

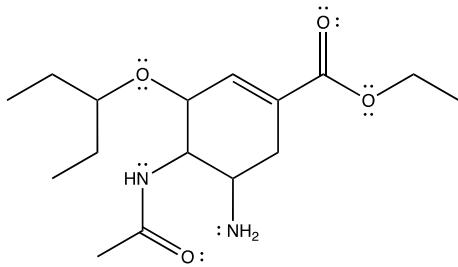
Norsk finale kjemi-OL 2024

Oppgave 1

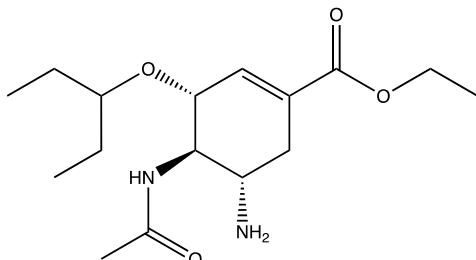
- | | |
|------|-------|
| 1) A | 6) B |
| 2) D | 7) A |
| 3) C | 8) D |
| 4) C | 9) C |
| 5) B | 10) A |

Oppgave 2

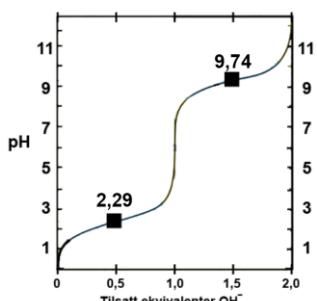
a) Lewisstrukturen



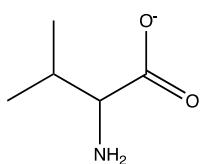
- b) Karbon: $sp=0$, $sp^2=4$ $sp^3=12$
- c) Elektronpargeometrien: C som binder til $-NH_2$ er tetraedrisk
 $>C=O$ i underkant av $>NH$ i figuren over er plan triangular
 $>CH-$ i overkant av $>NH$ i figuren over er tetraedrisk
- d) 3 kirale C-atomer på venstre del av 6-ringens romlig geometri i figuren under



- e) Avsetter $K_{a1}=5,12 \cdot 10^{-3}$ og $K_{a2}=1,82 \cdot 10^{-10}$ hvor $pK_{a1} = 2,29$ og $pK_{a2} = 9,74$ er halvtiteringspunktene, og bruker det til å skissere titreringskurven.

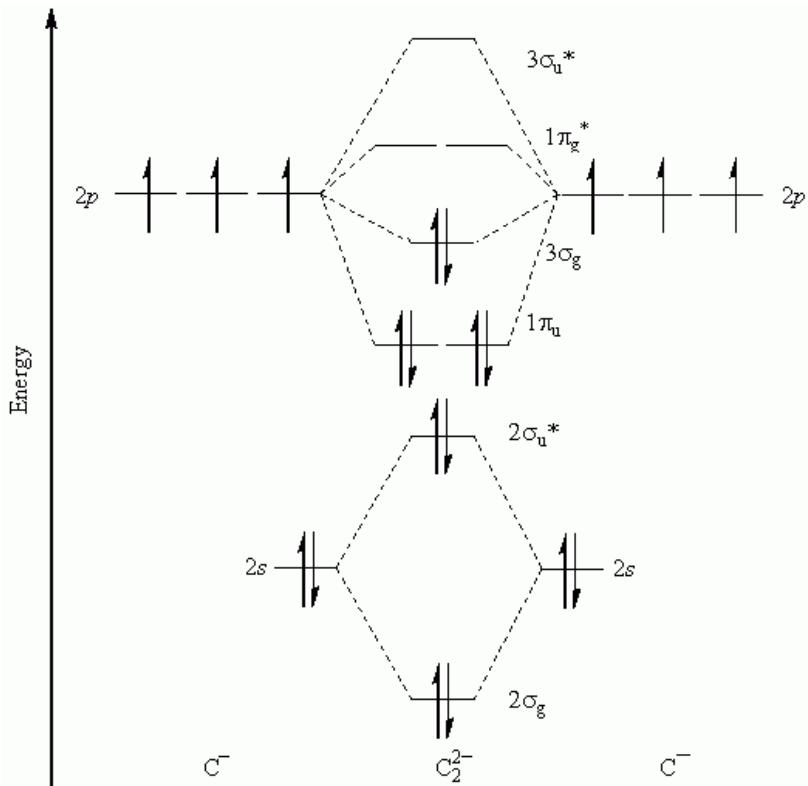


- f) Valin ved pH 12, fullt protolysert (deprotonert)



Oppgave 3

- a) C: 0, karbid: -1, CO: +2,
 - b)



- c) Venstre: 4 C, 2 Ca Høyre: 8 C, 4 Ca
 - d) $((2 \cdot 40,078 + 4 \cdot 12,011) \cdot 1,660 \cdot 10^{-27}) \text{ kg} / ((387 \cdot 10^{-12})^2 \cdot 637 \cdot 10^{-12}) \text{ m}^3 = 2230 \text{ kg/m}^3$ eller $2,23 \text{ g/mL}$.
 - e) Den vertikale aksen i de to strukturene er identisk (består av Ca^{2+} og C_2^{2-} langs aksene; $c = 637 \text{ pm}$). Vi ser videre at *diagonalen* til de kvadratiske topp- og bunnflatene i den minste cella tilsvarer *kantene* i topp- og bunnflatene i den store cella. Dermed må de korteste sidene i den store cella være $a = b = \sqrt{2} \cdot 387 \text{ pm} = 547 \text{ pm}$.
 - f) Det er ingen elektroner i d-orbitalene i kalsium.

Oppgave 4

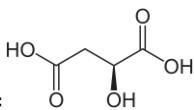
- a) Høyeste bølgelengde gir minste eksitasjonsenergi, som må være avstanden fra HOMO til LUMO. Vi har $E = h\nu = hc/\lambda$. Dette gir $E = 3,28 \cdot 10^{-19}$ J.
 - b) 8 π -elektroner betyr at overgang fra HOMO til LUMO tilsvarer $E_5 - E_4$. Vi har:

$$E_5 - E_4 = \frac{5^2 h^2}{8mL^2} - \frac{4^2 h^2}{8mL^2} = \frac{9h^2}{8mL^2} \rightarrow L = \sqrt{\frac{9h^2}{8m(E_5 - E_4)}} = 1,28 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 1,28 \text{ nm}$$

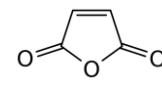
Oppgave 5

a) Scheeles isolasjon av eplesyre (utelukker dannelsen av syresalter):

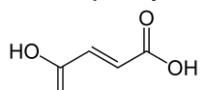
- 1) $\text{HO}_2\text{CCH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$ (aq) + K_2CO_3 (s) \rightarrow
 $\text{KO}_2\text{CCH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CO}_2\text{K}$ (aq) + H_2O (l) + CO_2 (g)
- 2) $\text{KO}_2\text{CCH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CO}_2\text{K}$ (aq) + $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2$ (aq) \rightarrow
 $[\text{O}_2\text{CCH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CO}_2]\text{Pb}$ (s) + $2\text{CH}_3\text{CO}_2\text{K}$ (aq)
- 3) $[\text{O}_2\text{CCH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CO}_2]\text{Pb}$ (s) + H_2SO_4 (aq) \rightarrow
 $\text{HO}_2\text{CCH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H}$ (aq) + PbSO_4 (s)



b) L-Eplesyre =



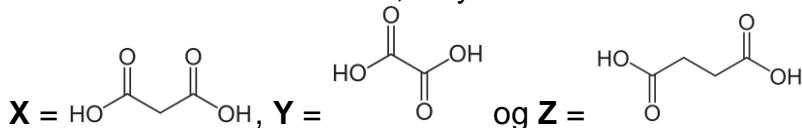
c) Maleinsyreanhydrid = . Eplesyre laget fra maleinsyreanhydrid er et racemat (racemisk eplesyre, DL-eplesyre) og er derfor ikke optisk aktivt.



d) Fumarsyre = . Maleinsyre må være *cis*-isomeren av butendisyre fordi den oppstår fra syklig maleinsyreanhydrid, og da må fumarsyre være den korresponderende *trans*-isomeren av butendisyre.

e) Ut fra opplysningsene må beholdere **A** og **C** inneholde de rene enantiomerene, siden innholdet har samme smeltepunkt, mens beholder **B** inneholder racematet (DL-eplesyre). Siden L-eplesyre forekommer naturlig (opplyst tidligere i oppgaven), må man anta at dette er den billigste av de to rene enantiomerene. Beholder **A** inneholder derfor D-eplesyre, mens beholder **C** inneholder L-eplesyre.

f) Gitt oksidasjon eller reduksjon av eplesyre ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$), vil aktuelle dikarboksylsyrer inneholde maksimalt fire karbonatomer. Ut fra forbrenningsanalysene finner man at **X** har empirisk formel $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_4$, som betyr at **X** er propandisyre (malonsyre). Videre finner man at **Y** har empirisk formel CHO_2 . Dette er rett og slett formelen for en karboksylsyregruppe, og siden vi har fått opplyst at **Y** er en dikarboksylsyre, må **Y** derfor være etandisyre (oksalsyre). Til slutt finner man at **Z** har empirisk formel $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$. For en dikarboksylsyre kan ikke dette være sumformelen, som da må være $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4$. Gitt reduksjon av eplesyre, der må man anta at karbonkjedellettet i forbindelsen vil være bevart, betyr dette at **Z** må være butandisyre (ravsyre). Derfor,



g) Sitronsyre = og vinsyre =

h) Reduksjonen av eplesyre gir alkoholen butan-1,2,4-triol = . Ja, hvis startmaterialet for syntesen er L-eplesyre, vil produktet være optisk aktivt fordi 1,2,4-butanetriol har et kiralt karbonatom (den sekundære alkoholgruppen) hvis konfigurasjon er bevart fra slik det var i startmaterialet (L-eplesyre).

Oppgave 6

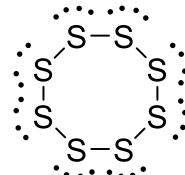
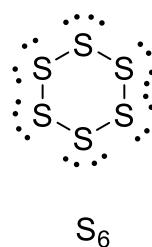
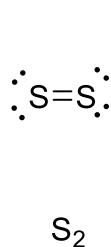
- a) Stoffmengden som smelter, er

$$n = \frac{m}{M_m} = \frac{100,0 \text{ g}}{8 \cdot 32,07 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,38977 \text{ mol}$$

Den molare smelteentropien er:

$$\Delta S^o = \frac{\Delta S}{n} = \frac{\frac{q_{rev}}{T}}{n} = \frac{q_{rev}}{Tn} = \frac{673,14 \text{ J}}{(118,9 + 273,15) \text{ K} \cdot 0,38977 \text{ mol}} \approx 4,405 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}}$$

- b)



- c) Standard reaksjonsenthalpien ved 25,00°C (= 298,15K) er:

$$\begin{aligned} \Delta H_{298,15K}^o &= 2\Delta H_f^o(\text{S}(g)) - \Delta H_f^o(\text{S}_2(g)) = (2 \cdot 278,81 - 128,37) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = 429,25 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \\ &\approx 429,3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \end{aligned}$$

Standard reaksjonsentropien ved 25,00°C er:

$$\begin{aligned} \Delta S_{298,15K}^o &= 2S_{\text{S}(g)}^o - S_{\text{S}_2(g)}^o = (2 \cdot 167,82 - 228,18) \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} = 107,46 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} \\ &\approx 107,5 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} \end{aligned}$$

- d) Entropiøkningen blir:

$$\begin{aligned} \Delta S &= \int_{T_0}^{T_1} dS = \int_{T_0}^{T_1} \frac{dq_{rev}}{T} = \int_{T_0}^{T_1} \frac{nc_p dT}{T} = nc_p \int_{T_0}^{T_1} \frac{1}{T} dT = nc_p [\ln T]_{T_0}^{T_1} = nc_p (\ln T_1 - \ln T_0) \\ &= nc_p \ln \left(\frac{T_1}{T_0} \right) \end{aligned}$$

- e) Standard reaksjonsenthalpien ved 2500°C (= 2773,15 K) er:

$$\begin{aligned} \Delta H_{2773,15K}^o &= 429,25 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} + (2 \cdot 23,673 - 32,47) \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} \cdot (2773,15 - 298,15) \text{K} \\ &= (429,25 + 36,82) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = 466,07 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \end{aligned}$$

Standard reaksjonsentropien ved 2500°C er:

$$\begin{aligned} \Delta S_{2773,15K}^o &= 107,46 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} + (2 \cdot 23,673 - 32,47) \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} \cdot \ln \left(\frac{2773,15}{298,15} \right) \\ &= (107,46 + 33,18) \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} = 140,64 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} \end{aligned}$$

Endringen i standard Gibbs fri energi blir dermed

$$\Delta G^o = \Delta H^o - T\Delta S^o = 466,07 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - 2773,15 \text{K} \cdot 140,64 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} = 76,054 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\approx 76,05 \frac{kJ}{mol}$$

Fordi $\Delta G^\circ \geq 0$, er reaksjonen ikke spontan ved 2500°C og standard betingelser.

- f) Likevektskonstanten er

$$K = e^{-\frac{\Delta G^\circ}{RT}} = e^{-\frac{76,054 \cdot 10^3 \frac{J}{mol}}{8,3145 \frac{J}{Kmol} \cdot 2773,15K}} \approx 0,03694$$

Alternativt svar ved bruk av termodynamiske data gyldige ved 25°C:

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ = 429,25 \frac{kJ}{mol} - 2773,15K \cdot 107,46 \frac{J}{Kmol} \approx 131,25 \frac{kJ}{mol}$$

$$K = e^{-\frac{\Delta G^\circ}{RT}} = e^{-\frac{131,25 \cdot 10^3 \frac{J}{mol}}{8,3145 \frac{J}{Kmol} \cdot 2773,15K}} \approx 3,372 \cdot 10^{-3}$$

- g) For at reaksjonen skal være spontan, må $\Delta G < 0$. Det gir

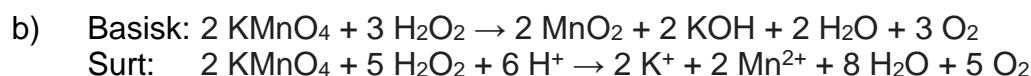
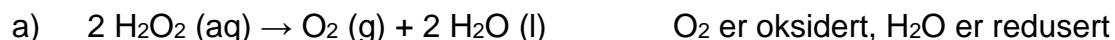
$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q = \Delta G^\circ + RT \ln \left(\frac{p_S^2}{p_{S_2}} \right) < 0 \Leftrightarrow \frac{p_S^2}{p_{S_2}} < e^{-\frac{\Delta G^\circ}{RT}}$$

$$p_S < \sqrt{p_{S_2} e^{-\frac{\Delta G^\circ}{RT}}} = \sqrt{2,00 \cdot e^{-\frac{76,054 \cdot 10^3}{8,3145 \cdot 2773,15}}} \text{ bar} \approx 0,272 \text{ bar}$$

Alternativt svar ved bruk av termodynamiske data gyldige ved 25°C:

$$p_S < \sqrt{p_{S_2} e^{-\frac{\Delta G^\circ}{RT}}} = \sqrt{2,00 \cdot e^{-\frac{131,25 \cdot 10^3}{8,3145 \cdot 2773,15}}} \text{ bar} \approx 0,0821 \text{ bar}$$

Oppgave 7



Oksidasjonstallene er

$\text{HO}^{(-I)\cdot}$
$\text{HO}^{(-I)}\text{O}^{(0)\cdot}$
$\text{H}_2\text{O}^{(-II)}$

d) $k_{\text{kat}} = V_{\text{max}} / [\text{E}]_{\text{total}} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ M s}^{-1} / 1,6 \cdot 10^{-9} \text{ M} = 2,56 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$