



Institutt for materialteknologi

Eksamensoppgave i TMT4110 Kjemi

LØSNINGSFORSLAG

Faglig kontakt under eksamen: Førsteamanuensis Hilde Lea Lein
Tlf.: 735 50880

Eksamensdato: 7. juni 2014

Eksamenstid (fra-til): 09:00-13:00

Hjelpemiddelkode/Tillatte hjelpemidler:

C – Bestemt, enkel kalkulator, med tomt minne.
Aylward & Findlay: SI Chemical Data

Annen informasjon:

Nynorsk utgave side 6-10.

Målform/språk: Bokmål

Antall sider: 5 inkludert forside og formelliste

Antall sider vedlegg: -

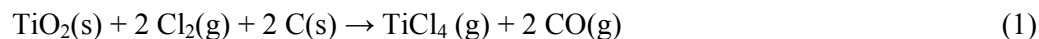
Kontrollert av:

Dato

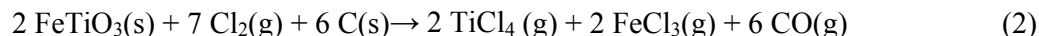
Sign

Oppgave 1 (14%)

- a) Metallisk titan blir framstilt ved Kroll-prosessen. Dette gjøres da i to trinn: Først blir titantetraklorid (TiCl_4) framstilt fra rutil (TiO_2) eller ilmenitt (FeTiO_3) ved 900°C i følge reaksjonene:



eller



og titantetrakloridet blir destillert ut fra de andre flyktige komponentene. Deretter blir metallisk titan framstilt ved 800°C i følge reaksjonen



Vi antar her at vi starter med rutil som utgangsstoff, og prosessen består da av reaksjon (1) og (3). Er disse reaksjonene eksoterme eller endoterme? Anta standardtilstand. Hvilken av disse reaksjonene krever/frigjør mest varme?

Gitt følgende tilleggsdata:

Forbindelse	ΔH° (kJ/mol)	S° (J/Kmol)
TiCl_4 (g)	-763	355
Mg (l)	9	43
MgCl_2 (l)	-601	234

$$\begin{aligned} \text{Rx 1): } \Delta H^\circ_1 &= \Delta H^\circ(\text{TiCl}_4) + 2 \cdot \Delta H^\circ(\text{CO}) - \Delta H^\circ(\text{TiO}_2) - 2 \cdot \Delta H^\circ(\text{Cl}_2) - 2 \cdot \Delta H^\circ(\text{C}) \\ &= -763 \text{ kJ} - 2 \cdot 111 \text{ kJ} - (-944 \text{ kJ}) - 0 - 0 \\ &= \underline{-41 \text{ kJ}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rx 3): } \Delta H^\circ_{\text{III}} &= 2 \cdot \Delta H^\circ(\text{MgCl}_2) + \Delta H^\circ(\text{Ti}) - 2 \cdot \Delta H^\circ(\text{Mg}) - \Delta H^\circ(\text{TiCl}_4) \\ &= 2 \cdot (-601) \text{ kJ} + 0 - 2 \cdot 9 \text{ kJ} - (-763 \text{ kJ}) \\ &= \underline{-457 \text{ kJ}} \end{aligned}$$

Begge reaksjonene er eksoterme og frigjør varme. Reaksjon 3 frigjør veldig mye mer varme (pr mengdeenhet TiCl_4); mer enn 10x så mye.

- b) Ta utgangspunkt i siste trinnet av prosessen; reaksjon (3). Beregn likevektskonstanten ved 800°C . Gjør rede for eventuelle tilnærminger og/eller antagelser.

$$\begin{aligned} \text{Rx 3): } \Delta S^\circ_{\text{III}} &= 2 \cdot S^\circ(\text{MgCl}_2) + S^\circ(\text{Ti}) - 2 \cdot S^\circ(\text{Mg}) - S^\circ(\text{TiCl}_4) \\ &= 2 \cdot 234 \text{ J/K} + 31 \text{ J/K} - 2 \cdot 43 \text{ J/K} - 355 \text{ J/K} \\ &= \underline{58 \text{ J/K}} \end{aligned}$$

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

v/LV: $\Delta G = 0$ og $Q=K$

$$\Rightarrow \Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K = 0 \Rightarrow \Delta G^\circ = -RT \ln K = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$$

$$\Rightarrow \ln K = -(\Delta H^\circ - T\Delta S^\circ)/RT$$

$$= -(-457 \cdot 10^3 \text{ J} - 1073 \text{ K} \cdot 58 \text{ J/K}) / (8,31451 \text{ J/K} \cdot 1073 \text{ K})$$

$$= 58,2$$

$$\Rightarrow K = 1,89 \cdot 10^{25}$$

Antar at ΔH° og ΔS° er uavhengige av temp og konstant i hele temperaturintervallet.

- c) For å få størst utbytte av metallisk titan; hvilke prosessbetingelser ville du brukt under fremstillingen?

Gassfase i reaktantene \Rightarrow høyt trykk vil gi LV \rightarrow

Eksoterm rx \Rightarrow evt lavere temp vil gi LV \rightarrow (men LV er sterkt forskjøvet mot høyre allerede)

\Rightarrow Høyt trykk og evt lavere temp

(men i praksis vil man her også måtte tenke på kinetikk og reaksjonsmekanismer)

Evt litt mer: Produksjon må skje i området hvor både Mg og MgCl_2 er flytende så begrenset oppad av første til ca. 1100 °C og nedad av siste til ca. 770 °C. I virkeligheten legger en seg så en har litt rom til begge ender. Batch prosess etc.

- d) Hvorfor er metallisk titan et viktig produkt? (Hvilke egenskaper for metallet er ettertraktet?)

- høy styrke

- høyt smeltepunkt

- lav tetthet

\Rightarrow ettertraktet hvor dette er viktig, feks i romfart

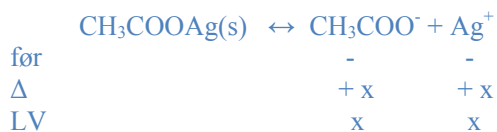
- biologisk implantat pga ugiftig og utløser ikke frastøtningsrx i kroppen

Evt litt mer: Type korrosjonsbestandig (tåler fortynnede syrer og baser).

Oppgave 2 (27%)

- a) Hvor mange gram sølvacetat (CH_3COOAg) vil maksimalt kunne løses i 2.00 L rent vann?
Se bort fra utfelling av AgOH eller andre bi-reaksjoner.

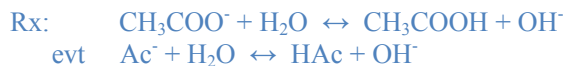
$$K_{\text{sp}} = 2 \cdot 10^{-3}$$



$$\begin{aligned} K_{\text{sp}} &= [\text{Ag}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-] = 2 \cdot 10^{-3} \\ x \cdot x &= 2 \cdot 10^{-3} \\ \Rightarrow x &= 0,0447 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

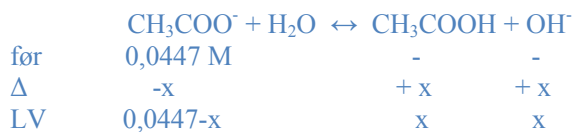
$$\begin{aligned} \text{I 2 L: } & 2\text{L} \cdot 0,0447 \text{ mol/L} = 0,0894 \text{ mol} \\ \Rightarrow m &= n \cdot M_m = 0,0894 \text{ mol} \cdot 166,9 \text{ g/mol} = \underline{14,9 \text{ g}} \end{aligned}$$

- b) Beregn pH i en slik mettet løsning av sølvacetat. Anta fortsatt ingen bi-reaksjoner.



$$\text{p}K_a(\text{HAc}) = 4,76 \quad \text{p}K_b = 14 - 4,76 = 9,24$$

$$\frac{[\text{HAc}][\text{OH}^-]}{[\text{Ac}^-]} = 10^{-9,24}$$



$$\frac{[\text{HAc}][\text{OH}^-]}{[\text{Ac}^-]} = \frac{x \cdot x}{[0,0447 - x]} = 10^{-9,24}$$

$$0,0447 - x \approx 0,0447$$

$$\frac{x \cdot x}{0,0447} = 10^{-9,24}$$

$$x = 5,07 \cdot 10^{-6} \quad (\text{tilnærming ok})$$

$$[\text{OH}^-] = 5,07 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{pOH} = 5,29$$

$$\text{pH} = 14 - 5,29 = \underline{8,71}$$

- c) Løsningen i b) tilsettes NaCl(s). Vil pH i løsningen øke, være uendret eller minke? Begrunn svaret uten å gjøre noen beregninger.
-

NaCl(s) vil løses i løsningen:



Cl⁻ ionene vil så felle ut Ag⁺:



da AgCl(s) er mer tungtløselig enn Ag-acetat.

=> [Ac⁻] vil dermed øke for å opprettholde K_{sp}. $[\text{Ag}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-] = \text{konst} = 2 \cdot 10^{-3}$

=> [Ac⁻] er en base og dermed vil pH øke

- d) 300 mL av løsningen i b) tas ut, og det tilsettes 200 mL av 0,100 M eddiksyre (CH₃COOH) før hele blandingen blir fortynnet til 800 mL. Det oppnås dermed en buffer.

- Hva kjennetegner en buffer?
 - Hva er pH i denne bufferen som her er laget?
 - Hvordan kunne du laget en buffer med større bufferkapasitet?
-

i) – svak syre (eller base) og korresponderende base (eller syre)

- Kan motstå større pH-enderinger ved tilsats av sterk syre eller base ved at LV forskyves og motvirker endring.

ii)

Kons av Ac⁻: 0,0447 M

$$n_{\text{Ac}^-} = c \cdot V = 0,0447 \text{ M} \cdot 300 \text{ mL} = 0,0134 \text{ mol}$$

Kons av HAc: 0,100 M

$$n_{\text{HAc}} = c \cdot V = 0,100 \text{ M} \cdot 200 \text{ mL} = 0,0200 \text{ mol}$$

[HAc] og [Ac⁻] i sluttvolum:

$$[\text{Ac}^-] = n/V = 0,0134 \text{ mol} / 800 \text{ mL} = 0,01675 \text{ M}$$

$$[\text{HAc}] = n/V = 0,0200 \text{ mol} / 800 \text{ mL} = 0,0250 \text{ M}$$



$$K_a = \frac{[H^+][Ac^-]}{[HAc]}$$

$$[H^+] = K_a \frac{[HAc]}{[Ac^-]} = 10^{-4,76} \cdot \frac{0,0250}{0,01675} = 2,594 \cdot 10^{-5}$$

$$pH = 4,59$$

iii)

To muligheter:

1) Hatt jevnstore konsentrasjoner av syre og base

2) Økt konsentrasjon til syre og base

=> da ville mer sterk syre eller sterk base kunne tilsettes uten at pH endres nevneverdig.

e) På lab'en gjorde dere en titreranalyse av en svak syre for å bestemme mengden av syre utlevert.

i) Skisser enkelt oppsettet av titreranalysen. Noter hva du har i hhv byrette og erlenmeyerkolbe.

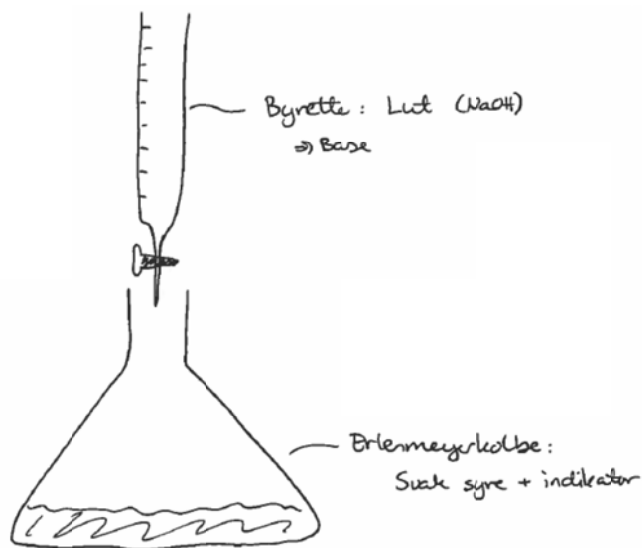
ii) Før titrering av syra måtte basen standardiseres. Hvorfor?

iii) Basen din har en konsentrasjon på 0,1034 M. Den svake syren er eddiksyre som du har pipetert ut 25 ml av, og du bruker 28,54 mL av basen før du kommer til ekvivalenspunktet. Bestem konsentrasjonen av den opprinnelige syren.

iv) Beregn pH i ekvivalenspunktet og angi en egnet indikator

v) Hvorfor er det viktig å bruke CO₂-fritt vann i en slik analyse?

i)



ii)

Vi må vite nøyaktig konsentrasjon. Lut (lutperler) kan ikke veies inn helt nøyaktig, men må standardiseres mot kjent mengde av kjent syre. Pga $2NaOH(s) + CO_2(g) = Na_2CO_3(s) + H_2O$

iii)

$$n_{\text{base}} = c \cdot V = 0,1034 \text{ M} \cdot 28,54 \cdot 10^{-3} \text{ mL} = 2,951 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_{\text{syre}} = n_{\text{base}} = 2,951 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$c = n/V = 2,951 \cdot 10^{-3} \text{ mol} / 25 \text{ mL} = \underline{0,1180 \text{ M}}$$

iv)

Ekv.pkt: All syre har reagert med tilsatt base



$$n_{\text{Ac}^-} = n_{\text{HAc}} = n_{\text{OH}^-} = 2,951 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Ny kons av Ac^- :

$$c = n/V = 2,951 \cdot 10^{-3} \text{ mol} / (25 \text{ mL} + 28,54 \text{ mL}) = 0,0551 \text{ M} = [\text{Ac}^-]$$

Ny LV:

	$\text{Ac}^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HAc} + \text{OH}^-$		
før ny LV	0,0551 M	-	-
Δ	-x	+ x	+ x
ny LV	0,0551-x	x	x

$$\frac{[\text{HAc}][\text{OH}^-]}{[\text{Ac}^-]} = \frac{x \cdot x}{[0,0551 - x]} = 10^{-9,24}$$

$$x^2 \approx 10^{-9,24} \cdot 0,0551$$

$$x = 5,63 \cdot 10^{-6} = [\text{OH}^-] \quad \text{avrunding ok.}$$

$$\text{pOH} = 5,25$$

$$\text{pH} = 14 - 5,25 = \underline{8,75}$$

Egnet indikator: Fenolftalein ($\text{pK}_a = 9,6$) (pga titr m/sterk base) eller tymolblå ($\text{pK}_a = 8,9$)

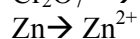
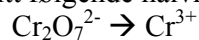
v)

Dersom CO_2 var tilstede ville dette påvirket syre-base-LV:

=> trenger mer base ("ekstra titrervolum") for å nøytralisere også denne mengden syre (i tillegg til den vi skal bestemme). Også: Omslaget vil bli mindre skarpt.

Oppgave 3 (28%)

a) Gitt følgende halvreaksjoner:



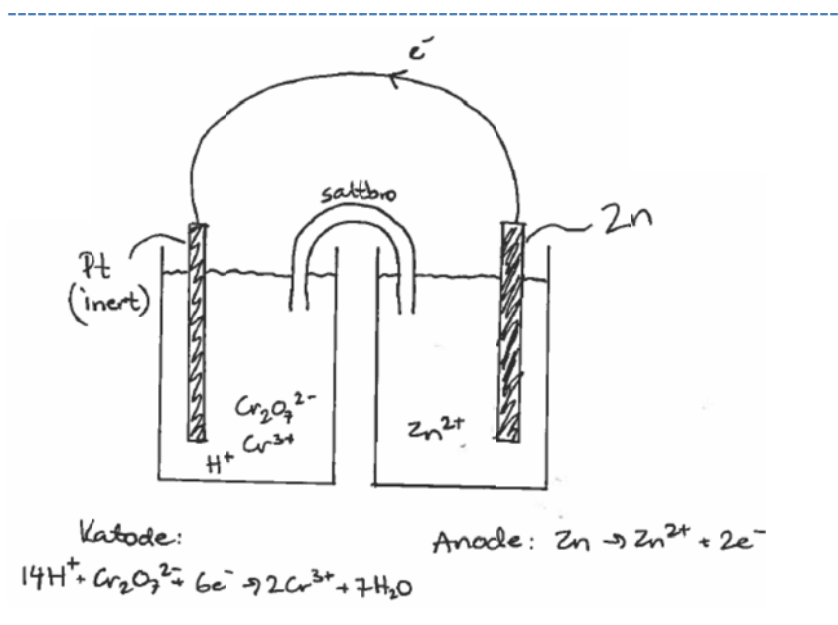
Angi balansert totalreaksjon i sur løsning. Ta med endring i oksidasjonstall og vis balanseringen trinnvis.



Balanserer O, balanserer H



- b) Skisser en galvanisk celle hvor disse to halvreaksjonene i a) foregår i hvert sitt kammer. Angi hvilke reaksjoner som foregår på hhv anode og katode, angi elektrodematerialer og hvilke ioner som er i hvilke løsninger.



- c) Beregn standard cellepotensial for den galvaniske cella ($T = 25^\circ\text{C}$), og forklar elektron- og ionebevegelse dersom alle konsentrasjoner er i standardtilstand.



$$E^\circ_{\text{celle}} = 1,36 \text{ V} + 0,76 \text{ V} = \underline{2,12 \text{ V}}$$

Positiv $E^\circ_{\text{celle}} \Rightarrow$ rx går den veien vil har satt (ved standardtilstand)

Kammer 1: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ og H^+ går mot inert elektrode og Cr^{3+} går ut i løsning

Kammer 2: Zn «løses» ved at Zn^{2+} går ut i løsning.

Saltbro: Anioner går mot Zn-kammer, kationer går mot Cr-kammer.

Elektroner: Går fra Zn-elektrode, i ekstern krets og til Pt-elektrode.

- d) Beregn reelt cellepotensial dersom $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] = 0.6 \text{ M}$, $[\text{Cr}^{3+}] = 0.6 \text{ M}$ og $[\text{Zn}^{2+}] = 0.9 \text{ M}$. pH = 2 i kammeret for første halvreaksjon i a) og $T = 25^\circ\text{C}$.

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2} \text{ M}$$

Nernst ligning:

$$E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{Cr}^{3+}]^2 [\text{Zn}^{2+}]^3}{[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] [\text{H}^+]^{14}}$$

$$E = 2,12 \text{ V} - \frac{8,31451 \cdot 298}{6 \cdot 96485} \text{ V} \ln \frac{0,6^2 \cdot 0,9^3}{0,6 (10^{-2})^{14}}$$

$$E = 2,12 \text{ V} - 0,27 \text{ V}$$

$$E = 1,85 \text{ V}$$

- e) Hva definerer likevekt for en galvanisk celle? Hva er likevektskonstanten for denne galvaniske cella som er skissert i oppgave b)? (Oppgi tallet på ln- eller log-form om nødvendig). Kommenter verdien. Hvordan er likevekten forskjøvet?

LV: $E_{\text{celle}} = 0$, ingen strøm av elektroner lenger

\Rightarrow en «død» celle

\Rightarrow fri energi lik i begge kammerne; $\Delta G = 0$

$\Rightarrow Q = K$

$$\Delta G^\circ = -nFE^\circ = -RT \ln K$$

$$\ln K = \frac{nF}{RT} E^\circ = \frac{6 \cdot 96485 \text{ C/mol}}{8,31451 \text{ J/Kmol} \cdot 298 \text{ K}} 2,12 \text{ V} = 495,33$$

$$\underline{\underline{K = e^{495}}}$$

K er et ekstremt stor og LV er sterkt forskjøvet mot høyre.
 => mer riktig å snakke om fullstendig rx enn LV

- f) Fra et HMS-ståsted: Hvorfor skal man være ekstra på vakt ved prosesser hvor krom er involvert?

Kromforbindelser er generelt giftige. Cr^{6+} er meget giftig og kraftig kreftfremkallende. Kromallergi/-eksem. Men: Viktig sporelement.

- g) Forklar kort forskjellen på et tørr-batteri og en brenselcelle.

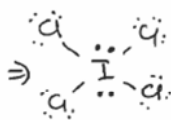
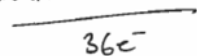
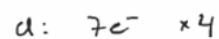
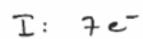
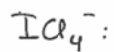
Batteri: Noe som lagrer kjemisk energi for seinere frigjøre dette som elektrisk energi.

Tørr-batteri: Alle komponenter (kjemikalier, elektroder) er tilstede og innebygd, og i fast fase. Rx går når batteriet settes i en krets. Går til rx stopper => LV eller oppbrukte reaktanter.

Brenselcelle: Reaktanter/produkter tilføres/fjernes kontinuerlig til definert celle (elektroder, elektrolytt), og kjemisk energi konverteres kontinuerlig til elektrisk energi/strøm. Går så lenge tilførsel opprettholdes. Kalles ofte «energikonverterer» i stedet for batteri.

Oppgave 4 (31%)

- a) Tegn Lewis-strukturen og angi molekylstrukturen til anionet ICl_4^- . Begrunn svaret.
-



2 ledige e^- -par

\Rightarrow 6-koordinert sentralatom

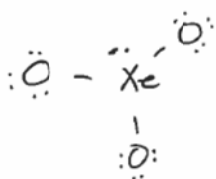
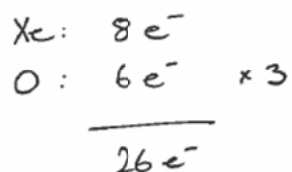
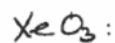
\Rightarrow oktaedrisk utgangspunkt

\Rightarrow ledige e^- -par i aksial posisjon

(trenger med plass; settes der det er best plass)

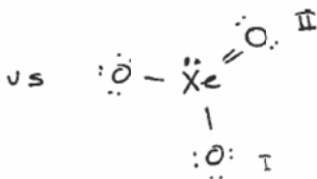
\Rightarrow plankvadratisk molekyl !

- b) Bruk formell ladning til å angi den mest stabile Lewis-strukturen til XeO_3 . Angi alle resonans-formene i den stabile strukturen. Hvordan er bindingslengdene til de tre Xe-O-bindingene relativt til hverandre og relativt til rene enkelt- og dobbeltbindinger? Angi molekylstrukturen til molekylet.



Formell ladning:

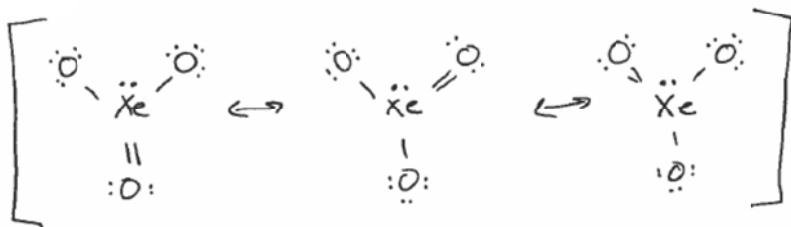
$$\begin{array}{l} \text{Xe: } 8 - 2 - \frac{1}{2} \cdot 6 = +3 \\ \text{O: } 6 - 6 - \frac{1}{2} \cdot 2 = -1 \end{array}$$



Formell ladning:

$$\begin{array}{l} \text{Xe: } 8 - 2 - \frac{1}{2} \cdot 8 = +2 \\ \text{O}_\text{I: } 6 - 6 - \frac{1}{2} \cdot 2 = -1 \\ \text{O}_\text{II: } 6 - 4 - \frac{1}{2} \cdot 4 = 0 \end{array}$$

⇒ Denne er mest stabil
(ladninger nærmest null)



Viktig: E-par fra O går inn i resonans (ikke ledig e-par på Xe). Flere dblt-bindinger vil ikke skje pga umulig å danne binding.

Alle tre Xe-O-bindingene har lik bindingslengde, og disse er relativt en mellomting mellom enkelt- og dobbeltbindinger.

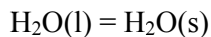
Molekylet:

⇒ 4-koordinert (tetraedrisk)

⇒ ledig elektronpar i ene posisjonen

⇒ Trigonal pyramide! (Også gitt i SI)

c) Likevekten mellom vann og is



er innstilt ved 0°C . Begrunn hva som skjer dersom vi øker trykket. Hva skyldes denne oppførselen hos vann? Vil du vente at tilsvarende skjer generelt for faste stoffer? Ved 0°C er tettheten av flytende vann: $\rho[\text{H}_2\text{O(l)}] = 1.00 \text{ g/cm}^3$, og for is: $\rho[\text{H}_2\text{O(s)}] = 0.92 \text{ g/cm}^3$.

$$\rho(l) > \rho(s) ! \quad \rho = m/V$$

Antar en konstant mengde is/vann ($m = \text{konstant}$). Når trykket øker vil dette prøve å motvirkes.

=> gjøres ved at V reduseres

=> gjøres da ved at is smelter (mer vann dannes) pga tetthetsforskjellene

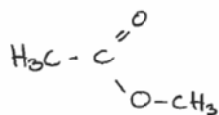
=> LV forskyves \leftarrow

Skyldes hydrogenbindinger hos vann og lavere tetthet i fast fase enn i væskefase.

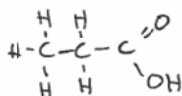
Vil ikke forvente slik oppførsel da generelt fast fase normalt har høyere tetthet enn tilsvarende stoff i væskefase.

- d) Gi strukturformel og navn for en syre og en ester som begge har formelen $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$. Tegn også en alkohol med samme formel.

$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$:

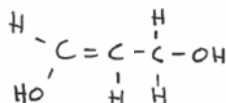


Ester: Metyletanoat
(metylacetat)



Syre: Propansyre

Alkohol:



Flere svar er mulig.

- e) Gi ett eksempel på en kondensasjonsreaksjon som gir en polymer. Hvorfor må man ha to funksjonelle grupper på hver av monomerelementene? Hvordan vil du forvente at entropien endres ved en slik polymerisasjonsreaksjon?

i) Feks dannelse av nylon, se fig s 1039

- ii) Må ha to funksjonelle grupper hver (feks diamin + syre med to syregrupper) slik at de har mulighet til å reagere videre etter dannelse av første dimer. Hvis ikke stopper rx her og man får ikke en polymer.
- iii) Mer orden i det polymeriserte stoffet, entropien avtar
-

- f) i) Angi elektronkonfigurasjonen til S og S^{2-} . Hvilken av disse vil du anta er mest stabil?
 ii) Hvordan er den periodiske trenden for ionestørrelser?
 iii) Hva er elektronegativitet og hvordan varierer denne i det periodiske system?
 iv) Utfra elektronegativitet; angi én forbindelse som er 100% kovalent, én som er polar kovalent og én som er ionisk.
-

- i)
 $[S] = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ eller $[Ne] 3s^2 3p^4$
 $[S^{2-}] = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ eller $[Ar]$

S^{2-} har fulle skall (orbitaler) og oppfylt oktettregelen. Derfor er dette mest sannsynlig mest stabilt.

- ii)
 Øker nedover, avtar mot høyre, men med skille hhv kationer og anioner

- iii)
 Elektronegativitet er et atom (i et molekyl eller struktur) sin evne til å tiltrekke (delte) elektroner. Øker oppover og mot høyre.

- iv)
 100% kovalent: F_2 (må være samme element)
 Polar kovalent: CO, $\Delta EN < 1,5$
 Ionisk: KCl, $\Delta EN > 1,5$
-

FORMEL	KOMMENTAR
$PV = nRT$	Ideell gass
$P_i = n_i RT/V \quad (P_T = \sum_i P_i)$	Partialtrykk av i
$C = q / \Delta T$	Varmekapasitet
$\Delta E = q + w$	Endring i indre energi
$H = E + PV$	Entalpi
$\Delta H = q_p$	Konstant P . Bare volumarb.
$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_f^\circ (\text{produkter}) - \sum \Delta H_f^\circ (\text{reaktanter})$	Husk støkiometriske koeffisienter
$\Delta H_T^\circ = \Delta H_{298}^\circ + \Delta C_p^\circ \times \Delta T$	ΔC_p° konstant
$\ln \left(\frac{K_2}{K_1} \right) = \frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$	ΔH og ΔS konstant
$dS = \frac{dq_{\text{rev}}}{T}$	Entropiendring
$\Delta S_T^\circ = \Delta S_{298}^\circ + \Delta C_p^\circ \ln \left(\frac{T}{298,15} \right)$	ΔC_p° konstant
$G = H - TS$	Gibbs energi. Fri energi.
$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$	Endring i fri energi ved konstant T
$\Delta G_T^\circ = \Delta H_{298}^\circ - T\Delta S_{298}^\circ$ $\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$	$\Delta C_p^\circ \approx 0$ Reaksjonskvotient, Q
$G = G^\circ + RT \ln a$	Aktivitet (relativ), a
$\Delta G^\circ = - RT \ln K$	Likevektskonstant, K
$\Delta G = - nFE$	Cellepotensial, E
$Q = It = n_e F$	Elektrisk ladning
$E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln Q = E^\circ - \frac{0,0592}{n} \log Q, \quad 25^\circ \text{C}$	Nernsts ligning
$R = 8,314472 (15) \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ $R = 0,08205746 (15) \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ $R = 82,05746 (15) \text{ cm}^3 \text{ atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$	Gasskonstanten