

Norges teknisk-naturvitenskapelige
universitet
Institutt for materialteknologi

TMT4115 Generell
kjemi
Høst 2019

Øving 9

Veiledning: Tirsdag 12. november kl. 08:15-10:00 i S5.

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

Noen stikkord:

Norsk:	Engelsk:
Entropi	Entropy
Fri energi	Free energy
Termodynamisk likevektskonstant	Thermodynamic equilibrium constant
Damreforming	Catalytic steam reforming
Brenselcelle	Fuel cell

- 1 Det kan vises at en ideell gass har indre energi¹

$$U = \frac{3}{2}RT$$

Finn uttrykk for varmekapasiteten ved konstant volum (c_v) og ved konstant trykk (c_p) for en ideell gass.

- 2 Et parkeringshus har 100 parkeringsplasser. En bil er parkert på en tilfeldig plass i parkeringshuset, som ellers er tomt. Hva er entropien til systemet parkeringshus-bil dersom en regner parkering på en bestemt plass som en mikrotilstand?

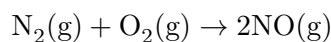
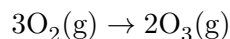
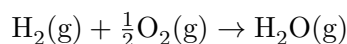
Hva blir entropien om to biler har parkert i parkeringshuset?

- 3 Hvilke av forbindelsene i flg par av forbindelser vil du forvente har størst entropi:

1. glukose $C_6H_{12}O_6$ eller sukrose $C_{12}H_{22}O_{11}$?
2. H_2O ved 0 K og H_2O ved $0^\circ C$?
3. $H_2O(l)$ ved $25^\circ C$ og $H_2S(g)$ ved $25^\circ C$?
4. $HF(g)$ (1 atm og $25^\circ C$) og $HCl(g)$ (1 atm og $25^\circ C$)

¹Den indre energien i en ideell gass svarer i sin helhet til gassens kinetiske translasjonsenergi siden partiklene ikke har indre struktur.

- 4 Hvilket fortegn tror du entropiendringene for reaksjonene nedenfor har? Beregn ΔS^0 for hver av dem.



- 5 Molar varmekapasitet for $\text{CO}_2(\text{g})$ ved 298 K er

$$c_v = 28.95 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$$

ved konstant volum og

$$c_p = 37.27 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$$

ved konstant trykk. Molar entropi for $\text{CO}_2(\text{g})$ ved 298 K og 1.000 atm er $213.64 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$.

- Hvor mye varme trengs for å heve temperaturen i $\text{CO}_2(\text{g})$ fra 298 K til 350 K ved hhv konstant volum og konstant trykk?
- Hva er den molare entropien til $\text{CO}_2(\text{g})$ ved 350 K og 1.000 atm?
- Hva er den molare entropien til $\text{CO}_2(\text{g})$ ved 350 K og 1.174 atm?

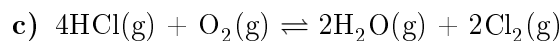
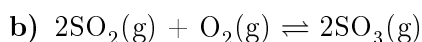
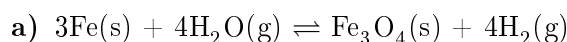
Hint: Du kan anta at $\text{CO}_2(\text{g})$ oppfører seg som en ideell gass. Ved konstant temperatur er den indre energien konstant, se oppgave 1, øving 9, og termodynamikkens 1. lov gir oss $\Delta U = q + w$, og dermed $q = -w$. Fra løsningsforslaget til oppgave 1, øving 8, er arbeidet w gitt ved

$$w = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

og siden $q = -w$ og $\Delta S = q/T$ er derfor

$$\Delta S = \frac{q}{T} = \frac{-w}{T} = nR \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (1)$$

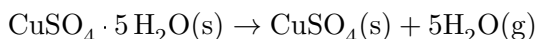
- 6 Bestem endring i fri energi ΔG^0 og den termodynamiske likevektskonstanten for reaksjonene i (a) – (c) nedenfor når alle reaktanter og produkter er i sin standard tilstand ved 298 K:



- d) Dersom partialtrykkene av SO_2 , O_2 og SO_3 er hhv 1.0×10^{-4} , 0.2 og 0.1 atm, er da reaksjonen i delspørsmål (b) spontan fra venstre til høyre?

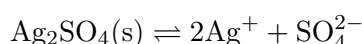
- 7 Hvilken temperatur må du varme opp kobbersulfat med krystallvann $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}(\text{s})$ til for å bli kvitt krystallvannet i forbindelsen?

Anta reaksjonen



Du kan anta at produkter og reaktanter er i sin standard tilstand og at standard entropier og standard dannelsesentalpier er tilstrekkelig svake funksjoner av temperaturen til at de kan antas konstante og like verdien ved 298 K.

- 8 a) Sølvulfat løses i vann etter ligningen



Beregn ΔH° , ΔS° og ΔG° for oppløsningsprosessen når 1 mol Ag_2SO_4 løses i vann ved 25 °C.

- b) Beregn løselighetsproduktet for Ag_2SO_4 , $K_{sp} = [\text{Ag}^+]^2[\text{SO}_4^{2-}]$, ved 25 °C. Beregn også løseligheten av $\text{Ag}_2\text{SO}_4(\text{s})$ i vann ved 25 °C.
- c) Løseligheten av Ag_2SO_4 forteller hvor mange mol som er løst pr. liter løsning, og vi ser av ligningen at løseligheten l kan uttrykkes som $l = 1/2 [\text{Ag}^+] = [\text{SO}_4^{2-}]$. Etter å ha løst spørsmål a), hva vil du vente for løseligheten av sølvulfat i vann ved 100 °C, er den større eller mindre enn ved 25 °C? Begrunn svaret. Beregn løseligheten (gram pr. liter) av sølvulfat i kokende vann ved 100 °C.

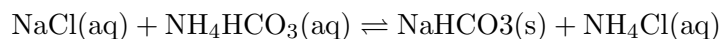
Ekstraoppgaver om tiden strekker til:

- 9 a) BASF, Bayerische Anilin og Sodafabrik (BASF), fremstiller Na_2CO_3 etter Solvay-prosessen (E. Solvay, 1861). Et viktig trinn i denne prosessen er felling av natriumbikarbonat (NaHCO_3) fra en mettet vannløsning av NaCl ved tilførsel av ammoniakk og karbondioksid etter ligningen



Skriv denne ligningen som netto ioneligning og sett opp uttrykket for likevektskonstanten for likevekten (skrevet som netto ioneligning).

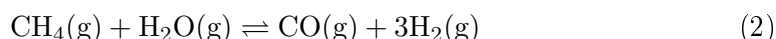
- b) Beregn ΔH° , ΔS° og ΔG° for reaksjonen ved 25 °C, og beregn den termodynamiske likevektskonstanten for reaksjonen ved 25 °C. Begrunn om likevektskonstanten vil øke eller avta når temperaturen øker.
- c) I virkeligheten ligger ikke likevekten så gunstig forskjøvet mot høyre som det vi beregner. Ammoniakk, CO_2 og vann vil reagere med hverandre til ammoniumhydrogenkarbonat (NH_4HCO_3), som igjen reagerer med NaCl etter ligningen



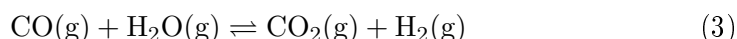
Skriv netto ioneligning og beregn likevektskonstanten for denne likevekten ved 25 °C og −5 °C (den mettede saltløsningen er flytende også ved −5 °C). Hvilken av temperaturene, 25 °C eller −5 °C, er gunstigst med tanke på å oppnå størst mulig utbytte av NaHCO₃?

10 (Fra eksamen i TMT4115 Generell kjemi, 2008)

Dampreforming av naturgass, også kalt Steam Methane Reforming (SMR), er den vanligste og billigste metoden for kommersiell hydrogenproduksjon. Reaksjonen som finner sted, er

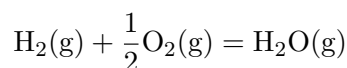


- a) Beregn ΔH^0 , ΔS^0 og ΔG^0 for reaksjonen ved 298 K.
- b) Gi en forklaring på fortegnet for entropiforandringen ved reaksjonen.
- c) Hva vil være laveste prosessstemperatur for fremstilling av H₂(g) etter reaksjon (2)? Hva forutsetter du ved beregningen?
- d) Vi kan øke utbyttet av H₂(g) hvis vi omsetter CO(g) fra reaksjon (2) i et tilleggstrinn i prosessen,



Vil du anbefale samme prosessstemperatur for reaksjon (3) som for reaksjon (2), eller en annen temperatur? Begrunn svaret.

- e) Bilen din drives av en hydrogen - oksygen brenselcelle, og reaksjonen



finner sted i cellen. Hvilket volum luft, målt ved 22 °C og 745 mm Hg, vil være nødvendig for forbrenning av 1.00 l komprimert H₂(g) ved 22 °C og 3.55 atm? Regn med at lufta inneholder 20.95 vol-% O₂(g).

Tall svar: Oppg. 2: $6.36 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$, $1.27 \times 10^{-22} \text{ JK}^{-1}$; Oppg. 4: 1. $-44.5 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$, 2. $-137 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$, 3. $25 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$; Oppg. 5: (a) 15.1 kJ mol^{-1} , 19.4 kJ mol^{-1} (b) $219.63 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ (c) $218.30 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$; Oppg. 6: (a) -99 kJ mol^{-1} , 2.25×10^{17} (b) -142 kJ mol^{-1} , 7.8×10^{24} (c) -78 kJ mol^{-1} , 4.7×10^{13} ; Oppg. 7: 397 K; Oppg. 8 (a): 19 kJ mol^{-1} , $-35 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, 28 kJ mol^{-1} (b) 1.2×10^{-5} , 4.4 g dm^{-3} (c) 6.2 g dm^{-3}