

Eksamen TMT4106/TMT4110 V23

Oppgave 1a (prosent utbytte metanol): 4 poeng

Metanol (CH₃OH) kan produseres fra karbonmonoksidgass og hydrogengass. Vi lar 68,5 kg CO(g) og 8,60 kg H₂ (g) reagere og får 3,57 × 10⁴ g CH₃OH som produkt fra reaksjonen. Hva er prosent utbytte av metanol i reaksjonen?

LF:

1. Må balansere likningen:



- Finne molarmasse (M_m) til H₂ (= 2,016g/mol) og CO (=28,02g/mol)
- Finne mol H₂ og CO tilgjengelig:

$$8600 \text{ g (H}_2\text{)} / M_m(\text{H}_2) = 4,27 \times 10^3 \text{ mol (H}_2\text{)}$$

$$68500 \text{ g (CO)} / M_m(\text{CO}) = 2,44 \times 10^3 \text{ mol (CO)}$$

4. Finne begrenset reaktant:

Vi ser fra den balanserte reaksjonslikningen at det trengs 2 mol H₂ per 1 mol CO for å danne 1 mol CH₃OH. Fra utregnet mol tilgjengelig av H₂ og CO, ser vi at H₂ er begrenset reaktant (vi har ikke dobbelt så mange mol H₂ som mol CO tilgjengelig).

5. Finne teoretisk utbytte av mol CH₃OH fra antall tilgjengelig begrenset reaktant.

$$(4,27 \times 10^3 \text{ mol H}_2) \times \frac{1 \text{ mol CH}_3\text{OH}}{2 \text{ mol H}_2} = 2,14 \times 10^3 \text{ mol CH}_3\text{OH}$$

6. Finne teoretisk utbytte av CH₃OH i gram (ved å gå veien om M_m til CH₃OH):

$$2,14 \times 10^3 \text{ mol} \times 32,04 \text{ g/mol} = 6,86 \times 10^4 \text{ g}$$

7. Finne prosent utbytte ved å se fraksjon av faktisk utbytte/teoretisk utbytte:

$$\frac{\text{Faktisk utbytte (gram)}}{\text{Teoretisk utbytte (gram)}} \times 100 \% = \frac{3,57 \times 10^4 \text{ g}}{6,86 \times 10^4 \text{ g}} \times 100 \% = 52,0 \%$$

Oppgave 1b (gassvolum): 2 poeng

En bestemt mengde diboran (B₂H₆), en gass som antennes i nærvær av luft, har et volum på 3,48 L ved 345 torr og -15°C. Vi endrer betingelsene for den samme mengde diborangass til et trykk på 468 torr og 36°C.

Hva blir det nye volumet?

-----LF:

I denne oppgaven må vi anta at ideell gasslov gjelder ($PV = nRT$), og konstantere at antall mol er det samme før og etter endring av trykk, temperatur og volum.

Vi kan skrive følgende sammenheng:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = nR = \frac{P_2 V_2}{T_2}, \text{ og dermed: } \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Og, videre at:

$$V_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{P_2 T_1}$$

Vi setter inn og får det nye volumet:

$$V_2 = \frac{345 \text{ torr} \times 3.48 \text{ L} \times 309 \text{ K}}{468 \text{ torr} \times 258 \text{ K}} = 3,07 \text{ L}$$

Oppgave 1c (elektronkonfigurasjon): 2 poeng

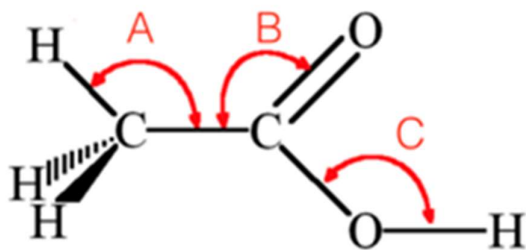
1. Forklar kort hvorfor elektronkonfigurasjonen for både Na^+ og Al^{3+} er $1s^2 2s^2 2p^6$

LF:

Elektroner oppholder seg rundt kjernen i bestemte orbitaler med ulike energinivåer. I stabile atomer har elektroner så lavt energinivå som mulig. De elektronene med det laveste energinivået befinner seg i 1s orbitalen, de med nest lavest energinivå befinner seg i 2s orbitalen, og det laveste energinivået for elektroner, etter 2s, er 2p orbitalen. I alle s-orbitaler er det plass til to elektroner og i alle p-orbitaler er det plass til 6 elektroner. For de stabile ionene Na^+ og Al^{3+} , som har 10 elektroner rundt kjernen, så vil elektronene befinne seg i 1s, 2s og 2p. Til sammen 2 elektroner i 1s, 2 elektroner i 2s og 6 elektroner i 2p. Dersom natrium og aluminium ikke befinner seg som ion, men har alle elektronene og er i nøytral grunnstofftilstand, vil elektronkonfigurasjonen være henholdsvis $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ og $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ for Na og Al.

Oppgave 1d (VSEPR): 2 poeng

Hva er sant om bindingsvinklene i eddiksyre når vi sammenlikner de tre vinklene A, B og C?



- A. De tre vinklene er like store
- B. Vinkel B er større enn C
- C. Vinkel A er større enn C
- D. Vinkel A og C er like store

Begrunnelse for riktige svaralternativ (som ikke var nødvendig/mulig å legge til på eksamen) er gitt her:

Vinkel C er en bøyd (bent) struktur rundt oksygenatomet ved C. Det er fire elektrontettheter rundt oksygenatomet som vil danne en bøyd (bent) struktur fordi det vil være størst mulig avstand mellom de fire elektrontetthetene i rommet (størst mulig avstand vil gi en vinkel på 109,5 grader). De frie elektronparene rundt oksygen vil presse vinkelen C til å bli litt mindre enn 109,5 grader.

Vinkel A er en vinkel gitt av tetraedrisk struktur rundt karbonatomet ved A. Det er fire elektrontettheter rundt karbonatomet som vil danne en tetraedrisk struktur og størst mulig avstand mellom disse i rommet vil gi en vinkel på 109,5 grader. Ingen av elektrontetthetene presser sterkere på hverandre enn andre, så alle bindingsvinklene rundt karbon ved A vil bli like store. Altså vinkel A er lik 109,5 grader, og større enn vinkel C som er litt mindre enn 109,5 grader.

Vinkel B er en vinkel gitt av trigonal strukturen rundt karbonatomet ved B. Det er tre elektrontettheter rundt karbonatomet ved B, gitt av en dobbeltbinding og to enkeltbindinger. I en trigonal struktur vil alle elektrontetthetene ligge plant i rommet med en størst mulig avstand til hverandre som blir 120 grader. Vinkel C er derfor mindre enn vinkel B.

Oppgave 1e (periodisitet, gitt bare til TMT4106): 4 poeng

Plasser grunnstoffene karbon, magnesium og silisium i økende størrelse mht atomradius.

- A. $C < Mg < Si$
- B. $Mg < Si < C$
- C. $Si < Mg < C$
- D. $C < Si < Mg$
- E. $Si < C < Mg$

Begrunn svaret ditt her:

LF:

Innenfor en periode så øker kjerneladning med +1 for hvert grunnstoff. Elektronene som trekkes mot kjernen opplever å bli trukket mot kjernen, men de frastøtes hverandre. Spesielt opplever elektronene en «shielding» fra elektroner som er nærmere kjernen enn det de selv klarer å være, og på den måten

blir de svakere tiltrukket av den positive kjerneladningen. Det er lavere «shielding»-effekt fra elektroner som er naboelektroner i samme energinivå og det gjør at selv om det legges til ett og ett elektron når man går til høyre i perioden har den økte kjerne ladningen en større effekt på å trekke elektronene til seg enn naboelektroner klarer å frastøte hverandre. Dette fører til at diameter minker når du går mot høyre. Atomradiusen øker nedover i gruppene rett og slett fordi de blir større med økte antall elektronskall. Derfor har karbon minst atomradius (rad 2) sammenliknet med silisium og magnesium i rad 3. Og silisium har mindre atomradius enn magnesium, begge i rad 3, fordi silisium er lengst til høyre.

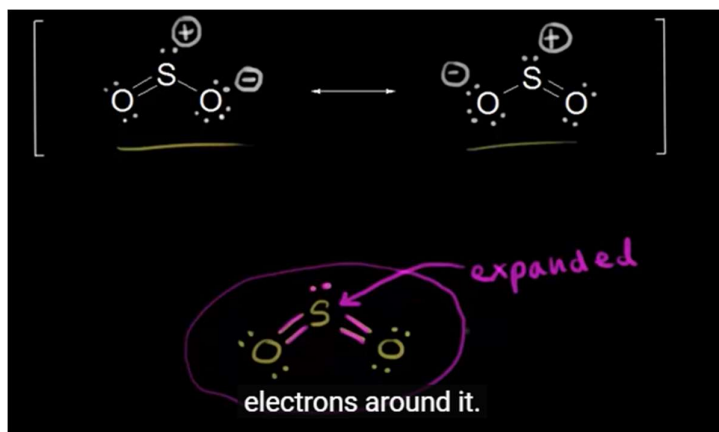
Oppgave 2a (Lewis-struktur og molekylgeometri): 4 poeng

i) Tegn lewisstruktur til molekylet SO_2 . Inkluder alle elektroner, formell ladning og eventuelle resonansstrukturer.

ii) Basert på VSEPR-teorien, hva er molekylgeometrien til molekylet?

LF:

i)



Bilde klipt ut fra videoen <https://www.khanacademy.org/science/chemistry/chemical-bonds/copy-of-dot-structures/v/more-on-the-dot-structure-for-sulfur-dioxide>

Her kan svaret være gitt enten som de to øverste strukturene, med en dobbeltbinding og en enkeltbinding mellom svovel og oksygen, eller som den nederste strukturen som inkluderer to dobbeltbindinger. I de to øverste strukturene er oktettregelen styrende, I den nederste strukturen har svovel mer enn 8 elektroner, men her er formell ladning lik 0 for både svovel og oksygenatomene. Alle tre er gyldige svar, og full uttelling om man velger enten de to øverste eller bare den nederste.

ii) For begge mulige svar i oppgave i) vil molekylgeometrien bestemmes av ett ledig elektronpar og to elektronbindingstettheter rundt svovelatomet, så molekylet vil være bøyd (bent), AB_2E .

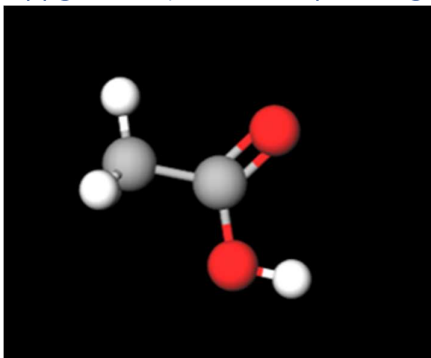
Oppgave 2b (molekylgeometri): 3 poeng

Hvilken struktur har gassmolekylet jern(III)-klorid? Begrunn ditt svar utfra VSEPR-teorien.

Denne oppgaven ble i ettertid vurdert som for vanskelig for kandidatene i TMT4106/4110 å besvare fordi fagstoffet som må kunnes ligger utenfor pensum. Oppgaven tas derfor ikke med

i total beregning, og poeng-grensene er justert mht til dette. De som likevel vil se en detaljert forklaring for å forstå strukturen på jern(III)klorid, kan se her [FeCl3 Lewis-struktur, kjennetegn: 13 fakta du bør vite - \(lambdageeks.com\)](#)

Oppgave 3a (intramolekulære og intermolekulære bindinger): 3p



Bildet over viser en modell av eddiksyre. Hvilke(t) utsagn er riktig om stoffet?
Det trekkes for feil svar, men negative poeng tas ikke med videre.

- A. Alle bindinger er kovalente.
- B. Alle bindinger er kovalente, men stoffet kan danne ioner.
- C. Stoffet er løselig i vann.
- D. Alle bindingene i stoffet er like sterke.
- E. Alle vinkler er tetraedervinkelen ($109,5^\circ$)
- F. Hos eddiksyre kan alle H spaltes av for å lage sur løsning.

Oppgave 3b (kokepunkt/intermolekulære krefter): 2p

Hvilken rekkefølge er riktig dersom forbindelsene settes opp etter økende kokepunkt?

Velg ett alternativ:

- $CH_3CH_2CH_2NH_2 < CH_3CH_2CH_2CH_3 < CH_3CH_2OCH_3$
- $CH_3CH_2CH_2CH_3 < CH_3CH_2CH_2NH_2 < CH_3CH_2OCH_3$
- $CH_3CH_2CH_2CH_3 < CH_3CH_2OCH_3 < CH_3CH_2CH_2NH_2$
- $CH_3CH_2OCH_3 < CH_3CH_2CH_2CH_3 < CH_3CH_2CH_2NH_2$

Rekkefølge fra lavest kokepunkt til høyest kokepunkt er:

$CH_3CH_2CH_2CH_3, CH_3CH_2OCH_3, CH_3CH_2CH_2NH_2$

Begrunnelse for riktige svaralternativ (som ikke var nødvendig/mulig å legge til på eksamen, men som kan være fint for studentene å lese i ettertid) er gitt her:

I forbindelsen $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ vil det oppstå hydrogenbindinger mellom molekylene, som er sterke intermolekulære krefter og derfor relativt høyt kokepunkt. I forbindelsen $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ vil det kun oppstå dispersjonskrefter mellom molekylene, og sammenliknet med de to andre molekylene har de derfor de svakeste intermolekulære kreftene og vil ha lavest kokepunkt. I forbindelsen $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_3$ vil oksygenet trekke mer på elektronene enn karbon og ladningsforskyvningen gjør at molekylene vil ha sterkere intermolekulære krefter seg imellom enn forbindelsen $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ vil ha.

Oppgave 4a (Løselighetsprodukt): 4p

- a) Bruk løselighetsdata (tabell 16) for kobber(I)cyanid (CuCN) til å beregne K_{sp} for saltet. Se bort fra eventuelle bi-reaksjoner og volumendring ved tilsetning av salt.

LF:

Tabell 16 i SI oppgir løselighet for CuCN: 0,00026 g/100g vann.
Antar tetthet for vann lik 1g/mL, altså at 100g vann = 100mL vann

Løselighet: 0,00026g/100g vann = 0,0026g/L vann
Ser bort fra volumendring => 0,0026 g/L løsning.

$$M_m(\text{CuCN}) = 89,6 \text{ g/mol}$$

$$n(\text{CuCN}) = 0,0026 \text{ g} / 89,6 \text{ g/mol} = 2,902 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$
$$\Rightarrow 2,902 \cdot 10^{-5} \text{ M}$$

Likevekten i vann:



$$K_{sp} = [\text{Cu}^+][\text{CN}^-] = 2,902 \cdot 10^{-5} \cdot 2,902 \cdot 10^{-5} = \underline{\underline{8,42 \cdot 10^{-10}}}$$

I praksis vil en del av kobberionene og mesteparten av cyanidionene danne kompleksjonen $\text{Cu}(\text{CN})_3^{4-}$, som øker løseligheten til CuCN(s). Det betyr at vi sannsynligvis har beregnet for høy K_{sp} -verdi her. I CRC Handbook of Chemistry and Physics er K_{sp} til CuCN(s) oppgitt til å være $3,47 \cdot 10^{-20}$. Det forventes ikke at en tilsvarende kommentar er tatt med i besvarelsen for full uttelling.

Oppgave 4b (pH i løsning): 6p

Det lages en mettet løsning av CuCN. Beregn pH i løsningen. Anta at ingen andre reaksjoner skjer for løste kobberioner.

Hvis du ikke fikk en K_{sp} -verdi i forrige oppgave, bruk $K_{sp} = 1,62 \cdot 10^{-9}$ og $[\text{CN}^-]$ -konsentrasjon lik $1,27 \cdot 10^{-5}$.

LF:

En mettet løsning med Cu^+ og CN^- vil gi en basisk løsning fordi CN^- ioner vil reagere med vann, slik:

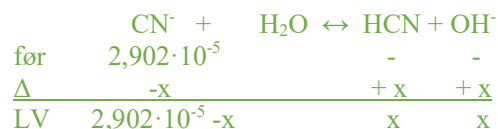


$$pK_a(\text{HCN}) = 9,21$$

Sammenhengen $pK_w = pK_a + pK_b$, gir oss

$$pK_b(\text{CN}^-) = 14 - 9,21 = 4,79$$

$$K_b = \frac{[\text{HCN}][\text{OH}^-]}{[\text{CN}^-]} = 10^{-4,79}$$



$$x = [\text{OH}^-]$$

$$\frac{[\text{HCN}][\text{OH}^-]}{[\text{CN}^-]} = \frac{x \cdot x}{[0,00002902 - x]} = 10^{-4,79}$$

$$0,00002902 - x \approx 0,00002902$$

$$\frac{x \cdot x}{0,00002902} = 10^{-4,79}$$

$$x = 2,169 \cdot 10^{-5} \quad (\text{tilnærming IKKE ok! Må beregne full 2.gradsligning})$$

$$x^2 = (0,00002902 - x) \cdot 10^{-4,79}$$

$$x = 0,0000150514$$

$$[\text{OH}^-] = 1,505 \cdot 10^{-5} \text{ M}$$

$$p\text{OH} = 4,82$$

$$p\text{H} = 14 - 4,82 = \underline{9,18}$$

Oppgave 4c (pH endring): 3p

En mettet løsningen av CuCN (fra forrige oppgave) tilsettes NaCl(s). Vil pH i løsningen øke, være uendret eller minke? Begrunn svaret uten å gjøre noen beregninger.

LF:

I denne oppgaven er det mulig å se for seg to scenario, enten at man tilsetter NaCl(s) til et begerglass med mettet løsning CuCN inkludert uløst salt (av CuCN) i bunnen av begerglasset eller at man tilsetter NaCl(s) til en mettet løsning CuCN uten salt i bunnen av begerglasset. De ulike scenario gir ulike svar på oppgaven, og begge kan gi full uttelling.

NaCl(s) vil løses i løsningen (i begge scenario):



pH i løsningen vil kunne endres dersom ionene Na^+ eller Cl^- påvirker løseligheten av CuCN. Dersom vi tilsetter NaCl til en mettet løsning av CuCN som ikke inneholder fast stoff (uløst salt), så vil det ikke skje noe med konsentrasjonen av CN^- og pH forblir uendret. Dersom det finnes salt av CuCN i

bunnen av begerglasset som NaCl(s) tilsettes vil likevekten $\text{CuCN(s)} \leftrightarrow \text{Cu}^+ + \text{CN}^-$ påvirkes. Det vil skje ved at Cl^- ionene vil felle ut Cu^+ , gjennom en ny likevekt:



I tabell finnes $K_{\text{sp}}(\text{CuCl}) = 1,9 \cdot 10^{-7}$



Utfra K_{sp} verdiene kan vi trekke en konklusjon om at CuCl(s) er mindre tungtløselig enn CuCN . Tilsats av nok NaCl vil likevel kunne påvirke likevekten til



Ved at Cu^+ felles ut, og likevekten vil forskyves mot høyre. Altså, vi får høyere konsentrasjon av CN^- etter tilsats av NaCl(s).

En høyere konsentrasjon av CN^- vil påvirke pH gjennom likevekten $\text{CN}^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCN} + \text{OH}^-$

pH vil bli høyere (mer basisk) ved tilsats av nok NaCl(s).

Oppgave 4d (buffer): 10p

100 mL av mettet CuCN -løsningen (fra oppgave 4b) tas ut, og det tilsettes 200 mL av 0,100 M HCN før hele blandingen blir fortynnet til 500 mL. Man har nå laget en buffer.

- i) Hva kjennetegner en buffer?
- ii) Hvordan kunne du laget en buffer med større bufferkapasitet?
- iii) Hva er pH i denne bufferen?

LF:

i) En buffer inneholder en svak syre og dens korresponderende base, (eller en svak base og dens korresponderende syre). En buffer kan motstå større pH-endringer ved tilsats av sterk syre eller base ved at likevekten HA/A^- forskyves og motvirker endring.

ii)

En buffer med stor bufferkapasitet kjennetegnes ved:

- 1) Jevnstore konsentrasjoner av syre og korresponderende base
- 2) Høye konsentrasjoner av syre og korresponderende base

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

I vårt tilfelle ville det være en løsning å tilsette mer CN^- slik at konsentrasjonene HCN og CN^- ble jevnstore. Vi kunne også tilsatt mer av både HCN og CN^- , for å øke bufferkonsentrasjonen til denne bufferen.

iii)

Denne oppgaven er svært krevende, og hovedformålet er å teste hva slags antakelser som gjøres og hvilke begrunnelser som gis.

Antakelser som kan gjøres:

1. Anta at det bare er tilsats av den svake syra, HCN, som bidrar til pH. Dvs. man antar at mengde $\text{CN}^-(\text{aq})$, $\text{HCN}(\text{aq})$ og $\text{H}^+(\text{aq})$ som tas med fra mettet løsning er ubetydelig i forhold til mengden HCN som tilsettes.
2. Ta hensyn til mettet løsning av CuCN som tilsettes. Man kan enten regne med ureagerte løsninger eller reagerte (massebalansen gjør at det skal bli det samme).
3. Ta hensyn til mettet løsning av CuCN tilsettes og vurder om CuCN(s) felles ut som følge av tilsats av HCN. Anta at det ikke er andre reaksjoner som påvirker løselighet/pH.
4. Vurder dannelse av kompleksdannelse av $\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$ og om det gir noen påvirkning på pH.

Ingen trekk om antakelsen om at komplekseringen med kobber; dvs. dannelse av $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{3-}$ ikke påvirker mengden CN^- eller HCN i løsningen. Bonus om det er tatt med som kan veie opp for andre svakheter.

LF for de ulike punktene (1-4) er gitt her:

1.

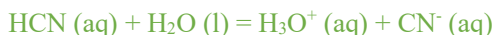
Vi starter med å beregne mengde HCN (aq) og CN^- (aq) under antakelse av at alt kommer fra tilsatt HCN og ingenting fra mettet CuCN-løsning.

$$\text{Antall mol HCN} = c \cdot V = 0,200 \text{ L} \cdot 0,100 \text{ mol L}^{-1} = 0,0200 \text{ mol}$$

Vi tilsetter dette til 100 mL mettet CuCN-løsning hvor vi antar at vi kan se bort fra konsentrasjonen av løst Cu og CN^- . Deretter fortynnes dette til 500 mL løsning.

Antall mol HCN er før reaksjon lik 0,0200 mol. Konsentrasjonen i 500 mL løsning er $[\text{HCN}]_0 = 0,0200 \text{ mol} / 0,500 \text{ L} = 0,0400 \text{ mol L}^{-1}$.

Setter opp protolysereaksjonen:



Alternativt (begge er like riktig):



| | | | | |
|---|----------|-----|-----|---------------------------------------------------------|
| S | 0,0400 M | 0 M | 0 M | (her antar vi at vi ser bort fra vannets egenprotolyse) |
| E | - x | +x | +x | |
| L | 0,0400-x | x | x | |

Finner verdien for pK_a fra SICD: $\text{pK}_a(\text{HCN}) = 9,21$.

Setter opp uttrykket for syrekonstanten, K_a :

$$K_a = [\text{CN}^-] \cdot [\text{H}^+] / [\text{HCN}] = x \cdot x / (0,0400 - x) = 10^{-9,21}$$

Løser uttrykket for x. Antar at $0,0400 \gg x$.

x blir da:

$$x = \sqrt{10^{-9,21} \cdot 0,0400} = 1,57 \cdot 10^{-5} = [\text{H}^+]. \text{ Antakelsen over er ok.}$$

pH = 4,80. Antakelsen om å se bort fra vannets egenprotolyse er ok.

2.

Nå sjekker vi antakelsen om å se bort fra mettet CuCN-løsning. Mengden CN^- (aq) fra protolysereaksjonen er ved likevekt $1,57 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$. Dvs. $7,85 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$.

Fra oppgave 4.b ser vi at i en mettet løsning hvor likevekt er etablert inneholder $1,505 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ cyanidioner. Vi tilsetter 100 mL av denne løsningen; det vil si $1,505 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$. Dette er ikke veldig

forskjellig fra mengden som dannes ved tilsats av HCN alene og vi må derfor ta hensyn til begge tilsatsene.

Før reaksjon etter blanding; dvs. vi antar ingen protolyse hverken for løst CuCN og HCN:

Fra CuCN:

$$\text{mol CN}^- = 2,902 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \cdot 0,100 \text{ L} = 2,902 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$$

Fra HCN:

$$\text{mol HCN} = 0,100 \text{ mol L}^{-1} \cdot 0,200 \text{ L} = 0,0200 \text{ mol}$$

Konsentrasjoner etter fortynning (500 mL):

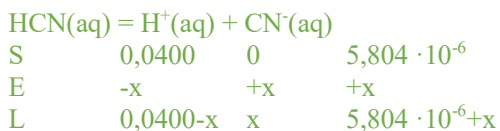
Før reaksjon: $[\text{CN}^-] = 5,804 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$
 $[\text{HCN}] = 0,0400 \text{ mol L}^{-1}$
 $[\text{H}^+] = 0 \text{ mol L}^{-1}$ (antar at vi kan se bort fra vannets egenprotolyse og at det ikke er skjedd noen reaksjon før etter blandingen og fortynningen)

To muligheter her.

i) Henderson-Hasselbach: $\text{pH} = \text{pK}_a + \log([\text{CN}^-]/[\text{HCN}]) = 9,21 + \log(5,804 \cdot 10^{-6}/0,0400) = \underline{5,37}$

Her har vi antatt at konsentrasjonene til CN^- og HCN er mye større enn konsentrasjonen til H^+ . Det er ikke tilfelle her og vi bør ikke bruke denne forenklingen.

ii) Setter opp protolysereaksjonen, SEL-skjema og likevektskonstanten på vanlig måte og bruker konsentrasjonene etter blanding og fortynning, men før reaksjon:



$$K_a = [\text{CN}^-] \cdot [\text{H}^+] / [\text{HCN}] = (5,804 \cdot 10^{-6} + x) \cdot x / (0,0400 - x) = 10^{-9,21}$$

Antar her at $0,0400 \gg x$, men ikke at $5,804 \cdot 10^{-6}$ er det:

$$(5,804 \cdot 10^{-6} + x) \cdot x / (0,0400) = 0,0400 \cdot 10^{-9,21} = 2,466 \cdot 10^{-11}$$

$$x^2 + 5,804 \cdot 10^{-6} \cdot x - 2,466 \cdot 10^{-11} = 0$$

Løser for x:

$$x = (-5,804 \cdot 10^{-6} \pm [(5,804 \cdot 10^{-6})^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-2,466 \cdot 10^{-11})]^{1/2}) / (2 \cdot 1)$$

$$x = (-5,804 \cdot 10^{-6} \pm 1,15 \cdot 10^{-5}) / 2$$

Bare en mulig løsning: $x = 2,85 \cdot 10^{-6} = [\text{H}^+]$. Antakelsen over om at $0,0400 \gg x$ er ok.

$$\text{pH} = \underline{5,55}$$

3.

Vi vet at CuCN kan felles ut dersom ionekonsentrasjonene blir for høye. Fra 2. over beregner vi konsentrasjonen av CN⁻ til å bli [CN⁻] = 5,804·10⁻⁶ + 2,85·10⁻⁶ = 8,65·10⁻⁶ mol L⁻¹. Vi antar at det ikke har skjedd noe med Cu⁺-ionene og at mengden tilsvarer løst mengde CuCN i 100 mL mettet løsning.
 $n(\text{Cu}^+) = [\text{Cu}^+] \cdot 0,100 \text{ L} = 2,902 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \cdot 0,100 \text{ L} = 2,902 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$
 $[\text{Cu}^+] \text{ i fortennet løsning (500 mL)} = 2,902 \cdot 10^{-6} \text{ mol} / 0,500 \text{ L} = 5,804 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$

$$Q(\text{CuCN}) = [\text{Cu}^+, \text{fortynnet løsning}] \cdot [\text{CN}^-, \text{fortynnet løsning og uten bireaksjon}]$$

$$= 5,804 \cdot 10^{-6} \cdot 8,65 \cdot 10^{-6} = 5,02 \cdot 10^{-11}$$

Dette er mindre enn K_{sp} og det vil dermed ikke være utfelling av CuCN i den fortynnete løsningen.

4.

Dannelseskonstanten for Cu(CN)₄³⁻ er svært høy og oppgitt i SI til 10²⁸. Det betyr at tendensen for å få kompleksjonen er svært høy og ionekonsentrasjonene følgelig små.

Vi kan estimere konsentrasjonen av kompleksjonen fra de oppgitte verdiene vi fant under punkt 3 over:



$$\beta = [\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}] / [\text{Cu}^+] \cdot [\text{CN}^-]^4 = 10^{28}$$

$$[\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}] = 10^{28} \cdot 5,804 \cdot 10^{-6} \cdot (8,65 \cdot 10^{-6})^4 = 325.$$

Dette er altfor høyt og dermed kan vi regne med at kobber i hovedsak finnes som [Cu(CN)₄³⁻] dersom det er nok CN⁻ tilgjengelig i løsningen. Som en start kan vi da anta at all kobber foreligger som [Cu(CN)₄³⁻], og at CN⁻ fra den mettede kobberløsningen finnes bundet til Cu(CN)₄³⁻. Dette tilsvarer bare ¼ av det som behøves for å få all kobber som kobbercyanidkomplekset. Det betyr at det er behov for 3 · 2,902 · 10⁻⁶ mol CN⁻ fra HCN-løsningen som blandes inn. Vi beregner derfor nye konsentrasjoner etter blanding og bruker dette til å beregne mengden Cu⁺ og CN⁻ i den fortynnete løsningen.

Fra mettet CuCN:

mol CN⁻ = 2,902 · 10⁻⁵ mol L⁻¹ · 0,100 L = 2,902 · 10⁻⁶ mol. Antar at alt foreligger som [Cu(CN)₄³⁻]

Vi sjekker denne antakelsen; dvs. hvor mye CN⁻ man får fra løst kompleks:

Etter kompleksering: [CN⁻] = 0 mol L⁻¹ (alt som kompleks)

$$[\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}] = 7,255 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L (dvs. all cyanid foreligger som Cu}(\text{CN})_4^{3-})$$

$$[\text{Cu}^+] = 3/4 \cdot 2,902 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} = 2,1765 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

| | | | | | |
|---|----------------------------------------|---|------------------------------|---|-----------------------|
| | Cu(CN) ₄ ³⁻ (aq) | = | Cu ⁺ (aq) | + | 4CN ⁻ (aq) |
| S | 7,255 · 10 ⁻⁶ M | | 2,1765 · 10 ⁻⁵ M | | 0 M |
| E | -x | | +x | | +4x |
| L | 7,255 · 10 ⁻⁶ -x | | 2,1765 · 10 ⁻⁵ +x | | 4x |

$$\beta = [\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}] / [\text{Cu}^+] \cdot [\text{CN}^-]^4 = 10^{28}$$

$$(7,255 \cdot 10^{-6} - x) / ((2,1765 \cdot 10^{-5} + x) \cdot (4x)^4) = 10^{28}$$

Anta at x << 7,255 · 10⁻⁶

$$7,255 \cdot 10^{-6} / ((2,1765 \cdot 10^{-5}) \cdot (4x)^4) = 10^{28}$$

$$x = (7,255 \cdot 10^{-6} / (2,1765 \cdot 10^{-5} \cdot 256 \cdot 10^{28}))^{0,25}$$

$$x = 1,90 \cdot 10^{-8}. \text{ Antakelsen at } x \ll 7,255 \cdot 10^{-6} \text{ er øk (0,26 \%)}.$$

$$[\text{CN}^-] = 7,60 \cdot 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$$

$$[\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}] = 7,255 \cdot 10^{-6} - 1,90 \cdot 10^{-8} = 7,24 \cdot 10^{-6}$$

$$[\text{Cu}^+] = 2,1765 \cdot 10^{-5} + 1,90 \cdot 10^{-8} = 2,18 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Kontroll: } \beta = (7,24 \cdot 10^{-6}) / ((2,18 \cdot 10^{-5}) \cdot (7,60 \cdot 10^{-8})^4) = 9,95 \cdot 10^{27} \dots \text{ok}$$

Antakelsen om at all CN^- foreligger som kompleks er ok. $(7,60 \cdot 10^{-8} / 2,902 \cdot 10^{-5} \cdot 100\% = 0,26 \%)$

$$\text{mol Cu}^+ \text{ til overs (1:4 i komplekset)} = 2,902 \cdot 10^{-6} \text{ mol} \cdot 3/4 = 2,1765 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$$

$$\text{mol fritt CN}^- \text{ etter komplekseringen} = 7,60 \cdot 10^{-8} \text{ mol L}^{-1} \cdot 0,100 \text{ L} = 7,60 \cdot 10^{-9} \text{ mol}$$

Fra HCN:

$$\text{mol HCN} = 0,100 \text{ mol L}^{-1} \cdot 0,200 \text{ L} = 0,0200 \text{ mol}$$

Etter reaksjon med $2,1765 \cdot 10^{-6} \text{ mol Cu}^+$:



$$\text{mol HCN tilgjengelig} = 0,0200 \text{ mol} - 4 \cdot 2,1765 \cdot 10^{-6} = 0,01999 \text{ mol}$$



$$4 \cdot 2,1765 \cdot 10^{-6} = 8,706 \cdot 10^{-6} \text{ mol (Antar ikke fritt CN}^- \text{ fra mettet CuCN-løsning, slik vi så over).}$$

Konsentrasjoner etter fortykning (500 mL):

$$\text{Mol kobbercyanidkompleks} = 2,902 \cdot 10^{-6} \text{ mol} / 0,500 \text{ L} = 5,804 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$$

$$\text{Før reaksjon: } [\text{CN}^-] = 0 \text{ mol L}^{-1}$$

(alt som kompleks, ser bort fra mengden CN^- som følger med mettet løsning; dvs. $7,60 \cdot 10^{-9} \text{ mol}$)

$$[\text{HCN}] = 0,03998 \text{ mol L}^{-1}$$

$$[\text{H}^+] = 1,741 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$$

Sjekker hvor mye CN^- man får fra løst kompleks alene:



$$\text{S} \quad 5,804 \cdot 10^{-6} \text{ M} \quad 0 \quad 0$$

$$\text{E} \quad -x \quad +x \quad +4x$$

$$\text{L} \quad 5,804 \cdot 10^{-6} - x \quad x \quad 4x$$

$$\beta = [\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}] / [\text{Cu}^+] \cdot [\text{CN}^-]^4 = 10^{28}$$

$$(5,804 \cdot 10^{-6} - x) / (x \cdot (4x)^4) = 10^{28}$$

Anta at $x \ll 5,804 \cdot 10^{-6}$

$$256x^5 / 5,804 \cdot 10^{-6} = 10^{28}$$

$$x = 7,43 \cdot 10^{-8} = [\text{Cu}^+]. \text{ Antakelsen } x \ll 5,804 \cdot 10^{-6} \text{ er ok (1,3 \%)}$$

$$[\text{CN}^-] = 2,973 \cdot 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$$

$$\text{Kontroll: } \beta = 5,804 \cdot 10^{-6} / (7,43 \cdot 10^{-8} \cdot (2,973 \cdot 10^{-7})^4) = 1 \cdot 10^{28} \dots \text{Ok}$$

Vi kan nå sjekke hvor mye H^+ basert på den svake syra og konsentrasjonene vi har beregnet:

$$\text{Før reaksjon: } [\text{CN}^-] = 2,973 \cdot 10^{-7} \text{ mol L}^{-1} \text{ (fra komplekslikevekten og mettet CuCN-løsning)}$$

$$[\text{HCN}] = 0,03998 \text{ mol L}^{-1} \text{ (etter forbruk til komplekslikevekt)}$$

$$[\text{H}^+] = 1,741 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \text{ (dannet som resultat av komplekslikevekten)}$$



$$\text{S} \quad 0,03998 \quad 1,741 \cdot 10^{-5} \quad 2,973 \cdot 10^{-7}$$

$$\text{E} \quad -x \quad +x \quad +x$$

$$\text{L} \quad 0,03998 - x \quad 1,741 \cdot 10^{-5} + x \quad 2,973 \cdot 10^{-7} + x$$

$$K_a = [\text{CN}^-] \cdot [\text{H}^+] / [\text{HCN}] = (2,973 \cdot 10^{-7} + x) \cdot (1,741 \cdot 10^{-5} + x) / (0,03998 - x) = 10^{-9,21}$$

Antar her at $0,03998 \gg x$, men ikke at $1,741 \cdot 10^{-5}$ er det:

$$x^2 + 1,771 \cdot 10^{-5}x + 2,973 \cdot 10^{-7} \cdot 1,741 \cdot 10^{-5} - 2,465 \cdot 10^{-11} = 0$$
$$x^2 + 1,771 \cdot 10^{-5}x - 1,948 \cdot 10^{-11} = 0$$

Løser med hensyn til x:

$$x = \frac{-1,771 \cdot 10^{-5} \pm [(1,771 \cdot 10^{-5})^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-1,948 \cdot 10^{-11})]^{1/2}}{2 \cdot 1}$$

$$x = \frac{-1,771 \cdot 10^{-5} \pm 1,979 \cdot 10^{-5}}{2}$$

Bare en løsning er mulig: $x = 1,04 \cdot 10^{-6}$

$$[H^+] = 1,741 \cdot 10^{-5} + 1,04 \cdot 10^{-6} = 1,84 \cdot 10^{-5} \text{ M}$$

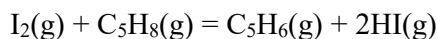
$$\text{pH} = -\log(1,84 \cdot 10^{-5}) = \underline{4,73}$$

Kontroll: $K_a = [H^+] \cdot [CN^-] / [HCN] = 1,84 \cdot 10^{-5} \cdot 1,336 \cdot 10^{-6} / 0,03998 = 6,15 \cdot 10^{-10}$; $\text{p}K_a = 9,21$ ok!

Vi ser at mesteparten av H^+ faktisk kommer fra selve komplekseringen som bidrar betydelig til pH.

Oppgave 5a (Le chatelier) - 5 poeng

Syklopenten og jod i gassfase føres sammen i en reaktor med et gitt volum, og vi får dannet Syklopentadien og hydrogenjodid ifølge reaksjonen



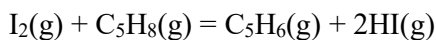
Gitt: $\Delta H^\circ(\text{reaksjon}) = 90 \text{ kJ mol}^{-1}$.

a) Begrunn hvordan likevektsmengden av $HI(g)$ påvirkes av (anta ideelle gasser)

- i) tilsats av $C_5H_6(g)$
- ii) dobling av reaktorvolumet
- iii) tilsats av en egnet katalysator
- iv) tilsats av en inert gass (He) ved konstant reaktorvolum
- v) temperaturøkning i reaktoren

Oppgave 5b (Likevektskonstant for I_2) - 6 poeng

Samme reaksjon som i forrige oppgave:

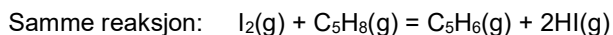


- i) Finn endringen i Gibbs energi, entalpi og entropi for reaksjonen,
- ii) Beregn likevektskonstanten for reaksjonen ved $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Hint: Syklopentadien står i SI som cyclopenta-1,3,-diene.

Anta at data for HI(g) i SI er for ren hydrogenjodidgass (dvs. bruk tallene som står i SI for HI(g)).

Oppgave 5c (Likevektstemperatur) - 4 poeng



Ved hvilken temperatur er likevektskonstanten lik 1?

5a)

- Reaksjon går mot venstre og likevektsmengden av HI reduseres. Begrunnelsen er at man tilsetter mer produkt. Da må reaksjonen gå mot venstre for å komme til likevekt igjen.
- Dobling av volumet betyr reduksjon i trykk, og reaksjonen går mot siden med mest gassmolekyler inntil likevekt innstilles igjen, dvs mot høyre, og vi får mer HI
- Tilsats av katalysator vil ikke påvirke LV (bare reaksjonshastigheten)
- Tilsats av inert gass ved konstant volum endrer ikke partialtrykkene og dermed ikke LV
- $\Delta H^\circ = 90 \text{ kJ mol}^{-1}$. Siden dette er en endoterm reaksjon, vil en temperaturøkning forskyve LV til høyre og vi vil få mer HI.
Men ikke helt rett frem her heller. Ettersom volumet er konstant så vil partialtrykkene øke med økt temperatur ($T = p \cdot V/nR$) og likevekten skyves mot venstre.

5b) Finner likevektskonstanten fra termokjemiske data:

| | $\Delta H_f^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$ | $S^\circ / \text{J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ | $\Delta G_f^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$ |
|-------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| $I_2(g)$ | 62 | 261 | 19 |
| $C_5H_8(g)$ | 34 | 290 | 112 |
| $C_5H_6(g)$ | 134 | 268 | 179 |
| $HI(g)$ | 26 | 207 | 2 |

For reaksjonen får vi da:

$$\Delta H_{\text{rxn}}^\circ = 2 \cdot 26 + 134 - (62 + 34) = 90 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta S_{\text{rxn}}^\circ = 2 \cdot 207 + 268 - (261 + 290) = 131 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$\Delta G_{\text{rxn}}^\circ = 2 \cdot 2 + 179 - (19 + 112) = 52 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Kontroll: $\Delta G_{\text{rxn}}^\circ = \Delta H_{\text{rxn}}^\circ - T \cdot \Delta S_{\text{rxn}}^\circ = 90 - 298 \cdot 0,131 = 51 \text{ kJ mol}^{-1}$ (ok, tallene har ganske stor usikkerhet i seg)

Likevektskonstanten kan her beregnes direkte fra $\Delta G_{\text{rxn}}^\circ$ eller fra entalpi- og entropiendringene.

$$\begin{aligned}\Delta G &= \Delta G^\circ + RT \ln(K) = 0 \\ \Delta G^\circ &= -RT \ln(K)\end{aligned}$$

$$K = \exp \frac{\Delta G^\circ}{RT} = \exp \frac{52000 \text{ J mol}^{-1}}{8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \cdot 298 \text{ K}} = 7,67 \cdot 10^{-10}$$

For $\Delta G_{\text{rxn}}^\circ = 51 \text{ kJ mol}^{-1}$ så blir $K = 1,15 \cdot 10^{-9}$. Begge gir full uttelling.

5c) Antar at $\Delta H_{\text{rxn}}^\circ$ og $\Delta S_{\text{rxn}}^\circ$ er uavhengige av temperaturen og at vi ikke går gjennom noen faseendringer i temperaturområdet.

Vi har: $\Delta G^\circ = -RT \ln(K)$

$K = 1$, $\ln(K) = 0$

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ &= -RT \ln(K) \\ \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ &= 0 \\ T &= \frac{\Delta H^\circ}{\Delta S^\circ} = \frac{90000 \text{ J mol}^{-1}}{131 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}} = 687 \text{ K} = 414 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Oppgave 6a (Organisk kjemi, funksjonelle grupper): 5p

Identifiser funksjonelle grupper i pentylacetat, oksalsyre, morfin, vanilin og testosteron.



Skriv inn de funksjonelle gruppene du finner i forbindelsene over, og presiser i hvilke av stoffene du finner dem.

LF

Pentylacetat: ester

Oksalsyre: karboksylsyre

Morfin: alkohol, amin, eter

Vanilin: aldehyd, eter, alkohol

Testosteron: keton, alkohol

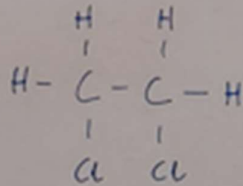
(Kandidater som velger å skrive fenol, benzen, sykloalken osv, får også poeng)

Oppgave 6b (Organisk kjemi, isomeri): 4p

- i. Tegn 1,2-dikloreten.
- ii. Det er bare en forbindelse som kan kalles 1,2-dikloreten, men det er to forskjellige forbindelser som kan kalles 1,2-dikloreten. Begrunn hvorfor det er slik.

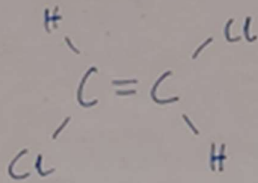
LF:

i)

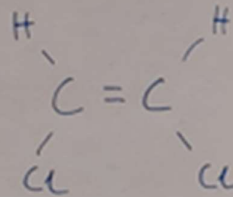


1,2-dikloreetan

ii)



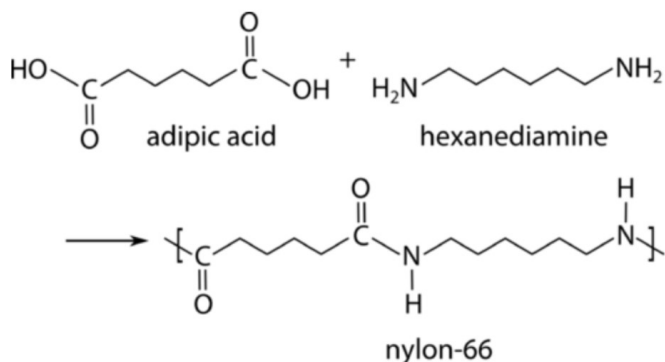
trans-1,2-dikloreten



cis-1,2-dikloreten

- i. 1,2-dikloreten vil være det samme molekylet selv om vi hadde byttet plass med noen av Cl mot H, så lenge vi tegnet en klor på hvert av karbonatomene. Grunnen til dette er molekylgeometrien og rotasjonen rundt enkeltbindingen mellom karbonatomene.
- ii. 1,2-dikloreten, i motsetning til 1,2-dikloreten, inneholder en dobbeltbinding og rotasjon rundt dobbeltbinding er ikke mulig uten å bryte bindingen (og evt lage et nytt molekyl). Det finnes derfor to varianter av 1,2-dikloreten der kloratomene enten er på samme side av karbonatomene (cis) eller på motsatt side for hverandre (trans).

Oppgave 7 (Dannelse av polymere): 3p



Over ser du et eksempel på en kondensasjonsreaksjon som gir en polymer (altså en kondensasjonspolymerisasjonsreaksjon).

Hvorfor må man ha to funksjonelle grupper på hver av monomereene?

Hvordan vil du forvente at entropien endres ved en slik polymerisasjonsreaksjon?

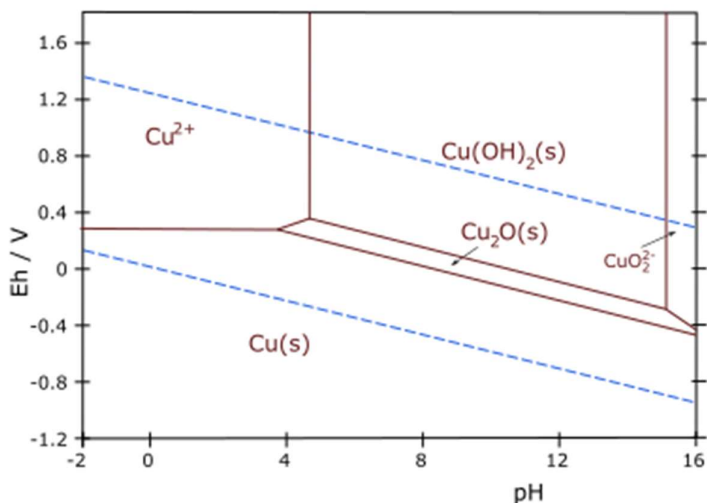
LF:

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.

Mer orden i det polymeriserte stoffet, entropien avtar

Oppgave 8a (Pourbaix): 4p

Bildet under viser et pourbaix-diagram for kobber. Skriv hvilke likevekter (sur løsning) de blå linjene i diagrammet representerer.



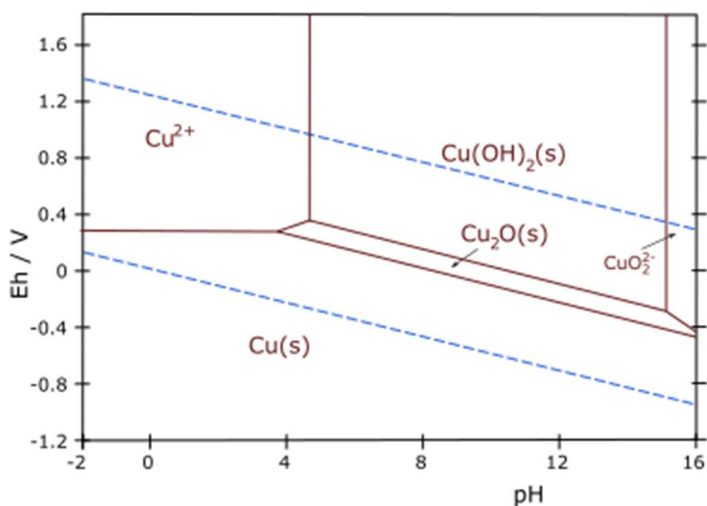
LF:

Den øverste blå linjen representerer likevekten:
 $O_2(g) + 4H^+ + 4e^- \leftrightarrow 2H_2O$

Den nederste blå linjen representerer likevekten:
 $2H^+ + 2e^- \leftrightarrow H_2(g)$

Oppgave 8b (Pourbaix): 3p

Gitt pourbaixdiagrammet for kobber under.



Hvilke av påstandene under er riktig?

Det trekkes for feil svar, men negative poeng tas ikke med videre.

- A. Kobber blir oksidert i sterk syre selv uten oksygen til stede.
- B. Kobber lar seg oksidere av oksygen ved alle pH-verdier.
- C. Overgangen fra $\text{Cu}(\text{OH})_2$ til CuO_2^{2-} er avhengig av både potensial og pH.
- D. Likevektslinjen for overgangen fra $\text{Cu}(\text{s})$ til Cu^{2+} endres dersom konsentrasjonen endres.
- E. Ved sterkt reduserende forhold vil vann bli oksidert til H_2
- F. Ved sterkt oksiderende forhold vil vann bli oksidert til O_2

Begrunnelse for riktige svaralternativ (som ikke var nødvendig/mulig å legge til på eksamen, men som kan være fint for studentene å lese i ettertid) er gitt her:

Alternativ A, "Kobber blir oksidert i sterk syre selv uten oksygen til stede", er usann fordi vi kan lese fra pourbaixdiagrammet at reduksjonspotensialet til reduksjonsreaksjonen $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{H}_2(\text{g})$ er lavere enn reduksjonspotensialet til reduksjonsreaksjonen $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$. Dette forteller oss at kobbermetall ikke blir oksidert i sterk syre (reaksjonen $\text{Cu}(\text{s}) + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{H}_2(\text{g})$ er ikke spontan).

Alternativ B, "Kobber lar seg oksidere av oksygen ved alle pH-verdier", er sann fordi vi kan lese fra pourbaixdiagrammet at reduksjonspotensialet for reduksjonsreaksjonen for oksygen (øverste blå linje) er høyere (ved alle pH-verdier) enn reduksjonspotensialet for reduksjonsreaksjonen $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$. Dette forteller oss at kobbermetall blir oksidert av oksygen ved alle pH-verdier (reaksjonen er spontan).

Alternativ C, "Overgangen fra $\text{Cu}(\text{OH})_2$ til CuO_2^{2-} er avhengig av både potensial og pH", er usann. Dette kan vi lese fra pourbaixdiagrammet ved å registrere at likevektslinjen for reaksjonen $\text{Cu}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CuO}_2^{2-}$ er en loddrett strek som ikke påvirkes av potensial, men bare pH.

Alternativ D, "Likevektslinjen for overgangen fra $\text{Cu}(\text{s})$ til Cu^{2+} endres dersom konsentrasjonen endres", er sann. Dette vet vi fra oppbyggingen til et pourbaixdiagram, og Nernst likning, at potensialet for reduksjonsreaksjonen endres ved konsentrasjonsendring og må tas hensyn til når man tegner inn likevektslinjen inn i diagrammet.

Alternativ E: "Ved sterkt reduserende forhold vil vann bli oksidert til H₂," er usann. Ved sterkt reduserende forhold vil vann bli redusert til hydrogen gass (gjennom reduksjonsreaksjon $2 \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{OH}^-$)

Alternativ F, "Ved sterkt oksiderende forhold vil vann bli oksidert til O₂," er sann. Ved sterkt oksiderende forhold vil vann ikke lenger være stabilt, molekylet vil splittes og danne blant annet oksygen gass.

Oppgave 9a (Balansering og reaksjoner): 3p

I et aluminium-luft-batteri (Al-O₂) utnytter man den store forskjellen i reduksjonspotensial mellom aluminium og oksygen.

Reaksjonene foregår i basisk løsning slik at aluminium oksiderer til Al(OH)₄⁻ (aq) på anoden og oksygen reduseres på katoden.

Skriv opp balansert anode-, katode- og totalreaksjon når et Al-O₂ batteri produserer strøm til en ytre krets.

-----LF:



Oppgave 9b (Standard cellepotensial): 6p

Bestem **standard** cellepotensial for følgende elektrokjemiske celle (Al-O₂ batteriet med samme totalreaksjon som i 9a) ved 25°C.



Hint: Bruk termokjemiske data fra SI.

---LF:



Termokjemiske data (25°C):

| | $\Delta H_f^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$ | $\Delta G_f^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$ | $S^\circ / \text{J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|
| Al(s) | 0 | 0 | 28 |
| OH ⁻ (aq) | -230 | -157 | -11 |
| O ₂ (g) | 0 | 0 | 205 |
| H ₂ O(l) | -286 | -237 | 70 |
| Al(OH) ₄ ⁻ (aq) | -1502 | -1305 | 103 |

$$\Delta H^\circ(\text{reaksjon}) = 4 \cdot (-1502) - (4 \cdot 0 + 4 \cdot (-230) + 3 \cdot 0 + 6 \cdot (-286)) = -3372 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta G^\circ(\text{reaksjon}) = 4 \cdot (-1305) - (4 \cdot 0 + 4 \cdot (-157) + 3 \cdot 0 + 6 \cdot (-237)) = -3170 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\Delta S^\circ(\text{reaksjon}) = 4 \cdot (103) - (4 \cdot 28 + 4 \cdot (-11) + 3 \cdot 205 + 6 \cdot (70)) = -691 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$\text{Kontroll: } \Delta G^\circ(\text{reaksjon}) = \Delta H^\circ(\text{reaksjon}) - T \cdot \Delta S^\circ(\text{reaksjon}) = -3372 - 298 \cdot (-0,691) = -3166 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ (ok)}$$

Standard cellepotensial:

$$\text{i) } 25^\circ\text{C. } E^\circ = -\Delta G^\circ(\text{reaksjon})/zF = -(-3170 \cdot 10^3) \text{ J mol}^{-1} / (12 \cdot 96485 \text{ C mol}^{-1}) = 2,74 \text{ V}$$

Alternativt: 2,73 (om -3166 kJ mol⁻¹ brukes for ΔG°(reaksjon))

Oppgave 9c (Virkelig cellepotensial): 3p

Fortsatt samme celle:



Bestem cellepotensialet (cellespenning) ved 25°C.

Om du ikke fikk til oppgave b) kan du anta at standard cellepotensial ved 25°C er 3,0 V.

---LF:



Nernst ligning:

$$E = E^\circ - RT/zF \ln Q$$

$$z=12, E^\circ=2,74 \text{ V, } R = 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}, F = 96485 \text{ C mol}^{-1}, T = 298 \text{ K}$$

$$\ln(Q) = \ln\left(\frac{[\text{Al(OH)}_4^-]^4}{a_{\text{Al}}^4 \cdot [\text{OH}^-]^4 \cdot p(\text{O}_2)^3 \cdot a_{\text{H}_2\text{O}}^6}\right) \approx \ln\left(\frac{[\text{Al(OH)}_4^-]^4}{[\text{OH}^-]^4 \cdot p(\text{O}_2)^3}\right) = \ln\left(\frac{0,20^4}{(0,10)^4 \cdot (0,21)^3}\right) = 7,45$$

$$E = 2,74 \text{ V} - 8,314 \cdot 298 / (12 \cdot 96485) \cdot 7,45 \text{ V} = 2,75 \text{ V} - 0,016 \text{ V} = \underline{2,72(4) \text{ V}}$$

Med følgefeil: $E = 3,0 \text{ V} - 0,016 \text{ V} = 2,98 \text{ V}$

Oppgave 9d (Arbeid): 5p

Fortsatt samme celle (Al-O₂ batteriet) og 25°C.

i) Hvor mye arbeid får du pr kg Al?

ii) Cella (batteriet) brukes kontinuerlig og forbruker 1 kg aluminium i året. Hvor stor er strømmen som cella leverer til enhver tid gjennom året?

-----LF:

i)

Arbeid = $w = \Delta G(\text{reaksjon})$ per mol reaksjon
Arbeid = $-zFE(\text{celle}) = -12 \cdot 96485 \text{ C mol}^{-1} \cdot 2,724 \text{ V} = -3154 \text{ kJ mol}^{-1}(\text{reaksjon})$

Totalreaksjon: $4\text{Al}(\text{s}) + 4\text{OH}^-(\text{aq}) + 3\text{O}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l}) = 4\text{Al}(\text{OH})_4^-(\text{aq})$

1 kg Al tilsvarer $n=m/M = 1000 \text{ g} / 26,98 \text{ g mol}^{-1} = 37,06 \text{ mol}$

4 mol Al(s) forbrukes når reaksjonen går 1 mol ganger.

Antall mol reaksjon = $37,06 \text{ mol (Al)} / 4 = 9,27 \text{ mol reaksjon}$

Arbeid for 1 kg Al = $3165 \text{ kJ mol}(\text{reaksjon})^{-1} \cdot 9,27 \text{ mol}(\text{reaksjon}) = \underline{29,2 \cdot 10^6 \text{ J}} (= 29,2 \text{ MJ})$

Alternativt: Arbeid (i Wh) = $\text{molAl (dvs. } 1000\text{g}/26,98\text{g/mol)} \cdot e^- \text{ for hver Al (dvs. } 3) \cdot F \cdot E_{\text{celle}} (2,724 \text{ V}) / 3600 \text{ s/h} = 29,2 \text{ MJ}/3600 \text{ s/h} = 8,118 \text{ kWh}$

ii)

Strøm som produseres i 1 kg Al: 37,06 mol Al som gir 3 elektroner hver gang:

Faradays lov: mengde produkt (mol) = $\frac{I \cdot t}{zF}$

, $t = \text{tid} = 365 \text{ døgn} \cdot 24 \text{ h/døgn} \cdot 3600 \text{ s/h} = 31,536 \cdot 10^6 \text{ s}$

$z = 3$

$F = 96485 \text{ C mol}^{-1}$

Mengde produkt (mol) = $1000 \text{ g} / 26,98 \text{ g mol}^{-1} = 37,06 \text{ mol}$

Strøm, I : $I = \frac{37,06 \text{ mol} \cdot 3 \cdot 96485 \text{ C mol}^{-1}}{31536000 \text{ s}} = \underline{0,34 \text{ A}}$

Strøm, I : = 0,34 A

Alternativt. $P = U \cdot I$ eller $I = P/U$. Finner totalt antall watt som produseres kontinuerlig ved å ta totalt arbeid i J og dele på antall sekunder i ett år:

$P = \text{arbeid/tid} = \text{Joule} / \text{sekund}$

8,118 kWh for en kg Al. Det vil si $29,2 \text{ MJ} = 29,2 \cdot 10^6 \text{ J}$ totalt. Om vi sprer det på ett år blir det $29,2 \cdot 10^6 \text{ J} / 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 0,9260 \text{ J/s} = 0,9260 \text{ W} = \text{effekt (P)}$.

For en spenning på 2,724 V får vi da strømmen: $I = P/U = 0,9260 \text{ W} / 2,724 \text{ V} = \underline{0,34 \text{ A}}$

For feil celledspenning, $E_{\text{celle}} = 2,08 \text{ V}$ blir svaret:

i) arbeid = 6199 Wh (22,3 MJ)

ii) strøm = 0,7076 W / 2,08 V = 0,34 A

Hvorfor tror du at det blir samme strømmen? (strømmen er uavhengig av potensial, bare mengde som forbrukes over hvor lang tid)

TMT4110:

Oppg. 10. Papirkromatografi

I laboratoriet hadde dere en oppgave med papirkromatografi.

En papirbit ble plasseres i en blanding av vann, aceton og HCl (elueringsvæske). Forklar hvorfor noen ioner beveget seg lenger enn andre. Hva mener vi med retensjonsfaktor (R_f)? Hva i tillegg til R_f var det viktigste virkemidlet for å skille ionene?

LF:

Vann, aceton og HCl er fullstendig blandbare med hverandre, men når løsningen trekkes opp av kapillærkreftene vil de fordele seg i en vandig stasjonær fase, og en mobil aceton-HCl-fase. Denne fordelingen skjer fordi vann har en lavere overflateenergi mot cellulosefibrene enn det aceton-HCl-fasen har. Den mikroskopiske (og kjemiske) forklaringen på dette er at vannmolekylene kan danne hydrogenbindinger til OH-grupper på cellulosefibrene. Fordi vannet ligger tett inntil cellulosefibrene vil vannfasen oppleve mer friksjon og bevege seg saktere enn acetonfasen.

R_f = Stoffets vandring fra startlinjen / løsningsfrontens avstand fra startlinjen

I tillegg til R_f er farger (fargede komplekser) viktig for å skille ionene.