



KEMIAN KOE 24.3.2017 HYVÄN VASTAUKSEN PIIRTEITÄ

Tutkintoaineen sensorikokous on hyväksynyt seuraavat hyvän vastauksen piirteet.

Kemiassa arvioinnin kohteina ovat kemiallisen tiedon ymmärtäminen ja soveltaminen lukion opetussuunnitelman perusteiden mukaisesti. Arvioinnissa otetaan huomioon myös kokeellisen tiedonhankinnan ja -käsittelyn taidot. Näihin kuuluvat esimerkiksi kokeiden suunnittelu, työvälineiden ja reagenssien turvallinen käyttö, tulosten esittäminen ja tulkitseminen sekä johtopäätösten tekeminen ja soveltaminen.

Kemian tehtäviä arvosteltaessa painotetaan oppiaineen luonteen mukaista esitystapaa sekä käsitteiden ja kielenkäytön täsmällisyyttä. Reaktioyhtälöt esitetään ilman hapetuslukuja pienimminkin mahdollisin kokonaislukukertoimin ja olomuodoilla varustettuna. Orgaanisissa reaktioyhtälöissä käytetään rakennekaavoja, mutta olomuotoja ei vaadita. Rakennekaavojen eri esitystavat hyväksytään.

Laskennallisissa tehtävissä suureyhtälöjä ja kaavoja käytetään tavalla, joka osoittaa kokelaan ymmärtäneen tehtävänannon oikein ja soveltaneen ratkaisussaan asianmukaista periaatetta tai lakia. Vastauksesta ilmenee yksiselitteisesti, miten lopputulokseen päädytään. Jos tehtävässä tarvitaan välituloksia, ne esitetään riittävällä tarkkuudella yksiköineen. Lopputulokset annetaan lähtöarvojen mukaisella tarkkuudella yksiköineen, ja johtopäätökset perustellaan.

Kuvaajat piirretään huolellisesti ja riittävän kokoisina. Millimetripaperin käyttö on suositeltavaa, mutta ei pakollista. Kuvaajaan merkitään akselien nimet ja yksiköt. Mittauspisteisiin sovitetaan asianmukainen suora tai yhtenäinen kaareva viiva. Kuvaajaan merkitään johtopäätösten kannalta olennaiset kohdat, kuten ekvivalenttikohta titrauskäyrässä tai hetkellistä nopeutta laskettaessa kyseinen tangentti.

Essee- ja selittävissä vastauksissa tekstiä täydennetään reaktioyhtälöillä, kaavoilla tai piirroksilla. Hyvä vastaus on jäsenneily ja sisällöltään johdonmukainen. Jokeritehtävässä korkeimmat pistemäärät edellyttävät kykyä tietojen soveltamiseen myös laajemmissa yhteyksissä.

Kemian kokeessa kaikki funktio-, graafiset ja symboliset laskimet ovat sallittuja. Symbolisen laskimen avulla tehdyt ratkaisut hyväksytään, kunhan ratkaisusta käy ilmi, mihin tilanteeseen ja yhtälöihin ratkaisu symboleineen perustuu. Laskinta voi käyttää myös yhtälön ratkaisemiseen tai kuvaajasta selvitettävien arvojen määrittämiseen.

Tehtävän eri osat arvostellaan 1/3 pisteen tarkkuudella, ja loppusumma pyöristetään kokonaisiksi pisteiksi.

Kemian kannalta epätasällisesta kielenkäytöstä, huolimattomasti piirretyistä orgaanisten yhdisteiden rakennekaavoista tai huolimattomasta kaavojen kirjoittamisesta sekä virheellisistä nimistä vähennetään 0–1 p. Pieni laskuvirhe tai likiarvojen huolimaton käyttö aiheuttaa 1/3–1 pisteen vähennyksen. Tuloksen tarkkuus määräytyy epätarkimman lähtöarvon mukaan.

1. a) 4 tai 4 ja 5 (1 p.)
 b) 3 tai 3 ja 5 (1 p.)
 c) 1 tai 2 tai 1 ja 2 tai edelliset ja 5 (1 p.)
 d) 5 tai 4 ja 5 (1 p.)
 e) 2 tai 2 ja 5 (1 p.)
 f) 4 tai 4 ja 5 (1 p.)

2. a) $n(\text{Cu}^{2+}) = c(\text{Cu}^{2+}) \cdot V(\text{Cu}^{2+}) = 0,0500 \text{ mol/l} \cdot 0,5 \text{ l} = 0,0250 \text{ mol}$
 $n(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}) = n(\text{Cu}^{2+}) = 0,0250 \text{ mol}$
 $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}) = n(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}) \cdot M(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O})$
 $= 0,0250 \text{ mol} \cdot 249,7 \text{ g/mol} = 6,2425 \text{ g} (\approx 6,24 \text{ g})$ (2 p.)

Punnitaan vaa'an tarkkuuden mukaisesti kiinteää kidevedellistä kuparisulfaattia. Kuparisulfaatti siirretään 500 millilitran mittapulloon. Lisätään pulloon tislattua vettä, liuotetaan suola, täytetään mittapullo tislattulla vedellä pullossa olevaan merkkiviivaan asti, suljetaan korkilla ja sekoitetaan liuos. (1 p.)

- b) $c_1V_1 = c_2V_2$
 $V(\text{kupariliuos}) = \frac{c(\text{standardiliuos}) \cdot V(\text{standardiliuos})}{c(\text{kupariliuos})} = \frac{0,50 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \cdot 0,10 \text{ l}}{0,050 \text{ mol/l}} = \mathbf{1,0 \text{ ml}}$ (1 p.)

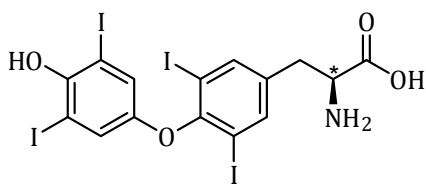
Pipetoidaan täyspipetillä 1,0 millilitraa a-kohdan kupariliuosta 100 ml mittapulloon, täytetään pullo vedellä pullossa olevaan merkkiviivaan asti, suljetaan pullo korkilla ja sekoitetaan liuos. (1 p.)

- c) Kuparipitoisuus ei ole tarkka kiinteästä kuparisulfaatista valmistetussa b-kohdan liuoksessa, jonka pitoisuus on 0,50 mmol/l, sillä punnittava määrä olisi niin pieni, että pientenkin punnitusvirheiden suhteellinen merkitys kasvaa. (1 p.)

3. a) Tyroksiinimolekyylin funktionaaliset ryhmät ovat

- karboksyyliiryhmä (1/3 p.)
- aminoryhmä (1/3 p.)
- jodi (1/3 p.)
- eetteriryhmä (1/3 p.)
- fenolinen hydroksyyliiryhmä tai aromaattinen rengas ja hydroksyyliiryhmä. (1/3 p. + 1/3 p.)

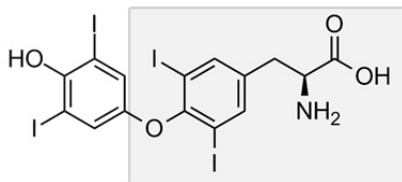
b) Tyroksiinimolekyyllillä esiintyy optista isomeriaa eli peilikuvaisomeriaa. Aminoryhmän viereinen hiiliatomi on kiraalinen/asymmetrinen, koska siihen on liittynyt neljä erilaista atomia tai atomiryhmää (kiraalinen hiili on merkitty kuvaan tähdellä). Vastauksen voi perustella rakennekaavalla, johon on merkitty asymmetrinen hiili tai sanallisesti.



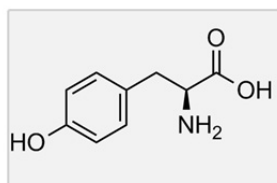
(1 p.)

c) Tyroksiini muodostuu tyrosiinista.

Tyroksiinin rakennekaavasta löytyy tyrosiinia vastaava rakenne (ks. kuva). Perustelua ei vaadita.



tyroksiini



tyrosiini

(1 p.)

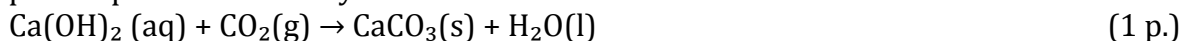
d) Jodi on alkuaine, joka pelkistyy helposti jodidi-ioneiksi.

tai: Jodi liukenee ravinnosta (ja imeytyy elimistöön) paremmin, jos se on ionimuodossa, jodidi-ioneina. (1 p.)

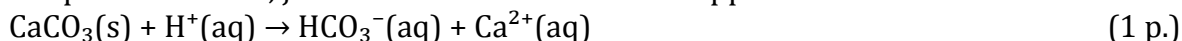
Jodideista saadaan jodia hapetusreaktiolla: $2 I^-(aq) \rightarrow I_2(aq) + 2 e^-$ (1 p.)

4. a) Jos ilma on kylläinen vesihöyrystä, iholta haihtuu hikeä (vettä) höyryksi yhtä paljon kuin höyrystä tiivistyy vettä. Kyseessä on tasapainotila.
$$\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{g})$$
 (1 p.)

- b) Uloshengitysilman hiilidioksidi muodostaa kalsiumhydroksidin kanssa kalsiumkarbonaattia, joka on niukkaliukoinen suola. Kalsiumkarbonaatin liukoisuus veteen on pienempi kuin kalsiumhydroksidin liukoisuus.



Kun puhaltamista jatketaan, hiilidioksidi muodostaa veden kanssa hiilihappoa. Liuoksen pH-arvo laskee, ja karbonaattisuola liukenee happamaan liuokseen.



- c) Le Châtelier'n periaatteen mukaan olosuhteiden muuttaminen vaikuttaa reaktion tasapainoon. Korkea paine siirtää tasapainoa reaktiotuotteiden suuntaan, sillä reaktioyhtälössä kaasumaisia reaktiotuotteita on tuotteissa vähemmän kuin lähtöaineissa.

(1 1/3 p.)

Lämpötilan nosto nopeuttaa reaktiota. Le Châtelier'n periaatteen mukaan tasapaino siirtyy endotermiseen suuntaan. Korkeassa lämpötilassa ammoniakkia on tällöin tasapainotilassa vähemmän eli tilanne on epäedullinen ammoniakin saannon kannalta. Teollisessa tuotannossa käytetään korkeaa lämpötilaa, jotta reaktio tapahtuisi nopeasti. Nopeampi reaktio tehostaa prosessia ja kumoaa tasapainon siirtymisen negatiivisen vaikutuksen.

(1 2/3 p.)

Ammoniakin talteenoton ja reagoimattomien lähtöaineiden kierrätyksen avulla ammoniakkia saadaan valmistettua tehokkaasti lähtöaineista. Ammoniakin talteenotto siirtää tasapainoa reaktiotuotteiden puolelle.

(1 1/3 p.)

Maksimipistemäärä 3 p. voi kertyä erilaisilla ansioilla.

5. a) Kestomuoveja voidaan lämmittämällä muovata toistuvasti, sillä polymeeriketjujen välillä on vain heikkoja voimia. Lämmitys irrottaa polymeeriketjut toisistaan, jolloin muovi pehmenee. Kun muovia jäähdytetään, heikot sidokset muodostuvat ketjujen välille uudestaan ja muovi kovettuu. (1 p.)

Kertamuoveissa polymeeriketjut muodostavat jäykän, verkkomaisen rakenteen. Kertamuovit saavat kerran muotonsa, jota ei voi enää muovata lämmittämällä. (1 p.)

- b) Polyeteenitereftalaatti (PET) ja nailon-6 voidaan pilkkoa pienemmiksi molekyyleiksi, koska PET:n esteriryhmä ja nailon-6:n amidiryhmä voivat hydrolysoitua. Tällöin reaktiotuotteina muodostuu PET:sta karboksyylihappoa ja alkoholia, sekä nailon-6:sta karboksyylihappoa ja amiinia. Polyeteeni (PE) hyväksytään, jos pilkkominen perustellaan termokatalyysin tms. avulla. (2 p.)

Maksimipistemäärä 2 p. voi kertyä erilaisilla ansioilla.

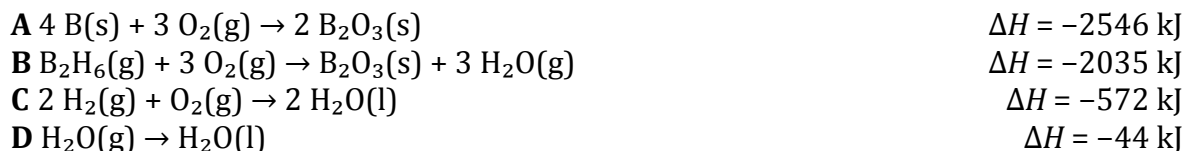
- c) Elintarvikepusseissa käytettävä muovi on
- sitkeää, joustavaa, pehmeää, taipuisaa, kevyttä, ei läpäise vesihöyryä, läpinäkyvää tai läpinäkymätöntä, puhtaasti palava ja siitä voidaan valmistaa kalvoja. (2/3 p.)
- Virvoitusjuomapulloissa käytettävä muovi on
- jäykkää, kovaa, sitkeää, kirkasta, kestää pientä painetta, ei reagoi sisällön kanssa, värjättävää ja se ei läpäise hiilidioksidia (2/3 p.)
- Nailonvaatteissa käytettävä muovi on
- kestävä, joustava, värjättävää, palamatonta, ja siitä voidaan valmistaa kuitua (lankaa)

Jokaiseen käyttötarkoitukseen sopii ominaisuudeksi myrkytön, kierrätettävä, kevyt, ja kestävä ja kylmää/lämpöä sietävä.

(2/3 p.)

Vastauksessa riittää kaksi erilaista ominaisuutta kullekin käyttökohteelle.

6. a) Reaktio $2 \text{B(s)} + 3 \text{H}_2\text{(g)} \rightarrow \text{B}_2\text{H}_6\text{(g)}$ saadaan yhdistämällä annetut reaktioyhtälöt:

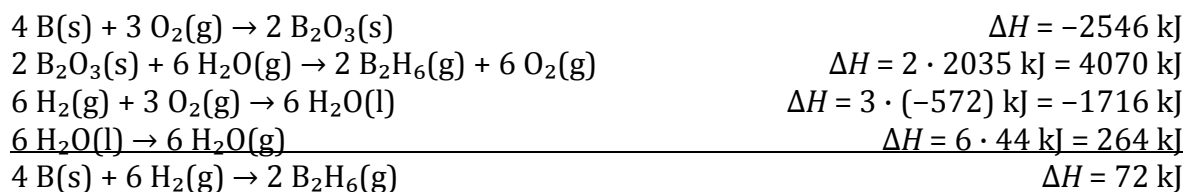


Tarvittavat reaktioyhtälöt käännetään, jotta reaktiotuotteet ja lähtöaineet ovat oikeilla paikoilla. Reaktioyhtälöitä kerrotaan, jotta välituotteet eivät jää kokonaisreaktioyhtälöön. Kertominen vaikuttaa myös ΔH -arvoihin.

$$(A - 2 \cdot B + 3 \cdot C - 6 \cdot D)/2 \quad (3 \text{ p.})$$

Pisteitys tarkemmin:

- Vastauksessa on käännetty reaktioyhtälöitä B ja/tai D (2/3 p.)
- Vastauksessa on kerrottu jokin reaktioyhtälö välituotteiden (O_2 , B_2O_3 , H_2O) eliminomiseksi (2/3 p.)
- Vastauksessa on vastaavasti kerrottu ja käännetty edellisiä entalpioita (2/3 p.)
- Tuloksena on oikea reaktioyhtälö (2/3 p.)
- Entalpia on laskettu monikertana oikein (2/3 p.)
- Entalpia on laskettu oikein (2/3 p.)

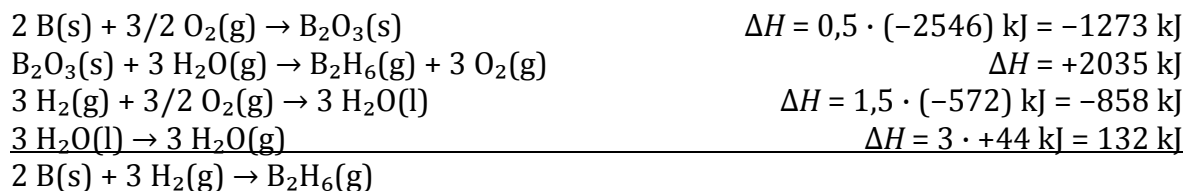


Kysytty reaktio saadaan, kun jaetaan kahdella:



Kysytyn reaktion entalpiamuutos ΔH on 36 kJ. (1 p.)

Vaihtoehtoinen ratkaisu: $0,5 \cdot A - B + 1,5 \cdot C - 3 \cdot D$



Entalpiamuutos on $(-1273 + 2035 + (-858) + 132) \text{ kJ} = 36 \text{ kJ}$.

Entalpiamuutos voidaan laskea myös sijoitusmenetelmällä.

b) Reaktion $\Delta H = \Sigma \Delta H_f^\circ$ (tuotteet) - $\Sigma \Delta H_f^\circ$ (lähtöaineet)

$$\Delta H = (-1273 + (-285,8) + (-74,9) + 0 - [36 + 2 \cdot (-393,5)]) \text{ kJ} = -882,7 \text{ kJ} \approx -883 \text{ kJ}$$

(1 p.)

Palaminen hapen kanssa [reaktio $\text{B}_2\text{H}_6(\text{g}) + 3 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{B}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$] a-kohdan mukaan vapauttaa 2035 kJ energiaa yhtä moolia diboraania kohti. (1/3 p.)

Tällöin reaktio hiilidioksidin kanssa vapauttaa vähemmän energiaa. (2/3 p.)

7. **a)** $K_s = [\text{Ca}^{2+}] [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]$ tai saostumisen reaktioyhtälö. (2/3 p.)

$$K_s = x \cdot x = 2,3 \cdot 10^{-9} \text{ (mol/l)}^2 \quad (1 \text{ p.})$$

$$x = 4,796 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l} \quad (2/3 \text{ p.})$$

$$m(\text{CaC}_2\text{O}_4) = cVM = 4,796 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l} \cdot 0,50 \text{ l} \cdot 128,1 \text{ g/mol} = 0,003072 \text{ g} \approx 3,1 \text{ mg}$$

Veteen liukenee 3,1 mg kalsiumoksaalia. (2/3 p.)

b) Ionitulo = liukoisuustulo

$$1,3 \text{ mmol/l} \cdot [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] = 2,3 \cdot 10^{-9} \text{ (mol/l)}^2 \quad (1 \text{ p.})$$

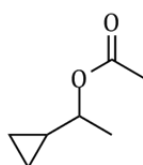
$$[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] = 1,7692 \cdot 10^{-6} \text{ mol/l}$$

Vesiliuoksen oksalaatti-ionikonsentraatio voi olla enintään 1,7 $\mu\text{mol/l}$ (1 p.)

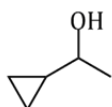
c) Vaniljakastike ja kermavaahto sisältävät kalsiumia. Syömällä raparperi niiden kanssa estetään elimistön kalsiumin sitoutuminen oksalaatin kanssa. (1 p.)

8. a) Happo-emästitrauksen ekvivalenttipiste on **14,0 ml** ($\pm 0,3$ ml). (2/3 p.)
Johtokykytitrauksen ekvivalenttipiste on **14,0 ml** ($\pm 0,3$ ml). (1/3 p.)
- b) Alussa liuksen pH ≈ 1 . Liuoksessa on paljon oksoniumioneja, koska HCl on vahva happo. Lisättäessä liukseen natriumhydroksidiliuosta suolahappo neutraloituu ja pH nousee. Aluksi pH nousee hitaasti, koska liuksessa on runsaasti oksoniumioneja. Ekvivalenttikohtaa lähestyttäessä pH nousee jyrkästi, koska hyvin pieni määrä emäsliuosta riittää neutraloimaan jäljellä olevan hapon ja edelleen tuomaan liukseen hydroksidi-ioni ylimäärän. Ekvivalenttipisteen jälkeen lisättävä emäs ei enää reagoi hapon kanssa, vaan suurentaa liuksen natriumhydroksidikonsentraatiota, jolloin pH kasvaa. (1 p.)
- c) Titrauksen ekvivalenttipisteessä liuksessa on natrium-, kloridi-, hydroksidi- ja oksoniumioneja. (1 p.)
Titrattaessa vahvaa happoa vahvalla emäksellä ekvivalenttipisteessä $[\text{OH}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/l}$. Lisäksi $[\text{Na}^+] = [\text{Cl}^-]$. (1 p.)
- d) Ekvivalenttipisteen jälkeen liuksen johtokyky kasvaa, koska liukseen lisättävä NaOH ei enää neutraloidu, vaan tuottaa liukseen natrium- ja hydroksidi-ioneja. (1 p.)
Tällöin NaOH:n lisäämisen johdosta ionien määrä liuksessa lisääntyy ja konsentraatio kasvaa, jolloin johtokyky kasvaa. (Elektrolyyttiliuksen sähkönjohtokykyyn vaikuttaa ionien konsentraation lisäksi myös ionien varaus ja liikkuvuus.) (1 p.)

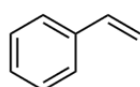
9.



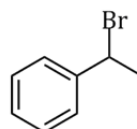
A



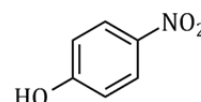
B



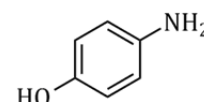
C



D



E

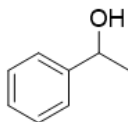


F

Rakennekaavojen eri esitystavat hyväksytään.

(1 p./rakennekaava.)

C-yhdisteenä hyväksytään myös:



10. Lisätyn HCl:n kokonaisainemäärä:

$$n(\text{HCl})_{\text{kok.}} = 0,500 \text{ mol/l} \cdot 0,0500 \text{ l} = 0,0250 \text{ mol} \quad (1/3 \text{ p.})$$

Ylimäärä HCl-liuosta titrataan NaOH-liuoksella:

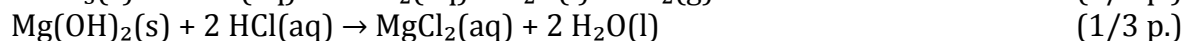
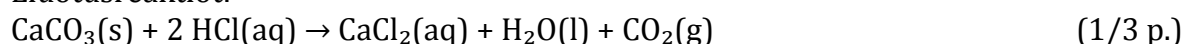
$$n(\text{NaOH}) = cV = 0,500 \text{ mol/l} \cdot 24,93 \cdot 10^{-3} \text{ l} = 0,012465 \text{ mol} \quad (1/3 \text{ p.})$$

$$n(\text{HCl})_{\text{ylim.}} = n(\text{NaOH}) \quad (1/3 \text{ p.})$$

Liuotukseen kuluneen HCl:n ainemäärä:

$$n(\text{HCl})_{\text{liuotus}} = n(\text{HCl})_{\text{kok.}} - n(\text{HCl})_{\text{ylim.}} = 0,0250 \text{ mol} - 0,012465 \text{ mol} = 0,012535 \text{ mol} \quad (1 \text{ p.})$$

Liuotusreaktiot:



Saadaan yhtälöryhmä:

$$m(\text{CaCO}_3) + m(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 0,553 \text{ g}$$

$$n(\text{HCl}) = 2 \cdot n(\text{CaCO}_3) + 2 \cdot n(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 0,012535 \text{ mol} \quad (1 \text{ 1/3 p.})$$

$$n(\text{HCl}) = 2 \cdot \frac{m(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaCO}_3)} + 2 \cdot \frac{m(\text{Mg}(\text{OH})_2)}{M(\text{Mg}(\text{OH})_2)} = 2 \cdot \frac{0,553 - x}{100,09} + 2 \cdot \frac{x}{58,326}$$
$$= 0,012535 \text{ mol}$$

$$x = 0,10378 \text{ g} \quad (1 \text{ p.})$$

Tabletin koostumus:

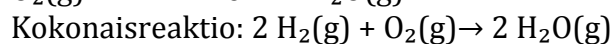
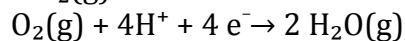
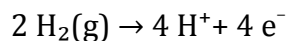
$$m(\text{Mg}(\text{OH})_2) = x = 104 \text{ mg}$$

$$m(\text{CaCO}_3) = 0,553 - x = 449 \text{ mg}$$

Tabletissa on 104 mg magnesiumhydroksidia ja 449 mg kalsiumkarbonaattia. (1 p.)

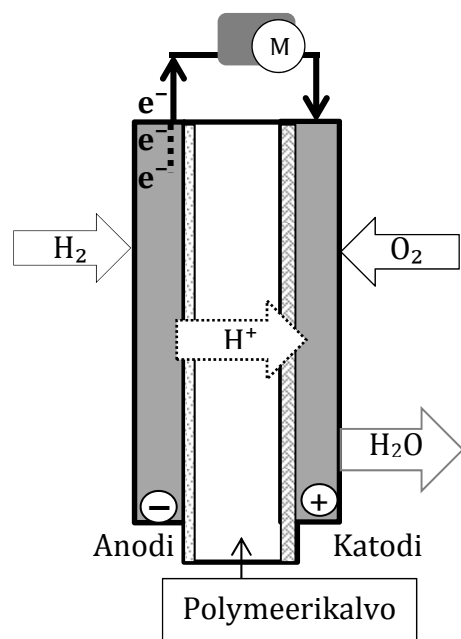
Liuotusreaktioiden reaktioyhtälöitä ei vaadita, jos laskuista ilmenee selkeästi ainemäärien suhteet.

+11. a) Elektrodireaktiot:



(2 p.)

b) Vetykaasu H_2 johdetaan auton polttoainesäiliöstä anodille. Polymeerikalvo katalysoi vedyn ionisoitumisen protoneiksi ja elektroneiksi. Elektronit kulkevat moottorin kautta anodilta katodille. Vetyionit kulkevat kalvon läpi. Ilma johdetaan katodille, jossa elektronit pelkistävät hapen O_2 oksidi-ioneiksi, O^{2-} . Kalvon läpi kulkeutuneet vetyionit reagoivat oksidi-ionien kanssa muodostaen vettä.



(3 p.)

Pisteitys tarkemmin:

Kaavioon on merkitty anodi ja katodi

(1/3 p.)

Katodille ja anodille on merkitty lähtöaineet ja poistuva vesi.

(1 p.)

Kaavioon on merkitty polymeerikalvo

(1/3 p.)

Elektronien suunta merkitty kuvaan ja/tai selitetty elektronien kulkeutuminen ulkoista johdinta pitkin anodilta katodille

(2/3 p.)

Vetyionien suunta merkitty kuvaan ja/tai selitetty vetyionien kulkeutuminen polymeerikalvon läpi anodilta katodille

(2/3 p.)

- c) Vastauksessa arvioidaan vetyautoteknologian etuja ja haasteita liikennekäytössä eri näkökulmista. Näkökulmina voi olla esimerkiksi ympäristöyställisyys, luonnonvarojen riittävyys, vedyn valmistus, vedyn varastointi, teknologian kehittyminen ja polttoaineen jakelujärjestelmät. (1/3 p.-1 p./näkökulma)
Maksimipistemäärä 4 p. voi kertyä erilaisilla ansioilla.

Liikennekäytössä energiatehokkuuden parantaminen ja päästörajoitukset edellyttävät uusia energiantuottamistapoja. Lisäksi fossiilisten polttoaineiden ennustetaan ehtyvän. Vetypolttokennoa käytettäessä polttoaineena on vety, joka on periaatteessa ehtymätön luonnonvara. Polttokennossa reaktiotuotteena on vesi, joten kenno ei tuota hiilen ja typen oksideja eikä hiukkasia. Polttokenno on myös lähes äänetön, mikä vähentää liikenteen meluhaittoja.

Vetyä saadaan hajottamalla vettä vedyksi ja hapeksi elektrolyytisesti sähköenergian avulla. Jos energianlähteenä käytetään aurinko-, tuuli- tai aaltovoimaa, tuotannossa ei vapaudu hiilidioksidia. Tulevaisuudessa on mahdollista valmistaa vetyä hajottamalla vettä lämpökemiallisissa prosesseissa käyttäen hyväksi ydin- tai aurinkoenergiailaitosten korkeaa lämpötilaa. Vedyn biologisessa tuotannossa käytetään leviä ja bakteereita. Vetyä voidaan valmistaa myös kaasuttamalla kiinteää biomassaa ja erottamalla vety tuotekaasusta. Vetyä muodostuu myös teollisuuden sivutuotteena. Liikennekäytössä polttokennoteknologia soveltuu myös hajautettuihin järjestelmiin. Vety voidaan valmistaa ja paineistaa lähellä jakeluasemaa. Paineistetun vedyn tankkaus on nopeaa, ja yhdellä tankkauksella voi ajaa jopa 600 km. Vedyn varastointi on aiheuttanut ongelmia. Kaasumaisen vedyn varastoinnissa on käytettävä erittäin korkeaa painetta. Nämä varastot voivat olla myös jakeluasemien yhteydessä. Vety voidaan muuttaa myös nestemäiseen olomuotoon jäähdyttämällä se lämpötilaan $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$, molemmat tavat kuluttavat energiaa. Vedyn varastoinnissa käytetään myös menetelmää, jossa vety sitoutetaan metallihydridijauheisiin.

Vetyautojen yleistymistä haittaavat tällä hetkellä polttokennojärjestelmien korkeat hinnat (esim. katalyyttien hinnat). Uusia halvempia katalyyttejä on kuitenkin jo koeikäytössä. Vedyn jakeluverkosto on myös tarpeen. Monissa maissa on jo vedyn jakelujärjestelmiä, mutta useissa maissa niitä vasta rakennetaan.

+12. a) Ideaalikaasun tilanyhtälön mukaan paine on sama tyypellä, hiilidioksidilla ja ammoniakilla.

$$p_{\text{id.}} = \frac{n \cdot R \cdot T}{V} = \frac{0,20 \text{ mol} \cdot 0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298,15 \text{ K}}{1,0 \text{ l}} = 4,96 \text{ bar} \quad (1/3 \text{ p.})$$

Van der Waalsin tilanyhtälön mukaan

$$\left(p + \frac{n^2 \cdot a}{V^2}\right) \cdot (V - n \cdot b) = n \cdot R \cdot T$$

$$p = \frac{n \cdot R \cdot T}{(V - n \cdot b)} - \frac{n^2 \cdot a}{V^2} \quad (2/3 \text{ p.})$$

$$p(\text{N}_2) = 4,94 \text{ bar}$$

$$p(\text{CO}_2) = 4,86 \text{ bar}$$

$$p(\text{NH}_3) = 4,83 \text{ bar} \quad (1 \text{ 1/3 p.})$$

Van der Waalsin tilanyhtälöllä lasketut paineet ovat pienemmät kuin ideaalikaasun tilanyhtälöllä lasketut. (1/3 p.)

Typiikkaasun paine on lähes sama molemmilla tilanyhtälöillä laskettuna. Ideaalikaasun tilanyhtälön mukaan ammoniakilla on 2,7 % suurempi paine kuin van der Waalsin tilanyhtälön mukaan laskettuna tai vastaava erittely kaasuista. (1/3 p.)

b) $T = 0 \text{ K}$ ja $p > 0 \text{ bar}$

Ideaalikaasun tilanyhtälöstä

$$pV = nRT = nR \cdot 0 \text{ K} = 0$$

$$(p = 0 \text{ tai } V = 0) \quad (2/3 \text{ p.})$$

Van der Waalsin tilanyhtälöstä

$$\left(p + \frac{n^2 \cdot a}{V^2}\right) \cdot (V - n \cdot b) = n \cdot R \cdot T = 0$$

$$\left(p + \frac{n^2 \cdot a}{V^2}\right) = 0 \vee (V - n \cdot b) = 0$$

Ensimmäinen yhtälö on epätosi, joten ratkaisuja on vain yksi.

$$V = n \cdot b$$

Myös ratkaisu laskimella hyväksytään. (2/3 p.)

Ideaalikaasun tilanyhtälön mukaan kaasulla ei olisi tilavuutta, jos lämpötila olisi 0 K.

(1/3 p.)

Van der Waalsin tilanyhtälön mukaan kaasun tilavuus olisi $n \cdot b$ lämpötilassa 0 K.

(1/3 p.)

- c) Van der Waalsin tilanyhtälössä otetaan huomioon kaasuhiukkasten vuorovaikutus korjauskertoimella a ja kaasun hiukkasten koko korjauskertoimella b.

Erot a-kohdan tuloksissa johtuvat erityisesti korjauskertoimesta a. Korjauskertoimen a arvo johtuu vuorovaikutuksista molekyylien välillä ja se on sitä suurempi, mitä vahvempia sidokset tai vuorovaikutukset ovat. Todellisten kaasujen partikkeleiden välillä on aina dispersiovuorovaikutuksia. Poolisten ammoniakkimolekyylien välillä on voimakkaammat vuorovaikutukset kuin poolittomien typpimolekyylien välillä.

	$a \left(\frac{l^2 \cdot \text{bar}}{\text{mol}^2} \right)$	
N ₂	1,370 pienin	Typpimolekyyli on pooliton, jolloin kaasumolekyylien välillä esiintyy tilapäisesti dispersiovoimia.
CO ₂	3,640	Hiilidioksidimolekyyli on pooliton, jolloin kaasumolekyylien välillä esiintyy tilapäisesti dispersiovoimia.
NH ₃	4,170 suurin	Ammoniakkimolekyyli on poolinen, ja molekyylien välillä esiintyy tilapäisesti vetysidoksia.

Erot b-kohdan tuloksissa johtuvat mallien oletuksista. Ideaalikaasun tilanyhtälöä sovellettaessa hiukkasilla ei ole kokoa. Kuitenkin reaalikaasujen hiukkasilla on koko, joka pitää huomioida. Van der Waalsin tilanyhtälön mukaan yhden kaasumoolin täyttämä tila lämpötilassa 0 K on sama kuin vakio b. Tämä on nähtävissä myös vakion b yksiköstä l/mol. Korjauskerroin b on sitä suurempi, mitä suuremman tilan hiukkaset vaativat. (3 p.)

Ideaalikaasun tilanyhtälöä voi käyttää tilanteissa, joissa hiukkasten vuorovaikutukset ovat pienet ja hiukkasten oma koko on pieni osa kokonaistilavuudesta. Tämä toteutuu, kun molekyylit ovat pieniä ja poolittomia, paine on pieni ja lämpötila riittävän korkea, jolloin tilapäisiä sidoksia muodostuu vain vähän. (1 p.)

Ideaalikaasun mallissa oletetaan, että hiukkasten välillä ei ole sidoksia tai vuorovaikutuksia ja että hiukkasilla ei ole kokoa.

Tarkemmin kuvattuna ideaalikaasussa oletetaan, että kaasuhiukkaset

- ovat kaikki keskenään samanlaisia
- ovat pistemäisiä
- liikkuvat lämpöliikkeen johdosta täysin satunnaisesti suuntiin
- törmäilevät toisiinsa kimmoisasti
- eivät vuorovaikuta toisiinsa muutoin kuin törmäämällä
- liikkuvat törmäysten välillä tasaisella nopeudella ja suoraviivaisesti. (1 p.)

Maksimipistemäärä 4 p. voi kertyä erilaisilla ansioilla.