^\circ(\text{HCN}(g)) = 135 \text{ kJmol}^{-1}$, $\Delta H_f^\circ(\text{NH}_4\text{Cl}(s)) = -314 \text{ kJmol}^{-1}$

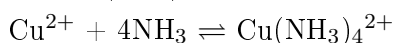
- a) Sett opp en balansert reaksjonsligning for reaksjonen i tennsatsen. Ved forbrenning av sulfidet dannes SO_2 , KCl , Sb_2O_3 og O_2 .
- b) Hva blir ΔH° for reaksjonen ved 298 K?
De fleste tresorter antennes ved en temperatur på ca. 300°C , og tennsatsens oppgave er å bringe treet temperatur over denne grensen. Vi regner med at volumet av tre som blir oppvarmet til det brenner er 10^{-2}cm^3 og mengden tennsats på fyrstikken er $5.5 \cdot 10^{-5}\text{mol KClO}_3$ og $1.5 \cdot 10^{-5}\text{mol Sb}_2\text{S}_3$.
- c) Hvilken temperatur vil dette volumet tre bringes til som følge av reaksjonen i tennsatsen dersom varmetap til omgivelsene neglisjeres?
Hint: Husk at ΔH° er en tilstandsfunksjon. Beregn ΔH° for reaksjonen med de gitte mengder reaktant ved 298 K og benytt dette resultatet ved beregning av den temperaturen treet oppvarmes til. Regn med at KCl smelter under prosessen. Data: Tettheten av tre: $\rho = 0.5\text{ g/cm}^3$, varmekapasiteten av tre: $C_P = 1.75\text{ J/g}\cdot\text{K}$

12 Gitt reaksjonen:



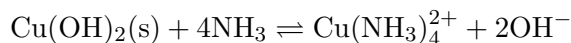
- a) Beregn ΔH° til denne reaksjonen. (Se del ("Section") 4 i Ref. [3] for data for organiske stoffer.)
- b) Acetylgass (etyn, C_2H_2) er kjent for å gi høy temperatur ved forbrenning. Sett opp balansert likning for forbrenning av ett mol $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$ om forbrenningsproduktene er vanndamp og $\text{CO}_2(\text{g})$, og beregn ΔH° til denne forbrenningsreaksjonen.
- c) Anta at all varmen som utvikles ved reaksjonen i (b) blir brukt til å varme opp reaksjonsproduktene (røykgassene) ved konstant trykk. Beregn varmekapasiteten til reaksjonsproduktene fra SICD's molare varmekapasiteter (c_p) [3] og finn slutt-temperaturen.

13 Løselighetsproduktet for $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$ er $1.6 \cdot 10^{-19}$ og likevekten for dannelsen av komplekset $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ er



Likevektskonstanten for likevekten er $K = 1.0 \cdot 10^{13}$.

- a) Beregn likevektskonstanten for reaksjonen



- b) Beregn løseligheten av $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$ i vann.
- c) Beregn pH i 5.0 M NH_3 .
- d) Beregn løseligheten (mol/l) av $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{s})$ i 5.0 M NH_3 .

Tall svar: Oppg. 1 1. 0 J 2. -101.35 J 3. -1.7 kJ ; Oppg. 2 (a) $88.03\text{ kJ}/74.75\text{ kJ}/88.03\text{ kJ}/-13.28\text{ kJ}$ (b) $74.75\text{ kJ}/74.75\text{ kJ}/88.03\text{ kJ}/0\text{ kJ}$; Oppg. 3 $0.2\text{ J}^\circ\text{C}^{-1}\text{g}^{-1}$; Oppg. 5: 47 minutter; Oppg. 6 (a) -296.1 kJ (b) -58 kJ (c) 7 kJ (d) 44 kJ (e) 51 kJ ; Oppg. 8 (a) -1951 kJ/mol (8) -30 kJ/mol ; Oppg. 9 (a) -940 kJ/mol (b) -176 kJ/mol (c) -53 kJ/mol

Referanser

- [1] Steven S. Zumdahl and Donald J. DeCoste, Chemical Principles, 7. utgave, Brooks Cole, (2013)
- [2] Ralph H. Petrucci, F. Geoffrey Herring, Jeffrey D. Madura, og Carey Bissonette, General Chemistry, 10. utgave, Pearson
- [3] G. Aylward, T. Findlay, A. G. Blackman og L. R. Gahan, SI Chemical Data, 7. utgave, Wiley, Milton (2014)