

Jakso 0 – Kertaa oppimaasi! – vastaukset

1.

Vastaus:

1 - H

2 - F

3 - D

4 - C

5 - E

6 - I

7 - A

8 - J

9 - B

10 - G

2.

Vastaus:

1 - I

2 - H

3 - B

4 - F

5 - A

6 - C

7 - D

8 - G

9 - E

10 - J

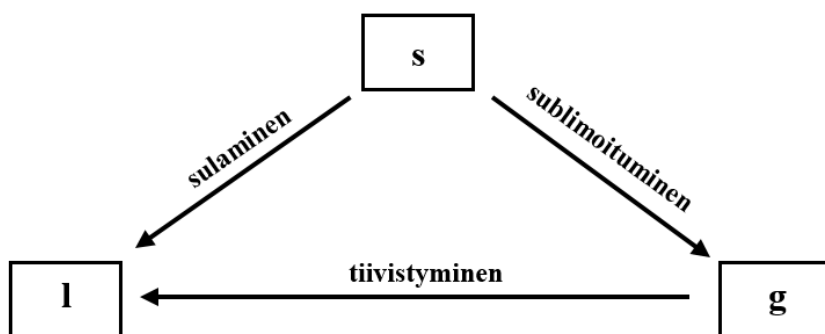
3.

Vastaus:

Tapahtuma	Entalpiamuutos	Endoterminen	Eksoterminen
$\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$	$\Delta H = +58 \text{ kJ}$	X	
$\text{HCl}(\text{aq}) + \text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$\Delta H < 0$		X
$\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$	$\Delta H > 0$	X	
$2 \text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3(\text{g})$	$\Delta H = -192 \text{ kJ}$		X
$\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{AgCl}(\text{s})$	$\Delta H = +65,5 \text{ kJ}$	X	

4.

Vastaus:



5.

Vastaus:

- Kuvaaja esittää neljän eri suolan liukoisuuden lämpötilariippuvuuden.
- Ioniyhdiste D.
- Ioniyhdisteen D.
- Noin $+91 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa.
- Noin 14 g ($46 \text{ g} - 32 \text{ g}$).

6.

Vastaus:

- a) Natriumkloridin moolimassaa, joka on 58,44 g/mol.
- b) Natriumkloridiliuoksen konsentraatiota, joka on 0,15 mol/l.
- c) Kloridi-ionien konsentraatiota, joka on 0,25 mol/l.
- d) Klooriatomin suhteellista atomimassaa, joka on 35,45.
- e) Kaasun moolitilavuutta, kun lämpötila on 0 °C ja paine 1,01 325 bar.

7.

Vastaus:

- a) Väärin – Yhdessä moolissa typpikaasua (N_2) on $2 \cdot 6,022 \cdot 10^{23}$ typpiatomia.
- b) Oikein
- c) Väärin – Kaksi moolia vetykaasua (H_2) sisältää $2 \cdot 6,022 \cdot 10^{23}$ vetymolekyyliä.
- d) Väärin – $M(I_2) = 253,80$ g/mol.
- e) Väärin – $n(O_2) = 0,50$ mol ja $n(Ne) = 1,0$ mol.
- f) Oikein

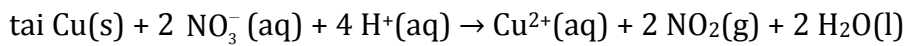
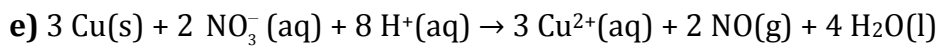
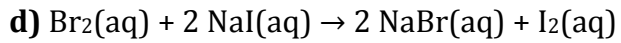
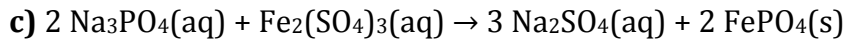
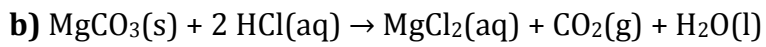
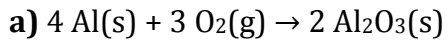
8.

Vastaus:

- A. – c)
- B. – b)
- C. – c)
- D. – b)
- E. – a)
- F. – a)

9.

Vastaus:



Jakso 1 Kemiällisen reaktion nopeus – vastaukset ja ratkaisut

1.1 Reaktionopeus ja siihen vaikuttavat tekijät

1.1

Vastaus:

A – a, c

B – d

C – b

D – c

E – a, c

1.2

Vastaus:

a) Väärin – reaktion edetessä reaktiotuotteiden konsentraatio kasvaa.

b) Väärin – reaktionopeus voidaan laskea lausekkeesta $v = \frac{\Delta m}{\Delta t}$.

c) Oikein

d) Oikein

e) Väärin – kun lämpötilaa kohotetaan, kemiallinen reaktio nopeutuu, sillä nopeiden hiukkasten määrä lisääntyy ja suotuisia törmäyksiä tapahtuu enemmän aikayksikkö kohden.

f) Oikein.

1.3

Ratkaisu:

a)

$$\Delta c = 0,25 \text{ mol/dm}^3$$

$$\Delta t = 20 \text{ min}$$

$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{0,25 \text{ mol}}{\text{dm}^3 \cdot 20 \text{ min}} = 0,01250 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{min} \approx 0,013 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{min}.$$

b)

$$\Delta c = 1,4 \text{ mmol/dm}^3 = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$\Delta t = 20 \text{ s} = 0,33 \text{ min}$$

$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{1,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{\text{dm}^3 \cdot 0,33 \text{ min}} = 4,242 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{min} \approx 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{min}.$$

c)

$$\Delta n = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$V(\text{reaktioseos}) = 5,0 \text{ ml} = 0,0050 \text{ dm}^3$$

$$\Delta t = 15 \text{ min} = 900 \text{ s}$$

$$\Delta c = \frac{\Delta n}{V} = \frac{3,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,0050 \text{ dm}^3} = 0,06000 \text{ mol/dm}^3$$

$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{0,06000 \text{ mol}}{\text{dm}^3 \cdot 900 \text{ s}} = 6,667 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s} \approx 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}.$$

Reaktionopeuksien vertailua varten ratkaistaan tämän reaktion nopeus myös yksikössä mol/dm³·min:

$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{0,06000 \text{ mol}}{\text{dm}^3 \cdot 15 \text{ min}} = 4,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{min} \approx 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{min}.$$

Vastaus

a) $v = 0,013 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{min}.$

b) $v = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{min}.$

c) $v = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}.$

Reaktion A nopeus on suurin.

1.4

Vastaus:

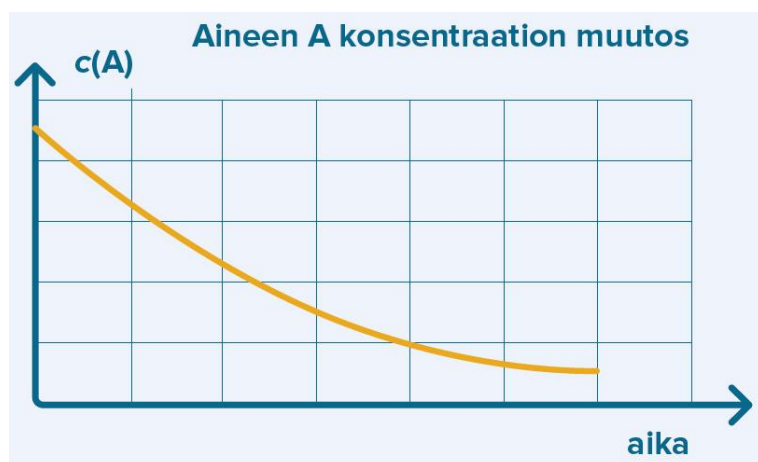
- A. – 5. $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$, heterogeeninen
B. – 2. $\text{MnO}_2(\text{s})$, heterogeeninen
C. – 6. $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{l})$, heterogeeninen
D. – 3. $\text{V}_2\text{O}_5(\text{s})$, heterogeeninen
E. – 1. $\text{ZnO}(\text{s}) + \text{Cr}_2\text{O}_3(\text{s})$, heterogeeninen
F. – 4. $\text{Cu}(\text{s})$, heterogeeninen

1.5

Vastaus:

a) $v = \frac{\Delta c(\text{B})}{\Delta t}$

b)

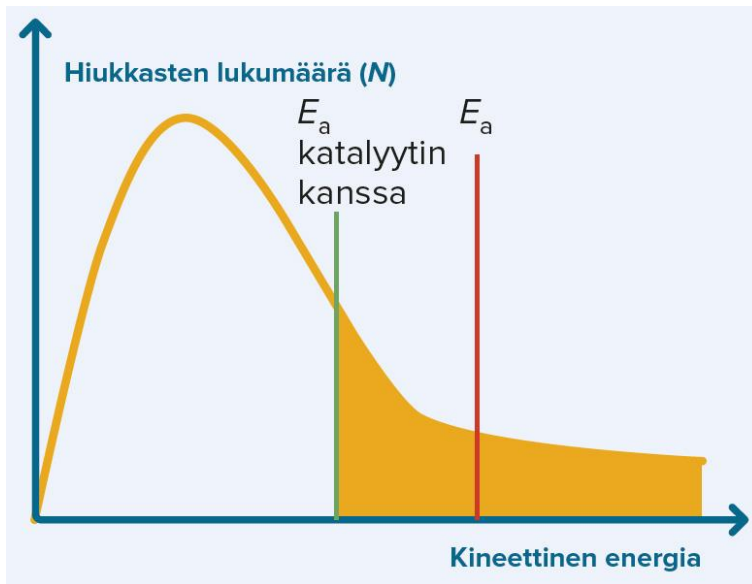


c) Ajanhetkellä 0 aineita B ja C ei ole lainkaan, sillä ne ovat reaktiotuotteita. Reaktion käynnistyttyä aineiden B ja C konsentraatiot kasvavat yhtä nopeasti, sillä reaktioyhtälössä niiden kertoimet ovat yhtä suuret.

d) Aineiden B ja C konsentraatioiden muutos aikayksikköä kohti on puolet aineen A konsentraation muutoksesta. Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella sekä aineen B että aineen C kerroin on yksi, kun se aineelle A on kaksi.

1.6

Vastaus:



1.7

Vastaus:

a) Molempien reaktioiden nopeudet kasvavat, kun lämpötila nousee.

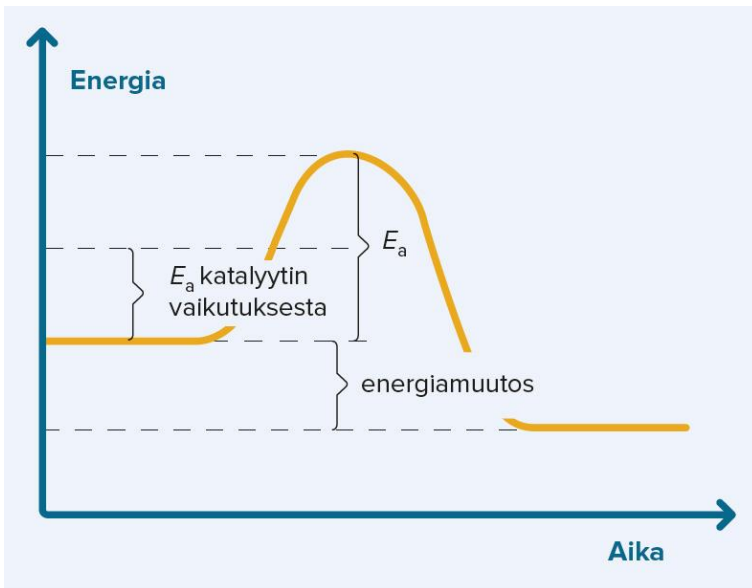
b) Räjähdyksreaktiot ovat eksotermisiä, joten ne vapauttavat lämpöenergiaa. Tällöin törmäilevien hiukkasten kineettinen energia lisääntyy ja reaktionopeus kasvaa voimakkaasti.

c) Reaktio C.

d) Entsyymit ovat proteiineja, joiden kolmiulotteinen, aktiivinen rakenne tuhoutuu (denaturoituu) korkeissa lämpötiloissa. Entsyymi ei tällöin enää sido substraattia tehokkaasti, joten reaktiotuotteiden määrä aikayksikköä kohden on pienempi.

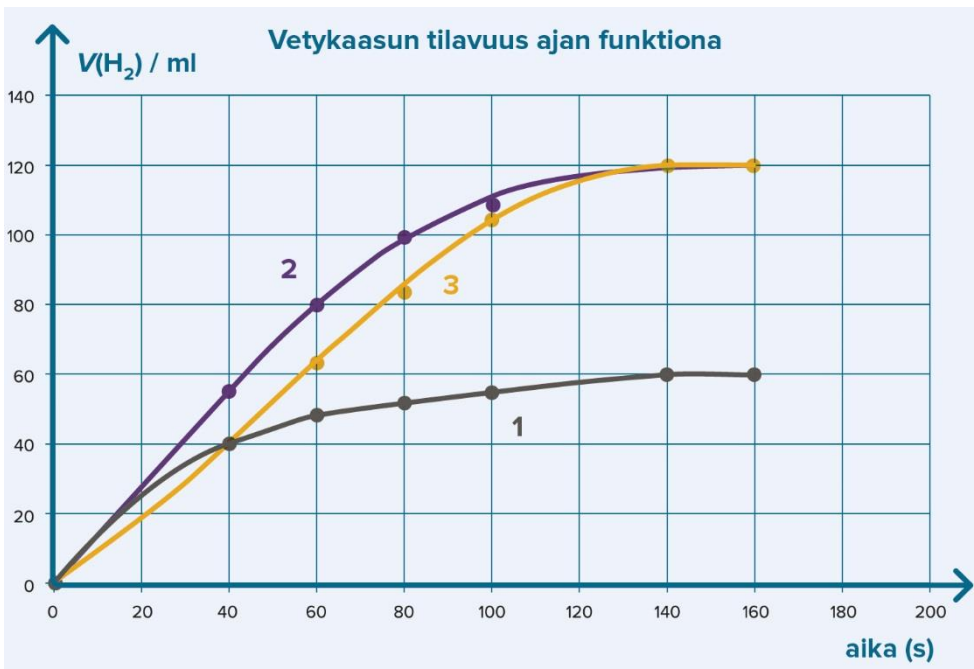
1.8

Vastaus:



1.9

Vastaus:



Perustelut:

Reaktioissa 2 ja 3 on yhtä suuri ainemäärä suolahappoa (rajoittava tekijä), joten näistä reaktioista muodostuvan vetykaasun tilavuus on yhtä suuri. Reaktio 2 alkuopeus on suurempi, sillä suolahappo on väkevämpää. Reaktiossa 1 muodostuvan vetykaasun tilavuus on puolet reaktioissa 2 ja 3 muodostuvan vetykaasun tilavuudesta. Alkuopeus on sama kuin reaktiossa 3, sillä suolahapon konsentraatio on sama.

1.10

Vastaus:

- a)** Sinkkijauheessa reaktiopinta-ala on suurempi, joten sinkkiatomien ja suolahapon välisiä suotuisia törmäyksiä tapahtuu enemmän aikayksikköä kohti.
- b)** Kun kaasuja puristetaan kokoon, tilavuus pienenee, jolloin kaasuhiukkaset törmäilevät useammin. Bensiinin reaktio hapen kanssa (palamisreaktio) nopeutuu.
- c)** Sämpylätaikinaan lisättävä hiiva sisältää entsyymejä, jotka katalysoivat hiilidioksidin muodostumista hiilihydraateista. Kun taikinaa pidetään huoneenlämmössä, entsyymien katalysoimana hiilidioksidia muodostuu nopeammin kuin jääkaapissa.
- d)** Jauhelihasessa reagoiva pinta-ala on suurempi (rasvaa ja proteiinia on suuremmalla alalla), jolloin pilaantumisreaktiot (hapettumisreaktiot ilman hapen kanssa) tapahtuvat nopeammin.
- e)** Sadevesi on happamampaa kuin aiemmin, koska ilmakehään on joutunut happamia oksideita (typen ja rikin oksidit). Marmorin kalsiumkarbonaatti hajoaa tällaisen sadeveden vaikutuksesta nopeammin. Lisäksi ilmaston lämpeneminen nopeuttaa hajoamisreaktiota.
- f)** Veri sisältää entsyymiä, joka nopeuttaa vetyperoksidin hajoamista vedeksi ja hapeksi. Reaktio tapahtuu niin nopeasti, että hapen muodostuminen nähdään kuplimisena.

1.2 Reaktionopeuden mittaaminen ja graafinen esittäminen

1.11

Ratkaisu:

a)

$$\Delta t_1 = 10,0 \text{ s} - 0,0 \text{ s} = 10,0 \text{ s}$$

$$\Delta V_1(\text{O}_2) = 8,0 \text{ cm}^3 - 0,0 \text{ cm}^3 = 8,0 \text{ cm}^3.$$

$$v_1 = \frac{\Delta V_1(\text{O}_2)}{\Delta t_1} = \frac{8,0 \text{ cm}^3}{10,0 \text{ s}} = 0,8000 \text{ cm}^3/\text{s} \approx 0,80 \text{ cm}^3/\text{s}.$$

$$\Delta t_2 = 20,0 \text{ s} - 5,0 \text{ s} = 15,0 \text{ s}$$

$$\Delta V_2(\text{O}_2) = 12,0 \text{ cm}^3 - 4,0 \text{ cm}^3 = 8,0 \text{ cm}^3$$

$$v_2 = \frac{\Delta V_2(\text{O}_2)}{\Delta t_2} = \frac{8,0 \text{ cm}^3}{15,0 \text{ s}} = 0,5333 \text{ cm}^3/\text{s} \approx 0,53 \text{ cm}^3/\text{s}.$$

b) Hapen muodostumisnopeus pienenee, kun reaktio etenee, sillä vetyperoksidin konsentraatio pienenee, jolloin suotuisia törmäyksiä tapahtuu vähemmän aikayksikköä kohden.

Vastaus:

a) $v_1 = 0,80 \text{ cm}^3/\text{s}$

$v_2 = 0,53 \text{ cm}^3/\text{s}$

b) Hapen muodostumisnopeus pienenee, kun reaktio etenee, sillä vetyperoksidin konsentraatio pienenee, jolloin suotuisia törmäyksiä tapahtuu vähemmän aikayksikköä kohden.

1.12

Vastaus:

A. – 6.

B. – 1., 5.

C. – 3., 4.

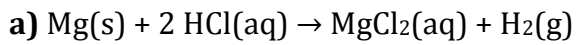
D. – 2.

E. – 4.

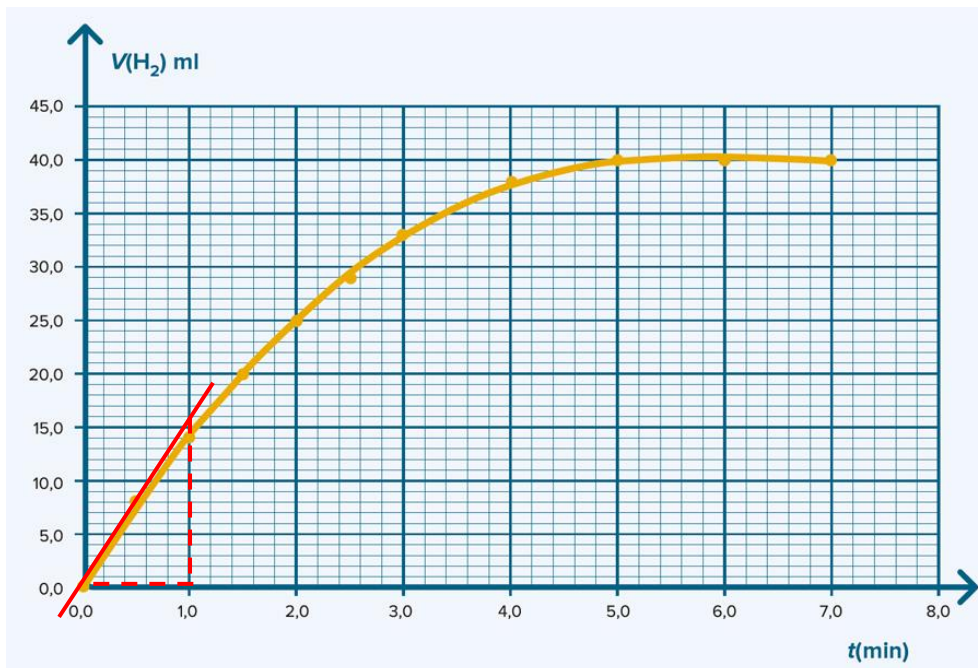
F. – 4.

1.13

Ratkaisu:



b)



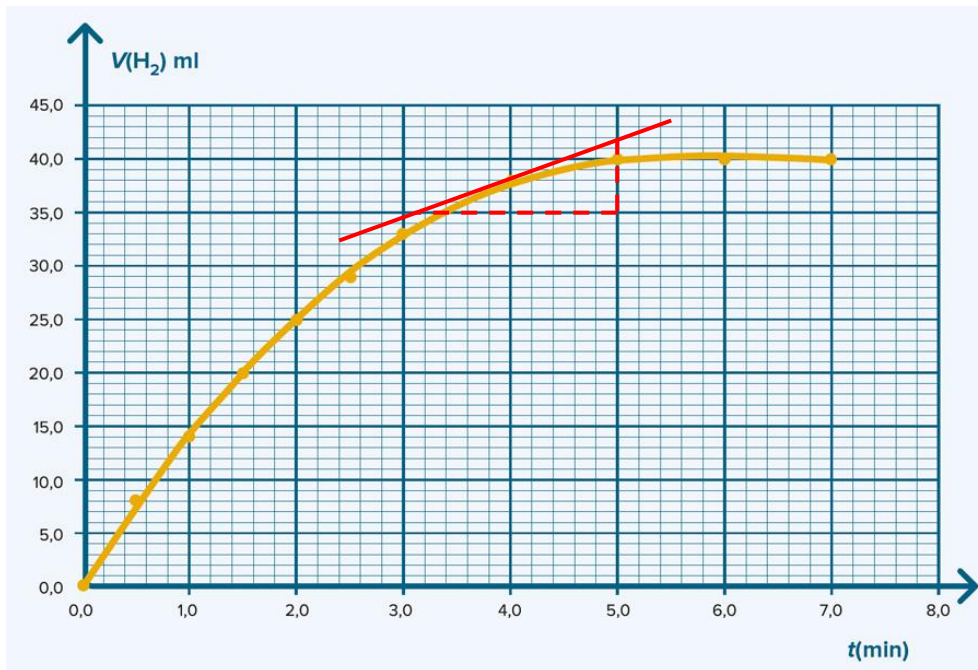
$$\Delta t = 1,0 - 0,0 \text{ min} = 1,0 \text{ min}$$

$$\Delta V = 16,0 \text{ ml} - 0,0 \text{ ml} = 16,0 \text{ ml}$$

$$v = \frac{16,0 \text{ ml}}{1,0 \text{ min}} = 16,00 \text{ ml/min} \approx 16 \text{ ml/min}.$$

c) Joko magnesium tai suolahappo (tai molemmat) ovat kuluneet loppuun, joten reaktiotuotetta ei muodostu enää lisää.

d)



$$\Delta t = 5,0 - 3,1 \text{ min} = 1,9 \text{ min}$$

$$\Delta V = 41,5 \text{ ml} - 35,0 \text{ ml} = 6,5 \text{ ml}$$

$$v = \frac{6,5 \text{ ml}}{1,9 \text{ min}} = 3,421 \text{ ml/min} \approx 3,4 \text{ ml/min}.$$

e)

$$V(\text{H}_2) = 40,0 \text{ ml} = 0,0400 \text{ dm}^3$$

$$V_m = 22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}$$

$$M(\text{Mg}) = 24,31 \text{ g/mol}$$

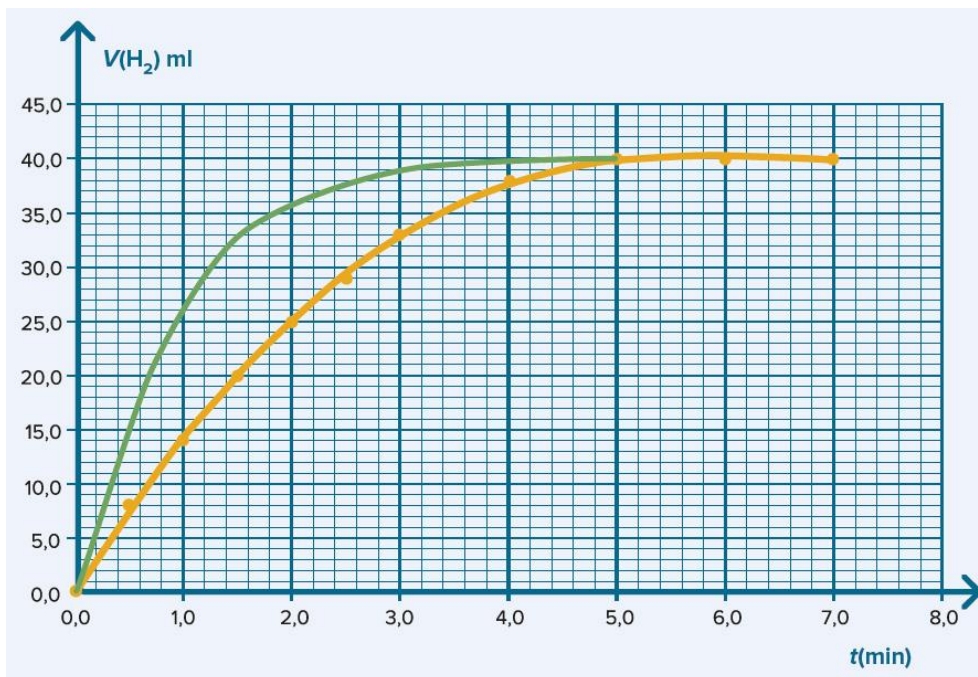
$$m(\text{Mg}) = ?$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{V(\text{H}_2)}{V_m} = \frac{0,0400 \text{ dm}^3}{22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}} = 1,7849 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

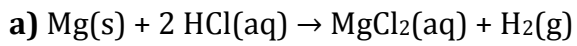
$$n(\text{Mg}) = n(\text{H}_2) = 1,7849 \cdot 10^{-3} \text{ mol} .$$

$$m(\text{Mg}) = n(\text{Mg}) \cdot M(\text{Mg}) = 1,7849 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 24,31 \text{ g/mol} = 0,043391 \text{ g} \approx 0,0434 \text{ g}.$$

f)



Vastaus:



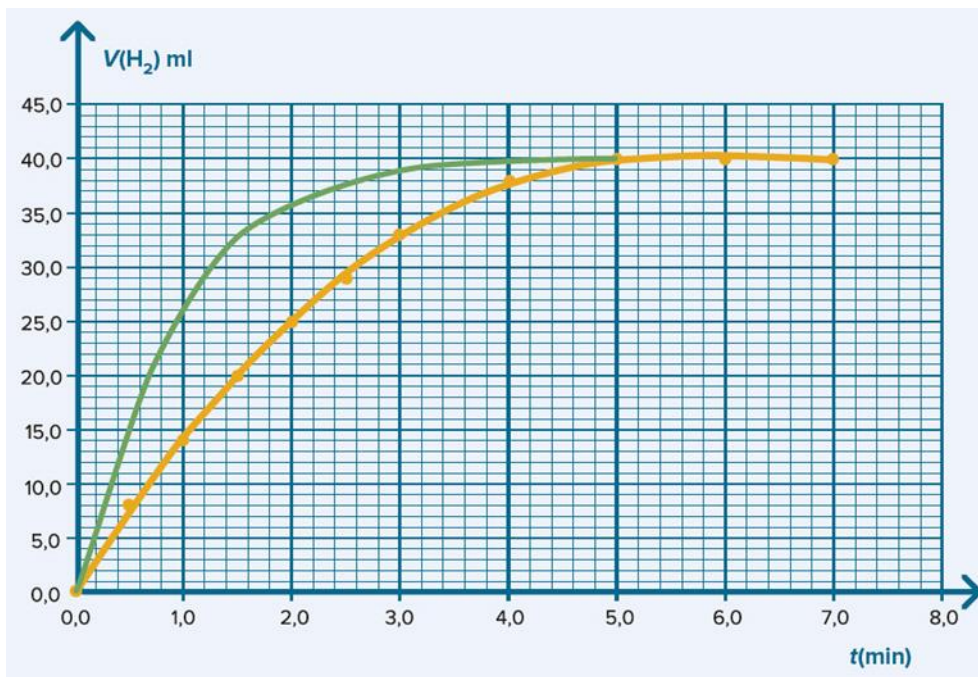
b) $v = 16 \text{ ml/min}$

c) Joko magnesium tai suolahappo (tai molemmat) ovat kuluneet loppuun, joten reaktiotuotetta ei muodostu enää lisää.

d) $v = 3,4 \text{ ml/min}$

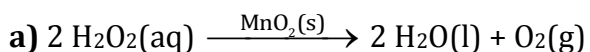
e) $m(\text{Mg}) = 0,0434 \text{ g}$

f)

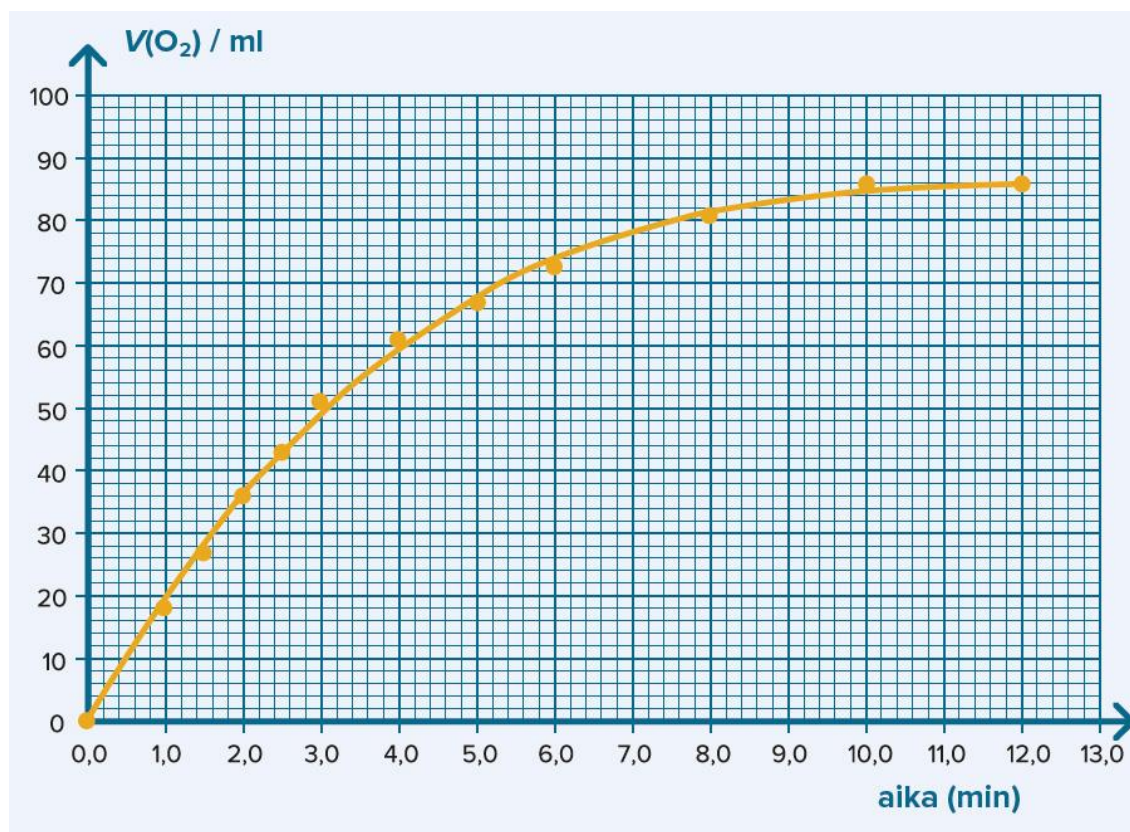


1.14

Ratkaisu:



b)



c) Aikavälillä 0,0–3,0 minuuttia happea syntyy runsaasti aikayksikköä kohden, eli reaktionopeus on suuri. Tämän jälkeen reaktionopeus hidastuu. 10,0 minuutin jälkeen happea ei enää muodostu lisää (hapen tilavuus pysyy vakiona).

d) Reaktio on aluksi nopea eli vetyperoksidin konsentraation muutos on suurimmillaan. Jotta kuvaajalle saadaan riittävästi havaintoarvoja (kuvaajasta tulee tarkempi), on mittauksia syytä tehdä pienillä aikaväleillä.

e)

$$V_1(\text{O}_2) = 0 \text{ ml}$$

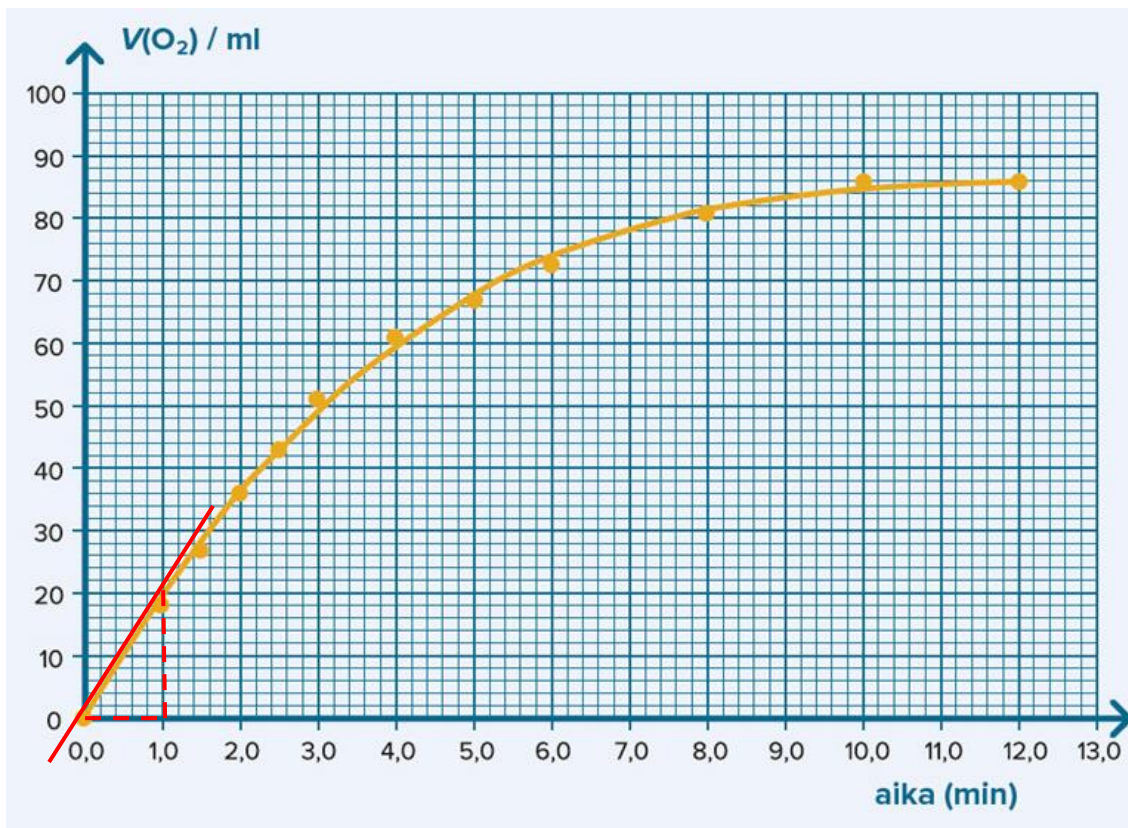
$$V_2(\text{O}_2) = 86 \text{ ml}$$

$$t_1 = 0,0 \text{ min}$$

$$t_2 = 10,0 \text{ min}$$

$$v = \frac{86 \text{ ml} - 0 \text{ ml}}{10,0 \text{ min} - 0,0 \text{ min}} = 8,600 \text{ ml/min} \approx 8,6 \text{ ml/min} .$$

f)



$$V_1(\text{O}_2) = 0 \text{ ml}$$

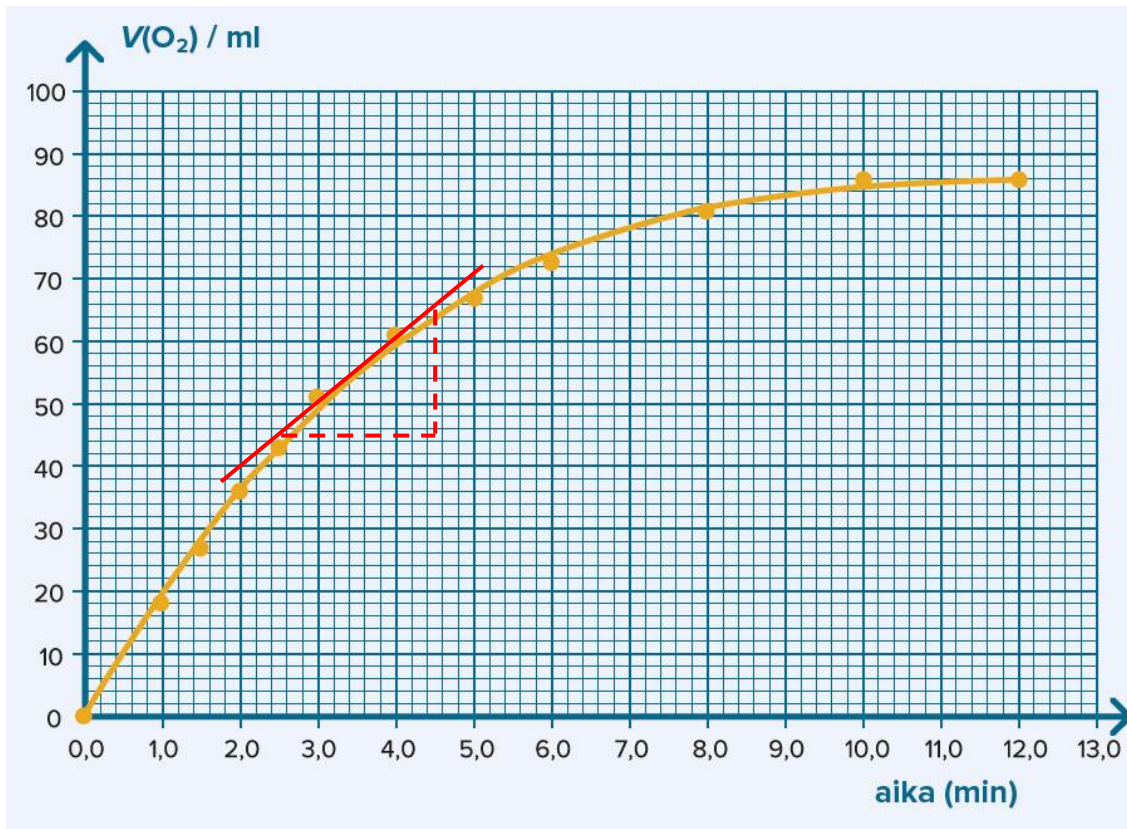
$$V_2(\text{O}_2) = 21 \text{ ml}$$

$$t_1 = 0,0 \text{ min}$$

$$t_2 = 1,0 \text{ min}$$

$$v = \frac{21 \text{ ml} - 0 \text{ ml}}{1,0 \text{ min} - 0,0 \text{ min}} = 21,00 \text{ ml/min} \approx 21 \text{ ml/min}.$$

g)



$$V_1(\text{O}_2) = 45 \text{ ml}$$

$$V_2(\text{O}_2) = 65 \text{ ml}$$

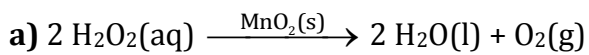
$$t_1 = 2,5 \text{ min}$$

$$t_2 = 4,5 \text{ min}$$

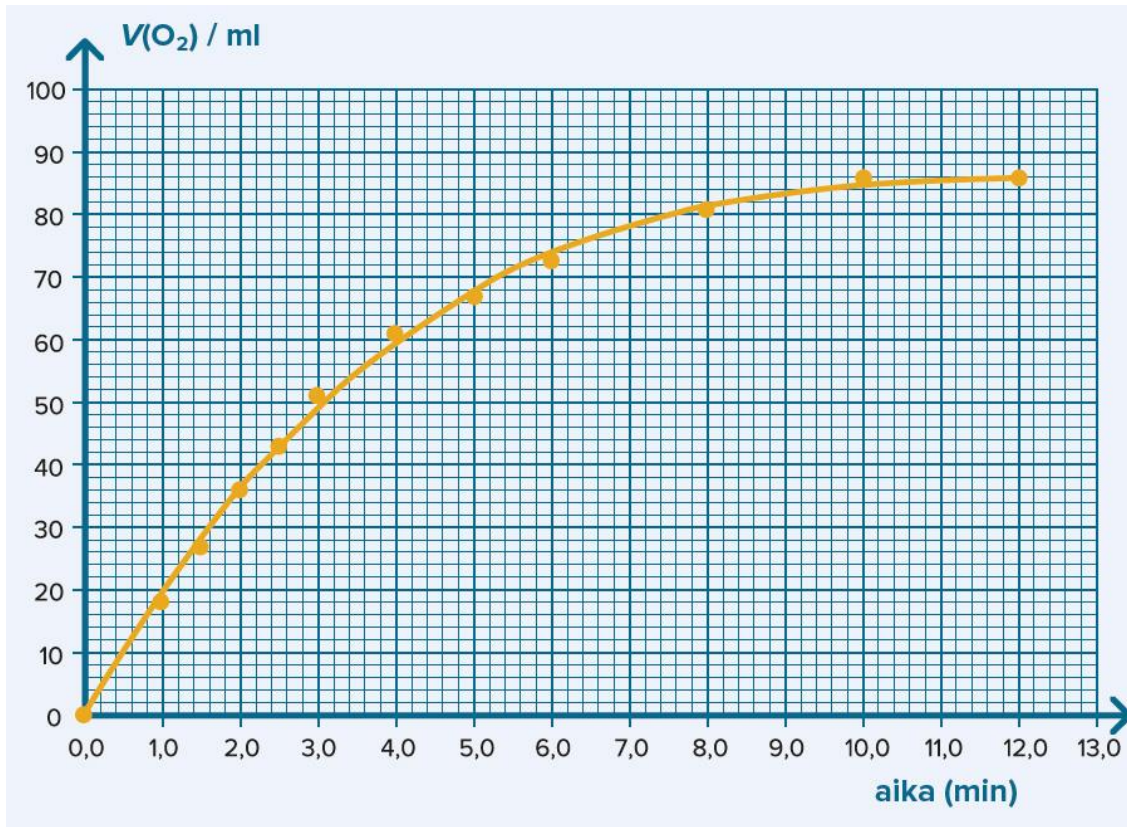
$$v = \frac{65 \text{ ml} - 45 \text{ ml}}{4,5 \text{ min} - 2,5 \text{ min}} = 10,000 \text{ ml/min} \approx 10,0 \text{ ml/min}.$$

h) Määrittämällä vetyperoksidin konsentraatio tai reaktioseoksen massa eri aikoina.

Vastaus:



b)



c) Aikavälillä 0,0–3,0 minuuttia happea syntyy runsaasti aikayksikköä kohden, eli reaktionopeus on suuri. Tämän jälkeen reaktionopeus hidastuu. 10,0 minuutin jälkeen happea ei enää muodostu lisää (hapen tilavuus pysyy vakiona).

d) Reaktio on aluksi nopea eli vetyperoksidin konsentraation muutos on suurimmillaan. Jotta kuvaajalle saadaan riittävästi havaintoarvoja (kuvaajasta tulee tarkempi), on mittauksia syytä tehdä pienillä aikaväleillä.

e) $v = 8,6 \text{ ml/min}$.

f) $v = 21 \text{ ml/min}$.

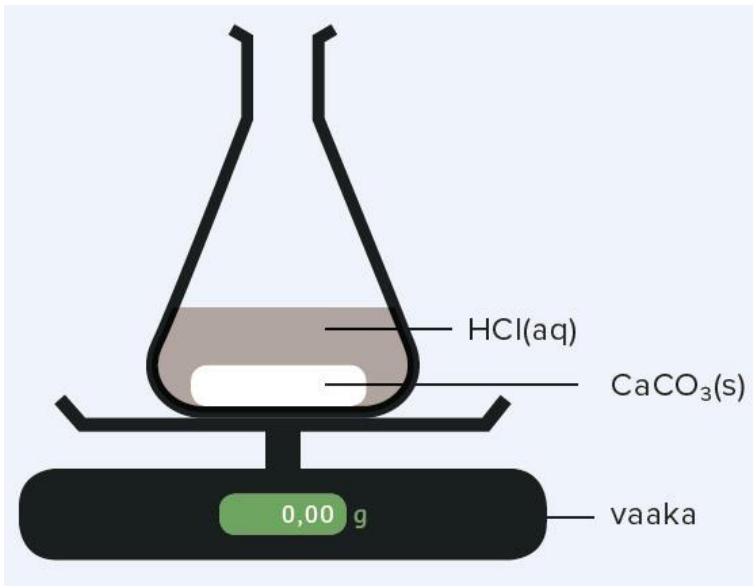
g) $v = 10,0 \text{ ml/min}$.

h) Määrittämällä vetyperoksidin konsentraatio tai punnistemalla reaktioseoksen massa eri ajanhetkillä.

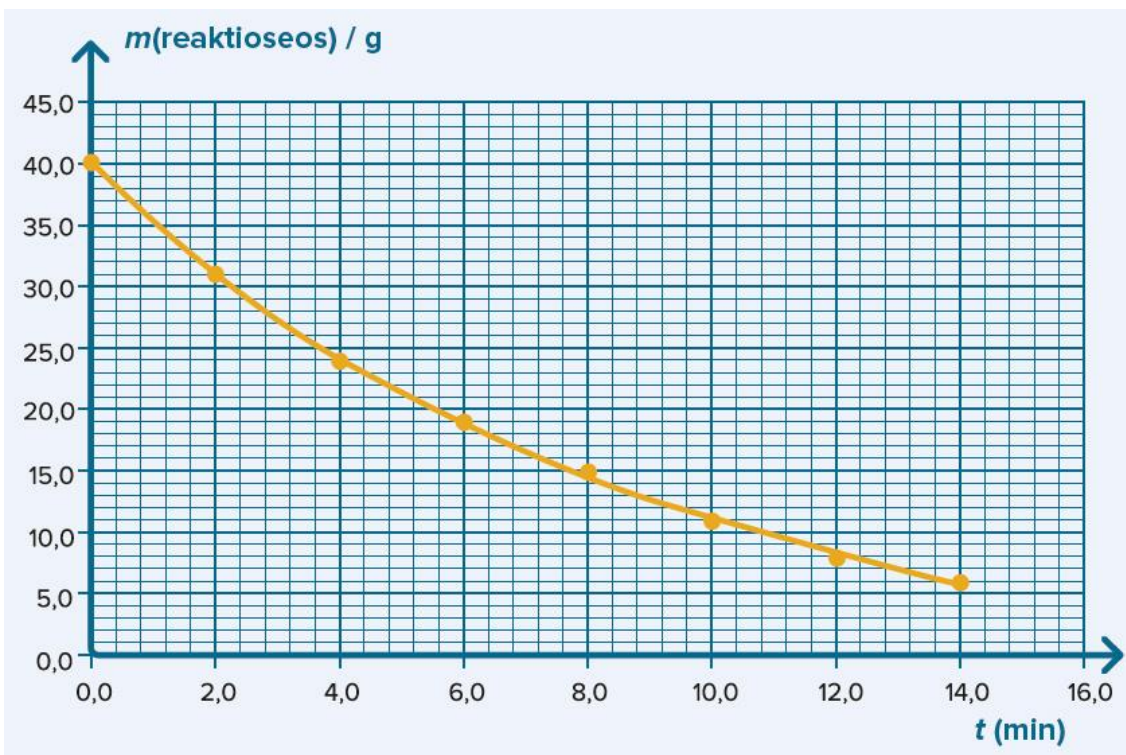
1.15

Ratkaisu:

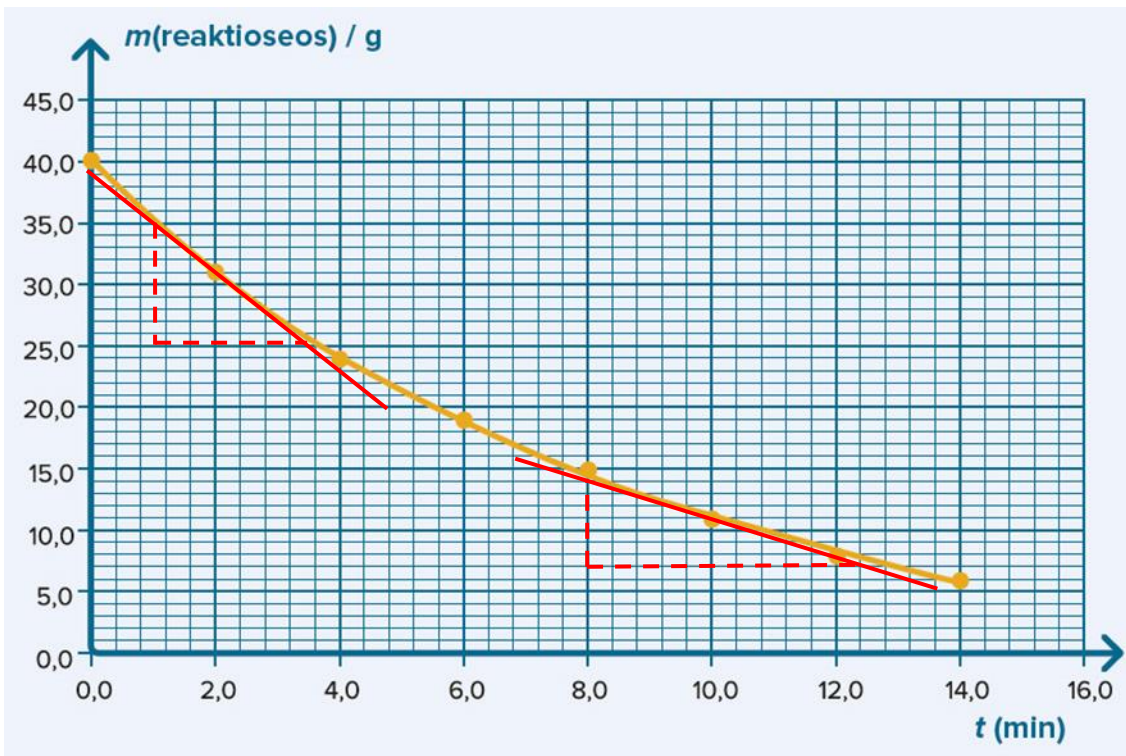
a)



b)



c)



Kulmakerroin ajanhetkellä 2,0 min:

$$y_1 = 35,0 \text{ (ml)}$$

$$y_2 = 25,0 \text{ (ml)}$$

$$x_1 = 1,0 \text{ (min)}$$

$$x_2 = 3,5 \text{ (min)}$$

$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{25,0 - 35,0}{3,5 - 1,0} = -4,0.$$

Kulmakerroin ajanhetkellä 10,0 min:

$$x_1 = 8,0 \text{ (min)}$$

$$x_2 = 12,4 \text{ (min)}$$

$$y_1 = 14,0 \text{ (ml)}$$

$$y_2 = 7,0 \text{ (ml)}$$

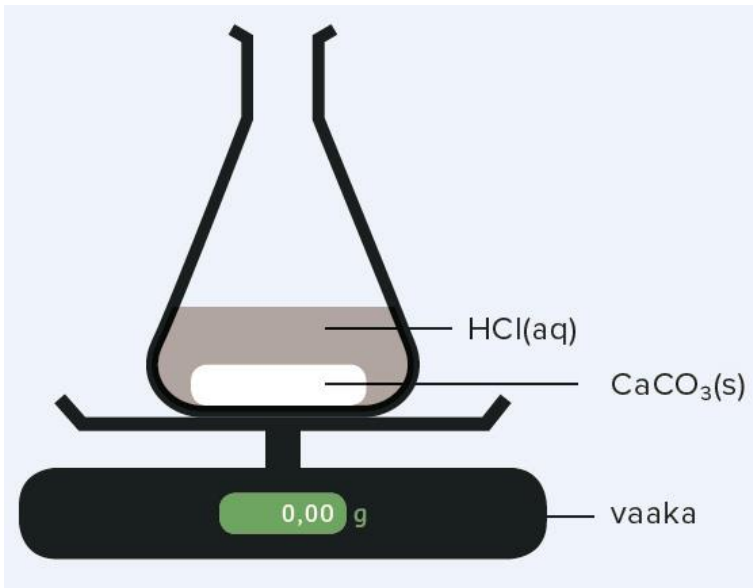
$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{7,0 - 14,0}{12,4 - 8,0} = -2,0.$$

Koska mittausmenetelmä perustui reaktioseoksen massan vähenemiseen, molemmat kulmakertoimet ovat negatiivisia lukuja. Ajanhetkelle 10,0 min piirretyn suoran kulmakertoimen lukuarvo on pienempi, mikä tarkoittaa, että reaktioseoksen massan muutos aikayksikköä kohti on pienempi. Tämän perusteella reaktionopeus on hitaampi ajanhetkellä 10,0 min kuin ajanhetkellä 2,0 min.

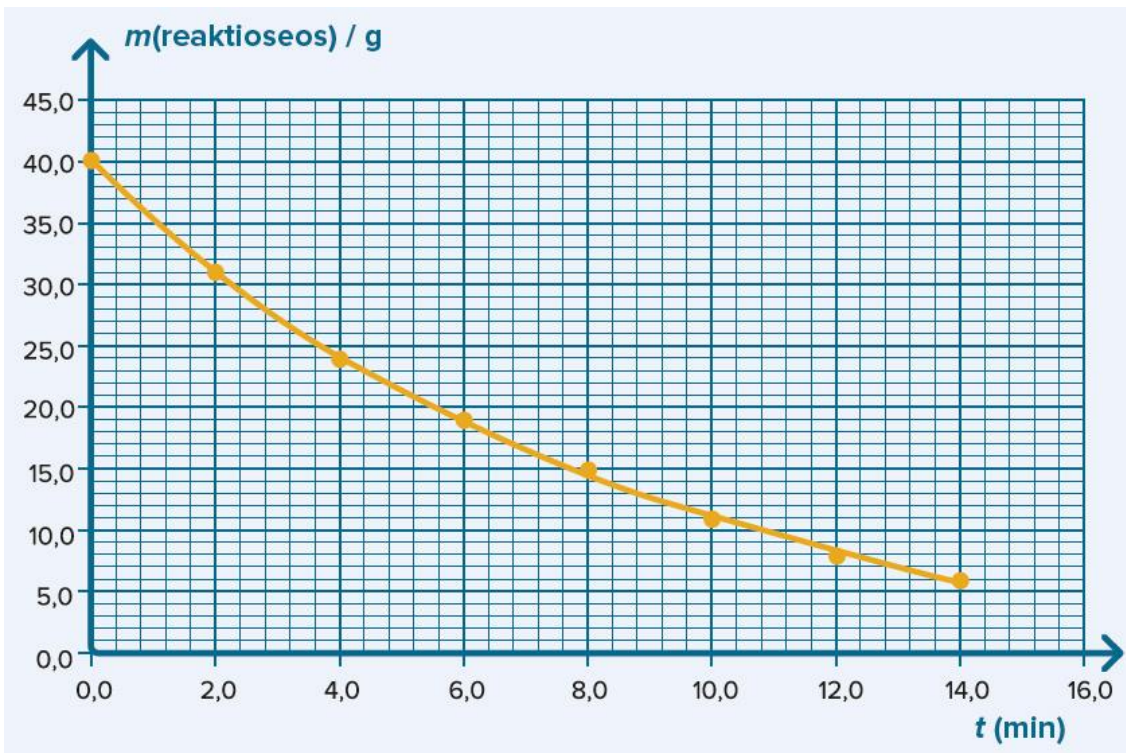
d) Kulmakertoimien lukuarvot kasvaisivat, sillä reaktioseoksen massan muutos ($y_2 - y_1$) kasvaisi tietyllä aikavälillä. Korkeammassa lämpötilassa hiilidioksidia muodostuisi nopeammin / reaktionopeus (massan muutos aikayksikköä kohden) olisi suurempi.

Vastaus:

a)



b)



c)

$$k(2,0 \text{ min}) = -4,0$$

$$k(10,0 \text{ min}) = -2,0$$

d) Kulmakertoimien lukuarvot kasvaisivat, sillä reaktioseoksen massan muutos ($y_2 - y_1$) kasvaisi tietyllä aikavälillä. Korkeammassa lämpötilassa hiilidioksidia muodostuisi nopeammin / reaktionopeus (massan muutos aikayksikköä kohden) olisi suurempi.

1.16

Vastaus:

a) Katalyytti tulee lisätä mahdollisimman nopeasti ja siten, että kiinteä jauhe menee pullon pohjalle, jotta vetyperoksidin hajoamisreaktio käynnistyy. Erlenmeyerpullo tulee sulkea mahdollisimman nopeasti, ettei muodostuvaa happikaasua pääse karkaamaan avonaisesta pullosta.

b) Täyspipetillä (tai byretillä).

c) Mangaanidioksidi ei ole lähtöaine, joten sen tarkalla määrällä ei ole merkitystä reaktionopeuden kannalta.

d) Jos käytetään isoa erlenmeyerpulloa, reaktiossa vapautuva kaasu (O_2) nostaa pullon painetta hitaammin, jolloin mäntä liikkuu vähemmän ja kaasun tilavuuteen tulee suurempi mittausvirhe.

e) Kirkas vetyperoksidiliuos muuttuu tummaksi/värjäytyy, kun mangaanidioksidia liukenee. Liuoksessa havaitaan kaasun muodostumista/kuplimista. Kaasuruiskun mäntä liikkuu eteenpäin, kun reaktiossa vapautuvaa kaasua kerääntyy ruiskuun. Pullo lämpenee, sillä reaktio on eksoterminen.

1.17

Ratkaisu:

a) Kokeiden 2 ja 3 perusteella (otsonin konsentraatio on vakio) typpimonoksidin konsentraation lisääntyminen nopeuttaa reaktiota. Kun typpimonoksidin konsentraatio kolminkertaistuu, myös reaktionopeus kolminkertaistuu.

b)

$$k = 2,20 \cdot 10^7 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$c(\text{NO}) = 4,50 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{O}_3) = 7,20 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$$

$$v = ?$$

$$\begin{aligned} v &= k \cdot c(\text{NO}) \cdot c(\text{O}_3) = 2,20 \cdot 10^7 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 4,50 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3 \cdot 7,20 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3 \\ &= 7,1280 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s} \approx 7,13 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}. \end{aligned}$$

c)

$$v = 5,15 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$$

$$k = 1,15 \cdot 10^8 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$c(\text{O}_3) = 2,50 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{NO}) = ?$$

$$v = k \cdot c(\text{NO}) \cdot c(\text{O}_3)$$

$$\Rightarrow c(\text{NO}) = \frac{v}{k \cdot c(\text{O}_3)} = \frac{5,15 \cdot 10^{-3} (\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1})}{1,15 \cdot 10^8 (\text{mol}^{-1} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \cdot 2,50 \cdot 10^{-6} (\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3})}$$

$$= 1,7913 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \approx 1,79 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3.$$

Vastaus:

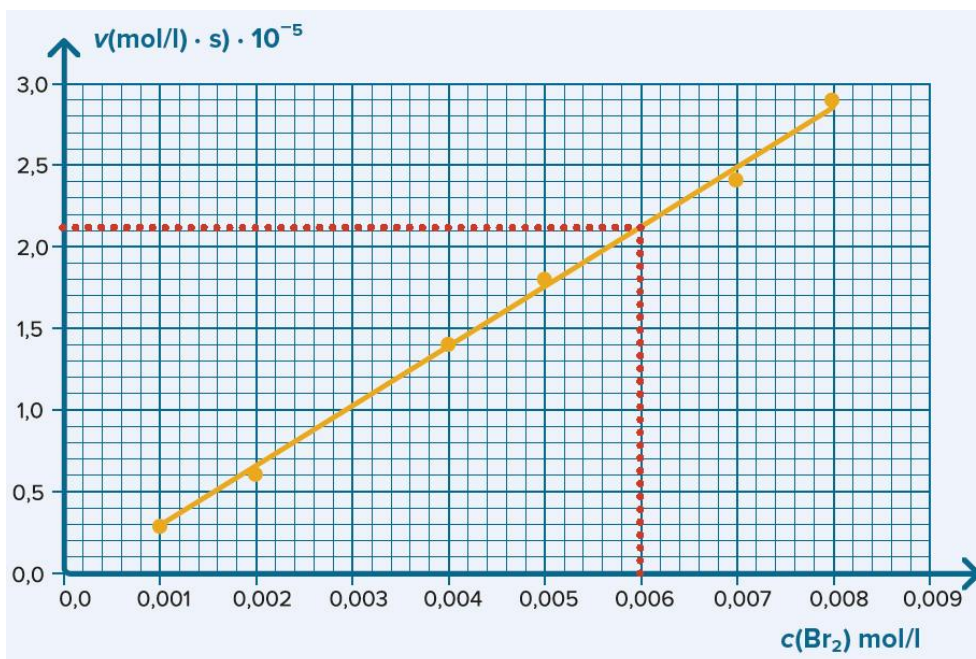
a) Kokeiden 2 ja 3 perusteella (otsonin konsentraatio on vakio) typpimonoksidin konsentraation lisääntyminen nopeuttaa reaktiota. Kun typpimonoksidin konsentraatio kolminkertaistuu, myös reaktionopeus kolminkertaistuu.

b) $v = 7,13 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

c) $c(\text{NO}) = 1,79 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$

1.18

Vastaus:



Reaktionopeus on suoraan verrannollinen bromin konsentraatioon. Kun bromia (lähtöaine) kuluu, reaktionopeus hidastuu. Kun bromin konsentraatio puolittuu, myös reaktionopeus puolittuu. Reaktionopeus on noin $2,1 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l} \cdot \text{s}$ (merkitty kuvaajaan katkoviivalla).

1.19

Ratkaisu:

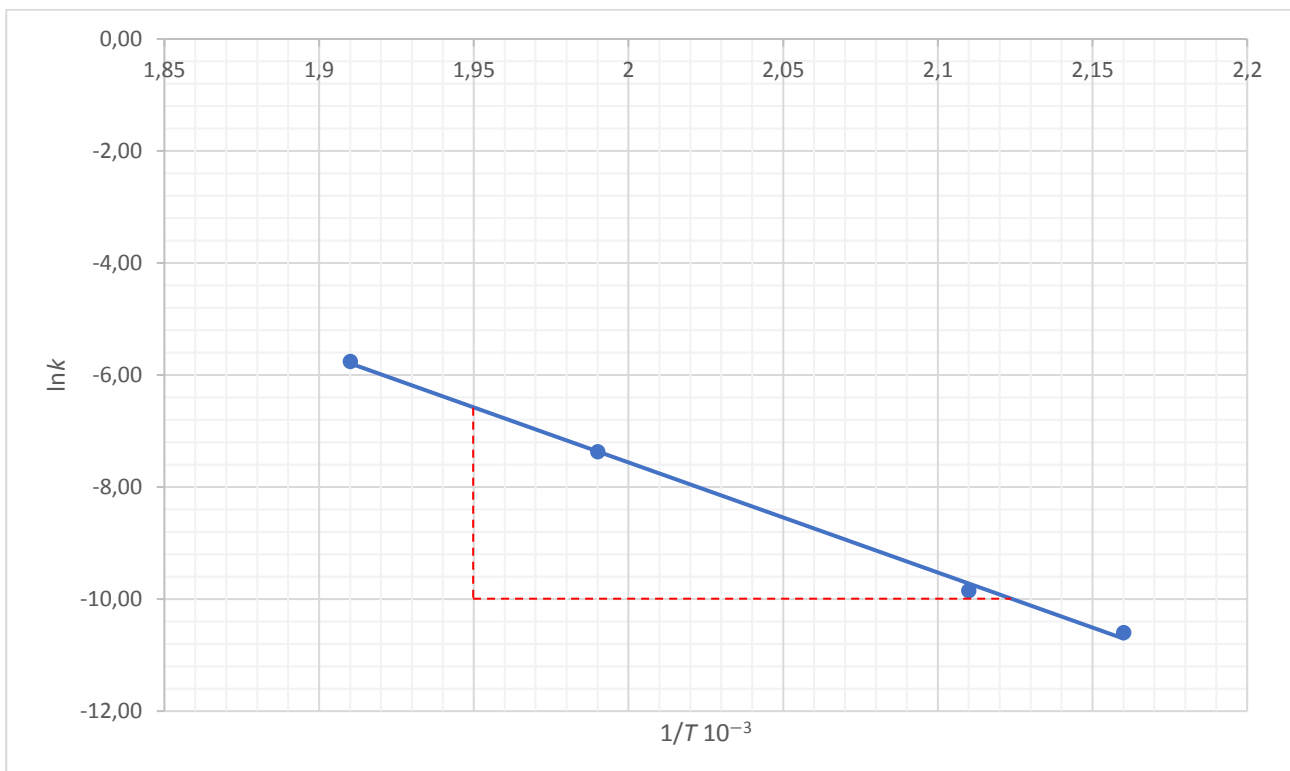
Kirjoittamalla lauseke

$$\ln k = \frac{-E_a}{RT} + \ln A \text{ muotoon } \ln k = \frac{1}{T} \frac{-E_a}{R} + \ln A, \text{ n\u00e4hd\u00e4\u00e4n, ett\u00e4 kyseess\u00e4 on suoran yht\u00e4l\u00f6.}$$

Kun piirret\u00e4\u00e4n kuvaaja, jossa pystyakselilla on $\ln k$ ja vaaka-akselilla $\frac{1}{T}$, on t\u00e4m\u00e4n suoran kulmakerroin $\frac{-E_a}{R}$.

Kuvaajalle tarvittavat arvot ovat (l\u00e4mp\u00f6tilojen muunnoksissa on k\u00e4ytetty arvoa 273 K):

T (K)	$1/T$ (10^{-3})	$\ln k$
463	2,16	-10,6
473	2,11	-9,85
503	1,99	-7,37
523	1,91	-5,76



Suoran kulmakerroin $\frac{-E_a}{R} = \frac{-10,0 - (-6,6)}{2,12 \cdot 10^{-3} - 1,95 \cdot 10^{-3}} = -20\,000$.

$\Rightarrow E_a = R \cdot 20\,000 = 8,31451 \cdot 20\,000 = 166\,290,2 \approx 166\,000$.

Yksiköksi tulee J/mol sillä R :n yksikkö on J/K · mol ja lämpötilan K.

$E_a = 166$ kJ/mol.

Vastaus:

$E_a = 166$ kJ/mol.

Harjoittele lisää!

Testaa oppimasi!

Vastaus:

1. b, c

2. c

3. a, d

4. a, b, c, d

5. b, c, d

6. d

7. d

8. b

9. c

10. b, c, d

Käsitetesti

Vastaus:

Alkunopeus – kuvaa kemiallisen reaktion nopeutta reaktion alussa, kun lähtöaineiden konsentraatiot ovat suurimmillaan.

Hetkellinen nopeus – kuvaa kemiallisen reaktion nopeutta tietyllä ajanhetkellä.

Inhibiittori – on aine, joka hidastaa tai kokonaan estää kemiallista reaktiota tapahtumasta.

Katalyytti – on aine, joka alentaa reaktion aktivoitumisenergiaa.

Reaktionopeus – tarkoittaa reaktioon osallistuvien aineiden määrien muutosta aikayksikköä kohti.

Aktivoitumisenergia – kuvaa siirtymäkompleksin muodostumiseen tarvittavaa energiamäärää.

Siirtymäkompleksi – on runsasenerginen, lyhytikäinen reaktion välituote, joka voi hajota takaisin lähtöaineiksi tai siitä voi muodostua reaktiotuotteita.

Heterogeeninen katalyytti – on reaktiota nopeuttava aine, joka on eri olomuodossa kuin lähtöaineet.

Ylioppilastehtäviä

1.

Vastaus:

a) Reaktiossa vapautuu hiilidioksidia, joka poistuu avoimesta astiasta.

b) Hiilidioksidia ei enää muodostu eli reaktiota ei enää tapahdu. Suolahappo (rajoittava tekijä) on kulunut loppuun.

c) Yhtäläisyyksiä:

Molemmissa kuvaajissa on sama alkupiste.

Molemmissa kuvaajissa massa pienenee ajan funktiona.

Molemmissa kuvaajissa massa saavuttaa vakioarvon tietyllä ajanhetkellä.

Eroja:

Kuvaaja 2 on jyrkempi.

Kuvaajan 2 päätepiste on alempana ja se on myöhemmin (ajanhetkellä 4 000 s, kun kuvaajassa 1 päätepiste on ajanhetkellä 3 000 s).

Johtopäätöksiä:

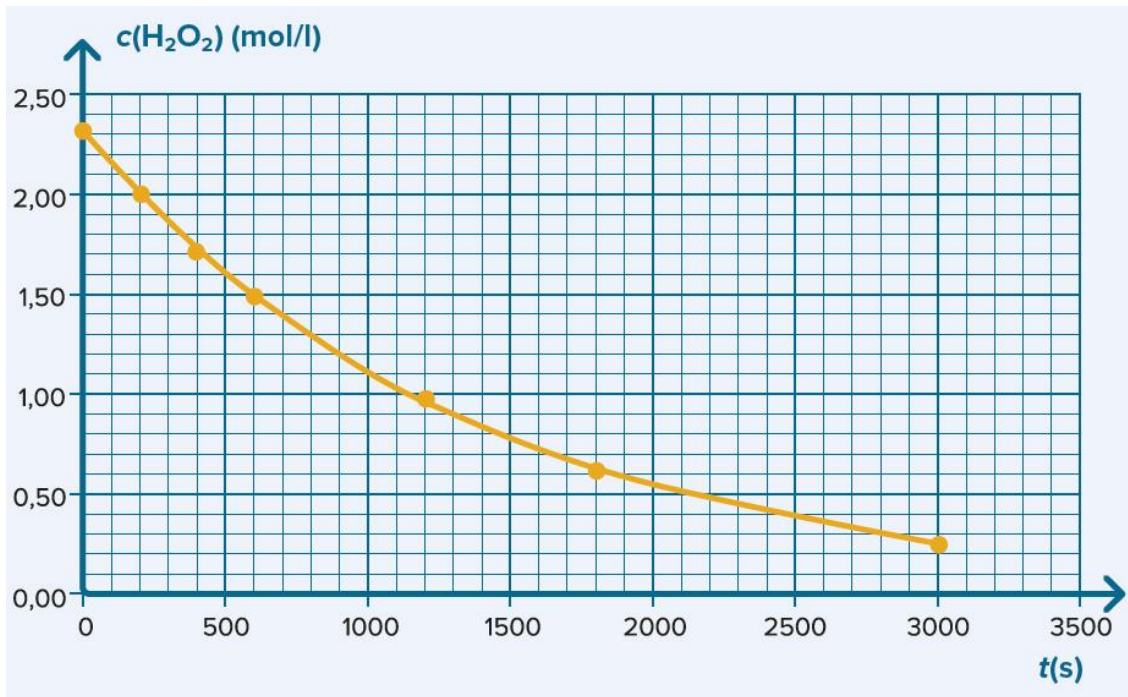
Kokeessa 2 hiilidioksidia muodostuu nopeammin. Molemmissa kokeissa reaktionopeus on aluksi suuri. Kokeessa 1 muodostuneen hiilidioksidin määrä on pienempi, kuin kokeessa 2. Kokeessa 1 suolahappo (rajoittava tekijä) loppuu aiemmin kuin kokeessa 2.

Kuvaajien erot voivat johtua suolahapon konsentraatiosta. Suolahapon konsentraatio vaikuttaa reaktionopeuteen ja koska se on rajoittava tekijä, myös muodostuneen hiilidioksidin määrään. Tämän perusteella kokeessa 1 on käytetty laimeampaa suolahappoa. Erot kuvaajissa eivät voi johtua lämpötilasta, sillä tällöin vain reaktionopeus olisi muuttunut, mutta massan muutos (hiilidioksidin määrä) olisi sama.

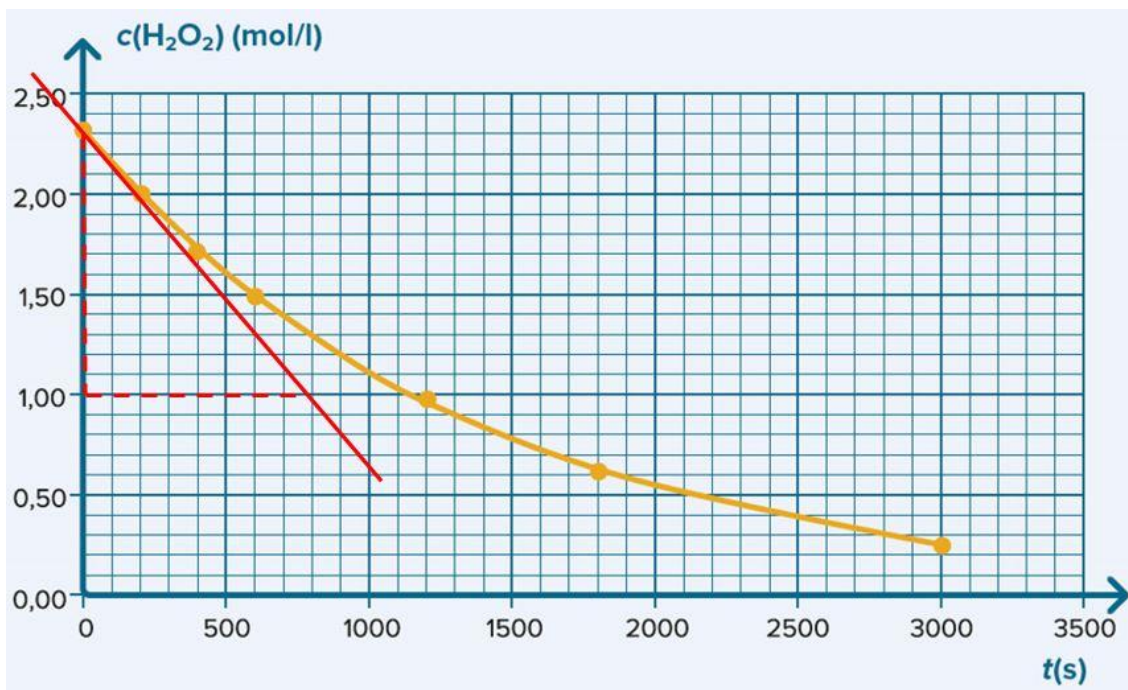
2.

Ratkaisu:

a)



b) Reaktiionopeus on suurin reaktion alussa. Piirretään kuvaajaan tangenti (punainen viiva) ajanhetkelle 0 ja määritetään tangentin kulmakerroin (punaiset katkoviivat).

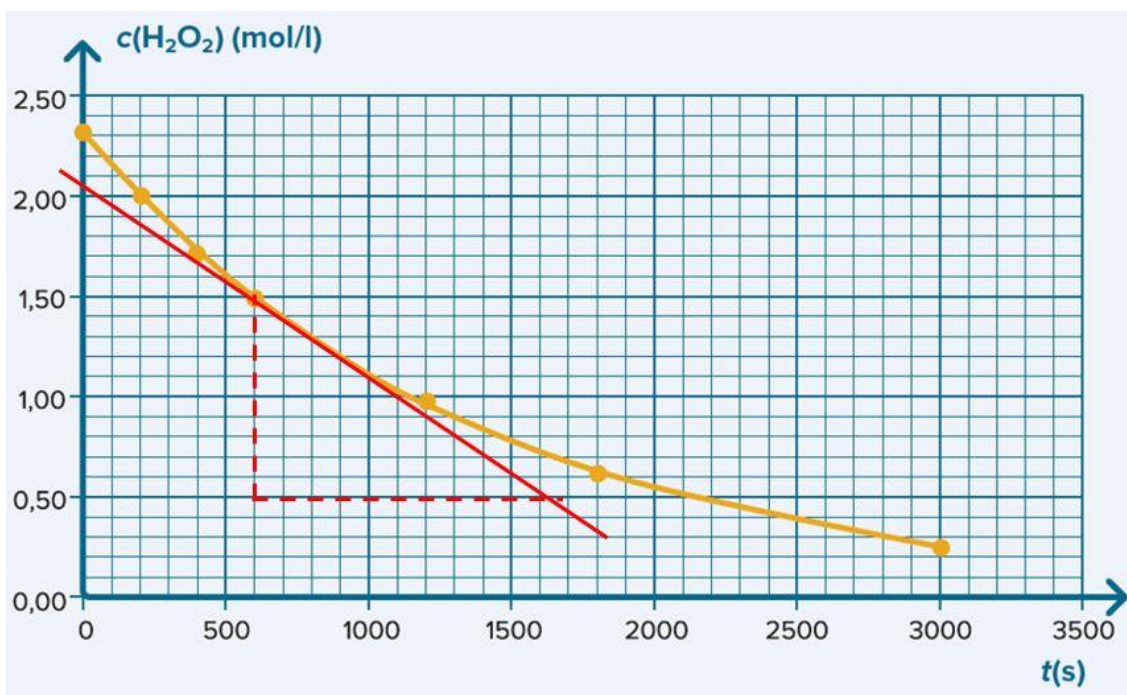


$$\Delta c = 1,00 \text{ mol/l} - 2,30 \text{ mol/l} = -1,31 \text{ mol/l}$$

$$\Delta t = 770 \text{ s} - 0 \text{ s} = 770 \text{ s}$$

$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{-1,31 \text{ mol/l}}{770 \text{ s}} = -1,7013 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \cdot \text{s} \approx -1,70 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \cdot \text{s}.$$

c) Piirretään kuvaajaan tangenti ajanhetkelle $t = 700 \text{ s}$ (punainen viiva) ja määritetään tangentin kulmakerroin (punaiset katkoviivat):

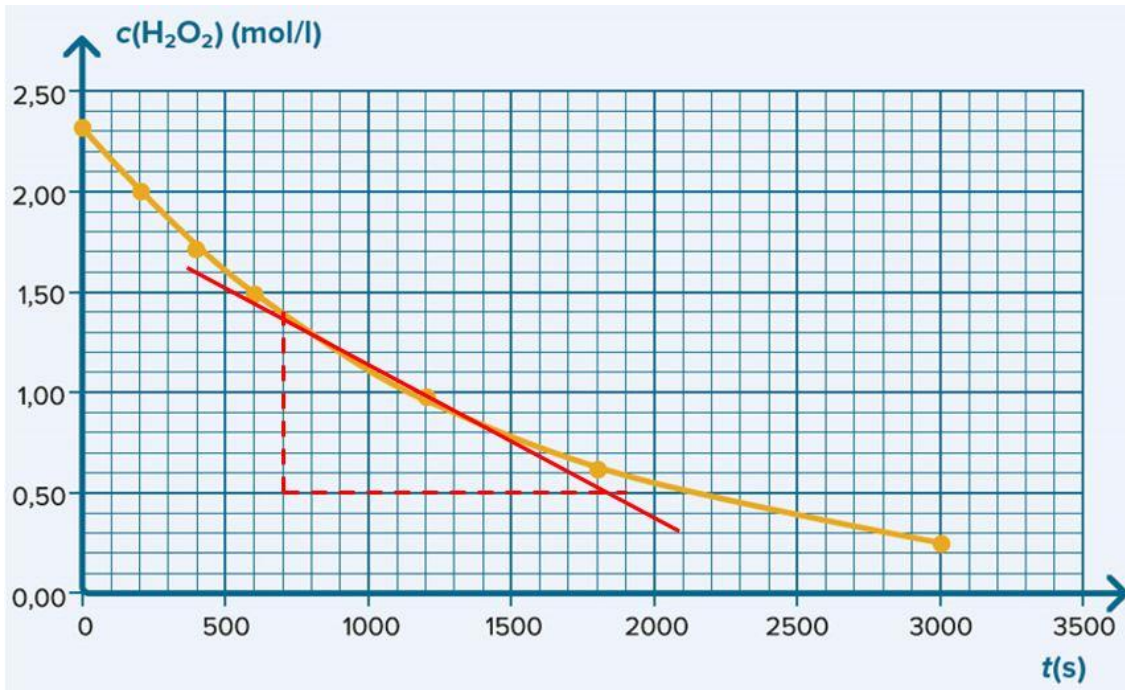


$$\Delta c = 0,70 \text{ mol/l} - 1,62 \text{ mol/l} = -1,00 \text{ mol/l}$$

$$\Delta t = 1\,400 \text{ s} - 400 \text{ s} = 1\,000 \text{ s}.$$

$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{-1,00 \text{ mol/l}}{1\,000 \text{ s}} = -9,0909 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l} \cdot \text{s} \approx -9,09 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l} \cdot \text{s}.$$

d) Hapen muodostumisnopeus saadaan, kun piirretään kuvaajalle tangenti ajanhetkelle 1 100 s ja määritetään tangentin kulmakerroin. Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella hapen muodostumisnopeus on puolet vetyperoksidin hajoamisnopeudesta.



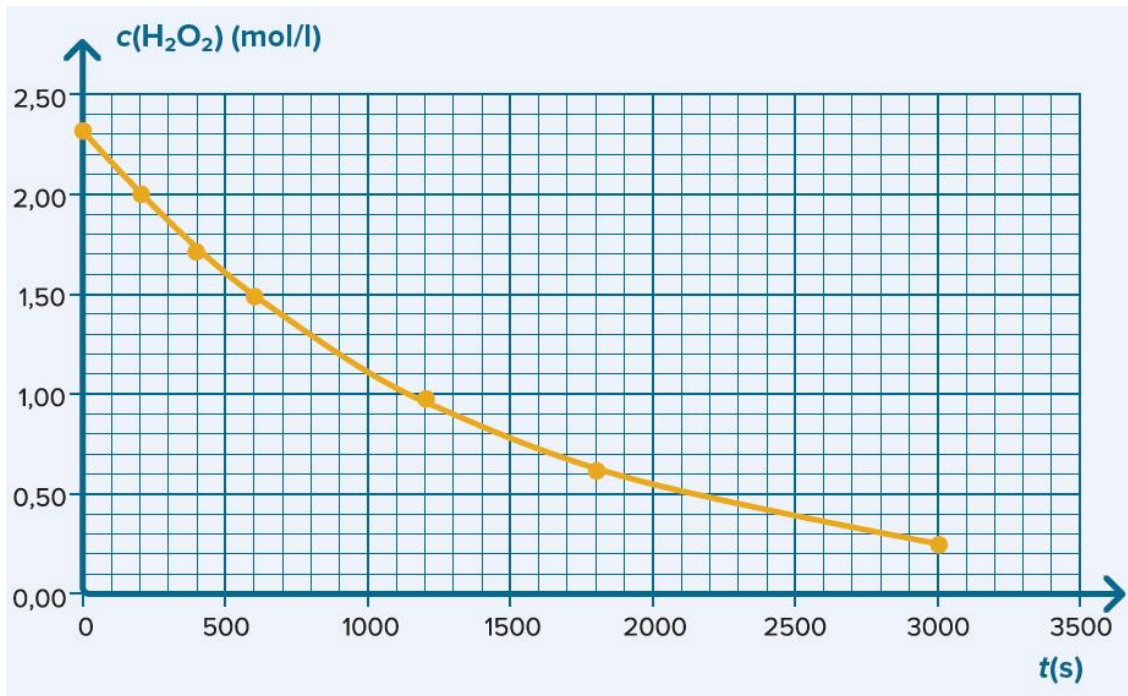
Vetyperoksidin hajoamisnopeus on:

$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{(0,50 - 1,40) \text{ mol/l}}{(1900 - 700) \text{ s}} = -7,500 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l} \cdot \text{s} \approx -7,50 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l} \cdot \text{s}.$$

Hapen muodostumisnopeus on $\frac{7,50 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{l} \cdot \text{s}}}{2} = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l} \cdot \text{s}$

Vastaus:

a)



b) $v = 1,70 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \cdot \text{s}$

c) $v = 9,09 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l} \cdot \text{s}$

d) $v = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l} \cdot \text{s}$

Jakso 2 Tasapainotila ja sen säätely – vastaukset ja ratkaisut

2.1 Homogeeninen ja heterogeeninen tasapainotila

2.1

Vastaus:

A. – c)

B. – a), d)

C. – a), c), d)

D. – b)

E. – c), d)

F. – a), b)

2.2

Vastaus:

b: homogeeninen

d: heterogeeninen

e: homogeeninen

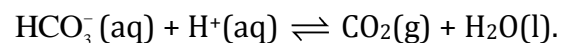
f: heterogeeninen

2.3

Vastaus:

Kuvassa A reaktio tapahtuu täydellisesti, sillä hiilidioksidi vapautuu avonaisesta astiasta.

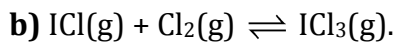
Kuvassa B olevaan astiaan muodostuu tasapainotila, sillä astia on suljettu. Hiilidioksidia muodostuu vain tietty määrä, ja se reagoi takaisin vetykarbonaatiksi samalla nopeudella kuin sitä muodostuu. Muodostunutta tasapainotilaa kuvaava reaktioyhtälö on:



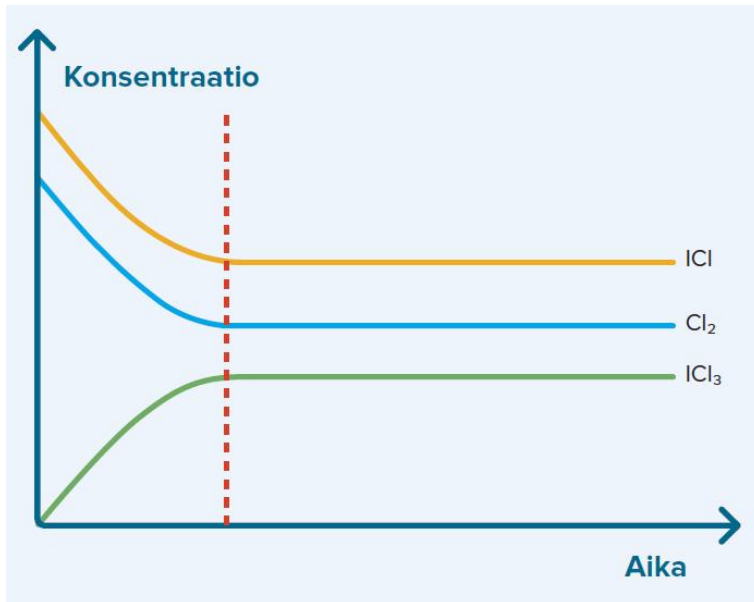
2.4

Vastaus:

a) Lähtöaineet: jodikloridi ja kloori. Reaktiotuote: joditrikloridi.



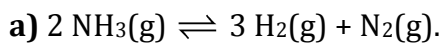
c)



d) Tasapainotetun reaktioyhtälön perusteella aineet reagoivat ainemäärien suhteessa 1:1, joten niiden konsentraatiot muuttuvat yhtä paljon reaktion edetessä.

2.5

Vastaus:



b) Vedyn konsentraatio muuttuu nopeammin, sillä tasapainotetun reaktioyhtälön mukaan vetyä muodostuu kolminkertainen ainemäärä typeen verrattuna aikayksikköä kohden.

c) Etenevän ja palautuvan reaktion nopeus on yhtä suuri.

2.6

Vastaus:

a) A., C.

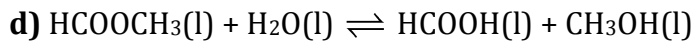
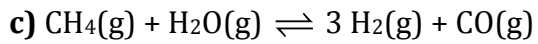
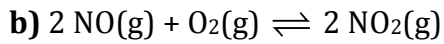
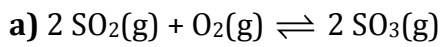
b) A., B., C., E., F.

c) B., D., E., F.

d) D.

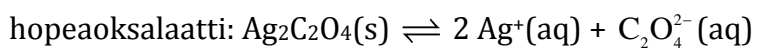
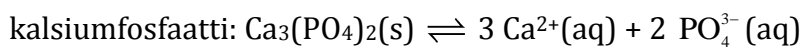
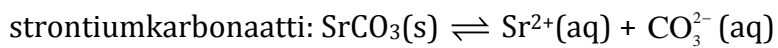
2.7

Vastaus:



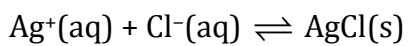
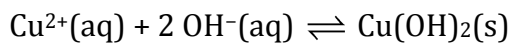
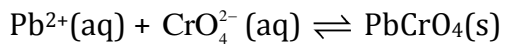
2.8

Vastaus:



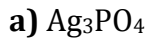
2.9

Vastaus:

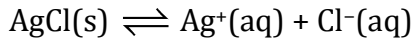


2.10

Ratkaisu:



b)



c)

Hopeafosfaatin liukoisuus on $0,043 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$

$$V(\text{liuos}) = 100 \text{ ml} = 0,100 \text{ dm}^3$$

$$M(\text{Ag}^+) = 107,87 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Ag}^+) = ?$$

Kun yksi mooli hopeafosfaattia liukenee, liuokseen muodostuu kolme moolia hopeaioneja oheisen liukenemisyhtälön perusteella:



Kylläisessä hopeafosfaattiliuoksessa

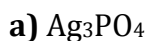
$$c(\text{Ag}^+) = 3 \cdot c(\text{Ag}_3\text{PO}_4) = 3 \cdot 0,043 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 = 1,290 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

Kun liuostilavuus on 100 ml, hopeaionien ainemäärä on

$$n(\text{Ag}^+) = c(\text{Ag}^+) \cdot V(\text{liuos}) = 1,290 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,100 \text{ dm}^3 = 1,290 \cdot 10^{-5} \text{ mol}.$$

$$m(\text{Ag}^+) = n(\text{Ag}^+) \cdot M(\text{Ag}^+) = 1,290 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \cdot 107,87 \text{ g/mol} = 1,392 \cdot 10^{-3} \text{ g} \approx 1,4 \text{ mg}$$

Vastaus:



c) $m(\text{Ag}^+) = 1,4 \text{ mg}$

2.11

Ratkaisu:

a)

$$m(\text{makkara}) = 3,9856 \text{ g}$$

$$V(\text{AgNO}_3) = 11 \text{ ml} = 0,011 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{AgNO}_3) = 0,10 \text{ mol/dm}^3$$

$$M(\text{NaCl}) = 58,44 \text{ g/mol}$$

$$m\text{-}\%(\text{NaCl}) = ?$$

Titrauksessa kuluneen hopeanitraatin ainemäärä on

$$n(\text{AgNO}_3) = c(\text{AgNO}_3) \cdot V(\text{AgNO}_3) = 0,10 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,011 \text{ dm}^3 = 0,001100 \text{ mol.}$$

Kloridi-ionien saostumisreaktion perusteella

$$n(\text{Cl}^-) = n(\text{Ag}^+) = n(\text{AgNO}_3) = 0,001100 \text{ mol.}$$

Natriumkloridin kaavan perusteella

$$n(\text{NaCl}) = n(\text{Cl}^-) = 0,001100 \text{ mol.}$$

Makkaranäytteen sisältämän natriumkloridin massa on:

$$m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \cdot M(\text{NaCl}) = 0,001100 \text{ mol} \cdot 58,44 \text{ g/mol} = 0,06428 \text{ g.}$$

Natriumkloridin osuus massaprosentteina on:

$$m\text{-}\%(\text{NaCl}) = \frac{0,06428 \text{ g}}{3,9856 \text{ g}} \cdot 100\% = 1,613\% \approx 1,6\% .$$

b)

Vesijohtovedessä on muun muassa kloridi-ioneja, jotka saostuvat näytettä titrattaessa. Makkaran suolapitoisuudeksi saataisiin tällöin liian suuri tulos. Lisäksi muut vesijohtoveden ionit voisivat saostua hopeaionien tai indikaattoriliuoksen kromaatti-ionien kanssa.

c)

Tuoteselosteen mukaan makkarassa oli natriumkloridia 1,8 massaprosenttia. Saatua tulos on siten hieman pienempi. Saatua tulokseen ovat voineet vaikuttaa seuraavat tekijät:

- makkarasta otettu näyte ei ole edustava
- suola ei ole makkaränäytteessä tasaisesti
- kaikkea natriumkloridia ei saatu uutettua veteen
- näytteen suolaa on jäänyt makkarapalasiin suodatinpaperille
- titrausliuoksen konsentraatio ei ollut aivan tarkka
- titrauksen päätepiste (oranssin värin muodostuminen) on vaikea havaita
- tutkimusta ei toistettu riittävän usein.

Vastaus:

a) $m\text{-}\%(\text{NaCl}) = 1,6 \%$

b) Vesijohtovedessä on muun muassa kloridi-ioneja, jotka saostuvat näytettä titrattaessa. Makkaran suolapitoisuudeksi saataisiin tällöin liian suuri tulos. Lisäksi muut vesijohtoveden ionit voisivat saostua hopeaionien tai indikaattoriliuoksen kromaatti-ionien kanssa.

c) Tuoteselosteen mukaan makkarassa oli natriumkloridia 1,8 massaprosenttia. Saatua tulos on siten hieman pienempi. Saatua tulokseen ovat voineet vaikuttaa seuraavat tekijät:

- makkarasta otettu näyte ei ole edustava
- suola ei ole makkaränäytteessä tasaisesti
- kaikkea natriumkloridia ei saatu uutettua veteen
- näytteen suolaa on jäänyt makkarapalasiin suodatinpaperille
- titrausliuoksen konsentraatio ei ollut aivan tarkka
- titrauksen päätepiste (oranssin värin muodostuminen) on vaikea havaita
- tutkimusta ei toistettu riittävän usein.

2.2 Tasapainovakion lauseke, lukuarvo ja yksikkö

2.12

Vastaus:

A. – d)

B. – a)

C. – c)

D. – d)

2.13

Vastaus:

a) $K_c = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]}$. Yksikkö on $(\text{mol}/\text{dm}^3)^{-1}$.

b) $K_c = \frac{[\text{H}_2]^3[\text{CO}]}{[\text{CH}_4][\text{H}_2\text{O}]}$. Yksikkö on $(\text{mol}/\text{dm}^3)^2$.

c) $K_c = \frac{[\text{HCOOH}][\text{CH}_3\text{OH}]}{[\text{HCOOCH}_3][\text{H}_2\text{O}]}$. Ei yksikköä.

d) $K_c = \frac{[\text{H}_2\text{O}]^2[\text{Cl}_2]^2}{[\text{HCl}]^4[\text{O}_2]}$. Yksikkö on $(\text{mol}/\text{dm}^3)^{-1}$.

2.14

Vastaus:

a) $K_p = \frac{[\text{N}_2][\text{H}_2]^2}{[\text{N}_2\text{H}_4]}$. Yksikkö on $(\text{bar})^2$.

b) $K_p = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{H}_2]^3[\text{N}_2]}$. Yksikkö on $(\text{kPa})^{-2}$.

c) $K_p = \frac{[\text{NO}]^4 [\text{H}_2\text{O}]^6}{[\text{NH}_3]^4 [\text{O}_2]^5}$. Yksikkö on Pa.

2.15

Ratkaisu:

a) Koska $K \gg 1$, tasapainoseoksessa on enemmän reaktiotuotteita, sillä tasapainovakiota laskettaessa reaktiotuotteiden tasapainokonsentraatiot sijoitetaan osoittajaan.

b) Koska kyseessä on palautuva (käänteisreaktio), saadaan tasapainovakio ratkaistua tehtävässä annetun tasapainovakion avulla seuraavasti:

$$K = \frac{1}{2,4 \cdot 10^3} = 4,167 \cdot 10^{-4} \approx 4,2 \cdot 10^{-4}.$$

Vastaus:

a) Koska $K \gg 1$, tasapainoseoksessa on enemmän reaktiotuotteita, sillä tasapainovakiota laskettaessa reaktiotuotteiden tasapainokonsentraatiot sijoitetaan osoittajaan.

b) $K = 4,2 \cdot 10^{-4}$

2.16

Ratkaisu:

a)

Tehtävässä annetun reaktion tasapainovakion lauseke on: $K = \frac{[\text{SO}_3]}{[\text{SO}_2][\text{O}_2]^{1/2}}$.

Reaktion $\text{SO}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g})$ tasapainovakion lauseke on $K = \frac{[\text{SO}_2][\text{O}_2]^{1/2}}{[\text{SO}_3]}$ (käänteinen reaktio).

Kysytty tasapainovakio on tällöin vakion $20,4 (\text{mol/l})^{-1/2}$ käänteisluku:

$$K = \frac{1}{20,4 (\text{mol/l})^{-1/2}} = 0,049020 (\text{mol/l})^{1/2} \approx 0,0490 (\text{mol/l})^{1/2}.$$

b) Reaktiolle $2 \text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3(\text{g})$ tasapainovakion lauseke on annetun reaktion tasapainovakion lauseke korotettuna toiseen potenssiin, sillä reaktioyhtälön kertoimet ovat kaksinkertaiset. Kysytty tasapainovakio saadaan korottamalla tehtävässä annettu tasapainovakio toiseen potenssiin:

$$K = (20,4 (\text{mol/l})^{1/2})^2 = 416,16 \text{ mol/l} \approx 416 \text{ mol/l}.$$

Vastaus:

a) $K = 0,0490 \text{ (mol/l)}^{1/2}$.

b) $K = 416 \text{ mol/l}$.

2.17

Vastaus:

a) Oikein.

b) Väärin, K :n arvosta ei voida päätellä reaktionopeutta, sillä K :n lukuarvo kuvaa reaktiotuotteiden ja lähtöaineiden konsentraatioiden suhdetta tasapainotilassa.

c) Oikein.

d) Väärin, $K = 4,2 \cdot 10^{-4}$.

e) Oikein.

2.18

Vastaus:

a) A ja B

b) C

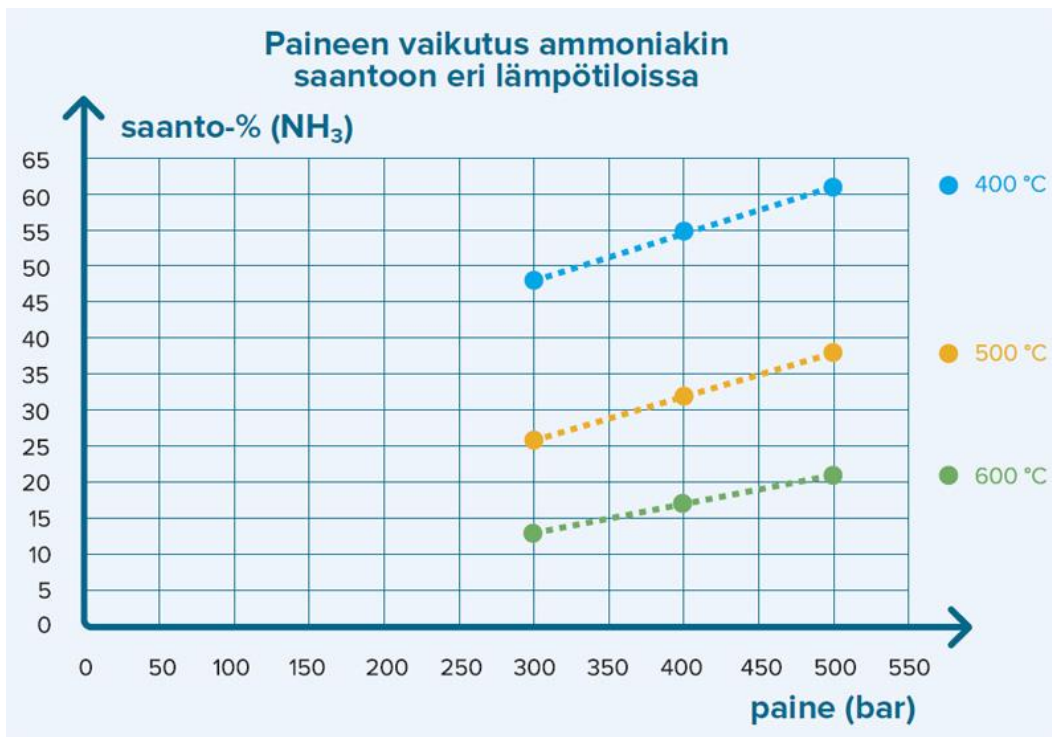
2.3 Tasapainotilan säätely ja tasapainovakion muutokset

2.19

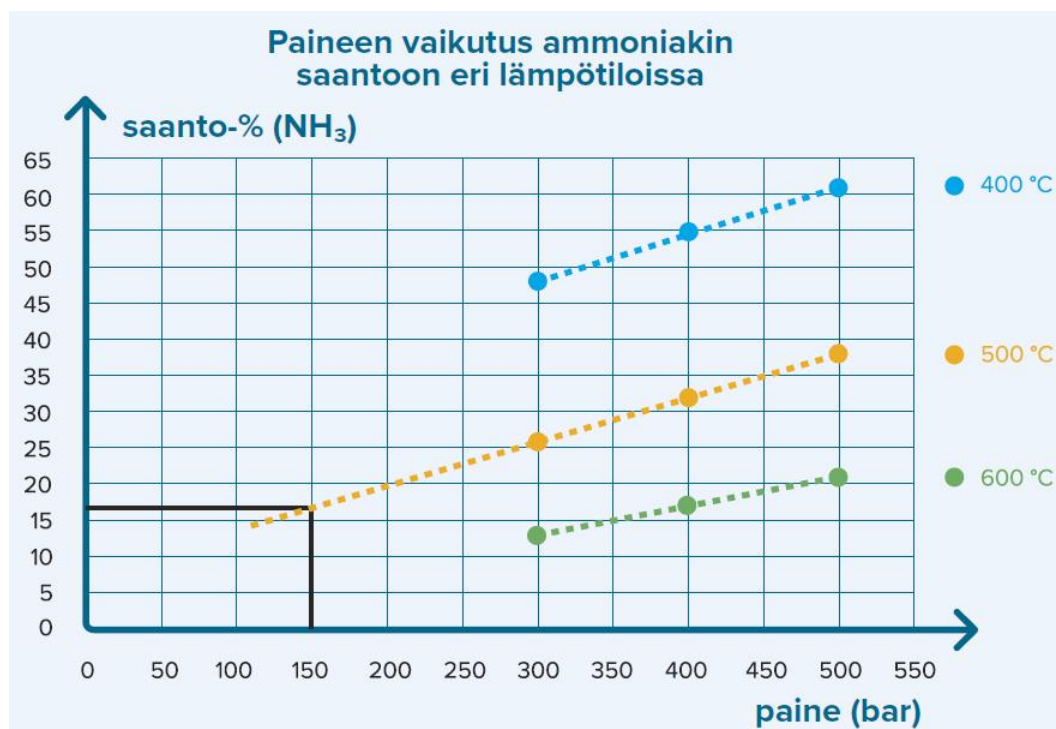
Vastaus:

a) Saanto on suurin, kun lämpötila on +400 °C ja paine 500 bar. Saanto on pienin, kun lämpötila on +600 °C ja paine 300 bar.

b)



c)



Noin 17 % (kohta merkitty kuvaajalle).

2.20

Vastaus:

Reaktio	Muutos	Tasapainotilan siirtyminen	K_c :n lukuarvon muutos
$2 \text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3(\text{g})$ $\Delta H = -197 \text{ kJ}$	poistetaan rikkiatrioksidia	→	ei muutosta
$2 \text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3(\text{g})$ $\Delta H = -197 \text{ kJ}$	nostetaan lämpötilaa	←	pienenee
$2 \text{SO}_3(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ $\Delta H = +197 \text{ kJ}$	nostetaan lämpötilaa	→	kasvaa
$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\text{g})$ $\Delta H = < 0$	lasketaan lämpötilaa	→	kasvaa
$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}(\text{g})$ $\Delta H = < 0$	nostetaan painetta	→	ei muutosta
$\text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CO}(\text{g})$ $\Delta H = +41 \text{ kJ}$	lisätään vetyä	→	ei muutosta
$\text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CO}(\text{g})$ $\Delta H = +41 \text{ kJ}$	pienennetään painetta	ei vaikutusta	ei muutosta

2.21

Vastaus:

- a) Etenevän reaktion suuntaan. Lähtöaineen konsentraation lisääntyminen siirtää tasapainotilaa reaktiotuotteiden suuntaan, jolloin lisätyn lähtöaineen konsentraatio pienenee.
- b) Palautuvan reaktion suuntaan. Lähtöaineen konsentraation pieneneminen siirtää tasapainotilaa lähtöaineiden suuntaan, jolloin lähtöainetta muodostuu lisää.
- c) Etenevän reaktion suuntaan. Reaktiotuotteen konsentraation pieneneminen siirtää tasapainotilaa etenevän reaktion suuntaan, jolloin reaktiotuotetta muodostuu lisää.
- d) Palautuvan reaktion suuntaan. Lähtöainepuolella on 4 moolia kaasumaisia tuotteita, reaktiotuotepuolella vain 2 moolia. Paineen pienentäminen siirtää tasapainotilaa siihen suuntaan, jossa kaasumaisten aineiden kokonaisainemäärä (ja tilavuus) on suurempi.
- e) Etenevän reaktion suuntaan. Ammoniakin valmistusreaktio on eksoterminen. Kun reaktioseosta jäähdytetään, tasapainotila siirtyy eksotermisen (lämpöä vapauttavan) reaktion suuntaan.
- f) Vain lämpötilan muutos (kohta e) muuttaa K_c :n arvoa. Kun lämpötilaa lasketaan, tasapainotila siirtyy pysyvästi reaktiotuotteiden puolelle, sillä etenevä reaktio on eksoterminen. Tällöin K_c :n arvo kasvaa.

2.22

Vastaus:

- a) paine: korkea, lämpötila: alhainen
- b) paine: ei merkitystä, lämpötila: korkea
- c) paine: korkea, lämpötila: alhainen
- d) paine: alhainen, lämpötila: korkea

2.23

Vastaus:

Kuvaajasta nähdään, että ensimmäisellä katkoviivalla merkittyyn ajanhetkeen asti kyseessä on tasapainotila, jossa vedyn, ammoniakin ja typen konsentraatiot pysyvät vakioina. Kun reaktioseokseen lisätään vetyä, sen konsentraatio kasvaa hetkellisesti. Samalla typen konsentraatio pienenee, koska se reagoi vedyn kanssa ja tuottaa lisää ammoniakkia. Tämän reaktion seurauksena ammoniakin konsentraatio kasvaa. Toisella katkoviivalla merkittynä ajankohtana reaktioseos on saavuttanut uuden tasapainotilan. Tällöin kaikkien reaktioseoksessa olleiden aineiden konsentraatiot vakioituvat uudelleen. Uudessa tasapainotilassa kaikkien aineiden konsentraatiot ovat muuttuneet.

2.24

Vastaus:

Kun tasapainovakion lauseke $K_c = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]}$ esitetään kaasujen ainemäärien (n) ja

tilavuuden (V) avulla, saadaan $K_c = \frac{[n(\text{SO}_3)/V]^2}{[n(\text{SO}_2)/V]^2[n(\text{O}_2)/V]}$.

Lauseketta sieventämällä saadaan: $K_c = \frac{[n(\text{SO}_3)]^2 \cdot V}{[n(\text{SO}_2)]^2[n(\text{O}_2)]}$.

Paineen kasvattaminen pienentää tilavuutta V . Jotta vakion K_c arvo pysyisi muuttumattomana, tulee osoittajassa olevan rikkiatrioksidin ainemäärän $n(\text{SO}_3)$ kasvaa ja nimittäjissä olevien rikkidioksidin ainemäärän $n(\text{SO}_2)$ ja hapen ainemäärän $n(\text{O}_2)$ pienentyä. Tasapainotilan on siis siirryttävä reaktiotuotteen suuntaan.

2.25

Vastaus:

a) Liunneen hiilidioksidin määrä pienenee.

b) Kasvihuoneilmiön vaikutuksesta ilman $\text{CO}_2(\text{g})$ -pitoisuus kasvaa. Tämän seurauksena tasapainotila siirtyy liunneen hiilidioksidin suuntaan eli sen määrä lisääntyy.

c) Hiilidioksidin liukoisuuden perusteella lämpimässä virvoitusjuomapullossa tasapainotila on enemmän kaasumaisen hiilidioksidin puolella (kaasua liukenee vähemmän, kun lämpötila nousee, joten paine pullossa on suurempi kuin kylmässä säilytetyssä pullossa). Kun pullo avataan, kaasua vapautuu nopeasti, mikä saa juoman kuohumaan.

2.26

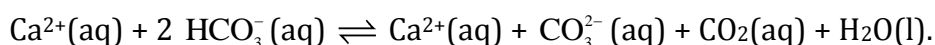
Vastaus:

a) Timantin muodostuminen on endoterminen tapahtuma. Korkeassa lämpötilassa tasapainotila siirtyy reaktiotuotteen (timantin) suuntaan.

b) Typpimonoksidin muodostuminen on endoterminen reaktio. Kun reaktioseosta jäädytetään, tasapainotila siirtyy eksotermiseen eli lähtöaineiden suuntaan. Näin typpimonoksidi hajoaisi takaisin typeksi ja hapeksi.

c) Koska muodostuva hiilidioksidi on kaasu, se siirtää kalsiumkarbonaatin ja rikkihapon välisen reaktion tasapainotilaa reaktiotuotteiden suuntaan. Marmorina, joka on kalsiumkarbonaattia, kuluu tällöin lisää ja patsaat ja rakennukset syöpyvät.

d) Kun vesi kuumenee kahvinkeitinissä tai lämminvesivaraajassa, kohonnut lämpötila siirtää veteen liuenneen hiilidioksidin tasapainotilaa kaasumaisen hiilidioksidin suuntaan (endoterminen tapahtuma). Tämän seurauksena vesijohtoveden kalsium- ja vetykarbonaatti-ionit reagoivat ja muodostavat lisää veteen liuenneutta hiilidioksidia oheisen reaktion mukaisesti:



Samalla veden karbonaatti-ionien pitoisuus kasvaa. Kun karbonaatti-ionipitoisuus kasvaa, tasapainotila $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$ siirtyy kiinteän kalsiumkarbonaatin suuntaan, jolloin sitä saostuu. Lisäksi kalsiumkarbonaatin liukeneminen on eksoterminen tapahtuma, joten korkeammassa lämpötilassa tasapainotila siirtyy lähtöaineen eli kiinteän kalsiumkarbonaatin suuntaan.

2.27

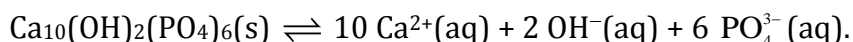
Vastaus:

Vatsan happamissa olosuhteissa magnesiumhydroksidia liukenee enemmän kuin veteen. Tämä voidaan päätellä kuvasta B, jossa havaitaan kylläisen liuoksen osittainen kirkastuminen.

Liukenemisen lisääntyminen selittyy sillä, että vatsan suolahappo neutraloi liuoksen hydroksidi-ioneja, jolloin niiden konsentraatio pienenee. Tasapainotila siirtyy Le Châtelier'n periaatteen mukaan enemmän reaktiotuotteiden suuntaan ja magnesiumhydroksidia liukenee enemmän.

2.28

Vastaus:



Happohyökkäyksen aikana sylkeen vapautuu happojen tuottamia H^+ -ioneja, jotka reagoivat hydroksiapatiitin kylläisessä vesiliuoksessa olevien hydroksidi-ionien (OH^-) kanssa.

Tämän seurauksena hydroksidi-ionien pitoisuus laskee. Le Châtelier'n periaatteen mukaan tasapainotila siirtyy etenevän reaktion eli liuenneiden ionien suuntaan, jolloin kiinteää hydroksiapatiittia liukenee lisää ja kiille vaurioituu.

2.29

Vastaus:

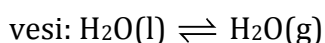
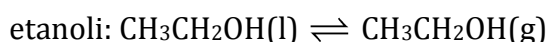
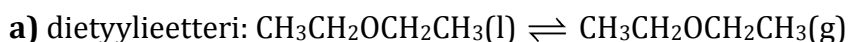
a) Suolahapon lisäyksen seurauksena seoksen H^+ -konsentraatio (reaktiotuote) kasvaa. Tasapainotila siirtyy tämän vuoksi lähtöaineiden suuntaan, jolloin muodostuu enemmän dikromaatti-ioneja, jotka ovat oransseja.

b) Natriumhydroksidiliuoksessa on OH^- -ioneja, jotka reagoivat tasapainoseoksessa olevien H^+ -ionien kanssa ja muodostavat vettä. Kun H^+ -ionien konsentraatio pienenee, tasapainotila siirtyy reaktiotuotteiden suuntaan, jolloin muodostuu enemmän kromaatti-ioneja.

c) Kun natriumkromaatti liukenee, tasapainoseoksen kromaatti-ionien määrä kasvaa. Tämän seurauksena tasapainotila siirtyy lähtöaineiden suuntaan ja liuoksen oranssi väri voimistuu.

2.30

Vastaus:



b) Höyrynpaine kasvaa, kun lämpötila kasvaa.

c) Dietyylieetterin höyrynpaine on suurin ja veden pienin.

d) Dietyylieetteri noin $+35\text{ }^\circ\text{C}$, etanoli noin $+78\text{ }^\circ\text{C}$, vesi noin $+100\text{ }^\circ\text{C}$.

e) Ensin tiivistyy dietyylieetteri, sitten etanoli. Perustelu: Eetterin kiehumispiste on alhaisempi kuin etanolin. Dietyylieetterin höyrynpaine saavuttaa aiemmin ulkoisen paineen eli neste alkaa kiehua ensin.

2.31

Vastaus:

Laitetekniikka: Reaktioastia ja siihen liittyvät osat tulee valmistaa materiaalista, joka kestää hyvin korkeaa painetta ja lämpötilaa. Lisäksi astian tulee pysyä toimintakuntoisena pitkiä aikoja.

Taloudellinen kannattavuus: Korkean paineen ja lämpötilan ylläpitäminen on kallista. Erityisesti korkeiden lämpötilojen jatkuva ylläpitäminen suurissa reaktioastioissa kuluttaa runsaasti energiaa.

Korkean lämpötilan käyttö: Reaktio nopeutuu, kun lämpötilaa nostetaan, jolloin tasapainotila saavutetaan nopeammin ja reaktiotuotetta saadaan nopeammin.

Näkökulma: reaktiolle tulee löytää sopiva katalyytti, jolla reaktiota voidaan nopeuttaa.

Harjoittele lisää!

Testaa oppimasi!

Vastaus:

1. - c)
2. - b), d)
3. - d)
4. - a)
5. - b), d)
6. - a), c), d)
7. - c), d)
8. - b), c)
9. - a), b),
10. - b), d)

Käsitetesti

Vastaus:

Tasapainovakio - kuvaa reaktiotuotteiden ja lähtöaineiden tasapainokonsentraatioiden välistä riippuvuutta tietyssä lämpötilassa.

Faasi - on yhtenäinen olomuotoalue.

Niukkaliukoinen suola - on ioniyhdiste, jonka kylläiseen vesiliuokseen muodostuu heterogeeninen tasapainotila.

Dynaaminen tasapainotila - kuvaa tilaa, jossa etenevä muutos ja palautuva muutos tapahtuvat koko ajan yhtä suurella nopeudella.

Kylläinen liuos - on liuos, joka sisältää tietyssä lämpötilassa suurimman mahdollisen määrän liuennutta ainetta tietyssä määrässä liuotinta.

Heterogeeninen tasapainotila - on tasapainotila, jossa kaikki aineet eivät ole samassa olomuodossa.

Tasapainoreaktio - on reaktio, jossa lähtöaineita muuttuu reaktiotuotteiksi samalla nopeudella kuin reaktiotuotteista muodostuu lähtöaineita.

Etenevä reaktio - on reaktio, joka etenee lähtöaineista reaktiotuotteiden suuntaan.

Ylioppilastehtäviä

1.

Vastaus:

a) Tosi.

b) Epätosi. Konsentraation muuttaminen ei muuta tasapainovakion arvoa.

c) Epätosi. Dynaamisessa tasapainotilassa maltoosin ja glukoosin konsentraatiot eivät muutu, sillä reaktiot I ja II tapahtuvat samalla nopeudella.

d) Epätosi. Reaktio I hidastuu, sillä maltoosin konsentraatio pienenee ja suotuisia törmäyksiä tapahtuu / entsyymien ja substraatin muodostamia komplekseja muodostuu vähemmän aikayksikköä kohti. Reaktio II nopeutuu, sillä glukoosikonsentraation kasvaessa käänteinen reaktio nopeutuu. Glukoosimolekyylien välisiä suotuisia törmäyksiä aikayksikköä kohden tapahtuu enemmän.

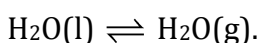
e) Epätosi. Lämpötilan laskeminen aina hidastaa reaktioita, sillä sellaisten hiukkasten määrä, jotka ylittävät aktivoitumisenergiäkynnyksen pienenee. Lämpötilan laskeminen sen sijaan siirtää tasapainotilaa oikealle (reaktiotuotteiden suuntaan), sillä reaktio I on eksoterminen.

f) Epätosi. Lämpötilan laskeminen siirtää tasapainotilan reaktiotuotteiden puolelle, jolloin glukoosin konsentraatio kasvaa. Koska tasapainovakion lausekkeessa reaktiotuotteiden tasapainokonsentraatiot ovat osoittajassa, reaktion I K :n arvo kasvaa.

2.

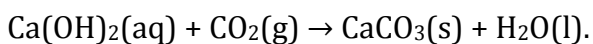
Vastaus:

a) Jos ilma on kylläinen vesihöyrystä, iholta haihtuu/höyrystyä hikeä (vettä) yhtä nopeasti kuin höyry tiivistyy takaisin vedeksi. Kyseessä on dynaaminen heterogeeninen tasapainotila

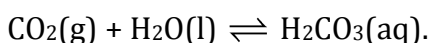


b) Uloshengitysilman hiilidioksidi reagoi kalsiumhydroksidin kanssa, jolloin muodostuu veteen niukkaliukoista kalsiumkarbonaattia. Kalsiumkarbonaatti samentaa liuoksen.

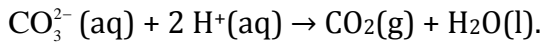
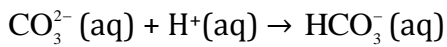
Reaktioyhtälö on:



Kun puhaltamista jatketaan, veteen muodostuu hiilihappoa seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti:



Happamassa vesiliuoksessa karbonaatti-ionit muuttuvat vetykarbonaatti-ioneiksi, ja muodostuu veteen liukenevaa kalsiumvetykarbonaattia. Osa karbonaatti-ioneista hajoaa hiilidioksidiksi ja vedeksi. Näiden reaktioiden seurauksena liuos jälleen kirkastuu. Reaktioyhtälöt ovat:



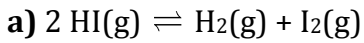
c) Le Châtelier'n periaatteen mukaan olosuhteilla voidaan vaikuttaa kemiallisen reaktion tasapainotilaan. Korkea paine siirtää ammoniakin tasapainoreaktiota reaktiotuotteiden puolelle, sillä lähtöainepuolella on enemmän kaasumolekyylejä (4 moolia) kuin reaktiotuotepuolella (2 moolia). Korkeassa paineessa ammoniakin saanto paranee. Korkean lämpötilan käyttö ei ole suotuisaa ammoniakin saantoa ajatellen, sillä etenevä reaktio on eksotermisen. Tasapainotila siirtyy korkeassa lämpötilassa lähtöaineiden puolelle. Korkean lämpötilan käyttö on kuitenkin perusteltua, sillä se nopeuttaa kemiallista reaktiota. Tällöin useampi törmäys ylittää aktivoitumisenergiakynnyksen (törmäävillä hiukkasilla on riittävästi kineettistä energiaa) ja ammoniakkia muodostuu nopeammin. Ammoniakin talteenotto siirtää tasapainotilaa uudelleen reaktiotuotteiden suuntaan, jolloin kierrätetyistä lähtöaineista saadaan tuotettua lisää ammoniakkia ja lähtöaineet tulee hyödynnettyä tehokkaasti.

Jakso 3 Tasapainotilan laskennallinen käsittely – vastaukset ja ratkaisut

3.1 Tasapainovakion ratkaiseminen ja reaktion suunnan ennustaminen

3.1

Ratkaisu:



b)

$$[\text{HI}] = 3,53 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$$

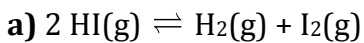
$$[\text{H}_2] = 4,79 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$$

$$[\text{I}_2] = 4,79 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$$

$$K_c = ?$$

$$K_c = \frac{[\text{H}_2][\text{I}_2]}{[\text{HI}]^2} = \frac{4,79 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l} \cdot 4,79 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}}{3,53 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}^2} = 0,018413 \approx 0,0184.$$

Vastaus:



b) $K_c = 0,0184$

3.2

Ratkaisu:

$$n(\text{N}_2) = 2,80 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{O}_2) = 2,50 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

$$n(\text{N}_2\text{O}) = 2,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

$$V = 2,00 \text{ l}$$

$$K_c = ?$$

Kaasujen tasapainokonsentraatiot ovat:

$$[\text{N}_2] = \frac{2,80 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{2,00 \text{ l}} = 1,4000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$$

$$[\text{O}_2] = \frac{2,50 \cdot 10^{-5} \text{ mol}}{2,00 \text{ l}} = 1,2500 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l}$$

$$[\text{N}_2\text{O}] = \frac{2,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol}}{2,00 \text{ l}} = 1,0000 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}.$$

$$K_c = \frac{[\text{N}_2\text{O}]^2}{[\text{N}_2]^2[\text{O}_2]} = \frac{1,0000 \cdot 10^{-2} \text{ (mol/l)}^2}{1,4000 \cdot 10^{-3} \text{ (mol/l)}^2 \cdot (1,2500 \cdot 10^{-5} \text{ (mol/l)})}$$
$$= 4\,081\,600 \frac{1}{\text{mol/l}} \approx 4,08 \cdot 10^6 \text{ (mol/l)}^{-1}.$$

Vastaus:

$$K_c = 4,08 \cdot 10^6 \text{ (mol/l)}^{-1}$$

3.3

Ratkaisu:

a)

$$n(\text{NO}) = 0,100 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2) = 0,050 \text{ mol}$$

$$n(\text{N}_2) = 0 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 0,100 \text{ mol}$$

$$V = 1,00 \text{ l}$$

$$[\text{NO}] = 0,062 \text{ mol/l}$$

$$[\text{N}_2] = ?$$

$$[\text{H}_2] = ?$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = ?$$

Koska tilavuus on 1,00 litraa, eri aineiden alkukonsentraatiot ovat:

$$c_{\text{alku}}(\text{NO}) = 0,100 \text{ mol/l}$$

$$c_{\text{alku}}(\text{H}_2) = 0,0500 \text{ mol/l}$$

$$c_{\text{alku}}(\text{N}_2) = 0,100 \text{ mol/l}.$$

Typen alkukonsentraatioksi merkitään 0, sillä sitä ei ole alkutilanteessa lainkaan.

Merkitään taulukkoon alkukonsentraatiot, typpimonoksidin tasapainokonsentraatio ja konsentraatioiden muutokset (typpimonoksidin konsentraation muutoksen avulla) ja lasketaan tasapainokonsentraatiot. Huomaa, että vedyn ja veden konsentraation muutos on lukuarvoltaan yhtä suuri kuin typpimonoksidin konsentraation muutos reaktioyhtälön kertoimien perusteella. Typen konsentraation muutos puolestaan on lukuarvoltaan puolet typpimonoksidin konsentraation muutoksesta.

	2 NO(g)	+	2 H₂(g)	⇌	N₂(g)	+	2 H₂O(g)
<i>c</i> _{alku} (mol/l)	0,100		0,050		0		0,100
muutos (mol/l)	-0,038		-0,038		+0,019		+0,038
<i>c</i> _{tasap.} (mol/l)	0,062		0,012		0,019		0,138

Taulukon perusteella

$$[\text{N}_2] = 0,019 \text{ mol/l}$$

$$[\text{H}_2] = 0,012 \text{ mol/l}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = 0,14 \text{ mol/l.}$$

b)

$$[\text{NO}] = 0,062 \text{ mol/l}$$

$$[\text{N}_2] = 0,019 \text{ mol/l}$$

$$[\text{H}_2] = 0,012 \text{ mol/l}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = 0,138 \text{ mol/l}$$

$$K_c = ?$$

$$K_c = \frac{[\text{N}_2][\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{NO}]^2[\text{H}_2]^2} = \frac{(0,019 \text{ mol/l}) \cdot (0,138 \text{ mol/l})^2}{(0,062 \text{ mol/l})^2 \cdot (0,012 \text{ mol/l})^2} = 653,6 \frac{1}{\text{mol/l}} \approx 650 (\text{mol/l})^{-1}.$$

Vastaus:

a)

$$[\text{N}_2] = 0,019 \text{ mol/l}$$

$$[\text{H}_2] = 0,012 \text{ mol/l}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = 0,14 \text{ mol/l}$$

b) $K_c = 650 (\text{mol/l})^{-1}$

3.4

Ratkaisu:

a) Tasapainovakion lauseke on $K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$.

Sijoitetaan taulukosta eri kokeiden tasapainokonsentraatiot K_c :n lausekkeeseen, ja ratkaistaan vakion arvo ja yksikkö:

$$K_{c1} = \frac{(0,017 \text{ mol/dm}^3)^2}{0,0014 \text{ mol/dm}^3} = 0,2064 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,21 \text{ mol/dm}^3.$$

$$K_{c2} = \frac{(0,024 \text{ mol/dm}^3)^2}{0,0028 \text{ mol/dm}^3} = 0,2057 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,21 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_{c3} = \frac{(0,031 \text{ mol/dm}^3)^2}{0,0045 \text{ mol/dm}^3} = 0,2136 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,21 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_{c4} = \frac{(0,031 \text{ mol/dm}^3)^2}{0,0045 \text{ mol/dm}^3} = 0,2136 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,21 \text{ mol/dm}^3.$$

Tasapainovakioksi tulee kaikissa neljässä kokeessa sama arvo ($0,21 \text{ mol/dm}^3$), joten sen arvo on riippumaton aineiden alkukonsentraatioista.

b) Kokeet 1–3.

c) Reaktio $2 \text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ on annetun reaktion ($\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$) käänteisreaktio. Reaktio $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$ K_c on ratkaistu kohdassa a), joten kysytyn reaktion tasapainovakio on sen käänteisluku eli $\frac{1}{K_c}$.

$$\text{Kysytty } K_c = \frac{1}{0,21 \text{ (mol/dm}^3)} = 4,762 \text{ (mol/dm}^3)^{-1} \approx 4,8 \text{ (mol/dm}^3)^{-1}.$$

Koska reaktion $2 \text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 4 \text{NO}_2(\text{g})$ kertoimet ovat kaksinkertaiset verrattuna reaktioon $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$, saadaan kysytyn reaktion tasapainovakio korottamalla a-kohdassa laskettu tasapainovakio toiseen potenssiin.

$$\text{Kysytty } K_c = (0,21 \text{ mol/dm}^3)^2 = 0,04410 (\text{mol/dm}^3)^2 \approx 0,044 (\text{mol/dm}^3)^2.$$

Vastaus:

a) Eri kokeiden tuloksista laskettu tasapainovakio on sama ($0,21 \text{ mol/dm}^3$), joten sen arvo on riippumaton aineiden alkukonsentraatioista.

b) Kokeet 1–3.

c)

$$K_c = 4,8 (\text{mol/dm}^3)^{-1}$$

$$K_c = 0,044 (\text{mol/dm}^3)^2.$$

3.5

Ratkaisu:

a)

$$n(\text{SO}_3)_{\text{alku}} = 12,0 \text{ mol}$$

$$n(\text{SO}_2)_{\text{tasap.}} = 3,0 \text{ mol}$$

$$V = 3,0 \text{ l}$$

$$K_c = ?$$

Lasketaan rikkiatrioksidin alkukonsentraatio ja rikkidioksidin tasapainokonsentraatio:

$$c_{\text{alku}}(\text{SO}_3) = \frac{12,0 \text{ mol}}{3,0 \text{ l}} = 4,0 \text{ mol/l}$$

$$c_{\text{tasap.}}(\text{SO}_2) = \frac{3,0 \text{ mol}}{3,0 \text{ l}} = 1,0 \text{ mol/l}.$$

Merkitään taulukkoon alkukonsentraatiot, rikkidioksidin tasapainokonsentraatio ja konsentraatioiden muutokset (reaktioyhtälön kertoimien suhteella huomioituna) ja lasketaan muiden aineiden tasapainokonsentraatiot.

	2 SO₃(g)	\rightleftharpoons	2 SO₂(g)	+	O₂(g)
<i>c</i> _{alku} (mol/l)	4,0		0		0
muutos (mol/l)	-1,0		+1,0		$+\frac{1}{2} \cdot 1,0$
<i>c</i> _{tasap.} (mol/l)	3,0		1,0		0,50

$$K_c = \frac{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]}{[\text{SO}_3]^2} = \frac{1,0 \text{ mol/l}^2 \cdot 0,50 \text{ mol/l}}{3,0 \text{ mol/l}^2} = 0,05556 \text{ mol/l} \approx 0,056 \text{ mol/l}.$$

b) Tasapainovakion arvo ei muuttuisi mitenkään, sillä *K*:n arvo on riippumaton paineesta tai tilavuudesta. *K*:n arvo muuttuu vain, kun lämpötila muuttuu.

Vastaus:

a) $K_c = 0,056 \text{ mol/l}$.

b) Tasapainovakion arvo ei muuttuisi mitenkään, sillä *K*:n arvo on riippumaton paineesta tai tilavuudesta. *K*:n arvo muuttuu vain, kun lämpötila muuttuu.

3.6

Ratkaisu:

$$m(\text{H}_2)_{\text{alku}} = 1,376 \text{ g}$$

$$m(\text{Br}_2)_{\text{alku}} = 70,31 \text{ g}$$

$$M(\text{H}_2) = 2,016 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Br}_2) = 159,80 \text{ g/mol}$$

$$V = 1,000 \text{ dm}^3$$

$$m(\text{H}_2)_{\text{tasap.}} = 0,5560 \text{ g}$$

$$K_c = ?$$

Lasketaan vedyn ja bromin alkukonsentraatiot sekä vedyn tasapainokonsentraatio:

$$c(\text{H}_2)_{\text{alku}} = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2) \cdot V} = \frac{1,376 \text{ g}}{2,016 \text{ g/mol} \cdot 1,000 \text{ dm}^3} = 0,682540 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{Br}_2)_{\text{alku}} = \frac{m(\text{Br}_2)}{M(\text{Br}_2) \cdot V} = \frac{70,31 \text{ g}}{159,80 \text{ g/mol} \cdot 1,000 \text{ dm}^3} = 0,439987 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{H}_2)_{\text{tasap.}} = \frac{m(\text{H}_2)}{M(\text{H}_2) \cdot V} = \frac{0,5560 \text{ g}}{2,016 \text{ g/mol} \cdot 1,000 \text{ dm}^3} = 0,275794 \text{ mol/dm}^3$$

Merkitään taulukkoon alkukonsentraatiot, vedyn tasapainokonsentraatio ja konsentraatioiden muutokset (reaktioyhtälön kertoimien suhteella huomioituna) ja lasketaan muiden aineiden tasapainokonsentraatiot.

	H₂(g)	+	Br₂(g)	⇌	2 HBr(g)
<i>c</i> _{alku} (mol/dm ³)	0,682540		0,439987		0
muutos (mol/dm ³)	-0,406746		-0,406746		+2 · 0,406746
<i>c</i> _{tasap.} (mol/dm ³)	0,275794		0,033241		0,813492

$$K_c = \frac{[\text{HBr}]^2}{[\text{H}_2][\text{Br}_2]} = \frac{0,813492 \text{ mol/dm}^3 \cdot 2}{0,275794 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,033241 \text{ mol/dm}^3} = 72,1851 \approx 72,19.$$

Vastaus:

$$K_c = 72,19$$

3.7

Ratkaisu:

$$n(\text{N}_2\text{O}_4)_{\text{alku}} = 24,4 \text{ mmol} = 24,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$V = 0,372 \text{ l}$$

$$t = 25,0 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T = (25 + 273,15) \text{ K} = 298,15 \text{ K}$$

$$p = 0,400 \text{ bar}$$

$$R = 0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$K = ?$$

Dityppitetraoksidin alkukonsentraatio on:

$$c_{\text{alku}}(\text{N}_2\text{O}_4) = \frac{24,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,372 \text{ l}} = 0,065591 \text{ mol/l.}$$

Ratkaistaan typpidioksidin ainemäärä tasapainotilassa ideaalikaasun tilanyhtälöstä:

$$n(\text{NO}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{0,400 \text{ bar} \cdot 0,372 \text{ dm}^3}{0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298,15 \text{ K}} = 0,0060025 \text{ mol.}$$

Typpidioksidin tasapainokonsentraatio on

$$c_{\text{alku}}(\text{NO}_2) = \frac{0,0060025 \text{ mol}}{0,372 \text{ l}} = 0,016136 \text{ mol/l.}$$

Taulukoidaan konsentraatiot ja konsentraatioiden muutokset ja lasketaan tasapainokonsentraatiot:

	$\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$	\rightleftharpoons	$2 \text{NO}_2(\text{g})$
Calku (mol/l)	0,065591		0
muutos (mol/l)	$-\frac{1}{2} \cdot 0,016136$		+0,016136
Ctasap. (mol/l)	0,057523		0,016136

$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{(0,016136 \text{ mol/l})^2}{0,057523 \text{ mol/l}} = 4,5264 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \approx 4,53 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}.$$

Vastaus:

$$K = 4,53 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}.$$

3.8

Ratkaisu:

a)

$$c(\text{COCl}_2) = 5,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}$$

$$c(\text{CO}) = 3,31 \cdot 10^{-6} \text{ mol/l}$$

$$c(\text{Cl}_2) = 3,31 \cdot 10^{-6} \text{ mol/l}$$

$$K_c = 2,19 \cdot 10^{-10} \text{ mol/l}$$

Kirjoitetaan K_c :n lauseke, sijoitetaan siihen annetut konsentraatiot ja ratkaistaan K_c :

$$K_c = \frac{c(\text{CO}) \cdot c(\text{Cl}_2)}{c(\text{COCl}_2)} = \frac{3,31 \cdot 10^{-6} \text{ mol/l} \cdot 3,31 \cdot 10^{-6} \text{ mol/l}}{5,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}} = 2,1912 \cdot 10^{-10} \text{ mol/l} \approx 2,19 \cdot 10^{-10} \text{ mol/l}.$$

Koska laskettu K_c on sama kuin annettu K_c , reaktio on saavuttanut tasapainotilan.

b)

$$c(\text{CO}) = 8,78 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{Br}_2) = 8,78 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{COBr}) = 3,40 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_c = 79,0 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{dm}^3$$

Kirjoitetaan K_c :n lauseke, sijoitetaan siihen annetut konsentraatiot ja ratkaistaan K_c :

$$K_c = \frac{c(\text{COBr})^2}{c(\text{CO})^2 \cdot c(\text{Br}_2)} = \frac{(3,40 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3)^2}{(8,78 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3)^2 \cdot (8,78 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3)}$$
$$= 17,079 (\text{mol/dm}^3)^{-1} \approx 17,1 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{dm}^3.$$

Koska laskettu K_c on pienempi kuin annettu K_c , reaktio ei ole saavuttanut tasapainotilaa.

Reaktion on edettävä reaktiotuotteiden suuntaan.

c)

$$c(\text{H}_2\text{S}) = 4,84 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{H}_2) = 1,50 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{S}_2) = 2,33 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_c = 2,33 \text{ mmol/dm}^3$$

Kirjoitetaan K_c :n lauseke, sijoitetaan siihen annetut konsentraatiot ja ratkaistaan K_c .

$$K_c = \frac{c(\text{H}_2)^2 \cdot c(\text{S}_2)}{c(\text{H}_2\text{S})^2} = \frac{(1,50 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3)^2 \cdot (2,33 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3)}{(4,84 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3)^2} = 2,2379 \cdot 10^{-4} \text{ mol} / \text{dm}^3$$
$$\approx 2,24 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$
$$= 0,224 \text{ mmol/dm}^3.$$

Koska laskettu K_c on pienempi kuin annettu K_c , reaktio ei ole saavuttanut tasapainotilaa.

Reaktion on edettävä reaktiotuotteiden suuntaan.

Vastaus:

a) Reaktio on saavuttanut tasapainotilan.

b) Reaktion on edettävä reaktiotuotteiden suuntaan.

c) Reaktion on edettävä reaktiotuotteiden suuntaan.

3.9

Ratkaisu:

a)

$$n(\text{H}_2) = 2,00 \text{ mol}$$

$$n(\text{N}_2) = 1,00 \text{ mol}$$

$$n(\text{NH}_3) = 2,00 \text{ mol}$$

$$V = 1,00 \text{ dm}^3$$

$$K_c = 0,104 \text{ (mol/l)}^{-2}$$

Reaktioyhtälö on: $3 \text{ H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{ NH}_3(\text{g})$.

Lasketaan eri aineiden konsentraatiot:

$$c(\text{H}_2) = \frac{2,00 \text{ mol}}{1,00 \text{ dm}^3} = 2,0000 \text{ mol/dm}^3.$$

$$c(\text{N}_2) = \frac{1,00 \text{ mol}}{1,00 \text{ dm}^3} = 1,0000 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{NH}_3) = \frac{2,00 \text{ mol}}{1,00 \text{ dm}^3} = 2,0000 \text{ mol/dm}^3.$$

Lasketaan K_c :n arvo näillä konsentraatioilla:

$$K_c = \frac{c(\text{NH}_3)^2}{c(\text{H}_2)^3 \cdot c(\text{N}_2)} = \frac{(2,0000 \text{ mol/dm}^3)^2}{(2,0000 \text{ mol/dm}^3)^3 \cdot 1,0000 \text{ mol/dm}^3}$$

$$= 0,50000 \text{ (mol/dm}^3)^{-2} \approx 0,500 \text{ (mol/dm}^3)^{-2}.$$

Koska $0,500 > 0,104$ reaktion tulee edetä lähtöaineiden suuntaan, jotta tasapainotila muodostuu.

b) Palautuvan reaktion nopeus on suurempi, sillä ammoniakkin konsentraation tulee pienentyä, jotta tasapainotila muodostuisi.

Vastaus:

a) Reaktion on edettävä lähtöaineiden suuntaan.

b) Palautuvan reaktion nopeus on suurempi, sillä ammoniakkin konsentraation tulee pienentyä, jotta tasapainotila muodostuisi.

3.10**Ratkaisu:**

Koska kaikkien aineiden ainemäärä on sama ja tilavuus on vakio, eri aineiden konsentraatiot

ovat: $c = \frac{n}{V}$.

Lasketaan tasapainovakio sijoittamalla K_c :n lausekkeeseen nämä konsentraatiot:

$$K_c = \frac{c(\text{etyyliasettaatti}) \cdot c(\text{vesi})}{c(\text{etanoli}) \cdot c(\text{etikkahappo})} = \frac{\left(\frac{n}{V}\right) \cdot \left(\frac{n}{V}\right)}{\left(\frac{n}{V}\right) \cdot \left(\frac{n}{V}\right)} = 1,0.$$

Koska $1,0 < 4,0$, tulee reaktion edetä reaktiotuotteiden suuntaan. Etyyliasettaatin ja veden konsentraatiot kasvavat. Etanolin ja etikkahapon konsentraatiot pienenevät.

Vastaus:

Reaktio etenee reaktiotuotteiden suuntaan. Etyyliasettaatin ja veden konsentraatiot kasvavat. Etanolin ja etikkahapon konsentraatiot pienenevät.

3.11

Ratkaisu:

a)

$$p_i(\text{HI}) = 40,5 \text{ kPa}$$

$$p_i(\text{H}_2) = 25,3 \text{ kPa}$$

$$p_i(\text{I}_2) = 16,2 \text{ kPa}$$

$$K_p = ?$$

$$K_p = \frac{(p_i(\text{HI}))^2}{(p_i(\text{H}_2) \cdot p_i(\text{I}_2))} = \frac{(40,5 \text{ kPa})^2}{(25,3 \text{ kPa}) \cdot (16,2 \text{ kPa})} = 4,0020 \approx 4,00.$$

b)

$$p_i(\text{SO}_2) = 2,3 \text{ bar}$$

$$p_i(\text{O}_2) = 4,5 \text{ bar}$$

$$p_i(\text{SO}_3) = 2,3 \text{ bar}$$

$$K_p = ?$$

$$K_p = \frac{(p_i(\text{SO}_3))^2}{(p_i(\text{SO}_2))^2 \cdot p_i(\text{O}_2)} = \frac{(2,3 \text{ bar})^2}{(2,3 \text{ bar})^2 \cdot (4,5 \text{ bar})} = 0,2222 \text{ bar}^{-1} \approx 0,22 \text{ bar}^{-1}.$$

c) K_p pysyy muuttumattomana. Kaasujen osapaineet muuttuvat, mutta uudessa tasapainotilassa niiden avulla laskettu tasapainovakion arvo pysyy vakiona. Vain lämpötila vaikuttaa tasapainovakion arvoon.

Vastaus:

a) $K_p = 4,00$.

b) $K_p = 0,22 \text{ bar}^{-1}$.

c) K_p pysyy muuttumattomana, sillä vain lämpötila vaikuttaa tasapainovakion arvoon.

3.12

Ratkaisu:

$$n(\text{PCl}_5) = 0,33 \text{ mol}$$

$$n(\text{PCl}_3) = 0,67 \text{ mol}$$

$$n(\text{Cl}_2) = 0,67 \text{ mol}$$

$$p = 10,0 \text{ bar}$$

$$K_p = ?$$

Lasketaan kunkin kaasun mooliosuus ja sen avulla kunkin kaasun osapaine.

$$\text{Kaasujen kokonaisainemäärä } n_{\text{kok}} = (0,33 + 0,67 + 0,67) \text{ mol} = 1,67 \text{ mol}.$$

Kaasun mooliosuus (y) saadaan jakamalla kaasun ainemäärä kaasujen kokonaisainemäärällä.

$$y(\text{PCl}_5) = \frac{0,33 \text{ mol}}{1,67 \text{ mol}} = 0,1976$$

$$y(\text{PCl}_3) = \frac{0,67 \text{ mol}}{1,67 \text{ mol}} = 0,4012$$

$$y(\text{Cl}_2) = \frac{0,67 \text{ mol}}{1,67 \text{ mol}} = 0,4012.$$

Kaasun osapaine saadaan kertomalla kokonaispaine kaasun mooliosuudella:

$$p_i(\text{PCl}_5) = 0,1976 \cdot 10,0 \text{ bar} = 1,976 \text{ bar}$$

$$p_i(\text{PCl}_3) = 0,4012 \cdot 10,0 \text{ bar} = 4,012 \text{ bar}$$

$$p_i(\text{Cl}_2) = 0,4012 \cdot 10,0 \text{ bar} = 4,012 \text{ bar}.$$

$$K_p = \frac{p_i(\text{PCl}_3) \cdot p_i(\text{Cl}_2)}{p_i(\text{PCl}_5)} = \frac{(4,012 \text{ bar})^2}{1,976 \text{ bar}} = 8,146 \text{ bar} \approx 8,1 \text{ bar}.$$

Vastaus:

$$K_p = 8,1 \text{ bar}.$$

3.13

Ratkaisu:

$$p_i = 40 \text{ kPa} = 40\,000 \text{ Pa}$$

$$T = (273,15 + 60) \text{ K} = 333,15 \text{ K}$$

$$R = 8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$c_i(X) = ?$$

Konsentraatio saadaan ratkaistua suureyhtälöstä $p_i = c_i RT$:

$$c_i = \frac{p_i}{RT} = \frac{40\,000 \text{ Pa}}{8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 333,15 \text{ K}} = 14,44 \text{ mol/m}^3 = 0,01444 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,014 \text{ mol/dm}^3.$$

Vastaus:

$$c_i(X) = 0,014 \text{ mol/dm}^3.$$

3.14

Ratkaisu:

a) Kirjoitetaan kummankin tasapainovakion lauseke:

$$K_p = \frac{p_i(\text{HI})^2}{p_i(\text{H}_2) \cdot p_i(\text{I}_2)}$$

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2] \cdot [\text{I}_2]}.$$

Hyödyntämällä ideaalikaasun tilanyhtälöä $pV = nRT$ tasapainotilaan saadaan:

$$p_i = [\text{kaasu}] \cdot R \cdot T.$$

Sijoittamalla tämä K_p :n lausekkeeseen, saadaan:

$$K_p = \frac{[\text{HI}]^2 (RT)^2}{[\text{H}_2] RT \cdot [\text{I}_2] RT}.$$

Tekijä (RT) supistuu pois sekä osoittajasta että nimittäjästä, jolloin saadaan:

$$K_p = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} \Rightarrow K_p = K_c.$$

b) Kirjoitetaan kummankin tasapainovakion lauseke:

$$K_p = \frac{p_i(\text{NO}_2)^2}{p_i(\text{N}_2\text{O}_4)}$$

$$K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}.$$

Hyödyntämällä tasapainotilaan suureyhtälöä $p_i = [\text{kaasu}] \cdot R \cdot T$ ja sijoittamalla tämä K_p :n lausekkeeseen, saadaan:

$$K_p = \frac{[\text{NO}_2]^2 (RT)^2}{[\text{N}_2\text{O}_4] RT}.$$

Tekijä (RT) supistuu pois osoittajasta ja nimittäjästä, jolloin saadaan:

$$K_p = \frac{[\text{NO}_2]^2 RT}{[\text{N}_2\text{O}_4]} \Rightarrow K_p = K_c \cdot RT.$$

c) Kirjoitetaan kummankin tasapainovakion lauseke:

$$K_p = \frac{p_i(\text{CH}_4) \cdot p_i(\text{H}_2\text{O})}{p_i(\text{CO}) \cdot p_i(\text{O}_2)^3}$$

$$K_c = \frac{[\text{CH}_4] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}] \cdot [\text{O}_2]^3}.$$

Hyödyntämällä tasapainotilaan suureyhtälöä $p_i = [\text{kaasu}] \cdot R \cdot T$ ja sijoittamalla tämä K_p :n lausekkeeseen, saadaan:

$$K_p = \frac{[\text{CH}_4] RT \cdot [\text{H}_2\text{O}] RT}{[\text{CO}] RT \cdot [\text{O}_2]^3 \cdot (RT)^3}.$$

Kun osoittajasta ja nimittäjästä supistetaan pois $(RT)^2$, saadaan

$$K_p = \frac{[\text{CH}_4][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}][\text{O}_2]^3 \cdot RT^2} \Rightarrow K_p = K_c \cdot (RT)^{-2}.$$

Vastaus:

a) $K_p = K_c$

b) $K_p = K_c \cdot RT$

c) $K_p = K_c \cdot (RT)^{-2}$.

3.15

Ratkaisu:

a)

$$K_p = \frac{p_i(\text{PCl}_3) \cdot p_i(\text{Cl}_2)}{p_i(\text{PCl}_5)}$$

$$K_c = \frac{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]}.$$

Hyödyntämällä tasapainotilaan ideaalikaasun tilanyhtälöä, saadaan lauseke $p_i = [\text{kaasu}] \cdot R \cdot T$. Sijoittamalla tämä K_p :n lausekkeeseen, saadaan:

$$K_p = \frac{[\text{PCl}_3] \cdot (RT) \cdot [\text{Cl}_2] \cdot (RT)}{[\text{PCl}_5] \cdot (RT)} \Rightarrow K_p = \frac{[\text{PCl}_3] \cdot [\text{Cl}_2] \cdot (RT)}{[\text{PCl}_5]}$$

$$\Rightarrow K_p = K_c \cdot RT.$$

$$K_p = 0,811 \text{ bar}$$

$$R = 0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$T = 523 \text{ K}$$

$$K_c = ?$$

$$K_p = K_c \cdot RT$$

$$\Rightarrow K_c = \frac{K_p}{RT}$$

$$K_c = \frac{0,811 \text{ bar}}{0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 523 \text{ K}} = 0,018650 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,0187 \text{ mol/dm}^3.$$

b)

$$K_p = \frac{p(\text{NH}_3)^2}{p(\text{N}_2) \cdot p(\text{H}_2)^3}$$

$$K_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2] \cdot [\text{H}_2]^3}$$

Hyödyntämällä tasapainotilaan ideaalikaasun tilanyhtälöä saadaan $p_i = [\text{kaasu}] \cdot R \cdot T$.
Sijoittamalla tämä K_p :n lausekkeeseen, saadaan:

$$K_p = \frac{[\text{NH}_3]^2 (RT)^2}{[\text{N}_2] \cdot (RT) \cdot [\text{H}_2]^3 (RT)^3} \Rightarrow K_p = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3 (RT)^2}$$

$$\Rightarrow K_p = K_c \cdot (RT)^{-2}$$

$$K_c = 2,0 (\text{mol/dm}^3)^{-2}$$

$$R = 0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$T = (273,15 + 347) \text{ K} = 620,15 \text{ K}$$

$$K_p = K_c \cdot (RT)^{-2}$$

$$\Rightarrow K_p = 2,0 (\text{mol/dm}^3)^{-2} \cdot (0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 620,15 \text{ K})^{-2}$$

$$= 7,523 \cdot 10^{-4} \text{ bar}^{-2} \approx 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ bar}^{-2}.$$

Vastaus:

a) $K_p = K_c \cdot RT$, $K_c = 0,0187 \text{ mol/dm}^3$

b) $K_p = K_c \cdot (RT)^{-2}$, $K_p = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ bar}^{-2}$

3.16**Ratkaisu:**

a)

$$t = 107 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T = (107 + 273,15) \text{ K} = 380,15 \text{ K}$$

$$V(\text{astia}) = 1,04 \text{ dm}^3 = 1,04 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$p = 1,59 \text{ MPa} = 1,59 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$n(\text{CO})_{\text{tasap.}} = 0,122 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2)_{\text{tasap.}} = 0,298 \text{ mol}$$

$$R = 8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$n(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{tasap.}} = ?$$

Ideaalikaasun tilanyhtälöstä $pV = nRT$ saadaan ratkaistua kaasujen kokonaisainemäärä tasapainotilassa, kun lämpötila, paine ja tilavuus tiedetään:

$$n(\text{kaasut})_{\text{tasap.}} = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1,59 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 1,04 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}{8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 380,15 \text{ K}} = 0,52317 \text{ mol}$$

$$n(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{tasap.}} = n(\text{kaasut})_{\text{tasap.}} - n(\text{CO})_{\text{tasap.}} - n(\text{H}_2)_{\text{tasap.}}$$

$$= (0,52317 - 0,122 - 0,298) \text{ mol} = 0,10317 \text{ mol} \approx 0,103 \text{ mol}$$

b)

$$n(\text{CO})_{\text{tasap.}} = 0,122 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2)_{\text{tasap.}} = 0,298 \text{ mol}$$

$$n(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{tasap.}} = 0,103 \text{ mol}$$

$$V = 1,04 \text{ dm}^3$$

$$K_c = ?$$

Lasketaan tasapainokonsentraatiot:

$$[\text{CO}] = \frac{0,122 \text{ mol}}{1,04 \text{ dm}^3} = 0,11731 \text{ mol/dm}^3$$

$$[\text{H}_2] = \frac{0,298 \text{ mol}}{1,04 \text{ dm}^3} = 0,28654 \text{ mol/dm}^3$$

$$[\text{CH}_3\text{OH}] = \frac{0,103 \text{ mol}}{1,04 \text{ dm}^3} = 0,099038 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{OH}]}{[\text{CO}] \cdot [\text{H}_2]^2} = \frac{0,099038 \text{ mol/dm}^3}{(0,11731 \text{ mol/dm}^3) \cdot (0,28654 \text{ mol/dm}^3)^2}$$

$$= 10,282 (\text{mol/dm}^3)^{-2} \approx 10,3 (\text{mol/dm}^3)^{-2}.$$

c)

$$c_{\text{alku}}(\text{CO}) = 0,216 \text{ mol/dm}^3$$

$$[\text{CO}] = 0,117 \text{ mol/dm}^3 \text{ (kohdasta b / 3 merkitsevää numeroa)}$$

$$[\text{H}_2] = 0,287 \text{ mol/dm}^3 \text{ (kohdasta b / 3 merkitsevää numeroa)}$$

$$[\text{CH}_3\text{OH}] = 0,0990 \text{ mol/dm}^3 \text{ (kohdasta b / 3 merkitsevää numeroa)}$$

$$c_{\text{alku}}(\text{H}_2) = ?$$

Taulukoidaan alku- ja tasapainokonsentraatiot. Merkitään kysyttyä vedyn alkukonsentraatiota x :llä. Merkitään taulukkoon konsentraatioiden muutokset tasapainotetun reaktioyhtälön kertoimien suhteessa.

	CO(g)	+	2 H₂(g)	⇌	CH₃OH(g)
c_{alku} (mol/dm ³)	0,216		x		0
muutos (mol/dm ³)	-0,0990		$-2 \cdot 0,0990$		+ 0,0990
$c_{\text{tasap.}}$ (mol/dm ³)	0,117		0,287		0,0990

Vedyn sarakkeesta saadaan lauseke $x - 2 \cdot 0,0990 = 0,287$. Tästä ratkaistuna $x = 0,485$.

Vedyn alkukonsentraatio oli 0,485 mol/dm³.

d)

$$c_{\text{alku}}(\text{CO}) = 0,216 \text{ mol/l}$$

$$c_{\text{alku}}(\text{H}_2) = 0,485 \text{ mol/l}$$

$$[\text{CH}_3\text{OH}] = 0,0990 \text{ mol/dm}^3 \text{ (kohdasta b / 3 merkitsevää numeroa)}$$

$$\text{saanto-\%}(\text{CH}_3\text{OH}) = ?$$

Jos reaktio etenisi täydellisesti, reaktiotuotteiden puolelle muodostuvan metanolin teoreettinen saanto olisi reaktioyhtälön $\text{CO}(\text{g}) + 2 \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ perusteella yhtä suuri kuin hiilimonoksidin alkukonsentraatio, sillä hiilimonoksidi on reaktion rajoittava tekijä.

$$\Rightarrow c(\text{CH}_3\text{OH}) = 0,216 \text{ mol/l.}$$

$$\text{saanto-\%}(\text{CH}_3\text{OH}) = \frac{0,0990 \text{ mol/l}}{0,216 \text{ mol/l}} \cdot 100 \% = 45,833 \% \approx 45,8 \%$$

e)

$$[\text{CO}] = 0,117 \text{ mol/dm}^3 \text{ (kohdasta b / 3 merkitsevää numeroa)}$$

$$[\text{H}_2] = 0,287 \text{ mol/dm}^3 \text{ (kohdasta b / 3 merkitsevää numeroa)}$$

$$[\text{CH}_3\text{OH}] = 0,0990 \text{ mol/dm}^3 \text{ (kohdasta b / 3 merkitsevää numeroa)}$$

$$K_p = ?$$

$$\text{Kirjoitetaan } K_p\text{:n lauseke: } K_p = \frac{p_i(\text{CH}_3\text{OH})}{p_i(\text{CO}) \cdot p_i(\text{H}_2)^2}.$$

$$\text{Ideaalikaasun tilanyhtälöstä saadaan } p_i = [\text{kaasu}] \cdot RT.$$

Sijoittamalla tämä lauseke K_p :n lausekkeeseen kunkin kaasun osapaineen kohdalle, saadaan:

$$K_p = \frac{[\text{CH}_3\text{OH}]RT}{[\text{CO}]RT \cdot [\text{H}_2]^2 (RT)^2} \Rightarrow K_p = \frac{[\text{CH}_3\text{OH}]}{[\text{CO}] \cdot [\text{H}_2]^2 (RT)^2}.$$

$$\Rightarrow T = 380,15 \text{ K}$$

$$R = 0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$K_p = \frac{[\text{CH}_3\text{OH}]}{[\text{CO}] \cdot [\text{H}_2]^2 \cdot (RT)^2}$$

$$= \frac{(0,0990 \text{ mol/dm}^3)}{(0,117 \text{ mol/dm}^3) \cdot (0,287 \text{ mol/dm}^3)^2 \cdot (0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}})^2 \cdot (380,15 \text{ K})^2}$$

$$= 0,010283 \text{ bar}^{-2} \approx 0,0103 \text{ bar}^{-2}.$$

Vastaus:

a) $n_{\text{tasap.}}(\text{CH}_3\text{OH}) = 0,103 \text{ mol}$

b) $K_c = 10,3 (\text{mol/dm}^3)^{-2}$

c) $c(\text{H}_2) = 0,485 \text{ mol/l}$

d) saanto-%(CH_3OH) = 45,8 %

e) $K_p = 0,0103 \text{ bar}^{-2}$

3.2 Tasapainoseoksen koostumuksen ratkaiseminen

3.17

Ratkaisu:

$$N(\text{H}_2\text{O})_{\text{alku}} = 8$$

$$N(\text{CO})_{\text{alku}} = 6$$

$$N(\text{H}_2)_{\text{alku}} = 0$$

$$N(\text{CO}_2)_{\text{alku}} = 0$$

$$K = 2,0$$

$$N(\text{H}_2\text{O})_{\text{tasap.}} = ?$$

$$N(\text{CO})_{\text{tasap.}} = ?$$

$$N(\text{H}_2)_{\text{tasap.}} = ?$$

$$N(\text{CO}_2)_{\text{tasap.}} = ?$$

	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	+	$\text{CO}(\text{g})$	\rightleftharpoons	$\text{H}_2(\text{g})$	+	$\text{CO}_2(\text{g})$
alkutilanne (kpl/V)	$8/V$		$6/V$		$0/V$		$0/V$
muutos (kpl/V)	$-x$		$-x$		$+x$		$+x$
tasapainotila (kpl/V)	$\frac{8-x}{V}$		$\frac{6-x}{V}$		$\frac{x}{V}$		$\frac{x}{V}$

$$K_c = \frac{[\text{H}_2][\text{CO}_2]}{[\text{H}_2\text{O}][\text{CO}]} \Rightarrow 2,0 = \frac{\left(\frac{x}{V}\right) \cdot \left(\frac{x}{V}\right)}{\left(\frac{8-x}{V}\right) \cdot \left(\frac{6-x}{V}\right)}$$

Ratkaisuiksi saadaan:

$$x_1 = 24$$

$$x_2 = 4,$$

joista vain jälkimmäinen on järkevä, sillä lähtöainemolekyylejä on enimmillään 8 kappaletta.

Lasketaan molekyylien kappalemäärät tasapainotilassa:

$$N(\text{H}_2\text{O})_{\text{tasap.}} = 8 - 4 = 4$$

$$N(\text{CO})_{\text{tasap.}} = 6 - 4 = 2$$

$$N(\text{H}_2)_{\text{tasap.}} = 0 + 4 = 4$$

$$N(\text{CO}_2)_{\text{tasap.}} = 0 + 4 = 4.$$

Vastaus:

$$N(\text{H}_2\text{O}) = 4$$

$$N(\text{CO}) = 2$$

$$N(\text{H}_2) = 4$$

$$N(\text{CO}_2) = 4$$

3.18

Ratkaisu:

$$c_{\text{alku}}[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+} = 2,00 \text{ mol/l}$$

$$K_c = 9,10 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$$

$$[[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}] = ?$$

$$[\text{Fe}^{3+}] = ?$$

$$[\text{SCN}^-] = ?$$

	$[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}(\text{aq})$	\rightleftharpoons	$\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$	+	$\text{SCN}^-(\text{aq})$
$c_{\text{alku}} \text{ (mol/l)}$	2,00		0		0
muutos (mol/l)	-x		+x		+x
$c_{\text{tasap.}} \text{ (mol/l)}$	2,00 - x		x		x

$$K = \frac{[\text{Fe}^{3+}][\text{SCN}^-]}{[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}} \Rightarrow 9,10 \cdot 10^{-4} = \frac{x^2}{2,00 - x}$$

Yhtälön ratkaisuna

$$x_1 = -0,043119$$

$$x_2 = 0,042209,$$

joista vain positiivinen luku kelpaa, sillä lähtöaineen konsentraation tulee vähentyä ja reaktiotuotteiden konsentraatioiden kasvaa.

$$\Rightarrow x = 0,042209 \text{ mol/l.}$$

Lasketaan kysytyt tasapainokonsentraatiot:

$$[\text{Fe}^{3+}] = [\text{SCN}^-] = 0,042209 \text{ mol/l} \approx 0,0422 \text{ mol/l}$$

$$[[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}] = (2,00 - 0,042209) \text{ mol/l} = 1,9578 \text{ mol/l} \approx 1,96 \text{ mol/l.}$$

Vastaus:

$$[[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}] = 1,96 \text{ mol/l}$$

$$[\text{Fe}^{3+}] = 0,0422 \text{ mol/l}$$

$$[\text{SCN}^-] = 0,0422 \text{ mol/l}$$

3.19

Ratkaisu:

a)

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 1,0 \text{ g}$$

$$m(\text{Cl}_2\text{O}) = 2,0 \text{ g}$$

$$V = 1,0 \text{ l}$$

$$K = 0,090$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18,016 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Cl}_2\text{O}) = 89,90 \text{ g/mol}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = ?$$

$$[\text{Cl}_2\text{O}] = ?$$

$$[\text{HOCl}] = ?$$

Veden ja dikloorioksidin alkukonsentraatiot ovat:

$$c(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O}) \cdot V} = \frac{1,0 \text{ g}}{18,016 \text{ g/mol} \cdot 1,0 \text{ l}} = 0,05551 \text{ mol/l}$$

$$c(\text{Cl}_2\text{O}) = \frac{m(\text{Cl}_2\text{O})}{M(\text{Cl}_2\text{O})} = \frac{2,0 \text{ g}}{86,90 \text{ g/mol} \cdot 1,0 \text{ l}} = 0,02301 \text{ mol/l}.$$

	H₂O(g)	+	Cl₂O(g)	⇌	2 HOCl(g)
<i>c</i> _{alku} (mol/l)	0,05551		0,02301		0
muutos (mol/l)	-x		-x		+2x
<i>c</i> _{tasap.} (mol/l)	0,05551 - x		0,02301 - x		2x

$$K = \frac{[\text{HOCl}]^2}{[\text{H}_2\text{O}][\text{Cl}_2\text{O}]} \Rightarrow 0,090 = \frac{(2x)^2}{(0,05551 - x)(0,02301 - x)}.$$

Ratkaisuiksi saadaan:

$$x_1 = -0,006399$$

$$x_2 = 0,004592.$$

Näistä vain positiivinen juuri kelpaa, sillä lähtöaineiden konsentraatioiden tulee pienentyä ja reaktiotuotteen konsentraation kasvaa.

$$\Rightarrow x = 0,004592 \text{ mol/l}.$$

Kaasujen tasapainokonsentraatiot ovat:

$$[\text{H}_2\text{O}] = (0,05551 - 0,004592) \text{ mol/l} = 0,05092 \text{ mol/l} \approx 0,051 \text{ mol/l}$$

$$[\text{Cl}_2\text{O}] = (0,02301 - 0,004592) \text{ mol/l} = 0,01842 \text{ mol/l} \approx 0,018 \text{ mol/l}$$

$$[\text{HOCl}] = 2 \cdot 0,004592 \text{ mol/l} = 0,009184 \text{ mol/l} \approx 0,0092 \text{ mol/l}$$

b)

$$m(\text{HOCl}) = 100 \text{ g}$$

$$V = 2,0 \text{ l}$$

$$K = 0,090$$

$$M(\text{HOCl}) = 52,458 \text{ g/mol}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = ?$$

$$[\text{Cl}_2\text{O}] = ?$$

$$[\text{HOCl}] = ?$$

Lasketaan HOCl:n alkukonsentraatio:

$$c(\text{HOCl}) = \frac{100 \text{ g}}{52,458 \text{ g/mol} \cdot 2,0 \text{ l}} = 0,9531 \text{ mol/l.}$$

Koska reaktiossa on alkutilanteessa vain reaktiotuotetta, sen konsentraatio pienenee ja lähtöaineiden konsentraatiot kasvavat. Merkitään konsentraatioiden muutokset reaktioyhtälön kertoimien suhteessa:

	H₂O(g)	+	Cl₂O(g)	⇌	2 HOCl(g)
<i>c</i> _{alku} (mol/l)	0		0		0,9531
muutos (mol/l)	$+\frac{1}{2}x$		$+\frac{1}{2}x$		$-x$
<i>c</i> _{tasap.} (mol/l)	0,50 <i>x</i>		0,50 <i>x</i>		0,9531 - <i>x</i>

$$K = \frac{[\text{HOCl}]^2}{[\text{H}_2\text{O}][\text{Cl}_2\text{O}]} \Rightarrow 0,090 = \frac{(0,9531 - x)^2}{(0,50x)(0,50x)}$$

Ratkaisuiksi saadaan:

$$x_1 = 1,121$$

$$x_2 = 0,8288.$$

Näistä vain lukuarvo 0,8288 kelpaa, sillä HOCl:n alkukonsentraatio on 0,9531 mol/l

$$\Rightarrow x = 0,8288 \text{ mol/l.}$$

Kaasujen tasapainokonsentraatiot ovat:

$$[\text{H}_2\text{O}] = [\text{Cl}_2\text{O}] = \frac{1}{2} \cdot 0,8288 \text{ mol/l} = 0,4144 \text{ mol/l} \approx 0,41 \text{ mol/l}$$

$$[\text{HOCl}] = 0,9531 \text{ mol/l} - 0,8288 \text{ mol/l} = 0,1243 \text{ mol/l} \approx 0,12 \text{ mol/l}.$$

Vastaus:

a)

$$[\text{H}_2\text{O}] = 0,051 \text{ mol/l}$$

$$[\text{Cl}_2\text{O}] = 0,018 \text{ mol/l}$$

$$[\text{HOCl}] = 0,0092 \text{ mol/l}$$

b)

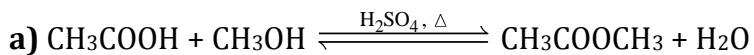
$$[\text{H}_2\text{O}] = 0,41 \text{ mol/l}$$

$$[\text{Cl}_2\text{O}] = 0,41 \text{ mol/l}$$

$$[\text{HOCl}] = 0,12 \text{ mol/l}.$$

3.20

Ratkaisu:



b)

$$n(\text{CH}_3\text{COOH})_{\text{alku}} = 1,0 \text{ mol}$$

$$n(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{alku}} = 1,0 \text{ mol}$$

$$K_c = 4,0$$

Koska reaktioseoksen tilavuutta ei tiedetä, merkitään sitä V :llä. Hapon ja alkoholinalkukonsentraatio ovat:

$$c_{\text{alku}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{1,0 \text{ mol}}{V}$$

$$c_{\text{alku}}(\text{CH}_3\text{OH}) = \frac{1,0 \text{ mol}}{V}$$

	CH_3COOH	+	CH_3OH	\rightleftharpoons	$\text{CH}_3\text{COOCH}_3$	+	H_2O
Alku	$\frac{1,0 \text{ mol}}{V}$		$\frac{1,0 \text{ mol}}{V}$		0		0
muutos	-x		-x		+x		+x
Tasap.	$\frac{1,0 \text{ mol}}{V} - x$		$\frac{1,0 \text{ mol}}{V} - x$		$\frac{x \text{ mol}}{V}$		$\frac{x \text{ mol}}{V}$

$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COOCH}_3][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{CH}_3\text{OH}]} \Rightarrow 4,0 = \frac{\frac{x}{V} \cdot \frac{x}{V}}{\left(\frac{1,0}{V} - x\right) \cdot \left(\frac{1,0}{V} - x\right)}$$

Lausekkeesta supistuu tilavuus V pois, jolloin saadaan:

$$4,0 = \frac{x^2}{(1,0 - x) \cdot (1,0 - x)}$$

Ratkaisuina

$$x_1 = 2,0$$

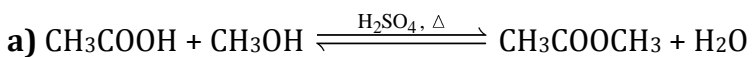
$$x_2 = 0,6667.$$

Näistä vain luku 0,6667 on järkevä, sillä lähtöaineita oli 1,0 mooli $\Rightarrow x = 0,67 \text{ mol}$.

c) Se parantaa esterin saantoa, sillä veden poistuminen siirtää tasapainotilaa reaktiotuotteiden suuntaan.

d) Metyylietanaatti (metyyliasettaatti).

Vastaus:



b) $n(\text{esteri}) = 0,67 \text{ mol}$

c) Se parantaa esterin saantoa, sillä veden poistuminen siirtää tasapainotilaa reaktiotuotteiden suuntaan.

d) Metyylietanaatti (metyyliasettaatti)

3.21

Ratkaisu:

a)

$$n_{\text{alku}}(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 0,50 \text{ mol}$$

$$n_{\text{alku}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,60 \text{ mol}$$

$$n_{\text{alku}}(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3) = 0,60 \text{ mol}$$

$$n_{\text{alku}}(\text{H}_2\text{O}) = 0,40 \text{ mol}$$

$$n_{\text{tasap}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,40 \text{ mol}$$

$$V = 130 \text{ ml} = 0,130 \text{ dm}^3$$

$$K_c = ?$$

Eri aineiden alkukonsentraatiot ovat:

$$c(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = \frac{0,50 \text{ mol}}{0,130 \text{ dm}^3} = 3,846 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{0,60 \text{ mol}}{0,130 \text{ dm}^3} = 4,615 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3) = \frac{0,60 \text{ mol}}{0,130 \text{ dm}^3} = 4,615 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,40 \text{ mol}}{0,130 \text{ dm}^3} = 3,077 \text{ mol/dm}^3.$$

Etaanihapon tasapainokonsentraatio on:

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = \frac{0,40 \text{ mol}}{0,130 \text{ dm}^3} = 3,077 \text{ mol/dm}^3.$$

	CH₃COOH	+	CH₃CH₂OH	⇌	CH₃COOCH₂CH₃	+	H₂O
<i>c</i> _{alku} (mol/dm ³)	4,615		3,846		4,615		3,077
muutos (mol/dm ³)	-1,538		-1,538		+1,538		+1,538
<i>c</i> _{tasap.} (mol/dm ³)	3,077		2,308		6,153		4,615

$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}] \cdot [\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}]} = \frac{6,153 \text{ mol/dm}^3 \cdot 4,615 \text{ mol/dm}^3}{3,077 \text{ mol/dm}^3 \cdot 2,308 \text{ mol/dm}^3} = 3,998 \approx 4,0.$$

b)

$$n_{\text{alku}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,0 \text{ mol}$$

$$n_{\text{alku}}(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 1,0 \text{ mol}$$

$$n_{\text{alku}}(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3) = 3,0 \text{ mol}$$

$$n_{\text{alku}}(\text{H}_2\text{O}) = 3,0 \text{ mol}$$

$$K_c = 4,0$$

$$n_{\text{tasap.}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = ?$$

$$n_{\text{tasap.}}(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = ?$$

$$n_{\text{tasap.}}(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3) = ?$$

$$n_{\text{tasap.}}(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

Koska reaktioseoksen tilavuutta ei tiedetä, merkitään sitä V :llä. Lasketaan tasapainovakion arvo annetuilla ainemäärillä tilavuudessa V :

$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}] \cdot [\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}]} = \frac{3,0/V \cdot 3,0/V}{1,0/V \cdot 1,0/V} = 9,0.$$

Koska laskettu tasapainovakio on suurempi kuin kohdassa a) ratkaistu tasapainovakio ($9,0 > 4,0$), reaktion tulee edetä lähtöaineiden suuntaan. Näin ollen etaanihapon ja etanolin ainemäärien tulee kasvaa ja etyyliasetaatin ja veden ainemäärien pienentyä.

	CH₃COOH	+	CH₃CH₂OH	⇌	CH₃COOCH₂CH₃	+	H₂O
n_{alku} (mol/l)	1,0		1,0		3,0		3,0
muutos (mol/l)	+x		+x		-x		-x
$n_{\text{tasap.}}$ (mol/l)	1,0 + x		1,0 + x		3,0 - x		3,0 - x

Lasketaan x lausekkeesta

$$4,0 = \frac{(3,0 - x) \cdot (3,0 - x)}{(1,0 + x) \cdot (1,0 + x)}.$$

Ratkaisuiksi saadaan:

$$x_1 = -5,000$$

$$x_2 = 0,3333.$$

Vain positiivinen luku kelpaa, sillä lähtöaineiden ainemäärien tulee kasvaa ja reaktiotuotteiden ainemäärien pienentyä.

$$\Rightarrow x = 0,3333 \text{ mol.}$$

Ainemäärät tasapainotilassa ovat:

$$n_{\text{tasap.}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = (1,0 + 0,3333) \text{ mol} = 1,333 \text{ mol} \approx 1,3 \text{ mol}$$

$$n_{\text{tasap.}}(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = (1,0 + 0,3333) \text{ mol} = 1,333 \text{ mol} \approx 1,3 \text{ mol}$$

$$n_{\text{tasap.}}(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3) = (3,0 - 0,3333) \text{ mol} = 2,667 \text{ mol} \approx 2,7 \text{ mol}$$

$$n_{\text{tasap.}}(\text{H}_2\text{O}) = (3,0 - 0,3333) \text{ mol} = 2,667 \text{ mol} \approx 2,7 \text{ mol.}$$

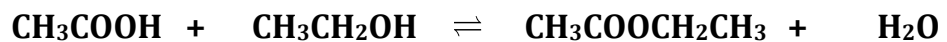
c)

$$n_{\text{alku}}(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 4,0 \text{ mol}$$

$$n_{\text{tasap}}(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3) = 2,0$$

$$K_c = 4,0$$

$$n_{\text{alku}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = ?$$



$n_{\text{alku}}(\text{mol/l})$	x	4,0	0	0
muutos (mol/l)	-2,0	-2,0	+2,0	+2,0
$n_{\text{tasap.}}(\text{mol/l})$	$x - 2,0$	2,0	2,0	2,0

$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}] \cdot [\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}]} \Rightarrow 4,0 = \frac{2,0 \cdot 2,0}{(x - 2,0) \cdot 2,0}$$

Ratkaisuksi saadaan: $x = 2,5$.

Lisättävä etaanihapon ainemäärä on 2,5 mol.

Vastaus:

a) $K_c = 4,0$

b) Reaktio etenee lähtöaineiden suuntaan.

$$n_{\text{tasap}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,3 \text{ mol}$$

$$n_{\text{tasap}}(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}) = 1,3 \text{ mol}$$

$$n_{\text{tasap}}(\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3) = 2,7 \text{ mol}$$

$$n_{\text{tasap}}(\text{H}_2\text{O}) = 2,7 \text{ mol}$$

c) $n_{\text{alku}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 2,5 \text{ mol}$

3.22**Ratkaisu:**

$$n(\text{CO}_2)_{\text{alku}} = 0,50 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2)_{\text{alku}} = 0,50 \text{ mol}$$

$$V = 2,0 \text{ l}$$

$$[\text{CO}] = ?$$

$$c_{\text{alku}}(\text{CO}_2) = \frac{0,50 \text{ mol}}{2,0 \text{ l}} = 0,2500 \text{ mol/l}$$

$$c_{\text{alku}}(\text{H}_2) = \frac{0,50 \text{ mol}}{2,0 \text{ l}} = 0,2500 \text{ mol/l}$$

$$K_p = \frac{p_i(\text{H}_2\text{O}) \cdot p_i(\text{CO})}{p_i(\text{H}_2) \cdot p_i(\text{CO}_2)}$$

Ideaalikaasun tilanyhtälöä soveltaen tasapainotilassa kunkin kaasun osapaineen ja kaasun konsentraation välillä on seuraava riippuvuus $p_i = c_i RT$. Kun K_p kirjoitetaan tämän lausekkeen avulla, saadaan:

$$K_p = \frac{[\text{H}_2\text{O}]RT \cdot [\text{CO}]RT}{[\text{H}_2]RT \cdot [\text{CO}_2]RT} \cdot \text{Lausekkeesta supistuu pois } RT, \text{ joten } K_p = \frac{[\text{H}_2\text{O}] \cdot [\text{CO}]}{[\text{H}_2] \cdot [\text{CO}_2]}$$

Tehdään taulukko alku- ja tasapainokonsentraatioista:

	$\text{H}_2(\text{g})$	+	$\text{CO}_2(\text{g})$	\rightleftharpoons	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	+	$\text{CO}(\text{g})$
c_{alku} (mol/l)	0,2500		0,2500		0		0
muutos (mol/l)	-x		-x		+x		+x
$c_{\text{tasap.}}$ (mol/l)	$0,2500 - x$		$0,2500 - x$		+x		+x

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot K_p :n lausekkeeseen ja ratkaistaan x:

$$K_p = \frac{[\text{H}_2\text{O}] \cdot [\text{CO}]}{[\text{H}_2] \cdot [\text{CO}_2]} \Rightarrow 0,72 = \frac{x \cdot x}{(0,2500 - x) \cdot (0,2500 - x)}$$

Ratkaisuksi saadaan:

$$x_1 = 0,1148$$

$$x_2 = -1,400.$$

Näistä vain x_1 on järkevä, sillä lähtöaineiden konsentraatiot ovat 0,2500 mol/l ja niiden tulee pienentyä.

$$\Rightarrow x = 0,1148 \text{ mol/l} = [\text{CO}].$$

Kysytty hiilimonoksidin ainemäärä tasapainotilassa on:

$$n(\text{CO})_{\text{tasap.}} = [\text{CO}] \cdot V = 0,1148 \text{ mol/l} \cdot 2,0 \text{ l} = 0,2296 \text{ mol} \approx 0,23 \text{ mol}.$$

Vastaus:

$$n(\text{CO})_{\text{tasap.}} = 0,23 \text{ mol}.$$

3.23

Ratkaisu:

$$n_{\text{alku}}(\text{SO}_2) = 2,0 \text{ mol}$$

$$n_{\text{alku}}(\text{O}_2) = 2,0 \text{ mol}$$

$$\text{saanto-}\%(\text{SO}_3) = 90 \%$$

$$K_p = 13 \text{ kPa}^{-1}$$

$$p_{\text{tot}} = ?$$

Halutun saannon perusteella rikkiatrioksidia tulisi muodostu $0,90 \cdot 2,0 \text{ mol} = 1,8 \text{ mol}$.

Merkitään kaasujen alkuainemäärät, ainemäärien muutokset ja ainemäärät tasapainotilassa.

	2 SO₂(g)	+	O₂(g)	⇌	2 SO₃(g)
$n_{\text{alku}}(\text{mol})$	2,0		2,0		0
muutos	-1,8		$-\frac{1}{2} \cdot 1,8 = -0,90$		+1,8
$n_{\text{tasap.}}(\text{mol})$	0,20		1,1		1,8

Tasapainovakion K_p lauseke on:

$$K_p = \frac{(p_i(\text{SO}_3))^2}{(p_i(\text{SO}_2))^2 \cdot p_i(\text{O}_2)}$$

Kaasun osapaine (p_i) on kokonaispaine (p_{tot}) kerrottuna kaasun mooliosuudella (y):

$$\Rightarrow p_i(\text{SO}_3) = y(\text{SO}_3) \cdot p_{\text{tot}}$$

$$p_i(\text{SO}_2) = y(\text{SO}_2) \cdot p_{\text{tot}}$$

$$p_i(\text{O}_2) = y(\text{O}_2) \cdot p_{\text{tot}}$$

Kaasujen mooliosuudet tasapainotilassa ovat:

$$y(\text{SO}_3) = \frac{1,8 \text{ mol}}{(0,20 + 1,1 + 1,8) \text{ mol}} = 0,5806$$

$$y(\text{SO}_2) = \frac{0,20 \text{ mol}}{(0,20 + 1,1 + 1,8) \text{ mol}} = 0,06452$$

$$y(\text{O}_2) = \frac{1,1 \text{ mol}}{(0,20 + 1,1 + 1,8) \text{ mol}} = 0,3548.$$

Tasapainovakion lausekkeeksi saadaan:

$$K_p = \frac{(0,5806 \cdot p_{\text{tot}})^2}{(0,06452 \cdot p_{\text{tot}})^2 \cdot 0,3548 \cdot p_{\text{tot}}} \Rightarrow 13 \text{ (kPa)}^{-1} = \frac{0,3371}{1,477 \cdot 10^{-3} \cdot p_{\text{tot}}}.$$

Ratkaisuksi saadaan: $p_{\text{tot}} = 17,56 \text{ kPa} \approx 18 \text{ kPa}$.

Vastaus:

$p_{\text{tot}} = 18 \text{ kPa}$.

3.24

Ratkaisu:

$$[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OH}] = 2,50 \text{ mol/l}$$

$$[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}] = 0,200 \text{ mol/l}$$

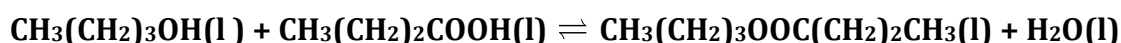
$$[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3] = 1,50 \text{ mol/l}$$

$$c(\text{H}_2\text{O}) = 1,00 \text{ mol/l}$$

$$K_c = 9,00$$

$$[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3]_{\text{uusi}} = ?$$

Merkitään uudeksi alkutilanteeksi hapon, alkoholin ja esterin tasapainokonsentraatiot. Veden uusi alkukonsentraatio on 1,00 mol/l. Koska vettä on poistettu, reaktion tulee siirtyä reaktiotuotteiden suuntaan, kunnes saavutetaan uusi tasapainotila. Lähtöaineiden konsentraatioiden tulee siten pienentyä ($-x$) ja reaktiotuotteiden konsentraation kasvaa ($+x$). Saadaan seuraava taulukko:



Alku (mol/l)	2,50	0,200	1,50	1,00
muutos (mol/l)	$-x$	$-x$	$+x$	$+x$
c_{tasap} (mol/l)	$2,50 - x$	$0,200 - x$	$1,50 + x$	$1,00 + x$

$$K_c = \frac{[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OH}] \cdot [\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}]} \Rightarrow 9,00 = \frac{(1,50 + x) \cdot (1,00 + x)}{(2,50 - x) \cdot (0,200 - x)}$$

Ratkaisuksi saadaan:

$$x_1 = 3,2340$$

$$x_2 = 0,11595.$$

Näistä vain jälkimmäinen on järkevä, sillä lähtöaineita on enimmillään 2,50 mol/l.

$$\Rightarrow x = 0,11595 \text{ mol/l.}$$

$$[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3]_{\text{uusi}} = (1,50 + 0,11595) \text{ mol/l} = 1,6160 \text{ mol/l} \approx 1,62 \text{ mol/l.}$$

Vastaus:

$$[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3] = 1,62 \text{ mol/l}$$

3.25**Ratkaisu:**

$$[\text{N}_2] = 0,10 \text{ mol/dm}^3$$

$$[\text{O}_2] = 0,080 \text{ mol/dm}^3$$

$$[\text{NO}]_1 = 0,020 \text{ mol/dm}^3$$

$$[\text{NO}]_2 = 0,010 \text{ mol/dm}^3$$

$$K = 0,050$$

$$\Delta c(\text{O}_2) = ?$$

Merkitään uudeksi alkutilanteeksi annetut typen ja typpimonoksidin tasapainokonsentraatiot ja hapelle sen tasapainokonsentraatio $-x$ (vähentävä määrä). Koska happea poistetaan, siirtyy tasapainotila lähtöaineiden suuntaan, jolloin typen ja hapen konsentraatioiden tulee kasvaa

(+ $\frac{1}{2} \cdot 0,010 \text{ mol/dm}^3 = 0,0050 \text{ mol/dm}^3$). Näistä päätelmistä saadaan oheinen taulukko:

	N₂(g)	+	O₂(g)	⇌	2 NO(g)
alku (mol/dm ³)	0,10		0,080 - x		0,020
muutos (mol/dm ³)	0,10 + 0,0050		(0,080 - x) + 0,0050		-0,010
c _{tasap} (mol/dm ³)	0,1050		0,0850 - x		0,010

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot K_c :n lausekkeeseen ja ratkaistaan x . Lasku on suoritettu ilman yksiköitä, mutta ratkaisuun tulee merkitä x :n yksiköksi konsentraation yksikkö (mol/dm³).

$$K_c = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]} \Rightarrow 0,050 = \frac{(0,010)^2}{0,1050 \cdot (0,0850 - x)}$$

Ratkaisuksi saadaan: $x = 0,06596 \text{ mol/dm}^3$.

Eli happea on poistettava $0,06596 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,066 \text{ mol/dm}^3$.

Hapen uusi tasapainokonsentraatio on:

$$[O_2] = (0,0850 - 0,06596) \text{ mol/dm}^3 = 0,01904 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,019 \text{ mol/dm}^3.$$

Vastaus>

Happea on poistettava $0,066 \text{ mol/dm}^3$.

$$[O_2] = 0,019 \text{ mol/dm}^3$$

3.26

Ratkaisu:

a)

$$p_i(\text{SO}_2) = 2,3 \text{ bar}$$

$$p_i(\text{O}_2) = 4,5 \text{ bar}$$

$$p_i(\text{SO}_3)_1 = 2,3 \text{ bar}$$

$$p_i(\text{SO}_3)_2 = 2,5 \text{ bar}$$

$$K_p = 0,22 \text{ bar}^{-1}$$

$$p_i(\text{O}_2)_2 = ?$$

Merkitään rikkidioksidin ja rikkitrioksidin osapaineet uudeksi alkutilanteeksi. Merkitään hapen osapaineeksi $4,5 \text{ bar} + x$, jossa x on paineen lisääntyminen. Koska painetta kasvatetaan ja lähtöainepuolella on 3 moolia kaasumolekyylejä ja reaktiotuotepuolella 2 moolia, siirtyy tasapainotila reaktiotuotteiden suuntaan. Merkitään taulukkoon osapaineiden muutokset (reaktioyhtälön kertoimien suhteessa) ja uuden tasapainotilan osapaineet. Taulukoksi saadaan:

	2 SO₂(g)	+	O₂(g)	⇌	2 SO₃(g)
$p_i(\text{alku}) \text{ (bar)}$	2,3		$4,5 + x$		2,3
muutos (bar)	-0,2		$(4,5 + x) - 0,1$		+0,2
$p_i(\text{tasap.}) \text{ (bar)}$	2,1		$4,4 + x$		2,5

$$K_p = \frac{(p_i(\text{SO}_3))^2}{(p_i(\text{SO}_2))^2 \cdot p_i(\text{O}_2)} \Rightarrow 0,22 = \frac{2,5^2}{2,1^2 \cdot (4,4+x)}$$

Ratkaisuksi saadaan: $x = 2,042$

Hapen osapaineen tulee kasvaa 2,042 bar.

Kysytty hapen osapaine on: $p_i(\text{O}_2) = (4,5 + 2,042) \text{ bar} = 6,542 \text{ bar} \approx 6,5 \text{ bar}$.

b)

Taulukkokirjassa ilmoitettujen muodostumislämpöjen (ΔH_f) perusteella muodostumisreaktio on eksoterminen.

Lasku:

$$\Delta H_{\text{reaktio}} = \Sigma \Delta H_f(\text{reaktiotuotteet}) - \Sigma \Delta H_f(\text{lähtöaineet})$$

$$= [2 \text{ mol } (-395,2 \text{ kJ/mol})] - [2 \text{ mol } (-296,9 \text{ kJ/mol}) + (0 \text{ kJ/mol})] = -196,6 \text{ kJ}$$

Tämän perusteella rikkiatrioksidin osapainetta voisi kasvattaa alentamalla lämpötilaa, jolloin reaktion tasapainotila siirtyy rikkiatrioksidin suuntaan. Myös rikkidioksidin osapaineen kasvattaminen (= rikkidioksidin lisääminen) siirtää myös reaktion tasapainotilaa rikkiatrioksidin suuntaan. Kaasujen puristaminen kokoon (= reaktioseoksen tilavuuden pienentäminen) siirtää myös tasapainotilaa reaktiotuotteen suuntaan (lähtöainepuolella 3 moolia kaasuja, reaktiotuotepuolella 2 moolia kaasuja), jolloin rikkiatrioksidin osapaine kasvaa.

c) Reaktiota voi nopeuttaa nostamalla lämpötilaa tai käyttämällä katalyyttiä. Lämpötilan nostaminen pienentää rikkiatrioksidin saantoa. Katalyytin käyttö ei vaikuta rikkiatrioksidin saantoon.

Vastaus:

a) $p_i(\text{O}_2) = 6,5 \text{ bar}$.

b) Rikkiatrioksidin osapainetta voi kasvattaa alentamalla lämpötilaa, kasvattamalla rikkidioksidin osapainetta tai pienentämällä reaktioseoksen tilavuutta.

c) Nostamalla lämpötilaa tai käyttämällä katalyyttiä. Lämpötilan nostaminen pienentää rikkiatrioksidin saantoa. Katalyytin käyttö ei vaikuta rikkiatrioksidin saantoon.

Harjoittele lisää!

Ylioppilastehtäviä

1.

Ratkaisu:

a) Le Châtelier'n periaatteen mukaan tilavuuden kasvattaminen siirtää tasapainotilaa siihen suuntaan, jossa kaasumolekyylien lukumäärä (moolimäärä) on suurempi. Koska lähtöainepuolella on 2 moolia kaasumaisia aineita ja reaktiotuotepuolella 4 moolia, siirtyy tasapainotila reaktiotuotteiden suuntaan. Tilavuuden kasvattaminen ei muuta tasapainovakion arvoa, sillä vakion arvo muuttuu vain lämpötilan muuttuessa.

b) Kuvan perusteella vedyn osuus kasvaa, kun lämpötila kasvaa eli tasapainoasema siirtyy reaktiotuotteiden suuntaan. Etenevä reaktio on siten endoterminen eli lämpöä sitova.

c)

$$n(\text{CH}_4) = 0,016 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 0,016 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2) = 0,30 \text{ mol}$$

$$n(\text{CO}) = 0,30 \text{ mol}$$

$$V = 2,0 \text{ l}$$

$$K = 5,9 \text{ (mol/l)}^2$$

Eri aineiden konsentraatiot ovat:

$$c(\text{CH}_4) = \frac{0,016 \text{ mol}}{2,0 \text{ l}} = 8,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$$

$$c(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,016 \text{ mol}}{2,0 \text{ l}} = 8,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$$

$$c(\text{H}_2) = \frac{0,30 \text{ mol}}{2,0 \text{ l}} = 0,1500 \text{ mol/l}$$

$$c(\text{CO}) = \frac{0,30 \text{ mol}}{2,0 \text{ l}} = 0,1500 \text{ mol/l}$$

$$K = \frac{[\text{H}_2]^3 \cdot [\text{CO}]}{[\text{CH}_4] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}$$

Sijoitetaan lasketut konsentraatiot tasapainovakion lausekkeeseen ja lasketaan K :n arvo:

$$K = \frac{(0,1500 \text{ mol/l})^3 \cdot 0,1500 \text{ mol/l}}{8,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \cdot 8,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}} = 7,910 \text{ (mol/l)}^2 \approx 7,9 \text{ (mol/l)}^2.$$

$$7,9 \text{ (mol/l)}^2 > 5,9 \text{ (mol/l)}^2.$$

Koska laskettu K on suurempi kuin reaktion K , reaktio ei ole tasapainossa. Palautuvan reaktion nopeus on suurempi kuin etenevän reaktion nopeus, sillä reaktiotuotteiden konsentraatio on liian suuri. Reaktiotuotteiden konsentraatioiden tulee pienentyä, jotta tasapainotila saavutetaan.

Vastaus:

a) Le Châtelier'n periaatteen mukaisesti tilavuuden kasvattaminen siirtää tasapainotilaa siihen suuntaan, jossa kaasumolekyylien lukumäärä (moolimäärä) on suurempi. Koska lähtöainepuolella on 2 moolia kaasumaisia aineita ja reaktiotuotepuolella 4 moolia, siirtyy tasapainotila reaktiotuotteiden suuntaan. Tilavuuden kasvattaminen ei muuta tasapainovakion arvoa, sillä vakion arvo muuttuu vain lämpötilan muuttuessa.

b) Kuvan perusteella vedyn osuus kasvaa, kun lämpötila kasvaa eli tasapainoasema siirtyy reaktiotuotteiden suuntaan. Etenevä reaktio on siten endoterminen eli lämpöä sitova.

c) $7,9 \text{ (mol/l)}^2 > 5,9 \text{ (mol/l)}^2$

Palautuvan reaktion nopeus on suurempi kuin etenevän reaktion nopeus, sillä reaktiotuotteiden konsentraatio on liian suuri. Reaktiotuotteiden konsentraatioiden tulee pienentyä, jotta tasapainotila saavutetaan.

2.

Ratkaisu:

a)

$$n(\text{SO}_2) = 1,00 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}_2) = 5,00 \text{ mol}$$

$$V = 5,00 \text{ l}$$

rikkidioksidia reagoi 61,3 %

$$K = ?$$

$$c_{\text{alku}}(\text{SO}_2) = \frac{1,00 \text{ mol}}{5,00 \text{ l}} = 0,20000 \text{ mol/l}$$

$$c_{\text{alku}}(\text{O}_2) = \frac{5,00 \text{ mol}}{5,00 \text{ l}} = 1,0000 \text{ mol/l}.$$

Tasapainotilan synnyttyä 61,3 % eli $0,613 \cdot 0,20000 \text{ mol/l}$ rikkidioksidista oli reagoanut rikkitrioksidiksi. Rikkidioksidin konsentraatio oli siten vähentynyt $0,12260 \text{ mol/l}$. Taulukoidaan alkukonsentraatiot, konsentraatioiden muutokset (tasapainotetun reaktioyhtälön kertoimien avulla) ja merkitään taulukkoon tasapainokonsentraatiot:

	2 SO₂(g)	+	O₂(g)	⇌	2 SO₃(g)
c_{alku} (mol/l)	0,20000		1,0000		0
muutos (mmol/l)	-0,12260		-0,06130		+0,12260
$c_{\text{tasap.}}$ (mol/l)	0,07740		0,9387		0,12260

$$K = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 \cdot [\text{O}_2]} = \frac{(0,12260 \text{ mol/l})^2}{(0,07740 \text{ mol/l})^2 \cdot (0,9387 \text{ mol/l})} = 2,6728 (\text{mol/l})^{-1} \approx 2,67 (\text{mol/l})^{-1}.$$

b)

Lasketaan reaktion entalpiamuutos taulukkokirjassa ilmoitettujen muodostumislämpöjen (ΔH_f) avulla:

$$\Delta H_{\text{reaktio}} = \sum \Delta H_f(\text{reaktiotuotteet}) - \sum \Delta H_f(\text{lähtöaineet})$$

$$= [2 \text{ mol } (-395,2 \text{ kJ/mol})] - [2 \text{ mol } (-296,9 \text{ kJ/mol}) + (0 \text{ kJ/mol})] = -196,6 \text{ kJ}.$$

Entalpiamuutoksen etumerkin perusteella etenevä reaktio on eksoterminen. Kun lämpötilaa lasketaan, tasapainotila siirtyy Le Châtelier'n periaatteen mukaan eksotermisen reaktion suuntaan eli tässä tapauksessa reaktiotuotteen suuntaan. Kun lämpötila laskee sekä etenevä, että palautuva reaktio hidastuvat. Lämpötilan laskeminen vaikuttaa enemmän endotermisen eli palautuvan reaktion nopeuteen.

Vastaus:

a) $K = 2,67 \text{ (mol/l)}^{-1}$.

b) Tasapainotila siirtyy reaktiotuotteen suuntaan. Kun lämpötila laskee, sekä etenevä että palautuva reaktio hidastuvat. Lämpötilan laskeminen vaikuttaa enemmän endotermisen eli palautuvan reaktion nopeuteen.

4 Happo-emästasapaino ja puskuriliuokset -vastaukset ja ratkaisut

4.1 Protolyysireaktiot ja homogeeninen tasapainotila

4.1

Vastaus:

Aineen kaava	Aineen nimi	Happo	Emäs	Heikko	Vahva	Yksi-arvoinen	Moni-arvoinen
C ₆ H ₅ COOH	bentsoehappo	x		x		x	
CN ⁻	syanidi-ioni		x	x		x	
HClO ₄	perkloorihappo	x			x	x	
CH ₃ NH ₂	metyyliamiini		x	x		x	
C ₆ H ₅ OH	fenoli	x		x		x	
S ²⁻	sulfidi-ioni		x		x		x
H ₂ SO ₃	riikkihapoke	x		x			x

4.2

Vastaus:

Ominaisuus	Vahva happo	Heikko happo
Protolysoituu täysin.	x	
$c(\text{H}_3\text{O}^+) < c(\text{HA})_{\text{alku}}$.		x
Protolyysireaktion reaktioyhtälössä käytetään merkintää \rightleftharpoons .		x
$c(\text{H}_3\text{O}^+) \approx c(\text{HA})_{\text{alku}}$.	x	
K_a :n lukuarvo on pieni.		x
Liuoksen sähkönjohtokyky on suurempi, kun $c(\text{HA})_{\text{alku}} = 2,0 \text{ mol/dm}^3$.	x	

4.3

Vastaus:

a) Vahva happo tarkoittaa happoa, joka protolysoituu täydellisesti.

Väkevä happo kuvaa liuosta, jossa hapon pitoisuus (konsentraatio) on suuri. Väkevä liuos voi sisältää joko heikkoa tai vahvaa happoa.

b) Protolyysireaktiossa happo tai emäs reagoi veden kanssa. Vesiliuokseen muodostuu oksonium- tai hydroksidi-ioneja. Neutraloitumisreaktiossa vesiliuoksen oksoniumionit ja hydroksidi-ionit reagoivat keskenään ja muodostavat vettä.

4.4

Vastaus:

Aineen nimi	Vastinhapon kaava	Vastinhapon nimi	Vastinemäksen kaava	Vastinemäksen nimi
sulfaatti-ioni	HSO_4^-	vetysulfaatti-ioni		
hiilihappo			HCO_3^-	vetykarbonaatti-ioni
oksoniumioni			H_2O	vesi
metyyliamiini	CH_3NH_3^+	metyyliammonium-ioni		
fenolaatti-ioni	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	fenoli		
riikkihapoke			HSO_3^-	vetysulfiitti-ioni

4.5

Vastaus:

- a) HNO_3 toimii haponä. Vastinemäs on nitraatti-ioni.
- b) H_2O toimii emäksenä. Vastinhapo on oksoniumioni.
- c) H_2O toimii haponä. Vastinemäs on hydroksidi-ioni.
- d) NH_3 toimii emäksenä. Vastinhapo on ammoniumioni. H_2PO_4^- toimii haponä. Vastinemäs on vetyfosfaatti-ioni.

4.6

Vastaus:

Aine	Happo	Emäs	Amfoteerinen	K_a (mol/dm ³)	pK _a	K_b (mol/dm ³)	pK _b
aniliini		x				$7,4 \cdot 10^{-10}$	9,13
vetysulfidi	x			$1,0 \cdot 10^{-7}$	7,00		
fenoli	x			$1,0 \cdot 10^{-10}$	10,00		
nitriitti-ioni		x				$1,4 \cdot 10^{-11}$	10,85
divetyfosfaatti-ioni			x	$6,3 \cdot 10^{-8}$	7,20	$1,4 \cdot 10^{-12}$	11,85
trimetyyliamiini		x				$6,3 \cdot 10^{-5}$	4,20
ammoniumioni	x			$5,6 \cdot 10^{-10}$	9,25		
fosfaatti-ioni		x				$2,4 \cdot 10^{-2}$	1,62
vetykarbonaatti-ioni			x	$4,7 \cdot 10^{-11}$	10,33	$2,3 \cdot 10^{-8}$	7,64

a) Vahvin happo on vetysulfidi. Vahvin emäs on fosfaatti-ioni.

b) Divetyfosfaatti-ioni on vahvempi happona kuin emäksenä. Vetykarbonaatti-ioni on vahvempi emäksenä kuin happona.

4.7

Vastaus:

Happo	K_a (mol/dm ³)	p <i>K</i> _a	Vahvuusjärjestyksen mukainen numero
Oksaalihappo	$5,4 \cdot 10^{-2}$	1,27	4
Fenoli	$1,0 \cdot 10^{-10}$	10,00	1
Dikloorietikkahappo	$5,5 \cdot 10^{-2}$	1,26	5
Vetysulfaatti-ioni	$1,1 \cdot 10^{-2}$	1,96	3
Ammoniumioni	$5,6 \cdot 10^{-10}$	9,25	2

4.8

Vastaus:

$$\text{a) } K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$\text{b) } K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$$

$$\text{c) } K_a = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]}$$

$$\text{d) } K_b = \frac{[\text{C}_5\text{H}_5\text{NH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{C}_5\text{H}_5\text{N}]}$$

4.9

Vastaus:

Koska suolahappo on vahva happo, sen vesiliuos sisältää enemmän oksoniumioneja, joten se reagoi nopeammin magnesiumin kanssa ja vapauttaa vetyä. Pullon suulle asetettu ilmapallo täyttyy vetykaasulla nopeammin.

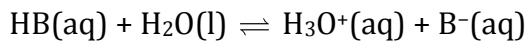
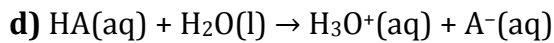
4.10

Vastaus:

a) Molemmat ovat happoja, sillä protolyysireaktiossa syntyy oksoniumioneja.

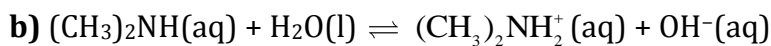
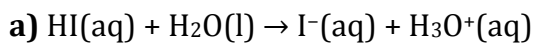
b) HB, sillä sen protolyysireaktiossa syntyy vain vähän oksoniumioneja ja protolyysin jälkeen happomuodon HB konsentraatio on vielä suuri. HB ei siis protolysoitu täydellisesti.

c) B⁻ on hapon HB vastinemäs.

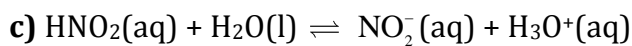


4.11

Vastaus:



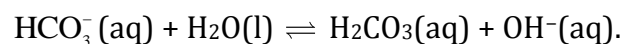
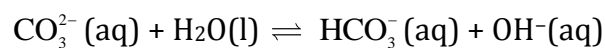
$$K_b = \frac{[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+][\text{OH}^-]}{[(\text{CH}_3)_2\text{NH}]}$$



$$K_a = \frac{[\text{NO}_2^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HNO}_2]}$$

d)

Karbonaatti-ioni voi ottaa vastaan kaksi protonia. Reaktioyhtälöt ovat:

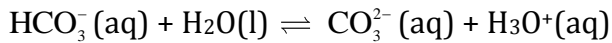


Emäsvakioiden lausekkeet ovat:

$$K_b = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{OH}^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]}$$

$$K_b = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3][\text{OH}^-]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

Vetykarbonaatti-ioni on amfoteerinen aine, joten se voi toimia myös happona. Tämän reaktion reaktioyhtälö ja happovakion lauseke ovat:



$$K_a = \frac{[\text{CO}_3^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

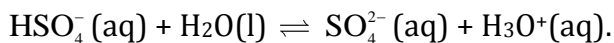
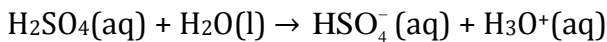
4.12

Vastaus:

K_{a1} on valtavan suuri, joten kyseessä on vahva protolyytti, ja protolyysireaktio etenee lähes täydellisesti reaktiotuotteiden puolelle. Happovakion arvosta voidaan tulkita, että kaikki rikkihappomolekyylit luovuttavat protonin.

K_{a2} on pieni, joten kyseessä on heikko protolyytti. Vakion perusteella vain osa vetysulfaatti-ioneista luovuttaa protonin, jolloin vesiliuokseen muodostuu tasapainotila.

Protolyysireaktiot ovat:



4.13

Ratkaisu:

a)

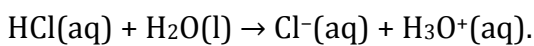
$$n(\text{HCl}) = 1,0 \text{ mol}$$

$$V = 2,0 \text{ l}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = ?$$

$$\text{Suolahapon alkukonsentraatio on } c(\text{HCl}) = \frac{1,0 \text{ mol}}{2,0 \text{ l}} = 0,5000 \text{ mol/l}.$$

Suolahappo on vahva happo, joka protolysoituu täydellisesti. Reaktioyhtälö on



Reaktioyhtälöstä nähdään, että oksoniumionikonsentraatio on yhtä suuri kuin hapon alkukonsentraatio, joten $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,5000 \text{ mol/l} \approx 0,50 \text{ mol/l}$.

b)

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,0 \text{ mol}$$

$$V = 2,0 \text{ l}$$

$$K_a = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \text{ (taulukkokirjasta)}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = ?$$

$$\text{Etikkahapon alkukonsentraatio on } c(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{1,0 \text{ mol}}{2,0 \text{ l}} = 0,5000 \text{ mol/l.}$$

Koska etikkahappo protolysoituu vain osittain, vesiliuokseen muodostuu tasapainotila. Laaditaan taulukko eri aineiden alkukonsentraatioista, konsentraatioiden muutoksista ja tasapainokonsentraatioista, kuten tasapainolaskujen kohdalla on aiemmin opittu.

Huomaa, että veden konsentraatio jätetään huomioimatta, sillä sen lukuarvo sisältyy happovakion K_a arvoon.

	CH₃COOH(aq) +	H₂O(l)	⇌	CH₃COO⁻(aq) +	H₃O⁺(aq)
c_{alku} (mol/dm ³)	0,5000	-		0	0
muutos (mol/dm ³)	-x	-		+x	+x
c_{tasap} (mol/dm ³)	0,5000 - x	-		x	x

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-5} = \frac{x \cdot x}{0,5000 - x}$$

Ratkaisuksi saadaan:

$$x_1 = 2,991 \cdot 10^{-3}$$

$$x_2 = -3,009 \cdot 10^{-3}$$

Näistä vain positiivinen juuri kelpaa, sillä etikkahapon konsentraation tulee pienentyä ja reaktiotuotteiden konsentraatioiden kasvaa.

$$x = 2,991 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$\Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 2,991 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \approx 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

c)

$$c_{\text{alku}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,5000 \text{ mol/l (kohdasta b)}$$

$$c_{\text{muutos}} (= \text{protolysoituneiden molekyylien määrä}) = 2,991 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Lasketaan protolysoituneiden molekyylien osuus etikkahappomolekyylien kokonaismäärästä prosentteina:

$$\frac{2,991 \cdot 10^{-3}}{0,5000} \cdot 100 \% = 0,5982 \% \approx 0,60 \%$$

Vastaus:

a) $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,50 \text{ mol/l}$.

b) $[\text{H}_3\text{O}^+] = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$.

c) 0,60 %

4.14

Ratkaisu:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \text{ mmol/l} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$$

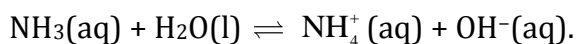
$$V(\text{liuos}) = 100 \text{ ml} = 0,100 \text{ l}$$

$$K_b(\text{NH}_3) = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

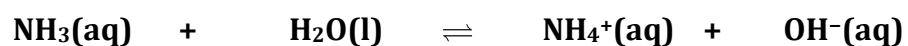
$$M(\text{NH}_3) = 17,034 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{NH}_3) = ?$$

Ammoniakin protolyysireaktio on:



Laaditaan taulukko eri aineiden alkukonsentraatioista, konsentraatioiden muutoksista ja tasapainokonsentraatioista, kuten tasapainolaskujen kohdalla on aiemmin opittu. Merkitään ammoniakin alkukonsentraatiota x :llä. Vedelle ei merkitä konsentraatiota, sillä sen lukuarvo sisältyy ammoniakin emäsvakion arvoon.



c_{alku} (mol/l)	x	-	0	0
muutos	$-1,0 \cdot 10^{-3}$	-	$+1,0 \cdot 10^{-3}$	$+1,0 \cdot 10^{-3}$
$c_{\text{tasap.}}$ (mol/l)	$x - 1,0 \cdot 10^{-3}$	-	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-5} = \frac{(1,0 \cdot 10^{-3})(1,0 \cdot 10^{-3})}{x - 1,0 \cdot 10^{-3}}$$

Ratkaisuksi saadaan: $x = 0,05656$.

Ammoniakin alkukonsentraation tulee siis olla $0,05656$ mol/l.

Lasketaan ammoniakin ainemäärä 100 ml:ssa liuosta:

$$n(\text{NH}_3) = 0,05656 \text{ mol/l} \cdot 0,100 \text{ l} = 5,656 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Kysytty ammoniakin massa on:

$$m(\text{NH}_3) = 5,656 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 17,034 \text{ g/mol} = 0,09634 \text{ g} \approx 0,096 \text{ g.}$$

Vastaus:

$$m(\text{NH}_3) = 0,096 \text{ g.}$$

4.15

Ratkaisu:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ g}$$

$$V = 300 \text{ ml} = 0,300 \text{ dm}^3$$

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}) = 286,150 \text{ g/mol}$$

$$K_b(\text{CO}_3^{2-}) = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 \text{ (taulukkokirjasta)}$$

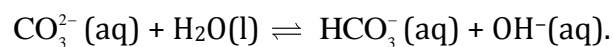
$$[\text{OH}^-] = ?$$

Kidesoodaliuoksen konsentraatio on:

$$c(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{100 \text{ g}}{286,150 \text{ g/mol} \cdot 0,300 \text{ dm}^3} = 1,1649 \text{ mol/dm}^3.$$

Kidesoodan kaavan perusteella $c(\text{CO}_3^{2-}) = c(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}) = 1,1649 \text{ mol/dm}^3$.

Karbonaatti-ioni on heikko emäs, jonka protolyysireaktio on:



Laaditaan taulukko alkukonsentraatioista, konsentraatioiden muutoksista ja tasapainokonsentraatioista. Huomaa, että veden konsentraatio jätetään merkitsemättä, sillä sen arvo sisältyy emäsvakion K_b arvoon.

	$\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{HCO}_3^-(\text{aq})$	+	$\text{OH}^-(\text{aq})$
$c_{\text{alku}} (\text{mol/dm}^3)$	1,1649		-		0		0
muutos (mol/dm^3)	-x		-		+x		+x
$c_{\text{tasap.}} (\text{mol/dm}^3)$	1,1649 - x		-		x		x

$$K_b = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{OH}^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} \Rightarrow 2,1 \cdot 10^{-4} = \frac{x \cdot x}{1,1649 - x}$$

Ratkaisuksi saadaan:

$$x_1 = 0,01554$$

$$x_2 = -0,01574.$$

Näistä vain positiivinen juuri kelpaa, sillä karbonaatti-ionin konsentraation tulee pienentyä ja reaktiotuotteiden konsentraatioiden kasvaa.

$$x = 0,01554 \text{ mol/dm}^3.$$

$$[\text{OH}^-] = 0,01554 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,016 \text{ mol/dm}^3$$

Vastaus:

$$[\text{OH}^-] = 0,016 \text{ mol/dm}^3$$

4.16

Vastaus:

a) Indikaattoriliuoksen värin perusteella näyte A voi sisältää joko happoa tai emästä. Näytteen B tulee sisältää happoa. Molemmat näytteet sisältävät happoa, sillä vain hapot reagoivat natriumvetykarbonaatin kanssa. Lisäksi vain hapot neutraloituvat emäksellä (titraus).

Näytteen A tulee olla heikompi happo, sillä se reagoi natriumvetykarbonaatin kanssa hitaammin. Näyte A sisältää siten vähemmän oksoniumioneja. Lisäksi näytteen A sähkönjohtokyky on pienempi, eli liuoksen ionipitoisuus on pienempi kuin näytteen B ionipitoisuus.

Listassa happoja ovat typpihappo ja muurahaishappo. Näistä typpihappo on vahva happo, joten sitä tulee olla näytteessä B. Tätä päätelmää tukee myös havainto, että indikaattoriliuosta lisättäessä liuos värjäytyy punaiseksi, mikä osoittaa, että näytteen B pH-arvo on alhaisempi kuin näytteen A (saman väkevyyinen heikko happo). Näyte A sisältää siten muurahaishappoa.

b) Koska näytteiden tilavuus ja konsentraatio ovat samat ja molemmat ovat yksiarvoisia happoja, kuluu näytteiden neutraloimiseen yhtä suuri tilavuus käytettyä natriumhydroksidia.

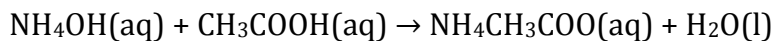
4.2 Neutraloitumisreaktiot ja titrauskäyrä

4.17

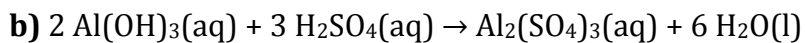
Vastaus:



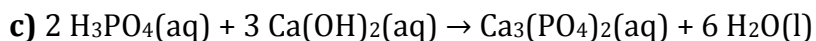
tai



Muodostuva suola on ammoniumasetaatti eli ammoniumetanaatti.



Muodostuva suola on alumiinisulfaatti.



Muodostuva suola on kalsiumfosfaatti.

4.18

Ratkaisu:

a)

$$c(\text{NaOH}) = 0,350 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{HCl})_{\text{näyte}} = 40,0 \text{ ml} = 0,0400 \text{ dm}^3$$

$$m(\text{HCl}) = 1,65 \text{ g}$$

$$V(\text{HCl}) = 1,00 \text{ l}$$

$$M(\text{HCl}) = 36,458 \text{ g/mol}$$

$$V(\text{NaOH}) = ?$$

Lasketaan suolahappoliuoksen konsentraatio:

$$c(\text{HCl}) = \frac{n}{V} = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{1,65 \text{ g}}{36,458 \text{ g/mol} \cdot 1,00 \text{ l}} = 0,045258 \text{ mol/l}.$$

Lasketaan, mikä ainemäärä suolahappoa oli titratussa tilavuudessa:

$$n(\text{HCl}) = c \cdot V = 0,045258 \text{ mol/l} \cdot 0,0400 \text{ l} = 1,8103 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Neutraloitumisreaktio on: $\text{HCl}(\text{aq}) + \text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

Tämän perusteella $n(\text{NaOH}) = n(\text{HCl}) = 1,8103 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$.

Ratkaistaan kysytty natriumhydroksidiliuoksen tilavuus:

$$V(\text{NaOH}) = \frac{n}{c} = \frac{1,8103 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,350 \text{ mol/l}} = 5,1723 \cdot 10^{-3} \text{ l} \approx 5,17 \cdot 10^{-3} \text{ l} = 5,17 \text{ ml}.$$

b)

$$c(\text{NaOH}) = 0,350 \text{ mol/l}$$

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{titrattu}} = 25,0 \text{ ml} = 0,0250 \text{ l}$$

$$c_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,25 \text{ mol/l}$$

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{pipetoitu}} = 10,0 \text{ ml} = 0,0100 \text{ l}$$

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{laimennos}} = 100 \text{ ml} = 0,100 \text{ l}$$

$$V(\text{NaOH}) = ?$$

Lasketaan laimennokseen otetun rikkihapon ainemäärä:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = c_1 \cdot V(\text{pipetoitu}) = 1,25 \text{ mol/l} \cdot 0,0100 \text{ l} = 0,012500 \text{ mol}.$$

Lasketaan laimennetun rikkihapon konsentraatio:

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0,012500 \text{ mol}}{0,100 \text{ l}} = 0,12500 \text{ mol/l}.$$

Lasketaan, mikä ainemäärä rikkihappoa oli titratussa tilavuudessa:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = c \cdot V = 0,12500 \text{ mol/l} \cdot 0,0250 \text{ l} = 3,1250 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\Rightarrow n(\text{NaOH}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot 3,1250 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 6,2500 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Ratkaistaan kysytty natriumhydroksidiliuoksen tilavuus:

$$V(\text{NaOH}) = \frac{6,2500 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,350 \text{ mol/l}} = 0,017857 \text{ l} \approx 0,0179 \text{ l} = 17,9 \text{ ml}.$$

Vastaus:

a) $V(\text{NaOH}) = 5,17 \text{ ml}$

b) $V(\text{NaOH}) = 17,9 \text{ ml}$

4.19**Ratkaisu:****a)**

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 20 \text{ mg} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ g}$$

$$c(\text{HNO}_3) = 0,020 \text{ mol/dm}^3$$

$$M(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 74,096 \text{ g/mol}$$

$$V(\text{HNO}_3) = ?$$

Lasketaan kalsiumhydroksidin ainemäärä:

$$n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{20 \cdot 10^{-3} \text{ g}}{74,096 \text{ g/mol}} = 2,699 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$



$$\text{perusteella } n(\text{HNO}_3) = 2 \cdot n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 2 \cdot 2,699 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 5,398 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Lasketaan tarvittava typpihapon tilavuus:

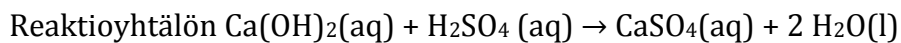
$$V(\text{HNO}_3) = \frac{n}{c} = \frac{5,398 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,020 \text{ mol/l}} = 0,02699 \text{ l} \approx 27 \text{ ml.}$$

b)

$$n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 2,699 \cdot 10^{-4} \text{ mol (kohdasta a)}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,015 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4) = ?$$



$$\text{perusteella } n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 2,699 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Lasketaan tarvittava rikkihapon tilavuus:

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n}{c} = \frac{2,699 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,015 \text{ mol/l}} = 0,01799 \text{ l} \approx 18 \text{ ml}.$$

Vastaus:

Rikkihappoa tarvitaan pienempi tilavuus.

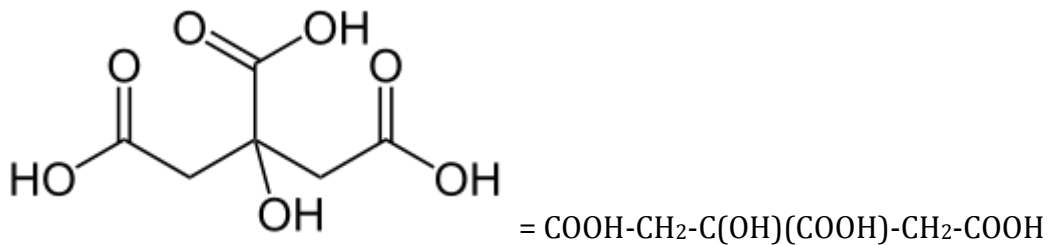
4.20

Ratkaisu:

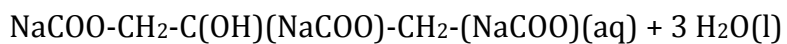
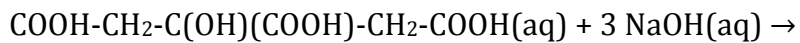
a)

- (i) mittalasi
- (ii) mittapullo
- (iii) täyspipetti (ja pumpetti)
- (iv) byretti

b) Sitruunahapon rakennekaava on:



Reaktioyhtälö on:



c)

$$c(\text{NaOH}) = 0,250 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{NaOH}) = 18,8 \text{ ml} = 0,0188 \text{ dm}^3$$

$$V(\text{sitruunamehu}) = 22,5 \text{ ml} = 0,0225 \text{ dm}^3$$

$$V(\text{mehunäyte}) = 100 \text{ ml}$$

$$V(\text{titrattu mehunäyte}) = 10,0 \text{ ml} = 0,0100 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{sitruunahappo}) = ?$$

Lasketaan titrauksessa kuluneen natriumhydroksidin ainemäärä:

$$n(\text{NaOH}) = 0,250 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0188 \text{ dm}^3 = 4,7000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Kohdassa b) esitetyn neutraloitumisreaktion reaktioyhtälön perusteella titratun näytteen

$$n(\text{sitruunahappo}) = \frac{1}{3} \cdot n(\text{NaOH}) = \frac{1}{3} \cdot 4,7000 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 1,5667 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Sitruunahapon kokonaisainemäärä 100 ml:ksi laimennetussa näytteessä on:

$$10 \cdot 1,5667 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 1,5667 \cdot 10^{-2} \text{ mol}.$$

Lasketaan kysytty sitruunahapon konsentraatio sitruunamehussa:

$$c(\text{sitruunahappo}) = \frac{1,5667 \cdot 10^{-2} \text{ mol}}{0,0225 \text{ dm}^3} = 0,69631 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,696 \text{ mol/dm}^3.$$

d)

$$n(\text{sitruunahappo}) = 1,5667 \cdot 10^{-2} \text{ mol (kohdasta c)}$$

$$m(\text{sitruuna}) = 58,0 \text{ g}$$

$$M(\text{sitruunahappo}) = 192,124 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{sitruunahappo}) / 100 \text{ g} = ?$$

Sitruunahapon massa tutkitussa sitruunassa on:

$$m(\text{sitruunahappo}) = 1,5667 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 192,124 \text{ g/mol} = 3,0100 \text{ g}.$$

Kysytty sitruunahapon määrä / 100 g sitruunaa on:

$$\frac{3,0100 \text{ g}}{58,0 \text{ g}} \cdot 100 \text{ g} = 5,1897 \text{ g} \approx 5,19 \text{ g}.$$

e) Sitruunassa voi olla muitakin happamia aineita, jotka neutraloituvat natriumhydroksidilla. Natriumhydroksidin konsentraatio ei ollut aivan tarkka eli liuos on voinut olla laimeampaa, jolloin sitä on kulunut enemmän sitruunahapon neutraloitumiseen. Titrauksen päätepiste on havaittu liian myöhään, jolloin laskuissa käytetty natriumhydroksidiliuoksen tilavuus on liian suuri.

Vastaus:

a) (i) mittalasi

(ii) mittapullo

(iii) täyspipetti (ja pumpetti)

(iv) byretti

b) $\text{COOH-CH}_2\text{-C(OH)(COOH)-CH}_2\text{-COOH(aq)} + 3 \text{ NaOH(aq)} \rightarrow$

$\text{NaCOO-CH}_2\text{-C(OH)(NaCOO)-CH}_2\text{-(NaCOO)(aq)} + 3 \text{ H}_2\text{O(l)}$

c) $c(\text{sitruunahappo}) = 0,696 \text{ mol/dm}^3$

d) $5,19 \text{ g} / 100 \text{ g}$

e) Sitruunassa voi olla muitakin happamia aineita, jotka neutraloituvat natriumhydroksidilla. Natriumhydroksidin konsentraatio ei ollut aivan tarkka eli liuos on voinut olla laimeampaa, joten sitä on kulunut enemmän näytteen neutraloimiseen. Titrauksen päätepiste on havaittu liian myöhään, joten laskuissa käytetty natriumhydroksidiliuoksen tilavuus on liian suuri.

4.21

Ratkaisu:

a)

$$V(\text{indikaattoriliuos}) = 50 \text{ ml} = 0,050 \text{ l}$$

$$\text{til-}\%(\text{etanoli}) = 93 \%$$

$$m\text{-}\%(\text{tymolisinen}) = 0,10 \text{ m-}\%$$

$$\rho(70 \text{ til-}\% \text{ etanoli}) = 0,80 \text{ g/ml}$$

Jotta 50 millilitrassa liuotinta olisi 70 til-% etanolia, tulee sen sisältää etanolia

$$50 \text{ ml} \cdot 0,70 = 35 \text{ ml}.$$

Jotta saadaan 35 millilitraa etanolia, tarvitaan 93 til-% etanolia:

$$V(93 \text{ til-}\% \text{ etanoli}) = \frac{35 \text{ ml}}{0,93} = 37,63 \text{ ml} \approx 38 \text{ ml}.$$

Toinen ratkaisumalli edelliseen laskuun:

$$V(93 \text{ til-}\% \text{ etanoli}) = \frac{93 \text{ til-}\%}{70 \text{ til-}\%} = \frac{50 \text{ ml}}{x} \Rightarrow x = 37,63 \text{ ml} \approx 38 \text{ ml}.$$

Liuotinta varten laimennetaan 38 millilitraa 93 til-% etanolia 50 ml:ksi vedellä. Lasketaan tarvittava indikaattorin massa:

50 millilitraa 70 til-% etanoliliuosta painaa annetun tiheyden perusteella

$$m(70 \text{ til-}\% \text{ etanoli}) = \rho(70 \text{ til-}\% \text{ etanoli}) \cdot V(\text{liuos}) = 0,80 \text{ g/ml} \cdot 50 \text{ ml} = 40 \text{ g}.$$

Jotta saadaan 0,10 m-% indikaattoriliuos, on indikaattoria punnittava:

$$m(\text{indikaattori}) = 0,0010 \cdot 40 \text{ g} = 0,040 \text{ g} = 40 \text{ mg}.$$

Punnitaan 40 mg tymolisinistä. Laimennetaan 38 ml 93 til-% etanolia vedellä 50 ml:ksi ja liuotetaan tymolisinen näin saatuun liuokseen.

b) Tymolisinisen huono vesiliukoisuus selittyy sillä, että se on suuri orgaaninen molekyyli, jossa on vain vähän poolisia osia. Etanoli sisältää poolittoman hiilivetyosan ja poolisen hydroksyyliiryhmän. Etanolimolekyylin pooliton osa sitoutuu tymolisinisen poolittomiin osiin ja hydroksyyliiryhmä muodostaa vetysidoksia vesimolekyylien kanssa, jolloin indikaattori liukenee. Myös vesimolekyylit osaltaan irrottavat indikaattorimolekyyliä toisistaan sitoutumalla sen poolisiin osiin.

Vastaus:

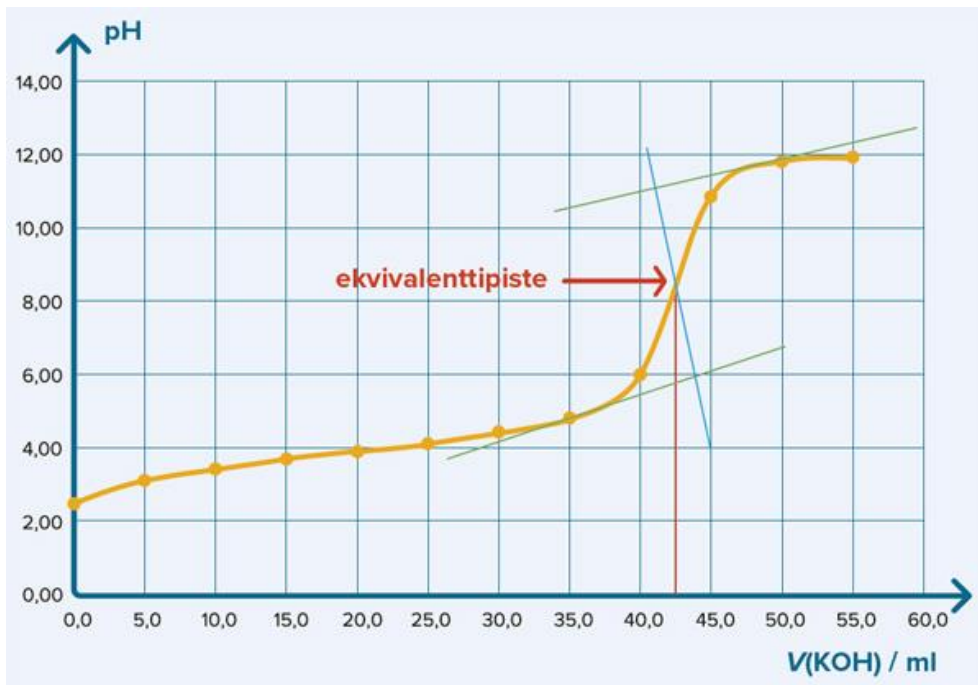
a) Laimennetaan 38 ml 93 til-% etanolia vedellä 50 ml:ksi ja liuotetaan siihen 40 mg tymolisinistä.

b) Tymolisinisen huono vesiliukoisuus selittyy sillä, että se on suuri orgaaninen molekyyli, jossa on vain vähän poolisia osia. Etanoli sisältää poolittoman hiilivetyosan ja poolisen hydroksyyliiryhmän. Etanolimolekyylin pooliton osa sitoutuu tymolisinisen poolittomiin osiin ja hydroksyyliiryhmä muodostaa vetysidoksia vesimolekyylien kanssa, jolloin indikaattori liukenee. Myös vesimolekyylit osaltaan irrottavat indikaattorimolekyyliä toisistaan sitoutumalla sen poolisiin osiin.

4.22

Ratkaisu:

a)



b) Ekvivalenttipiste on merkitty a-kohdan kuvaajaan.

c) Luetaan ekvivalenttipisteen kohdalta $V(\text{KOH}) = 42,5 \text{ ml}$ (merkitty a-kohdan kuvaajaan)

$$V(\text{KOH}) = 42,5 \text{ ml} = 0,0425 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{KOH}) = 0,10 \text{ mol/dm}^3$$

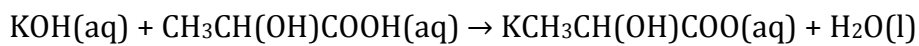
$$V(\text{näyte}) = 20,0 \text{ cm}^3 = 0,0200 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{maitohappo}) = ?$$

Lasketaan kaliumhydroksidin ainemäärä ekvivalenttipisteessä:

$$n(\text{KOH}) = 0,10 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0425 \text{ dm}^3 = 4,250 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Reaktioyhtälön



perusteella $n(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}) = n(\text{KOH}) = 4,250 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$.

Lasketaan kysytty maitohapon konsentraatio

$$c(\text{maitohappo}) = \frac{4,250 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,0200 \text{ dm}^3} = 0,2125 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,21 \text{ mol/dm}^3.$$

d) 2-Hydroksipropaanihappo.

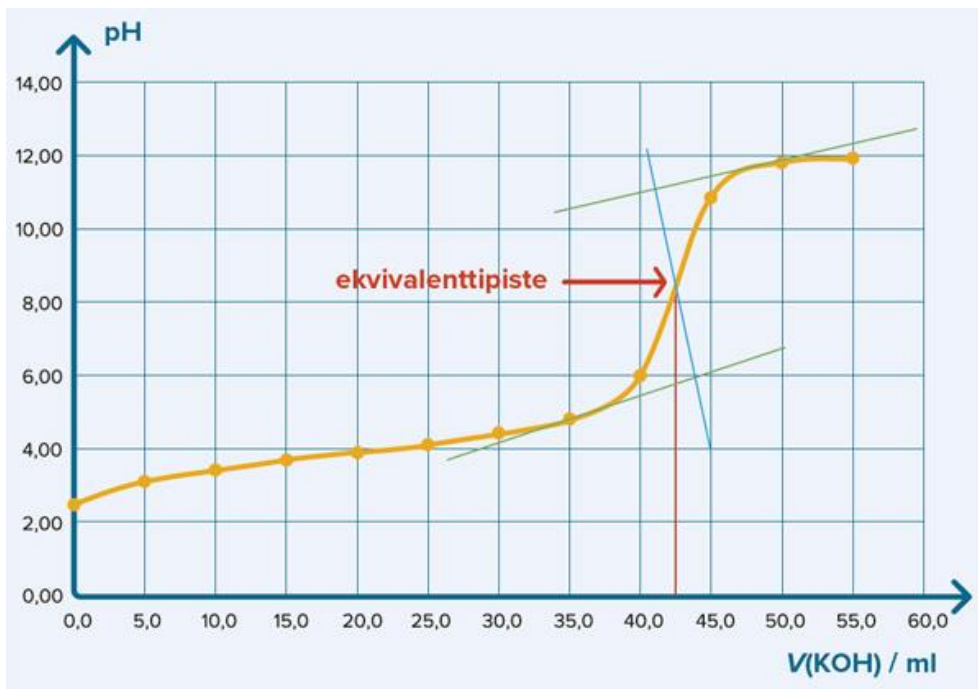
e) Maitohappo on orgaaninen happo (karboksyylihappo), jotka yleensä ovat heikkoja happoja.

f) Kaliumlaktaatti.

g) Fenoliftaleiini tai tymolisininen. Ekvivalenttipisteessä liuoksen pH on noin 8,5.
Fenoliftaleiinin väri­vaihtumisalue on pH-alueella 8,3–10,0 ja tymolisinisellä pH-alueella 8,2–9,8.

Vastaus:

a)



b) Ekvivalenttipiste on merkitty kohdan a) kuvaajaan.

c) $c(\text{maitohappo}) = 0,21 \text{ mol/dm}^3$.

d) 2-Hydroksipropaanihappo.

e) Maitohappo on orgaaninen happo (karboksyylihappo), jotka yleensä ovat heikkoja happoja.

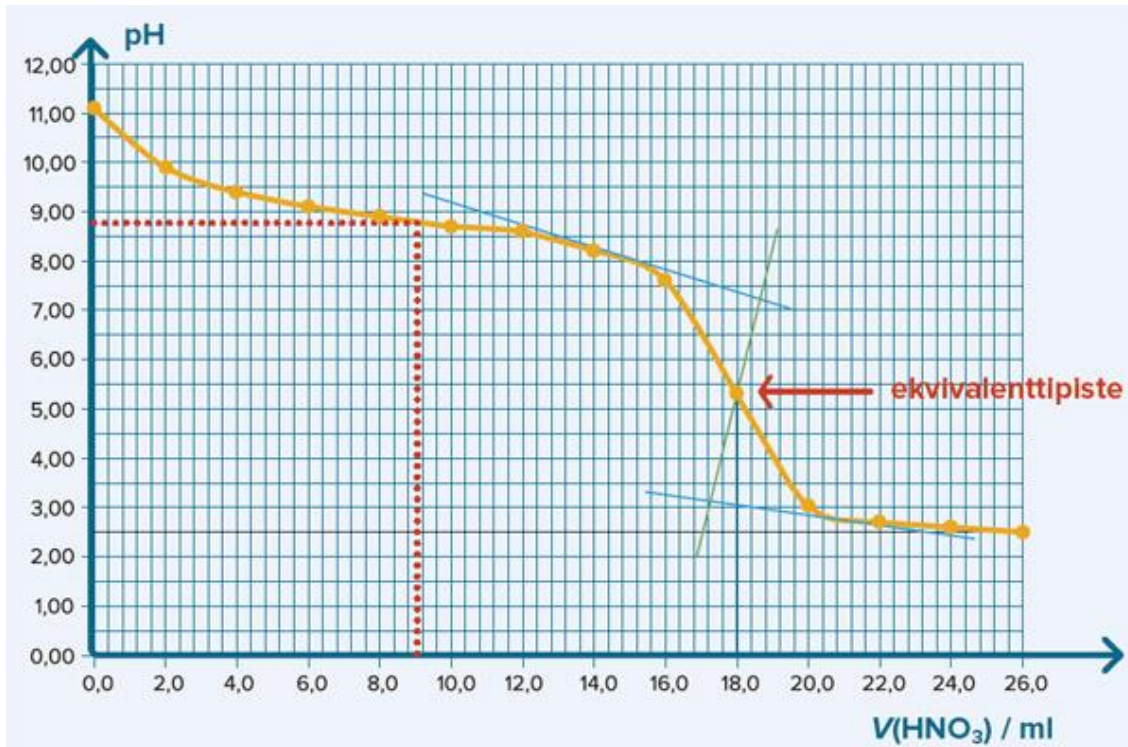
f) Kaliumlaktaatti.

g) Fenoliftaleiini tai tymolisininen. Ekvivalenttipisteessä liuoksen pH on noin 8,5. Fenoliftaleiinin väri­vaihtumisalue on pH-alueella 8,3–10,0 ja tymolisinisellä pH-alueella 8,2–9,8.

4.23

Ratkaisu:

a)



b)

Ekvivalenttipiste merkitty kohdan a) kuvaajaan.

Ekvivalenttipisteessä $V(\text{HNO}_3) = 18,0 \text{ ml}$ (merkitty kuvaajaan).

$$V(\text{HNO}_3) = 18,0 \text{ ml} = 0,0180 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{HNO}_3) = 0,20 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{näyte}) = 25,0 \text{ ml} = 0,0250 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{NH}_3) = ?$$

Lasketaan typpihapon ainemäärä ekvivalenttipisteessä:

$$n(\text{HNO}_3) = 0,20 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0180 \text{ dm}^3 = 3,600 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

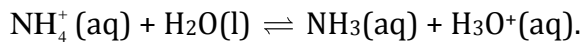
Reaktioyhtälön $\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{NH}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3(\text{aq})$ perusteella

$$n(\text{NH}_3) = n(\text{HNO}_3) = 3,600 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Lasketaan kysytty ammoniakkin konsentraatio

$$c(\text{NH}_3) = \frac{3,600 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,0250 \text{ dm}^3} = 0,1440 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,14 \text{ mol/dm}^3.$$

c) Kun ammoniakkiliuos on neutraloitunut, liuoksessa on ammoniumioneja NH_4^+ . Ammoniumioni on heikko happo, joka protolysoituu vesiliuoksessa:



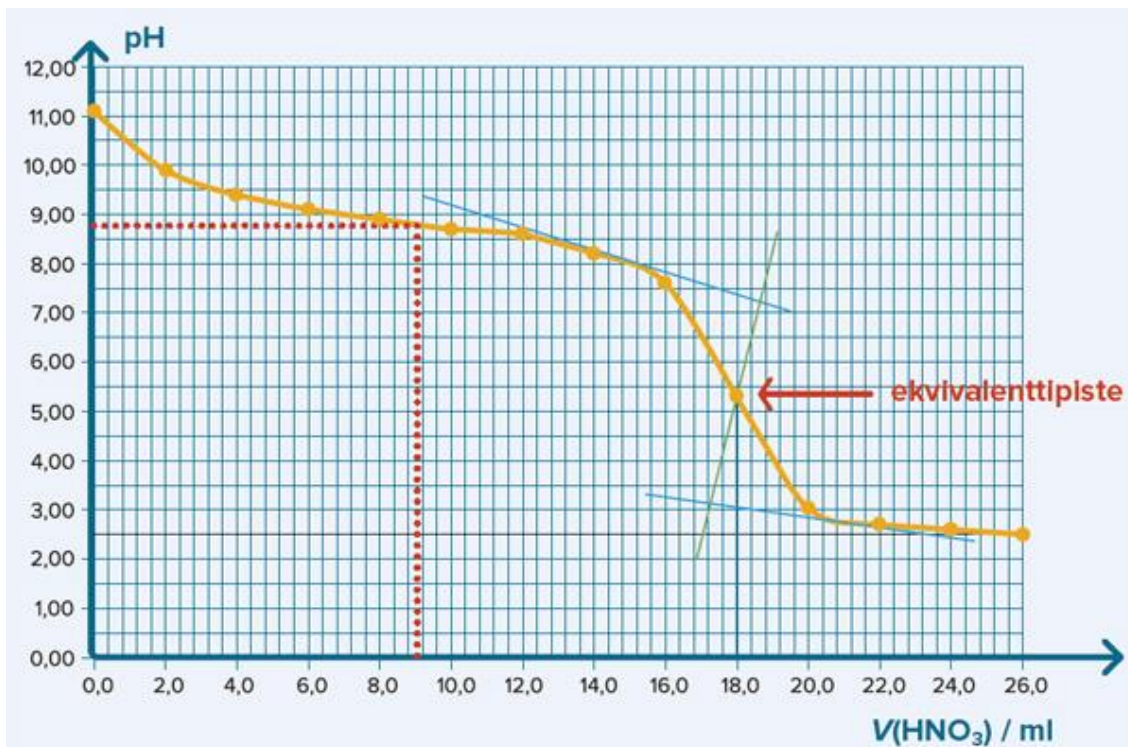
Oksoniumionit tekevät liuoksesta happaman.

d) Ekvivalenttipisteessä liuoksen pH-arvo on noin 5,3. Indikaattori, jonka värinvaihtumisalue osuu tälle pH-alueelle, on metyylipunainen (4,4–6,0).

e) $c(\text{NH}_3) = c(\text{NH}_4^+)$, kun puolet ammoniakkiliuoksesta on neutraloitunut. $V(\text{HNO}_3)$ on tällöin 9,0 ml. Luetaan pystyakselilta pH-arvo, kun $V(\text{HNO}_3) = 9,0 \text{ ml}$ (merkitty kuvaajaan). $\text{pH} \approx 8,80$.

Vastaus:

a)



b) $c(\text{NH}_3) = 0,14 \text{ mol/dm}^3$

c) Liuksessa on ammoniumioneja NH_4^+ (aq). Ammoniumioni on heikko happo, joka protolysoituu vesiliuksessa seuraavasti: NH_4^+ (aq) + H_2O (l) \rightleftharpoons NH_3 (aq) + H_3O^+ (aq). Oksoniumionit tekevät liuksesta happaman

d) Ekvivalenttipisteessä liuksen pH-arvo on noin 5,3–6,0. Indikaattori, jonka värinvaihtumisalue osuu tälle pH-alueelle, on metyylipunainen (4,4–6,0).

e) $\text{pH} \approx 8,80$.

4.24

Vastaus:

a) Byretti ja pH-mittari.

b) Kuvaaja B. Vain kuvaajassa B alku-pH on happamalla puolella eli titrattava näyte on sisältänyt happoa. Esimerkiksi etikkahappo ja natriumhydroksidi.

c) Kuvaaja A. Tässä kuvaajassa ekvivalenttipisteen pH on happamalla puolella (noin 5,0). Kun ammoniakki neutraloidaan, vesiliuokseen muodostuu ammoniumioneja NH_4^+ . Ammoniumioni on heikko happo, joten sen vesiliuoksen pH on alle 7.

d) Kuvaajan B ekvivalenttipiste on hieman yli 8,0 (emäksisellä puolella). Sopiva indikaattori olisi fenoliftaleiini (tymolisinen, tymoliftaleiini).

e) Kyseessä on titrauskäyrä, joka on saatu, kun vahvaa emästä on titrattu vahvalla hapolla. Tällöin alku-pH on korkea ja pH-muutos ekvivalenttipisteen kohdalla on jyrkempi kuin kuvaajassa A (heikon emäksen titrauskäyrä).

4.25

Ratkaisu:

Neutraloitumisreaktion reaktioyhtälö on $\text{Ba}(\text{OH})_2(\text{aq}) + 2 \text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{BaCl}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

Titrauskäyrän perusteella ekvivalenttipisteessä $V(\text{HCl}) = 7,5 \text{ ml}$.

Titrauksessa kuluneen suolahapon ainemäärä ekvivalenttipisteessä on:

$$n(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = 0,10 \text{ mol/l} \cdot 0,0075 \text{ l} = 7,500 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$

$$\text{Reaktioyhtälön perusteella } n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{HCl}) = \frac{1}{2} \cdot 7,500 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 3,750 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$

Titratussa näytteessä olleen bariumhydroksidin massa on:

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 3,750 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 171,346 \text{ g/mol} = 0,06425 \text{ g}.$$

Näytteessä olleen kideveden massa on:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 118,3 \text{ mg} - 64,25 \text{ mg} = 54,05 \text{ mg}.$$

Kideveden ainemäärä on

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,05405 \text{ g}}{18,016 \text{ g/mol}} = 3,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Kideveden ja bariumhydroksidin ainemäärien suhde on:

$$\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{Ba}(\text{OH})_2)} = \frac{3,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{3,750 \cdot 10^{-4} \text{ mol}} = 8,000 = 8.$$

$\Rightarrow x = 8$ ja kaava on $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$.

Vastaus:

$x = 8$. Kaava on $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$.

4.26

Ratkaisu:

a)

$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = n(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$ ekvivalenttipisteessä A, sillä tuossa pisteessä yksi fosforihapon protoneista on neutraloitunut.

b) Monovetyfosfaatti-ionin (HPO_4^{2-}) pitoisuus on suurin ekvivalenttipisteessä B, sillä tuossa pisteessä kaksi fosforihapon protoneista on neutraloitunut.

c)

Divetyfosfaatti-ionin happovakion lauseke on:

$$K_a = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}.$$

Kun $[\text{H}_2\text{PO}_4^-] = [\text{HPO}_4^{2-}]$ lauseke sievenee muotoon $K_a = [\text{H}_3\text{O}^+]$.

Koska $\text{p}K_a = -\lg K_a$ ja $\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+]$, saadaan: $\text{p}K_a = \text{pH}$.

Kun luetaan titrauskäyrältä pH, kun natriumhydroksidia on lisätty puolet ekvivalenttipisteen B tilavuudesta ($V(\text{NaOH}) \approx 60 \text{ ml}$) $\Rightarrow \text{pH} = \text{p}K_a$. Lausekkeesta $K_a = 10^{-\text{p}K_a}$ saadaan lopulta ratkaistua divetyfosfaatti-ionin happovakio.

d) Kaikki fosforihappo on neutraloitunut ekvivalenttipisteessä C.

e)

$$c(\text{NaOH}) = 0,500 \text{ mol/l}$$

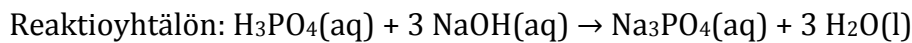
$$V(\text{näyte}) = 100 \text{ ml} = 0,100 \text{ l.}$$

$$n(\text{fosforihappo}) = ?$$

Kaikki näytteen fosforihappo on neutraloitunut ekvivalenttipisteessä C. $V(\text{NaOH})$ on tällöin 105 ml.

Lasketaan fosforihapon neutraloitumiseen tarvittu natriumhydroksidin ainemäärä:

$$n(\text{NaOH}) = 0,500 \text{ mol/l} \cdot 0,105 \text{ l} = 0,052500 \text{ mol.}$$



perusteella:

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{1}{3} \cdot n(\text{NaOH}) = \frac{1}{3} \cdot 0,052500 \text{ mol} = 0,017500 \text{ mol} = 17,5 \text{ mmol.}$$

Näyte sisälsi enemmän fosforihappoa (17,5 mmol/100 ml) kuin kolajuoma (0,275 mmol/100ml).

f) Happamat juomat usein nautittuna syövyttävät hampaan kiillettä.

Vastaus:

a) Ekvivalenttipisteessä A, sillä tuossa pisteessä yksi fosforihapon protoneista on neutraloitunut.

b) Ekvivalenttipisteessä B, sillä tuossa pisteessä kaksi fosforihapon protoneista on neutraloitunut.

c) Kun ($V(\text{NaOH}) \approx 60 \text{ ml}$) $\text{pH} = \text{p}K_a$. K_a saadaan tällöin laskettua lausekkeesta $K_a = 10^{-\text{p}K_a}$.

d) Kaikki fosforihappo on neutraloitunut ekvivalenttipisteessä C.

e) Näyte sisälsi enemmän fosforihappoa.

f) Happamat juomat usein nautittuna syövyttävät hampaan kiillettä.

4.3 Puskuriliuokset ja niiden toimintaperiaate

4.27

Vastaus:

Aine 1	Aine 2
HCOOH	HCOO ⁻
HPO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄ ⁻ (tai PO ₄ ³⁻)
NH ₄ ⁺	NH ₃
(CH ₃) ₂ NH	(CH ₃) ₂ NH ₂ ⁺
CH ₃ CH ₂ COO ⁻	CH ₃ CH ₂ COOH

4.28

Vastaus:

Liuokset b, c, d.

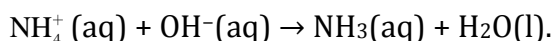
Liuoksessa b) on sama ainemäärä heikkoa emästä (NH₃) ja sen vastinhappoa (NH₄⁺).
Liuokseen c) muodostuu yhtä suuri ainemäärä heikkoa happoa (CH₃COOH) ja sen vastinemästä (CH₃COO⁻), kun lisätty natriumhydroksidiliuos neutraloi puolet etikkahaposta.
Liuoksessa d) on yhtä suuri ainemäärä heikkoa emästä (CH₃NH₂) ja sen vastinhappoa (CH₃NH₃⁺).

4.29

Vastaus:

Liuoksessa vallitsee tasapainotila $\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$. Kun liuokseen lisätään happoa eli liuokseen tulee oksoniumioneja, hydroksidi-ionit neutraloivat nämä vedeksi. Reaktioyhtälö on: $\text{OH}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

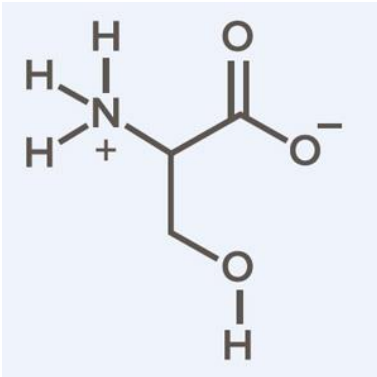
Kun liuokseen lisätään emästä eli liuoksen hydroksidi-ionikonsentraatio kasvaa, ammoniumionit reagoivat näiden ionien kanssa. Reaktioyhtälö on:



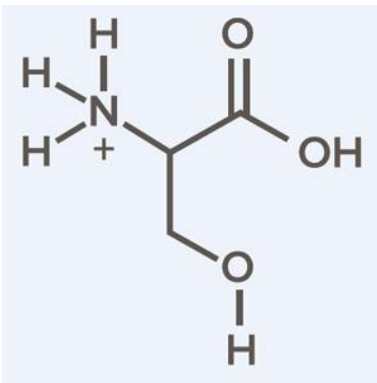
4.30

Vastaus:

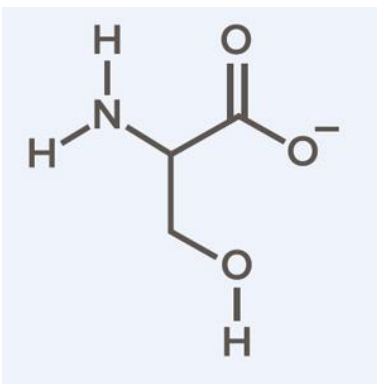
Seriinin kahtaisionin rakenne on:



Kun liuokseen lisätään happoa (oksoniumioneja), negatiivinen karboksylaatti-ioni toimii emäksenä eli ottaa vastaan protonin. Seriinin rakennekaava on tämän jälkeen:



Kun liuokseen lisätään emästä (hydroksidi-ioneja), positiivinen -NH_3^+ -ryhmä toimii happona eli luovuttaa protonin. Seriinin rakennekaava on tämän jälkeen:



4.31

Ratkaisu:

$$c(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 0,012 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{liuos}) = 500 \text{ ml} = 0,500 \text{ dm}^3$$

$$M(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 141,958 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = ?$$

Haluttu vetyfosfaatti-ionikonsentraatio on

$$1,6 \cdot c(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 1,6 \cdot 0,012 \text{ mol/dm}^3 = 0,01920 \text{ mol/dm}^3.$$

Tarvittava vetyfosfaatti-ionin ainemäärä 500 ml:ssa liuosta on:

$$n(\text{HPO}_4^{2-}) = 0,01920 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,500 \text{ dm}^3 = 9,600 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Natriumvetyfosfaatin kaavan perusteella

$$n(\text{HPO}_4^{2-}) = n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) \Rightarrow n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 9,600 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Tarvittava natriumvetyfosfaatin massa on:

$$m(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 9,600 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 141,958 \text{ g/mol} = 1,363 \text{ g} \approx 1,4 \text{ g}.$$

Vastaus:

$$m(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 1,4 \text{ g}$$

4.32

Vastaus:

a) Alaniini voi toimia joko happona, jolloin se luovuttaa protonin H_3N^+ -ryhmästä, tai emäksenä, jolloin karboksylaattiryhmä $-\text{COO}^-$ vastaanottaa protonin.

b) Pisteessä A rakennekaava on $\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{COOH}$. Kun lisätään happoa, alaniinin kahtaisionimuoto $\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{COO}^-$ toimii emäksenä, jolloin $-\text{COO}^-$ ottaa vastaan protonin. Pisteessä B rakennekaava on $\text{H}_3\text{N}-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{COO}^-$. Kun lisätään emästä alaniinin kahtaisionimuoto $\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{COO}^-$ toimii happona, jolloin H_3N^+ luovuttaa protonin.

Harjoittele lisää!

Testaa oppimasi!

Vastaus:

1. a), c), d), e)
2. b), c), d)
3. c), d), e)
4. b), c), d)
5. a), b), c)
6. a), d)
7. a)
8. c), d)
9. a), b), c)
10. c), d).

Hallitsetko käsitteet? Täydennä virkkeet.

Vastaus:

Brønsted-Lowryn teorian mukaan happo on aine, joka kykenee luovuttamaan **protonin**.

Amiinit ovat orgaanisia emäksiä, joiden vesiliuokseen muodostuu **hydroksidi-ioneja**.

Monet orgaaniset hapot ovat **heikkoja happoja**, sillä ne eivät protolysoitu **täysin**.

Heikkojen protolyyttien vesiliuokseen muodostuu **homogeeninen tasapainotila**.

Emäsvakion kirjaintunnus on **K_b** ja yksikkö **mol/dm^3** .

Mitä pienempi emäsvakio on, sitä **heikompi** emäs on.

Suolahappo ja rikkihappo ovat molemmat vahvoja happoja, mutta suolahappo on **yksiarvoinen** ja rikkihappo **moniarvoinen**.

Neutraloitumisreaktiossa vesiliuoksen **hydroksidi-ionit** reagoivat **oksoniumionien** kanssa ja muodostuu **vettä**.

Titrauskäyrää varten y-akselille merkitään **pH-arvo** ja x-akselille **titrausliuoksen tilavuus**.

Sitä kohtaa happo-emästitrauskäyrällä, jossa neutraloituminen on tapahtunut täydellisesti, kutsutaan **ekvivalenttipisteeksi**.

Happo-emästitraukseen sopiva indikaattori valitaan titrauksen **ekvivalenttipisteen pH-arvon** perusteella.

Ainetta, joka voi toimia joko happona tai emäksenä, kutsutaan **amfoteeriseksi**.

Puskuriliuos koostuu joko **heikosta haposta** ja sen **vastinemäksestä** tai **heikosta emäksestä** ja sen **vastinhaposta**.

Reaktioyhtälö $\text{HCOOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCOO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ kuvaa muurahaishapon **protolyysireaktiota**.

Reaktioyhtälö $\text{HCOOH}(\text{aq}) + \text{NaOH}(\text{l}) \rightarrow \text{NaHCOO}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ kuvaa muurahaishapon **neutraloitumisreaktiota**.

Kun vesiliuoksessa $c(\text{HCOOH}) \approx c(\text{HCOO}^-)$, kyseessä on **puskuriliuos**.

Ylioppilastehtäviä

1.

Vastaus:

a) Happo-emästitrauksen ekvivalenttipisteessä $V(\text{NaOH})$ on 14 ml. Johtokykytitrauksen ekvivalenttipisteessä $V(\text{NaOH})$ on 14 ml.

b) Liuoksen alku-pH on aluksi noin 1, sillä kyseessä on vahva happo. Kun natriumhydroksidiliuosta lisätään, happoa alkaa neutraloitua ja pH nousee. Aluksi pH nousee hitaasti, sillä liuoksessa on runsaasti oksoniumioneja. Ekvivalenttikohdassa pH nousee jyrkästi, sillä pieni määrä emästä riittää neutraloimaan jäljellä olevat oksoniumionit, jonka jälkeen liuoksessa on ylimäärä hydroksidi-ioneja. Hydroksidi-ioni on vahva emäs, joten pH nousee jyrkästi. Kun kaikki happo on neutraloitunut, pH-arvoon vaikuttaa vain hydroksidi-ionit ja niiden konsentraation laimeneminen.

c) Titrauksen ekvivalenttipisteessä liuoksessa on natrium-, kloridi-, hydroksidi- ja oksoniumioneja. Natrium- ja kloridi-ionien konsentraatiot ovat yhtä suuret. Samoin hydroksidi- ja oksoniumionikonsentraatiot ovat yhtä suuret.

d) Ekvivalenttipisteen jälkeen liuoksen johtokyky kasvaa, sillä lisätty natriumhydroksidi ei enää neutraloi oksoniumioneja, vaan jää liuokseen vapaina ioneina. Liuoksen ionipitoisuus kasvaa (elektrolyytteinä toimivien ionien pitoisuus kasvaa), minkä seurauksena sähkönjohtokykykin kasvaa.

2.

Ratkaisu:

$$V(\text{NaOH}) \text{ ekvivalenttipisteessä} = 20 \text{ ml} = 0,020 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{NaOH}) = 0,121 \text{ ml/dm}^3$$

$$m(\text{saostuma}) = 225 \text{ mg} = 0,225 \text{ g}$$

$$M(\text{HCl}) = 36,458 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{HNO}_3) = 63,018 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{HCl}) = ?$$

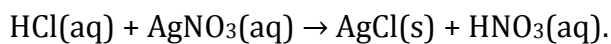
$$m(\text{HNO}_3) = ?$$

Ekvivalenttipisteessä natriumhydroksidin ainemäärä on:

$$n(\text{NaOH}) = 0,121 \text{ ml/dm}^3 \cdot 0,020 \text{ dm}^3 = 2,420 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Seoksessa olleiden happojen kokonaisainemäärä $n(\text{hapot}) = n(\text{NaOH}) = 2,420 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$

Suolahapon kloridi-ionit saostuvat (muodostuu niukkaliukoista suolaa), kun liuokseen lisätään hopeanitraattia. Reaktioyhtälö on:



Reaktioyhtälön perusteella $n(\text{HCl}) = n(\text{AgCl})$.

Lasketaan saostuneen hopeakloridin ainemäärä:

$$n(\text{AgCl}) = \frac{0,225 \text{ g}}{143,32 \text{ g/mol}} = 1,5699 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$m(\text{HCl}) = 1,5699 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 36,458 \text{ g/mol} = 0,057235 \text{ g} \approx 57 \text{ mg.}$$

$$n(\text{HNO}_3) = n(\text{hapot}) - n(\text{HCl}) = 2,420 \cdot 10^{-3} \text{ mol} - 1,5699 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 8,501 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$m(\text{HNO}_3) = 8,501 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 63,018 \text{ g/mol} = 0,05357 \text{ g} \approx 54 \text{ mg.}$$

Vastaus:

$$m(\text{HCl}) = 57 \text{ mg}$$

$$m(\text{HNO}_3) = 54 \text{ mg}$$

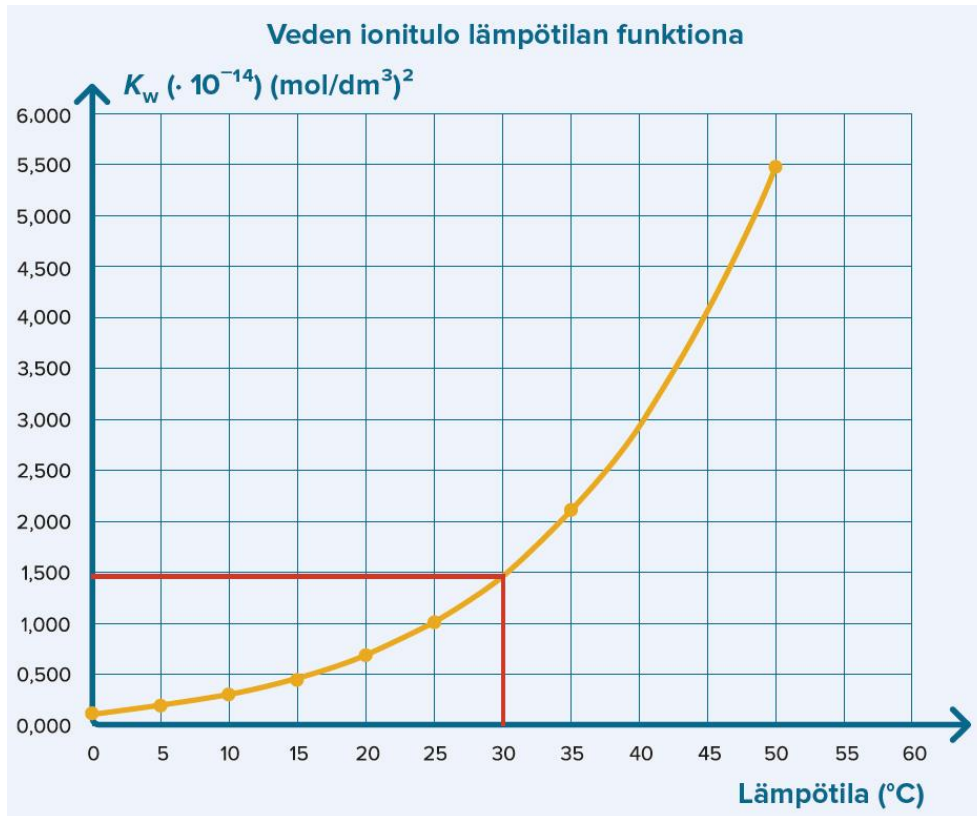
Jakso 5 Vesiliuoksen pH-arvon laskeminen – vastaukset ja ratkaisut

5.1 Veden autoprotolyysireaktio ja pH-asteikko

5.1

Ratkaisu:

a)



b) Reaktio on endoterminen, sillä veden ionitulon arvo kasvaa, kun lämpötila kasvaa. Tasapainotila siirtyy lämpötilan kohotessa reaktiotuotteiden suuntaan.

c) $K_w = \approx 1,500 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}^2$ (merkitty kohdan a) kuvaajaan).

d)

$$K_w (50\text{ °C}) = 5,476 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}^2 \text{ (annettu tehtävässä)}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = ?$$

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

$$\text{pH} = ?$$

Autoprotolyysireaktion perusteella puhtaassa vedessä oksonium- ja hydroksidi-ionikonsentraatiot ovat yhtä suuret. Merkitään konsentraatioita x :llä. Lausekkeesta

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] \text{ saadaan:}$$

$$K_w = x \cdot x$$

$$\Rightarrow 5,476 \cdot 10^{-14} = x^2.$$

$$\text{Tästä ratkaistuna } x = 2,340 \cdot 10^{-7}.$$

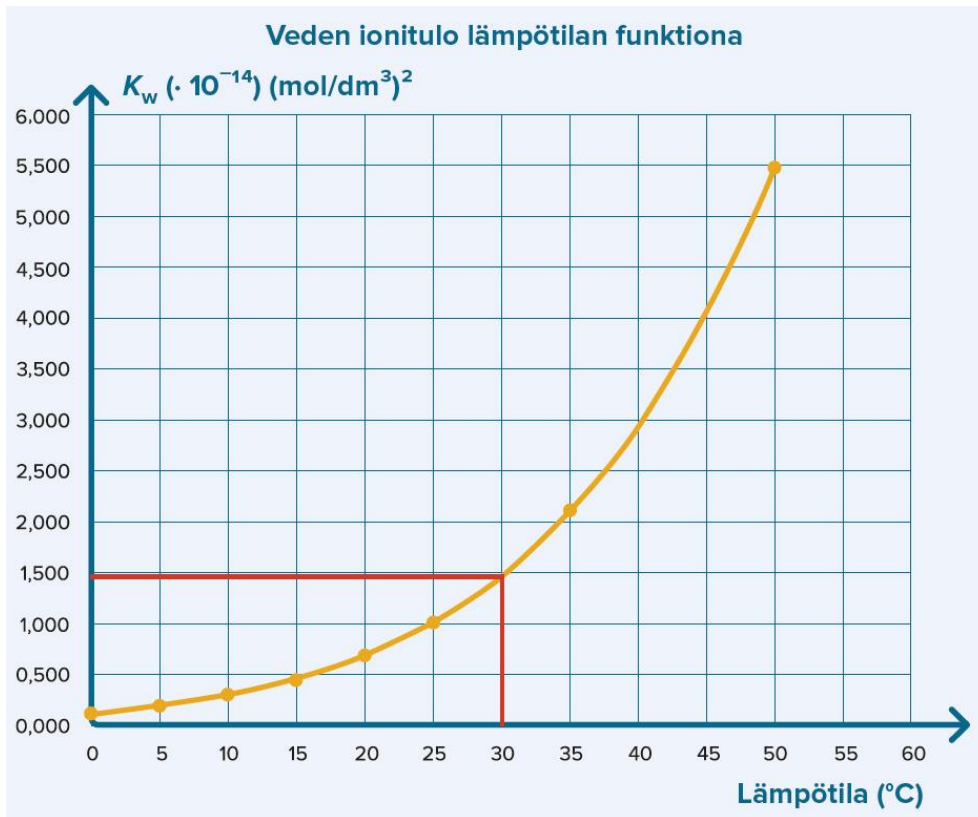
$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 2,340 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3 \approx 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+] = -\lg 2,340 \cdot 10^{-7} = 6,6308 \approx 6,63.$$

e) Puhdas vesi on neutraalia eri lämpötiloissa, sillä autoprotolyysireaktio tuottaa aina yhtä suuren ainemäärän oksonium- ja hydroksidi-ioneja.

Vastaus:

a)



b) Reaktio on endoterminen, sillä veden ionitulon arvo kasvaa, kun lämpötila kasvaa. Tasapainotila siirtyy lämpötilan kohotessa reaktiotuotteiden suuntaan.

c) $K_w \approx 1,500 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}^2$ (merkitty kohdan a) kuvaajaan).

d) $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$.

pH = 6,63.

e) Puhdas vesi on neutraalia eri lämpötiloissa, sillä autoprotolyysireaktio tuottaa aina yhtä suuren ainemäärän oksonium- ja hydroksidi-ioneja.

5.2

Ratkaisu:

a)

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$$

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

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}^2}{1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3} = 1,008 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3 \approx 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3.$$

Liuos on neutraali.

b)

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,9 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$$

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

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}^2}{1,9 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3} = 5,305 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 \approx 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

Liuos on emäksinen.

c)

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 6,7 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$$

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

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}^2}{6,7 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3} = 1,504 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3 \approx 1,5 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3.$$

Liuos on hapan.

d)

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 2,3 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$$

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

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}^2}{2,3 \text{ mol/dm}^3} = 4,383 \cdot 10^{-15} \text{ mol/dm}^3 \approx 4,4 \cdot 10^{-15} \text{ mol/dm}^3.$$

Liuos on hapan.

Vastaus:

a) $[\text{OH}^-] = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$. Liuos on neutraali.

b) $[\text{OH}^-] = 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$. Liuos on emäksinen.

c) $[\text{OH}^-] = 1,5 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3$. Liuos on hapan.

d) $[\text{OH}^-] = 4,4 \cdot 10^{-15} \text{ mol/dm}^3$. Liuos on hapan.

5.3

Ratkaisu:

a)

$$K_a(\text{HCO}_3^-) = 4,7 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2$$

$$K_b(\text{CO}_3^{2-}) = ?$$

Lausekkeesta $K_w = K_a(\text{HA}) \cdot K_b(\text{A}^-)$ saadaan:

$$K_b(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{K_w}{K_a(\text{HCO}_3^-)} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2}{4,7 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3} = 2,145 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 \approx 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

b)

$$K_b(\text{HS}^-) = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2$$

$$K_a(\text{H}_2\text{S}) = ?$$

Lausekkeesta $K_w = K_a(\text{HA}) \cdot K_b(\text{A}^-)$ saadaan:

$$K_a(\text{H}_2\text{S}) = \frac{K_w}{K_b(\text{HS}^-)} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2}{1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3} = 1,008 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3 \approx 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3.$$

c)

$$K_a(\text{CHCl}_2\text{COOH}) = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2$$

$$K_b(\text{CHCl}_2\text{COO}^-) = ?$$

Lausekkeesta $K_w = K_a(\text{HA}) \cdot K_b(\text{A}^-)$ saadaan:

$$K_b(\text{CHCl}_2\text{COO}^-) = \frac{K_w}{K_a(\text{CHCl}_2\text{COOH})} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2}{5,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/dm}^3}$$

$$= 1,833 \cdot 10^{-13} \text{ mol/dm}^3 \approx 1,8 \cdot 10^{-13} \text{ mol/dm}^3.$$

Vastaus:

a) $K_b(\text{CO}_3^{2-}) = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$

b) $K_a(\text{H}_2\text{S}) = 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$

c) $K_b(\text{CHCl}_2\text{COO}^-) = 1,8 \cdot 10^{-13} \text{ mol/dm}^3$.

5.4**Vastaus:**

$[\text{H}_3\text{O}^+]$	$[\text{OH}^-]$	pH	pOH	Hapan vai emäksinen?
$6,5 \cdot 10^{-6} \text{ mol/l}$	$1,6 \cdot 10^{-9} \text{ mol/l}$	5,19	8,80	hapan
$1,1 \cdot 10^{-10} \text{ mol/l}$	$8,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l}$	9,96	4,06	emäksinen
$3,2 \cdot 10^{-8} \text{ mol/l}$	$3,2 \cdot 10^{-7} \text{ mol/l}$	7,50	6,49	emäksinen
$7,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol/l}$	$1,3 \cdot 10^{-13} \text{ mol/l}$	1,14	12,90	hapan

5.5**Ratkaisu:**

pH = 6,77

$V(\text{maitonäyte}) = 100 \text{ ml} = 0,100 \text{ dm}^3$

$n(\text{OH}^-) = ?$

Lasketaan maidon oksoniumionikonsentraatio pH-arvon avulla:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-6,77} = 1,698 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3.$$

100 millilitran maitonäytteessä oksoniumionien ainemäärä on:

$$n(\text{H}_3\text{O}^+) = 1,698 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,100 \text{ dm}^3 = 1,698 \cdot 10^{-8} \text{ mol}.$$

Neutraalissa liuoksessa $n(\text{H}_3\text{O}^+) = n(\text{OH}^-) \Rightarrow n(\text{OH}^-) = 1,698 \cdot 10^{-8} \text{ mol} \approx 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ mol}$.

Vastaus:

$$n(\text{OH}^-) = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ mol}.$$

5.2 Vahvan hapon tai emäksen vesiliuoksen pH

5.6

Ratkaisu:

Kaikki hapot ovat yksiarvoisia vahvoja happoja, eli ne protolysoituvat täydellisesti. Vesiliuoksessa $[\text{H}_3\text{O}^+] = c(\text{happo})$.

a)

$$c(\text{HCl}) = 0,20 \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+] = -\lg 0,20 = 0,6990 \approx 0,70.$$

b)

$$c(\text{HClO}_4) = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+] = -\lg 5,6 \cdot 10^{-3} = 2,2518 \approx 2,25.$$

c)

$$c(\text{HNO}_3) = 0,025 \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+] = -\lg 0,025 = 1,6021 \approx 1,60.$$

Vastaus:

a) $\text{pH} = 0,70$

b) $\text{pH} = 2,25$

c) $\text{pH} = 1,60$

5.7

Ratkaisu:

a)

$$\text{pH} = 2,50$$

$$c(\text{HNO}_3) = ?$$

Typpihappo on yksiarvoinen vahva happo, joten

$$c(\text{HNO}_3) = [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2,50} \text{ mol/dm}^3 = 3,162 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \approx 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

b)

$$\text{pH} = 5,20$$

$$c(\text{HNO}_3) = ?$$

$$c(\text{HNO}_3) = [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-5,20} \text{ mol/dm}^3 = 6,310 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3 \approx 6,3 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3.$$

Vastaus:

$$\text{a) } c(\text{HNO}_3) = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{b) } c(\text{HNO}_3) = 6,3 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$$

5.8

Ratkaisu:

$$m\text{-}\%(\text{HCl}) = 36 \%$$

$$\rho(\text{HCl}) = 1,18 \text{ g/ml}$$

$$\text{pH} = 2,10$$

$$V(\text{liuos}) = 12,5 \text{ l}$$

$$M(\text{HCl}) = 36,458 \text{ g/mol}$$

$$V(\text{HCl}) = ?$$

Valmistettavan suolahappoliuoksen oksoniumionikonsentraatio on:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2,10} \text{ mol/l} = 7,943 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}.$$

Oksoniumionien kokonaisainemäärä liuoksessa on:

$$n(\text{H}_3\text{O}^+) = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot V = 7,943 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \cdot 12,5 \text{ l} = 0,09929 \text{ mol}.$$

Koska vetykloridi on yksiarvoinen vahva happo, on tarvittavan suolahapon ainemäärä sama kuin oksoniumionien ainemäärä eli

$$n(\text{HCl}) = n(\text{H}_3\text{O}^+) = 0,09929 \text{ mol}.$$

Tiheyden perusteella 1 000 g 36 m-% suolahappoa vastaa tilavuutta:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1\,000 \text{ g}}{1,18 \text{ g/ml}} = 847,5 \text{ ml} = 0,8475 \text{ l}.$$

1 000 grammaa 36-massaprosenttista suolahappoa sisältää vetykloridia 360 g. Tämän massan ja edellä lasketun tilavuuden avulla saadaan ratkaistua 36 m-%:n suolahapon konsentraatio:

$$c(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{V} = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl}) \cdot V} = \frac{360 \text{ g}}{36,458 \text{ g/mol} \cdot 0,8475 \text{ l}} = 11,65 \text{ mol/l}.$$

Tarvittava suolahapon tilavuus on:

$$V(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{c(\text{HCl})} = \frac{0,09929 \text{ mol}}{11,65 \text{ mol/l}} = 8,523 \cdot 10^{-3} \text{ l} \approx 8,5 \text{ ml}.$$

Vastaus:

$$V(\text{HCl}) = 8,5 \text{ ml}$$

5.9

Ratkaisu:

$$V(\text{HCl}) = 205 \text{ ml} = 0,205 \text{ dm}^3$$

$$t = (23,0 + 273,15) \text{ K} = 296,15 \text{ K}$$

$$p = 0,987 \text{ bar}$$

$$R = 0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$V(\text{liuos}) = 4,25 \text{ dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

Lasketaan liuenneen vetykloridin ainemäärä ideaalikaasun tilanyhtälöstä $pV = nRT$, josta

$$n(\text{HCl}) = \frac{pV}{RT} = \frac{0,987 \text{ bar} \cdot 0,205 \text{ dm}^3}{0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 296,15 \text{ K}} = 8,2172 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Vetykloridin konsentraatio valmistettavassa liuoksessa on:

$$c(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{V(\text{liuos})} = \frac{8,2172 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{4,25 \text{ l}} = 1,9335 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}.$$

Vetykloridi on yksiarvoinen vahva happo, joten liuoksessa

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = c(\text{HCl}) = 1,9335 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}.$$

Kysytty pH on:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+] = -\lg 1,9335 \cdot 10^{-3} \approx 2,714.$$

Vastaus:

$$\text{pH} = 2,714$$

5.10

Ratkaisu:

$$c(\text{KOH}) = 3,0 \text{ mol/l}$$

$$pK_w = 13,9965$$

$$\text{pH} = ?$$

Yksi mooli kaliumhydroksidia tuottaa liuokseen yhden moolin hydroksidi-ioneja, joten liuoksessa:

$$[\text{OH}^-] = c(\text{KOH}) = 3,0 \text{ mol/l.}$$

Liuoksen pOH-arvo on:

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = -\lg 3,0 = -0,4771.$$

Liuoksen pH on:

$$\text{pH} = pK_w - \text{pOH} = 13,9965 - (-0,4771) = 14,4736 \approx 14,47.$$

Rasvojen emäshydrolyysissä triglyseridien esterisidokset katkeavat, jolloin vapautuu glyserolia ja rasvahappoja. Rasvahapot neutraloituvat käytetyllä emäksellä.

Vastaus:

$$\text{pH} = 14,47.$$

Rasvojen emäshydrolyysissä triglyseridien esterisidokset katkeavat jolloin vapautuu glyserolia ja rasvahappoja. Rasvahapot neutraloituvat käytetyllä emäksellä.

5.11

Ratkaisu:

$$V(\text{NaOH}) = 125 \text{ ml} = 0,125 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{NaOH}) = 0,60 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{liuos}) = 15 \text{ l}$$

$$pK_w = 13,9965$$

$$\text{pH} = ?$$

Yksi mooli natriumhydroksidia tuottaa liuokseen yhden moolin hydroksidi-ioneja, joten laimennokseen tulevien hydroksidi-ionien ainemäärä on:

$$n(\text{OH}^-) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = 0,60 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,125 \text{ dm}^3 = 0,07500 \text{ mol.}$$

Laimennoksen hydroksidi-ionikonsentraatio on:

$$[\text{OH}^-] = \frac{n(\text{OH}^-)}{V(\text{liuos})} = \frac{0,07500 \text{ mol}}{15 \text{ l}} = 5,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l.}$$

Liuoksen pOH-arvo on:

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = -\lg 5,000 \cdot 10^{-3} = 2,3010.$$

Liuoksen pH on:

$$\text{pH} = pK_w - \text{pOH} = 13,9965 - 2,3010 = 11,6955 \approx 11,70.$$

Vastaus:

$$\text{pH} = 11,70.$$

5.12

Ratkaisu:

a)

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}) = 39 \text{ mg} = 0,039 \text{ g}$$

$$V(\text{liuos}) = 100 \text{ ml}$$

$$M(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}) = 315,474 \text{ g/mol}$$

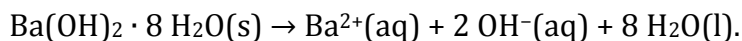
$$pK_w = 13,9965$$

$$\text{pH} = ?$$

Lasketaan bariumhydroksidin ainemäärä:

$$n(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M} = \frac{0,039 \text{ g}}{315,474 \text{ g/mol}} = 1,236 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Kun yksi mooli bariumhydroksidia liukenee, liuokseen muodostuu kaksi moolia hydroksidi-ioneja:



Liuoksen hydroksidi-ionien ainemäärä on:

$$n(\text{OH}^{-}) = 2 \cdot 1,236 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 2,472 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Liuoksen hydroksidi-ionikonsentraatio on:

$$[\text{OH}^{-}] = \frac{n(\text{OH}^{-})}{V(\text{liuos})} = \frac{2,472 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,100 \text{ l}} = 2,472 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l.}$$

Liuoksen pOH-arvo on:

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^{-}] = -\lg 2,472 \cdot 10^{-3} = 2,6070.$$

Liuoksen pH on:

$$\text{pH} = pK_w - \text{pOH} = 13,9965 - 2,6070 = 11,3895 \approx 11,39.$$

b)

$$[\text{OH}^-] = 2,472 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l (kohdasta a)}$$

$$\text{pH} = 10,30$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$V(\text{liuos}) = 100 \text{ ml} = 0,100 \text{ l}$$

$$V(\text{OH}^-) = ?$$

Lasketaan laimennoksen hydroksidi-ionikonsentraatio pH-arvon avulla:

$$\text{pOH} = \text{p}K_w - \text{pH} = 13,9965 - 10,30 = 3,6965$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-3,6965} = 2,011 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l.}$$

100 ml:ssa laimennosta oleva hydroksidi-ionien ainemäärä on:

$$n(\text{OH}^-) = 0,100 \text{ l} \cdot 2,011 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l} = 2,011 \cdot 10^{-5} \text{ mol.}$$

Lasketaan, mikä tilavuus alkuperäistä liuosta tarvitaan, jotta saadaan tämä ainemäärä hydroksidi-ioneja:

$$V(\text{OH}^-) = \frac{2,011 \cdot 10^{-5} \text{ mol}}{2,472 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}} = 8,135 \cdot 10^{-3} \text{ l} \approx 8,1 \text{ ml.}$$

Vastaus:

a) $\text{pH} = 11,39.$

b) $V = 8,1 \text{ ml.}$

5.13

Ratkaisu:

$$m\text{-}\%(\text{KOH}) = 15 \%$$

$$\rho(15 \text{ m-}\% \text{ KOH}) = 1,14 \text{ g/ml}$$

$$V(\text{liuos}) = 25,0 \text{ l}$$

$$\text{pH} = 11,55$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$M(\text{KOH}) = 56,108 \text{ g/mol}$$

$$V(\text{KOH}) = ?$$

Lasketaan liuoksen pH-arvon avulla valmistettavan liuoksen pOH-arvo:

$$\text{pOH} = \text{p}K_w - \text{pH} = 13,9965 - 11,55 = 2,4465.$$

Valmistettavan liuoksen hydroksidi-ionikonsentraatio on siten:

$$[\text{OH}^-] = 10^{-2,4465} \text{ mol/l} = 3,577 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}.$$

Yksi mooli kaliumhydroksidia tuottaa veteen liuetessaan yhden moolin hydroksidi-ioneja, joten

$$n(\text{KOH}) = n(\text{OH}^-) = [\text{OH}^-] \cdot V(\text{liuos}) = 3,577 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \cdot 25,0 \text{ l} = 0,08943 \text{ mol}.$$

Kaliumhydroksidin massa valmistettavassa liuoksessa on:

$$m(\text{KOH}) = n(\text{KOH}) \cdot M(\text{KOH}) = 0,08943 \text{ mol} \cdot 56,108 \text{ g/mol} = 5,018 \text{ g}.$$

Lasketaan, mikä massa käytössä olevaa 15 m-% KOH-liuosta tarvitaan:

$$m(15 \text{ m-}\% \text{ KOH}) = \frac{5,018 \text{ g}}{0,15} = 33,45 \text{ g}.$$

Ratkaistaan kysytty tilavuus tämän massan ja 15 m-%:n kaliumhydroksidiliuoksen tiheyden avulla:

$$V(15 \text{ m-\% KOH}) = \frac{m}{\rho} = \frac{33,45 \text{ g}}{1,14 \text{ g/ml}} = 29,34 \text{ ml} \approx 29 \text{ ml}.$$

Vastaus:

$$V(15 \text{ m-\% KOH}) = 29 \text{ ml}.$$

5.3 Heikon hapon tai emäksen vesiliuoksen pH

5.14

Ratkaisu:

$$c(\text{HNO}_2) = 0,250 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_a(\text{HNO}_2) = 7,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

Merkitään liuokseen muodostuvaa oksoniumionikonsentraatiota kirjaintunnuksella x ja tehdään taulukko alkukonsentraatioista, konsentraatioiden muutoksista ja tasapainokonsentraatioista. Muista, että veden konsentraatiota ei merkitä, sillä se sisältyy happovakion arvoon.

	$\text{HNO}_2(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{NO}_2^-(\text{aq})$	+	$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$
$c_{\text{alku}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	0,250		-		0		0
$\text{muutos (mol/dm}^3\text{)}$	$-x$		-		$+x$		$+x$
$c_{\text{tasap.}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	$0,250 - x$		-		x		x

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot typpihapokkeen happovakion lausekkeeseen:

$$K_a = \frac{[\text{NO}_2^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HNO}_2]} \Rightarrow 7,2 \cdot 10^{-4} = \frac{x \cdot x}{0,250 - x}$$

Toisen asteen yhtälön ratkaisuksi saadaan:

$$x_1 = 0,01306 \text{ ja}$$

$$x_2 = -0,01378.$$

Vain positiivinen juuri kelpaa, sillä oksoniumionikonsentraation tulee kasvaa ja typpihapokkeen konsentraation pienentyä.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,01306 \text{ mol/dm}^3.$$

Liuoksen pH on:

$$\text{pH} = -\lg 0,01306 = 1,8841 \approx 1,88.$$

Vastaus:

$$\text{pH} = 1,88.$$

5.15**Ratkaisu:****a)**

$$c(\text{HF}) = 0,020 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_a(\text{HF}) = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

$$\text{Protolysoitumisaste} = ?$$

Merkitään liuokseen muodostuvaa oksoniumionikonsentraatiota kirjaintunnuksella x ja tehdään taulukko alkukonsentraatioista, konsentraatioiden muutoksista ja tasapainokonsentraatioista. Muista, että veden konsentraatiota ei merkitä, sillä se sisältyy happovakion arvoon.

	HF(aq)	+	H₂O(l)	⇌	F⁻(aq)	+	H₃O⁺(aq)
$c_{\text{alku}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	0,020		-		0		0
$\text{muutos (mol/dm}^3\text{)}$	$-x$		-		$+x$		$+x$
$c_{\text{tasap.}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	$0,020 - x$		-		x		x

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot vetyfluoridin happovakion lausekkeeseen.

$$K_a = \frac{[\text{F}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HF}]} \Rightarrow 6,6 \cdot 10^{-4} = \frac{x^2}{0,020 - x}$$

Toisen asteen yhtälön ratkaisuksi saadaan:

$$x_1 = 0,003318 \text{ ja}$$

$$x_2 = -0,003978.$$

Näistä vain positiivinen juuri kelpaa, sillä oksoniumionikonsentraation tulee kasvaa ja vetyfluoridin konsentraation pienentyä.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,003318 \text{ mol/dm}^3$$

Liuksen pH on:

$$\text{pH} = -\lg 0,003318 = 2,4791 \approx 2,48.$$

b)

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,003318 \text{ mol/dm}^3 \text{ (kohdasta a)}$$

$$c(\text{HF})_{\text{alku}} = 0,020 \text{ mol/dm}^3$$

Protolysoitumisaste = ?

$$\text{Protolysoitumisaste} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c(\text{HF})_{\text{alku}}} = \frac{0,003318 \text{ mol/dm}^3}{0,020 \text{ mol/dm}^3} \cdot 100 \% = 16,59 \% \approx 17 \%$$

c)

$$c(\text{HF})_{\text{alku}} = 0,020 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{muutos}) = 0,003318 \text{ mol/dm}^3$$

$$[\text{HF}] = ?$$

Vetyfluoridin tasapainokonsentraatio on:

$$[\text{HF}] = (0,020 - 0,003318) \text{ mol/dm}^3 = 0,01668 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,017 \text{ mol/dm}^3.$$

Vastaus:

a) $\text{pH} = 2,48$

b) Protolysoitumisaste on 17 %.

c) $[\text{HF}] = 0,017 \text{ mol/dm}^3.$

5.16

Ratkaisu:

$$m(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}) = 11,0 \text{ g}$$

$$V(\text{liuos}) = 1,00 \text{ dm}^3$$

$$\text{pH} = 2,94$$

$$M(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}) = 116,156 \text{ g/mol}$$

$$K_a(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}) = ?$$

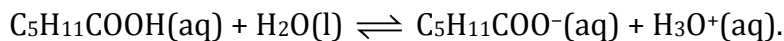
Lasketaan kapronihapon konsentraatio liukoisuuden perusteella:

$$c(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{11,0 \text{ g}}{116,156 \text{ g/mol} \cdot 1,0 \text{ dm}^3} = 0,094700 \text{ mol/dm}^3.$$

Lasketaan liuoksen oksoniumionikonsentraatio annetun pH-arvon perusteella:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \text{ mol/dm}^3 = 10^{-2,94} \text{ mol/dm}^3 = 1,148 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Kapronihappo on orgaaninen, heikko happo, jonka protolyysireaktio on:



Tasapainotilassa konsentraatiot ovat:

$$[\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,148 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$[\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}] = (0,094700 - 1,148 \cdot 10^{-3}) \text{ mol/dm}^3 = 0,093552 \text{ mol/dm}^3.$$

Sijoitetaan tasapaikonsentraatiot kapronihapon happovakion lausekkeeseen ja lasketaan K_a :

$$K_a = \frac{[\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}]} = \frac{(1,148 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3)^2}{0,093552 \text{ mol/dm}^3} = 1,409 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \approx 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3.$$

Vastaus:

$$K_a = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3.$$

5.17

Ratkaisu:

$$c([\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}) = 0,10 \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = 3,00$$

$$\text{p}K_a = ?$$

Protolysoitumisaste = ?

pH-arvon perusteella tasapainotilassa liuoksen $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3,00} = 1,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$.

Protolyysireaktion reaktioyhtälön perusteella myös $[[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^{2+}] = 1,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$.

Lähtöaineen $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ tasapainokonsentraatio on:

$$(0,10 - 1,000 \cdot 10^{-3}) \text{ mol/dm}^3 = 0,09900 \text{ mol/dm}^3.$$

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot happovakion lausekkeeseen ja lasketaan K_a :

$$K_a = \frac{(1,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3)^2}{0,09900 \text{ mol/dm}^3} = 1,010 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{p}K_a = -\lg K_a = -\lg 1,010 \cdot 10^{-5} = 4,9957 \approx 5,00.$$

$$\text{Protolysoitumisaste} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c([\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+})} \frac{1,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3}{0,10 \text{ mol/dm}^3} \cdot 100 \% = 1,000 \% \approx 1,0 \%.$$

Vastaus:

$$\text{p}K_a = 5,00$$

Protolysoitumisaste on 1,0 %.

5.18

Ratkaisu:

$$c(\text{HA}) = 0,010 \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{Protolysoitumisaste} = 1,0 \%$$

$$K_a = ?$$

$$\text{p}K_a = ?$$

Protolyysireaktion $\text{HA}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{A}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ ja protolysoitumisasteen perusteella tasapainotilassa

$$[\text{A}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] = 0,001 \cdot 0,010 \text{ mol/dm}^3 = 1,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$[\text{HA}] = 0,010 \text{ mol/dm}^3 - (0,001 \cdot 0,010 \text{ mol/dm}^3) = 9,900 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot happovakion lausekkeeseen ja lasketaan K_a :

$$K_a = \frac{[\text{A}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HA}]} = \frac{(1,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3)^2}{9,900 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3} = 1,010 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3 \approx 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{p}K_a = -\lg 1,010 \cdot 10^{-6} = 5,9957 \approx 6,00.$$

HA sijoittuisi hiilihapon yläpuolelle.

Vastaus:

$$K_a = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{p}K_a = 6,00.$$

HA sijoittuisi hiilihapon yläpuolelle.

5.19

Ratkaisu:

$$c((\text{CH}_3)_3\text{N}) = 0,050 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_b((\text{CH}_3)_3\text{N}) = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

$$pK_w = 13,9965$$

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

$$\text{pH} = ?$$

Merkitään liuokseen muodostuvaa hydroksidi-ionikonsentraatiota kirjaintunnuksella x ja tehdään taulukko alkukonsentraatioista, konsentraatioiden muutoksista ja tasapainokonsentraatioista. Muista, että veden konsentraatiota ei merkitä, sillä se sisältyy emäsvakion arvoon.

	$(\text{CH}_3)_3\text{N}(\text{aq})$	$+$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+(\text{aq})$	$+$	$\text{OH}^-(\text{aq})$
alku (mol/dm ³)	0,050		-		0		0
muutos (mol/dm ³)	- x		-		+ x		+ x
$c_{\text{tasap.}}$ (mol/dm ³)	$0,050 - x$		-		x		x

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot trimetyyliamiinin emäsvakion lausekkeeseen:

$$K_b = \frac{[(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+][\text{OH}^-]}{[(\text{CH}_3)_3\text{N}]} \Rightarrow 6,3 \cdot 10^{-5} = \frac{x^2}{0,050 - x}$$

Toisen asteen yhtälön ratkaisuksi saadaan:

$$x_1 = 1,744 \cdot 10^{-3} \text{ ja}$$

$$x_2 = -1,807 \cdot 10^{-3}$$

Näistä vain positiivinen juuri kelpaa, sillä hydroksidi-ionikonsentraation tulee kasvaa ja trimetyyliamiinin konsentraation pienentyä.

$$[\text{OH}^-] = 1,744 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \approx 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pOH} = -\lg 1,744 \cdot 10^{-3} = 2,7585$$

Liuoksen pH on:

$$\text{pH} = pK_w - \text{pOH} = 13,9965 - 2,7585 = 11,2380 \approx 11,24$$

Vastaus:

$$[\text{OH}^-] = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = 11,24.$$

5.20**Ratkaisu:**

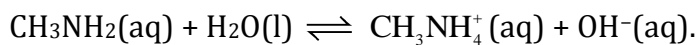
$$\text{pH} = 10,97$$

$$K_b(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$c(\text{CH}_3\text{NH}_2) = ?$$

Metyyliamiinin protolyysireaktio on:



Lasketaan mitatun pH-arvon avulla metyyliamiiniliuoksen pOH-arvo:

$$\text{pOH} = \text{p}K_w - \text{pH} = 13,9965 - 10,97 = 3,027.$$

Liuoksen hydroksidi-ionikonsentraatio on:

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-3,027} = 9,397 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

Protolyysireaktion reaktioyhtälön perusteella myös $[\text{CH}_3\text{NH}_4^+] = 9,397 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$.

Merkitään metyyliamiinin alkukonsentraatiota kirjaintunnuksella x ja merkitään taulukkoon alku- ja tasapainokonsentraatiot ja konsentraatioiden muutokset:

	$\text{CH}_3\text{NH}_2(\text{aq})$	$+$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{H}_3\text{NH}_3^+(\text{aq})$	$+$	$\text{OH}^-(\text{aq})$
$c_{\text{alku}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	x		-		0		0
$\text{muutos (mol/dm}^3\text{)}$	$-9,397 \cdot 10^{-4}$		-		$+9,397 \cdot 10^{-4}$		$+9,397 \cdot 10^{-4}$
$c_{\text{tasap.}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	$x - 9,397 \cdot 10^{-4}$		-		$9,397 \cdot 10^{-4}$		$9,397 \cdot 10^{-4}$

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot metyyliamiinin emäsvakion lausekkeeseen ja ratkaistaan x :

$$K_b = \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{NH}_2]}$$

$$\Rightarrow 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 = \frac{(9,397 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3)^2}{(x - 9,397 \cdot 10^{-4}) \text{ mol/dm}^3} = 3,042 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \approx 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Vastaus:

$$c(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

5.21

Ratkaisu:

$$m(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{O}) = 25 \text{ mg} = 0,025 \text{ g}$$

$$V(\text{liuos}) = 50 \text{ ml} = 0,050 \text{ dm}^3$$

$$M(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{O}) = 116,090 \text{ g/mol}$$

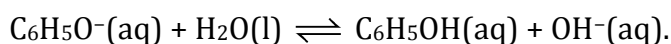
$$K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ mol/dm}^3 \text{ (taulukkokirjasta)}$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$\text{pH} = ?$$

Fenolaatti-ionin protolyysireaktio on:



Lasketaan fenolaatti-ionin emäsvakio lausekkeesta

$$K_a \cdot K_b = K_w$$

$$\Rightarrow K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2}{1,0 \cdot 10^{-10} \text{ mol/dm}^3} = 1,008 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

Lasketaan natriumfenolaatin alkukonsentraatio:

$$c(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{O}) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{0,025 \text{ g}}{116,090 \text{ g/mol} \cdot 0,050 \text{ dm}^3} = 4,307 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Natriumfenolaatin kaavan perusteella $c(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-) = 4,307 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$.

Merkitään liuokseen muodostuvaa hydroksidi-ionikonsentraatiota kirjaintunnuksella x ja tehdään taulukko alkukonsentraatioista, konsentraatioiden muutoksista ja tasapainokonsentraatioista. Muista, että veden konsentraatiota ei merkitä, sillä se sisältyy emäsvakion arvoon.

	$\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}(\text{aq})$	+	$\text{OH}^-(\text{aq})$
$c_{\text{alku}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	$4,307 \cdot 10^{-3}$		-		0		0
$\text{muutos (mol/dm}^3\text{)}$	$-x$		-		$+x$		$+x$
$c_{\text{tasap.}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	$4,307 \cdot 10^{-3} - x$		-		x		x

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot fenolaatti-ionin emäsvakion lausekkeeseen:

$$K_b = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}][\text{OH}^-]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-]} \Rightarrow 1,008 \cdot 10^{-4} = \frac{x^2}{4,307 \cdot 10^{-3} - x}$$

Toisen asteen yhtälön ratkaisuksi saadaan:

$$x_1 = 6,104 \cdot 10^{-4} \text{ ja}$$

$$x_2 = -7,112 \cdot 10^{-4}$$

Näistä vain positiivinen juuri kelpaa, sillä hydroksidi-ionikonsentraation tulee kasvaa ja fenolaatti-ionin konsentraation pienentyä.

$$[\text{OH}^-] = 6,104 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pOH} = -\lg 6,104 \cdot 10^{-4} = 3,2144$$

Liuoksen pH on:

$$\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH} = 13,9965 - 3,2144 = 10,7821 \approx 10,78$$

Vastaus:

$$\text{pH} = 10,78$$

5.22

Ratkaisu:

a)

$$\text{pH} = 11,70$$

$$V(\text{liuos}) = 500 \text{ ml} = 0,500 \text{ dm}^3$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$n(\text{emäs}) = ?$$

Lasketaan liuoksen hydroksidi-ionikonsentraatio pH-arvon perusteella:

$$\text{pH} + \text{pOH} = \text{p}K_w \Rightarrow \text{pOH} = \text{p}K_w - \text{pH} = 13,9965 - 11,70 = 2,2965$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-2,2965} = 5,052 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Koska kyseessä on vahva, yksiarvoinen emäs, on emäksen konsentraatio sama kuin hydroksidi-ionikonsentraatio. Lasketaan kysytty emäksen ainemäärä:

$$n(\text{emäs}) = [\text{OH}^-] \cdot V = 5,052 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,500 \text{ dm}^3 = 2,526 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \approx 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

b)

$$\text{pH} = 11,70$$

$$V(\text{liuos}) = 500 \text{ ml} = 0,500 \text{ dm}^3$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$K_b = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

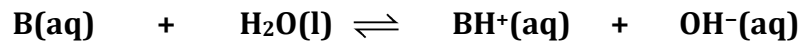
$$n(\text{emäs}) = ?$$

Heikon emäksen (B) protolyysireaktio on: $\text{B}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{BH}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$.

Kohdasta a) $[\text{OH}^-] = 5,052 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$, kun pH on 11,70.

Protolyysireaktion reaktioyhtälön perusteella myös $[\text{BH}^+] = 5,052 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$.

Merkitään emäksen B alkukonsentraatiota kirjaintunnuksella x. Tehdään taulukko alku- ja tasapainokonsentraatioista ja konsentraatioiden muutoksista:



$c_{\text{alku}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	x	-	0	0
muutos (mol/dm ³)	$-5,052 \cdot 10^{-3}$	-	$+5,052 \cdot 10^{-3}$	$+5,052 \cdot 10^{-3}$
$c_{\text{tasap.}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	$x - 5,052 \cdot 10^{-3}$	-	$5,052 \cdot 10^{-3}$	$5,052 \cdot 10^{-3}$

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot emäksen emäsvakion lausekkeeseen ja lasketaan x :

$$K_b = \frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]} \Rightarrow 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 = \frac{(5,052 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3)^2}{(x - 5,052 \cdot 10^{-3}) \text{ mol/dm}^3}.$$

Ratkaisuksi saadaan:

$$x = 0,03057 \text{ eli}$$

$$c(\text{emäs})_{\text{alku}} = 0,03057 \text{ mol/dm}^3.$$

Tarvittava heikon emäksen ainemäärä 500 millilitran tilavuudessa on:

$$n(\text{emäs}) = 0,03057 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,500 \text{ dm}^3 = 0,01529 \text{ mol} \approx 15 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Vastaus:

a) $n(\text{emäs}) = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

b) $n(\text{emäs}) = 15 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$

5.4 Puskuriliuosten pH-arvon laskeminen

5.23

Ratkaisu:

a)

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,10 \text{ mol/l}$$

$$c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 0,10 \text{ mol/l}$$

$$K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

Tehdään taulukko puskuriliuoksessa olevien aineiden alkukonsentraatioista, konsentraatioiden muutoksista ja tasapainokonsentraatioista.

	$\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$	+	$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$
<i>c</i> alku (mol/dm ³)	0,10		-		0,10		0
muutos (mol/dm ³)	-x		-		+x		+x
<i>c</i> tasap. (mol/dm ³)	0,10 - x		-		0,10 + x		x

Lasketaan x:n arvo etikkahapon happovakion lausekkeesta

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-5} = \frac{(0,10 + x) \cdot x}{0,10 - x}$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan kaksi juurta:

$$x_1 = 1,797 \cdot 10^{-5} \text{ ja}$$

$$x_2 = -0,1002.$$

Näistä vain x_1 on järkevä, sillä oksoniumionikonsentraation (ja asetaatti-ionikonsentraation) tulee kasvaa.

Puskuriliuoksessa $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,797 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$.

Liuoksen pH on:

$$\text{pH} = -\lg 1,797 \cdot 10^{-5} = 4,7454 \approx 4,75.$$

b)

Henderson-Hasselbalchin yhtälöä käytettäessä oletetaan heikon hapon ja sen vastinemäksen (tai heikon emäksen ja sen vastinhapon) alkukonsentraation muutoksen olevan niin vähäinen, että puskuriliuoksen pH-arvo voidaan riittävällä tarkkuudella laskea alkukonsentraatioita käyttämällä. Tämä oletamus on syytä mainita, kun käytetään Henderson-Hasselbalchin yhtälöä.

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = [\text{CH}_3\text{COOH}] = 0,10 \text{ mol/l}$$

$$c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = [\text{CH}_3\text{COO}^-] = 0,10 \text{ mol/l}$$

$$K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \Rightarrow \text{p}K_a = 4,74$$

$$\text{pH} = ?$$

$$\text{Henderson-Hasselbalchin yhtälö on: } \text{pH} = \text{p}K_a + \lg \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

Sijoitetaan tähän yhtälöön etikkahapon ja asetaatti-ionin alkukonsentraatiot ja etikkahapon $\text{p}K_a$:

$$\text{pH} = 4,74 + \lg \frac{0,10}{0,10} = 4,74 + 0 = 4,74 \approx 4,74$$

c) pH-arvot poikkeavat 0,01 pH-yksikköä.

Vastaus:

a) pH = 4,75

b) pH = 4,75

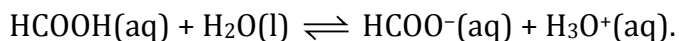
c) pH-arvot poikkeavat 0,01 pH-yksikköä.

5.24

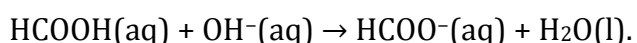
Ratkaisu:

a)

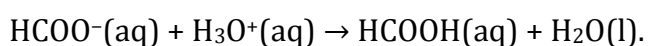
Puskuriliuoksessa vallitsee seuraava tasapainotila:



Emästä lisättäessä metaanihappo reagoi hydroksidi-ionien kanssa seuraavasti:



Happoa lisättäessä metanaatti-ionit reagoivat oksoniumionien kanssa seuraavasti:



b)

$$n(\text{HCOOH}) = 15 \text{ mmol} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{HCOO}^-) = 8,5 \text{ mmol} = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$V(\text{liuos}) = 75 \text{ ml} = 0,075 \text{ dm}^3$$

$$K_a(\text{HCOOH}) = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

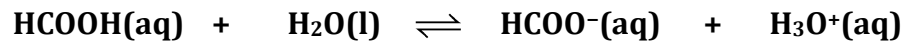
Malliratkaisu on tehty happovakion lauseketta hyödyntämällä.

Lasketaan muurahaishapon ja metanaatti-ionien alkukonsentraatiot:

$$c(\text{HCOOH}) = \frac{15 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,075 \text{ dm}^3} = 0,2000 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{HCOO}^-) = \frac{8,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,075 \text{ dm}^3} = 0,1133 \text{ mol/dm}^3.$$

Tehdään taulukko alkukonsentraatioista, konsentraatioiden muutoksista ja tasapainokonsentraatioista:



c_{alku} (mol/dm ³)	0,2000	-	0,1133	0
muutos (mol/dm ³)	-x	-	+x	+x
c_{tasap} (mol/dm ³)	0,2000 - x	-	0,1133 + x	x

Lasketaan x :n arvo metaanihapon happovakion lausekkeesta

$$K_a = \frac{[\text{HCOO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCOOH}]} \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-4} = \frac{(0,1133 + x) \cdot x}{0,2000 - x}$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan kaksi juurta:

$$x_1 = 3,171 \cdot 10^{-4} \text{ ja}$$

$$x_2 = -0,1135.$$

Näistä vain x_1 on järkevä, sillä oksoniumionikonsentraation (ja metanaatti-ionikonsentraation) tulee kasvaa.

Puskuriliuoksessa $[\text{H}_3\text{O}^+] = 3,171 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$.

Liuoksen pH on:

$$\text{pH} = -\lg 3,171 \cdot 10^{-4} = 3,4988 \approx 3,50.$$

(Henderson-Hasselbalchin yhtälöllä päädytään samaan lopputulokseen:

$$\text{pH} = 3,7447 + \lg \frac{0,1133}{0,2000} = 3,7447 - 0,2468 = 3,4979 \approx 3,50.)$$

Vastaus:

$$\text{pH} = 3,50$$

5.25

Ratkaisu:

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 2,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/l}$$

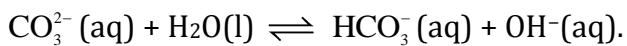
$$\text{pH} = 7,30$$

$$K_b(\text{CO}_3^{2-}) = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$[\text{HCO}_3^-] = ?$$

Karbonaatti- ja vetykarbonaatti-ioni muodostavat akvaariovedessä seuraavan puskurisysteemin:



$$\text{pH-arvon perusteella liuoksen } \text{pOH} = \text{p}K_w - \text{pH} = 13,9965 - 7,30 = 6,6965.$$

$$\text{Puskuliuoksen } [\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-6,6965} = 2,011 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3.$$

Karbonaatti-ionin emäsvakion lauseke on:

$$K_b = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{OH}^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]}.$$

Lasketaan tästä lausekkeesta $[\text{HCO}_3^-]$:

$$2,1 \cdot 10^{-4} = \frac{[\text{HCO}_3^-] \cdot 2,011 \cdot 10^{-7}}{2,0 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow [\text{HCO}_3^-] = 2,089 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 \approx 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

Vastaus:

$$[\text{HCO}_3^-] = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

5.26

Ratkaisu:

a)

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 2,00 \text{ g}$$

$$m(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}) = 2,00 \text{ g}$$

$$M(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 122,118 \text{ g/mol}$$

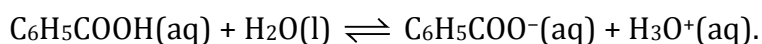
$$M(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}) = 144,100 \text{ g/mol}$$

$$V(\text{liuos}) = 750 \text{ ml} = 0,750 \text{ dm}^3$$

$$K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

Puskuriliuoksessa vallitsee seuraava tasapainotila:



Lasketaan bentsoehapon ja bentsoaatti-ionien alkukonsentraatiot:

$$c(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{2,00 \text{ g}}{122,118 \text{ g/mol} \cdot 0,750 \text{ dm}^3} = 0,021837 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) = c(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{2,00 \text{ g}}{144,100 \text{ g/mol} \cdot 0,750 \text{ dm}^3} = 0,018506 \text{ mol/dm}^3.$$

Tehdään taulukko alkukonsentraatioista, konsentraatioiden muutoksista ja tasapainokonsentraatioista:

	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}(\text{aq})$	$+$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-(\text{aq})$	$+$	$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$
$c_{\text{alku}} (\text{mol/dm}^3)$	0,021837		-		0,018506		0
muutos (mol/dm^3)	$-x$		-		$+x$		$+x$
$c_{\text{tasap}} (\text{mol/dm}^3)$	$0,021837 - x$		-		$0,018506 + x$		x

Lasketaan x :n arvo bentsoehapon happovakion lausekkeesta

$$K_a = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}]} \Rightarrow 6,3 \cdot 10^{-5} = \frac{(0,018506 + x) \cdot x}{0,021837 - x}.$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan kaksi juurta:

$$x_1 = 7,380 \cdot 10^{-5} \text{ ja}$$

$$x_2 = -0,01864.$$

Näistä vain x_1 on järkevä, sillä oksoniumionikonsentraation (ja bentsoaatti-ionikonsentraation) tulee kasvaa.

Puskuriliuoksessa $[\text{H}_3\text{O}^+] = 7,380 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$.

Liuoksen pH on:

$$\text{pH} = -\lg 7,380 \cdot 10^{-5} = 4,1319 \approx 4,13.$$

(Henderson-Hasselbalchin yhtälöllä päädytään samaan lopputulokseen:

$$\text{pH} = 4,2007 + \lg \frac{0,018506}{0,021837} = 4,2007 - 0,07188 = 4,1288 \approx 4,13.)$$

b)

$$c_1(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 0,021837 \text{ mol/dm}^3 \text{ (kohdasta a)}$$

$$c_1(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) = 0,018506 \text{ mol/dm}^3 \text{ (kohdasta a)}$$

$$V_1 = 750 \text{ ml} = 0,750 \text{ dm}^3$$

$$V_2 = 10 \text{ dm}^3$$

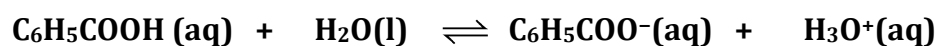
$$K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

pH=?

Lasketaan bentsoehappo- ja bentsoaatti-ionikonsentraatiot laimennoksessa:

$$c_2(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = \frac{c_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{0,021837 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,750 \text{ dm}^3}{10 \text{ dm}^3} = 1,638 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$c_2(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) = \frac{c_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{0,018506 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,750 \text{ dm}^3}{10 \text{ dm}^3} = 1,388 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$



c_{alku} (mol/dm ³)	$1,638 \cdot 10^{-3}$	-	$1,388 \cdot 10^{-3}$	0
muutos (mol/dm ³)	-x	-	+x	+x
c_{tasap} (mol/dm ³)	$1,638 \cdot 10^{-3} - x$	-	$1,388 \cdot 10^{-3} + x$	x

Lasketaan x:n arvo bentsoehapon happovakion lausekkeesta

$$K_a = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}]} \Rightarrow 6,3 \cdot 10^{-5} = \frac{(1,388 \cdot 10^{-3} + x) \cdot x}{1,638 \cdot 10^{-3} - x}$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan kaksi juurta:

$$x_1 = 6,794 \cdot 10^{-5} \text{ ja}$$

$$x_2 = -1,519 \cdot 10^{-3}$$

Näistä vain x_1 on järkevä, sillä oksoniumionikonsentraation (ja bentsoaatti-ionikonsentraation) tulee kasvaa.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 6,794 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

Laimennetun puskuriliuoksen pH on: $\text{pH} = -\lg 6,794 \cdot 10^{-5} = 4,1679 \approx 4,17$.

Vastaus:

a) pH = 4,13

b) pH = 4,17.

5.27

Ratkaisu:

a)

Puskuriliuos voidaan valmistaa neutraloimalla etikkahappoa natriumhydroksidilla siten, että puolet etikkahappomolekyyleistä neutraloituu. Liuoksessa on tämän jälkeen yhtä suuret konsentraatiot etikkahappoa ja sen vastinemästä (asettaatti-ioneja). Liuoksen puskurikapasiteetti on tällöin mahdollisimman hyvä.

pH:n laskeminen:

$$V(\text{CH}_3\text{COOH}) = 500 \text{ ml} = 0,500 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,10 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{NaOH}) = 0,50 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

Lasketaan, mikä ainemäärä etikkahappoa on 500 ml:ssa:

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,10 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,500 \text{ dm}^3 = 0,05000 \text{ mol.}$$

Kun puolet etikkahaposta neutraloidaan, neutraloitava $n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,02500 \text{ mol.}$

Neutraloitumisreaktion perusteella $n(\text{NaOH}) = n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,02500 \text{ mol.}$

Tarvittava natriumhydroksidiliuoksen tilavuus on:

$$V(\text{NaOH}) = \frac{0,02500 \text{ mol}}{0,50 \text{ mol/dm}^3} = 0,05000 \text{ dm}^3.$$

NaOH-lisäyksen jälkeen $n(\text{CH}_3\text{COOH}) = n(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ ja puskuriliuoksen tilavuus on:

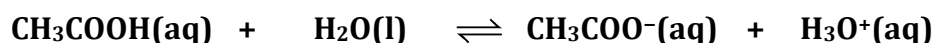
$$0,500 \text{ dm}^3 + 0,0500 \text{ dm}^3 = 0,5500 \text{ dm}^3.$$

Lasketaan etikkahappo- ja asetaatti-ionien alkukonsentraatiot:

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{0,02500 \text{ mol}}{0,5500 \text{ dm}^3} = 0,04545 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = \frac{0,02500 \text{ mol}}{0,5500 \text{ dm}^3} = 0,04545 \text{ mol/dm}^3.$$

Tehdään taulukko puskuriliuoksessa olevien aineiden alkukonsentraatioista, konsentraatioiden muutoksista ja tasapainokonsentraatioista.



c_{alku} (mol/dm ³)	0,04545	-	0,04545	0
muutos (mol/dm ³)	-x	-	+x	+x
$c_{\text{tasap.}}$ (mol/dm ³)	0,04545 - x	-	0,04545 + x	x

Lasketaan x:n arvo etikkahapon happovakion lausekkeesta:

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-5} = \frac{(0,04545 + x) \cdot x}{0,04545 - x}.$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan kaksi juurta:

$$x_1 = 1,799 \cdot 10^{-5} \text{ ja}$$

$$x_2 = -0,04549.$$

Näistä vain x_1 on järkevä, sillä oksoniumionikonsentraation (ja asetaatti-ionikonsentraation) tulee kasvaa.

Puskuriliuoksessa $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,799 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$.

Liuoksen pH on:

$$\text{pH} = -\lg 1,799 \cdot 10^{-5} = 4,7450 \approx 4,75.$$

b)

$$c_{\text{alku}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,04545 \text{ mol/dm}^3 \text{ (kohdasta a)}$$

$$c_{\text{alku}}(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 0,04545 \text{ mol/dm}^3 \text{ (kohdasta a)}$$

$$V(\text{liuos}) = 100 \text{ ml} = 0,100 \text{ dm}^3$$

$$V(\text{HCl}) = 2,0 \text{ ml} = 0,0020 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{HCl}) = 0,50 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

Ennustus: Koska puskuriliuokseen lisätään happoa, liuoksen pH-arvo hieman laskee.

Lasku:

Lasketaan etikkahapon ja asetaatti-ionien ainemäärät 100 ml:ssa puskuriliuosta:

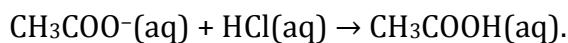
$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,100 \text{ dm}^3 \cdot 0,04545 \text{ mol/dm}^3 = 4,545 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 0,100 \text{ dm}^3 \cdot 0,04545 \text{ mol/dm}^3 = 4,545 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Lasketaan lisätyn suolahapon ainemäärä:

$$n(\text{HCl}) = 0,50 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0020 \text{ dm}^3 = 1,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Suolahappolisäyksen seurauksena tapahtuu seuraava reaktio:



Tämän reaktion seurauksena asetaatti-ionien ainemäärä pienenee $1,000 \cdot 10^{-3}$ mol ja etikkahapon ainemäärä kasvaa $1,000 \cdot 10^{-3}$ mol. Puskuriliuoksen uusi tilavuus on 102 ml.

Lasketaan etikkahapon ja asetaatti-ionien uudet alkukonsentraatiot:

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{(4,545 \cdot 10^{-3} + 1,000 \cdot 10^{-3}) \text{ mol}}{0,102 \text{ dm}^3} = 0,05436 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = \frac{(4,545 \cdot 10^{-3} - 1,000 \cdot 10^{-3}) \text{ mol}}{0,102 \text{ dm}^3} = 0,03475 \text{ mol/dm}^3.$$

Tehdään taulukko puskuriliuoksessa olevien aineiden alkukonsentraatioista, konsentraatioiden muutoksista ja tasapainokonsentraatioista:

	$\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) +$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons$	$\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) +$	$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$
$c_{\text{alku}} (\text{mol}/\text{dm}^3)$	0,05436	-	0,03475	0
muutos (mol/dm^3)	$-x$	-	$+x$	$+x$
$c_{\text{tasap.}} (\text{mol}/\text{dm}^3)$	$0,05436 - x$	-	$0,03475 + x$	x

Lasketaan x :n arvo etikkahapon happovakion lausekkeesta:

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-5} = \frac{(0,03475 + x) \cdot x}{0,05436 - x}$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan kaksi juurta:

$$x_1 = 2,812 \cdot 10^{-5} \text{ ja}$$

$$x_2 = -0,03480.$$

Näistä vain x_1 on järkevä, sillä oksoniumionikonsentraation (ja asetaatti-ionikonsentraation) tulee kasvaa.

Puskuriliuoksessa $[\text{H}_3\text{O}^+] = 2,812 \cdot 10^{-5} \text{ mol}/\text{dm}^3$.

Liuoksen pH on:

$$\text{pH} = -\lg 2,812 \cdot 10^{-5} = 4,5496 \approx 4,55.$$

Vastaus:

a) Puskuriliuos voidaan valmistaa neutraloimalla etikkahappoa natriumhydroksidilla siten, että puolet etikkahappomolekyyleistä neutraloituu.

$$\text{pH} = 4,75.$$

b) Puskuriliuoksen pH-arvo hieman laskee. $\text{pH} = 4,55$.

5.28

Ratkaisu:

$$c(\text{NH}_3) = 1,0 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{puskuriliuos}) = 10 \text{ dm}^3$$

$$\text{pH} = 9,00$$

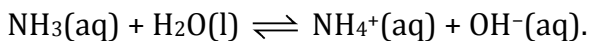
$$M(\text{NH}_4\text{Cl}) = 53,492 \text{ g/mol}$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$K_b(\text{NH}_3) = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = ?$$

Puskuriliuoksessa vallitsee seuraava tasapainotila:



Lasketaan liuoksen pOH ja siitä edelleen hydroksidi-ionikonsentraatio pH-arvon avulla:

$$\text{pOH} = \text{p}K_w - \text{pH} = 13,9965 - 9,00 = 4,9965$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-4,9965} = 1,008 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3.$$

Merkitään puskuriliuoksen ammoniumionien alkukonsentraatiota x :llä ja tehdään taulukko alku- ja tasapainokonsentraatioista sekä konsentraatioiden muutoksista.

	$\text{NH}_3(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{NH}_4^+(\text{aq})$	+	$\text{OH}^-(\text{aq})$
$c_{\text{alku}}(\text{mol/dm}^3)$	1,0		-		x		0
$c_{\text{muutos}}(\text{mol/dm}^3)$	$-1,008 \cdot 10^{-5}$		-		$+1,008 \cdot 10^{-5}$		$+1,008 \cdot 10^{-5}$
$c_{\text{tasap}}(\text{mol/dm}^3)$	$1,0 - 1,008 \cdot 10^{-5}$		-		$x + 1,008 \cdot 10^{-5}$		$1,008 \cdot 10^{-5}$

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot ammoniakkin emäsvakion lausekkeeseen ja lasketaan x :n arvo:

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-5} = \frac{(x + 1,008 \cdot 10^{-5}) \cdot 1,008 \cdot 10^{-5}}{(1,0 - 1,008 \cdot 10^{-5})}.$$

Yhtälön ratkaisuna $x = 1,786$

$$c_{\text{alku}}(\text{NH}_4^+) = 1,786 \text{ mol/dm}^3.$$

Ratkaistaan kysytty ammoniumkloridin massa, kun puskuriliuosta on 10 litraa:

$$n(\text{NH}_4\text{Cl}) = n(\text{NH}_4^+) \Rightarrow c(\text{NH}_4^+) \cdot V(\text{puskuriliuos}) = 1,786 \text{ mol/dm}^3 \cdot 10 \text{ dm}^3 = 17,86 \text{ mol}$$

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 17,86 \text{ mol} \cdot 53,492 \text{ g/mol} = 955,4 \text{ g} \approx 960 \text{ g}.$$

pH-arvo tarkistetaan kalibroimalla pH-mittari kaupallisella puskuriliuoksella ja mittaamalla valmistetun liuoksen pH.

Vastaus:

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 960 \text{ g}.$$

pH-arvo tarkistetaan kalibroimalla pH-mittari kaupallisella puskuriliuoksella ja mittaamalla valmistetun liuoksen pH.

5.29

Ratkaisu:

a)

Henderson-Hasselbalchin yhtälöä käytettäessä oletetaan heikon hapon ja sen vastinemäksen (tai heikon emäksen ja sen vastinhapon) alkukonsentraation muutoksen olevan niin vähäinen, että puskuriliuoksen pH-arvo voidaan riittävällä tarkkuudella laskea alkukonsentraatioita käyttämällä. Tämä oletamus on syytä mainita, kun käytetään Henderson-Hasselbalchin yhtälöä.

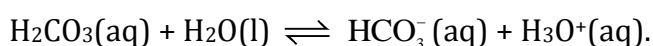
$$c(\text{HCO}_3^-) = [\text{HCO}_3^-] = 0,027 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{H}_2\text{CO}_3) = [\text{H}_2\text{CO}_3] = 0,0014 \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{p}K_a(\text{H}_2\text{CO}_3) = 6,10$$

$$\text{pH} = ?$$

Veteen liuenneen hiilihapon ja sen vastinemäksen eli vetykarbonaatti-ionin välillä vallitsee seuraava tasapainotila:



Henderson-Hasselbalchin yhtälön perusteella:

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \lg \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \Rightarrow \text{pH} = 6,10 + \lg \frac{0,027}{0,0014} = 6,10 + 1,285 = 7,385 \approx 7,39.$$

b)

Henderson-Hasselbalchin yhtälöä käytettäessä oletetaan heikon hapon ja sen vastinemäksen (tai heikon emäksen ja sen vastinhapon) alkukonsentraation muutoksen olevan niin vähäinen, että puskuriliuoksen pH-arvo voidaan riittävällä tarkkuudella laskea alkukonsentraatioita käyttämällä. Tämä oletamus on syytä mainita, kun käytetään Henderson-Hasselbalchin yhtälöä.

$$c(\text{HCO}_3^-) = 0,027 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{H}_2\text{CO}_3) = 0,0014 \text{ mol/dm}^3$$

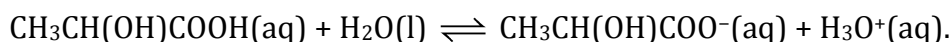
$$\text{p}K_a(\text{H}_2\text{CO}_3) = 6,10$$

$$n(\text{maitohappo}) = 8,0 \cdot 10^{-4} \text{ moolia}$$

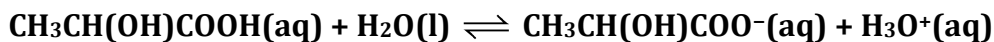
$$\text{p}K_a(\text{maitohappo}) = 3,86.$$

$$\text{pH} = ?$$

Maitohappo (2-hydroksidipropaanihappoa) on yksiarvoinen happo heikko happo, joka protolysoituu seuraavasti:



Lasketaan, kuinka paljon oksoniumioneja vereen joutunut maitohappo tuottaa:



$c_{\text{alku}}(\text{mol/dm}^3)$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	-	0	0
muutos(mol/dm^3)	$-x$	-	$+x$	$+x$
$c_{\text{tasap.}}(\text{mol/dm}^3)$	$8,0 \cdot 10^{-4} - x$	-	x	x

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot maitohapon happovakion lausekkeeseen ja lasketaan x :n arvo:

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}]} \Rightarrow 1,4 \cdot 10^{-4} = \frac{x^2}{8,0 \cdot 10^{-4} - x}$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan kaksi juurta:

$$x_1 = 2,719 \cdot 10^{-4} \text{ ja}$$

$$x_2 = -4,119 \cdot 10^{-4}$$

Näistä vain x_1 on järkevä, sillä oksoniumionikonsentraation (ja laktaatti-ionikonsentraation) tulee kasvaa.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 2,719 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

Hiilihappo-vetykarbonaattipuskurin emäksinen aine (vetykarbonaatti-ioni) reagoi maitohapon tuottamien oksoniumionien kanssa, jolloin vetykarbonaatti-ionikonsentraatio pienenee ja vastaavasti hiilihapon konsentraatio kasvaa.

Puskurisysteemissä uudet konsentraatiot ovat:

$$c(\text{HCO}_3^-) = [\text{HCO}_3^-] = 0,027 \text{ mol/dm}^3 - 2,719 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 = 0,02673 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{H}_2\text{CO}_3) = [\text{H}_2\text{CO}_3] = 0,0014 \text{ mol/dm}^3 + 2,719 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 = 0,001672 \text{ mol/dm}^3$$

Sijoitetaan uudet konsentraatiot Henderson-Hasselbalchin yhtälöön ja lasketaan pH:

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \lg \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \Rightarrow \text{pH} = 6,10 + \lg \frac{0,02673}{0,001672} = 6,10 + 1,204 = 7,304 \approx 7,30$$

Vastaus:

a) $\text{pH} = 7,39$

b) $\text{pH} = 7,30$.

5.30

Ratkaisu:

a)

$$pK_a(\text{HHb}) = 8,18$$

$$pK_a(\text{HHbO}_2) = 6,62.$$

Määritelmän mukaan $pK_a = -\lg K_a$. Koska oksihemoglobiinin (HHbO_2) pK_a -arvo on pienempi, tulee sen K_a -arvon olla suurempi eli se on vahvempi happo.

Tämä voidaan tarkistaa laskemalla K_a -arvot:

$$K_a(\text{HHb}) = 10^{-8,18} = 6,6 \cdot 10^{-9} \text{ mol/dm}^3.$$

$$K_a(\text{HHbO}_2) = 10^{-6,62} = 2,4 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3.$$

b)

$$pK_a(\text{HHb}) = 8,18$$

$$pK_a(\text{HHbO}_2) = 6,62$$

$$\text{pH} = 7,4$$

$$\%(\text{HHb}) = ?$$

$$\%(\text{HHbO}_2) = ?$$

Hyödyntämällä Henderson-Hasselbalchin yhtälöä, saadaan kysytyjen happomuotojen osuus ratkaistua seuraavasti:

HHb-muoto:

$$7,40 = 8,18 + \lg \frac{[\text{Hb}^-]}{[\text{HHb}]} \Rightarrow \lg \frac{[\text{Hb}^-]}{[\text{HHb}]} = -0,78 \Rightarrow \frac{[\text{Hb}^-]}{[\text{HHb}]} = 0,1660.$$

Konsentraatioiden suhteen perusteella HHb-muotoa on noin $85,76 \% \approx 86 \%$.

HHbO₂-muoto:

$$7,40 = 6,62 + \lg \frac{[\text{HbO}_2^-]}{[\text{HHbO}_2]} \Rightarrow \lg \frac{[\text{HbO}_2^-]}{[\text{HHbO}_2]} = 0,78 \Rightarrow \frac{[\text{HbO}_2^-]}{[\text{HHbO}_2]} = 6,026.$$

Konsentraatioiden suhteen perusteella HHbO₂-muotoa on noin 14,23 % \approx 14 %.

Vastaus:

a) Oksihemoglobiini on vahvempi happo. Sen pK_a-arvo on pienempi (K_a-arvo suurempi).

b) HHb-muodon osuus on 86 %. HHbO₂-muodon osuus on 14 %.

5.5 Moniarvoisten protolyyttien ja suolaliuosten pH

5.31

Ratkaisu:

$$c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,20 \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{p}K_b(\text{CO}_3^{2-}) = 3,68$$

$$\text{p}K_b(\text{HCO}_3^-) = 7,63$$

$$\text{pH} = ?$$

Lasketaan hydroksidi-ionikonsentraatio ensimmäisen protolyysireaktion jälkeen:

$c_{\text{alku}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	0,20	-	0	0
$\text{muutos (mol/dm}^3\text{)}$	-x	-	+x	+x
$c_{\text{tasap.}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	0,20 - x	-	x	x

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot karbonaatti-ionin emäsvakion lausekkeeseen ja ratkaistaan x:

$$K_b(\text{CO}_3^{2-}) = 10^{-3,68} = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

$$\Rightarrow K_b = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{OH}^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} \Rightarrow 2,1 \cdot 10^{-4} = \frac{x^2}{0,20 - x}.$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan:

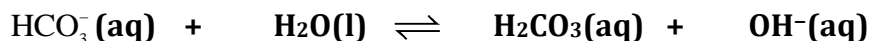
$$x_1 = 6,377 \cdot 10^{-3} \text{ ja}$$

$$x_2 = -6,587 \cdot 10^{-3}.$$

Näistä vain x_1 positiivisena lukuna kelpaa, sillä hydroksidi-ionikonsentraation tulee kasvaa (ja karbonaatti-ionikonsentraation pienentyä).

$$[\text{OH}^-] = 6,377 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Lasketaan, kuinka paljon hydroksidi-ioneja muodostuu toisessa protolyysireaktiossa:



$c_{\text{alku}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	$6,377 \cdot 10^{-3}$	-	0	$6,377 \cdot 10^{-3}$
$\text{muutos (mol/dm}^3\text{)}$	$-x$	-	$+x$	$+x$
$c_{\text{tasap.}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	$6,377 \cdot 10^{-3} - x$	-	x	$6,377 \cdot 10^{-3} + x$

$$K_b(\text{HCO}_3^-) = 10^{-7,63} = 2,3 \cdot 10^{-8} \text{ mol/dm}^3.$$

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot vetykarbonaatti-ionin emäsvakion lausekkeeseen ja ratkaistaan x :

$$K_b = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3][\text{OH}^-]}{[\text{HCO}_3^-]} \Rightarrow 2,3 \cdot 10^{-8} = \frac{x \cdot (6,377 \cdot 10^{-3} + x)}{6,377 \cdot 10^{-3} - x}.$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan:

$$x_1 = 2,300 \cdot 10^{-8} \text{ ja}$$

$$x_2 = -6,377 \cdot 10^{-3}.$$

Näistä vain x_1 positiivisena lukuna kelpaa, sillä hydroksidi-ionikonsentraation tulee kasvaa (ja karbonaatti-ionikonsentraation pienentyä).

$$[\text{OH}^-] = 2,300 \cdot 10^{-8} \text{ mol/dm}^3.$$

Hydroksidi-ionien kokonaiskonsentraatio on:

$$[\text{OH}^-] = 6,377 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 + 2,300 \cdot 10^{-8} \text{ mol/dm}^3 = 6,377 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Huomataan, että vetykarbonaatti-ioni on huomattavasti heikompi emäs kuin karbonaatti-ioni, joten vain karbonaatti-ionin tuottama hydroksidi-ionikonsentraatio vaikuttaa liuoksen pH-arvoon.

$$\text{pOH} = 2,1954.$$

Liuoksen pH-arvo on:

$$\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH} = 13,9965 - 2,1954 = 11,8011 \approx 11,80.$$

Vastaus:

$$\text{pH} = 11,80.$$

5.32

Ratkaisu:

$$m(\text{COOH})_2 = 500 \text{ mg} = 0,500 \text{ g}$$

$$V(\text{liuos}) = 100 \text{ ml} = 0,100 \text{ dm}^3$$

$$M(\text{COOH})_2 = 90,036 \text{ g/mol}$$

$$K_{a1} = 5,4 \cdot 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_{a2} = 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

Lasketaan oksaalihappokonsentraatio:

$$c(\text{COOH})_2 = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{0,500 \text{ g}}{90,036 \text{ g/mol} \cdot 0,100 \text{ dm}^3} = 0,055533 \text{ mol/dm}^3.$$

Oksaalihapon ensimmäinen protolyysireaktio on:



Lasketaan oksoniumionikonsentraatio ensimmäisen protolyysireaktion jälkeen:

	$(\text{COOH})_2(\text{aq})$	$+$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{COOH-COO}^-(\text{aq})$	$+$	$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$
$c_{\text{alku}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	0,055533		-		0		0
$\text{muutos (mol/dm}^3\text{)}$	$-x$		-		$+x$		$+x$
$c_{\text{tasap.}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	$0,055533 - x$		-		x		x

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot oksaalihapon happovakion lausekkeeseen ja ratkaistaan x :

$$K_a = \frac{[\text{COOH-COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[(\text{COOH})_2]} \Rightarrow 5,4 \cdot 10^{-2} = \frac{x^2}{0,055533 - x}.$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan:

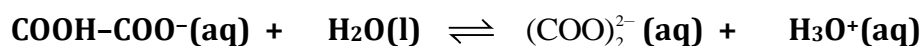
$$x_1 = 0,03406 \text{ ja}$$

$$x_2 = -0,08806.$$

Näistä vain x_1 positiivisena lukuna kelpaa, sillä oksoniumionikonsentraation tulee kasvaa (ja oksaalihapon konsentraation pienentyä).

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,03406 \text{ mol/dm}^3.$$

Lasketaan, kuinka paljon oksoniumioneja muodostuu toisessa protolyysireaktiossa:



$c_{\text{alku}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	0,03406	-	0	0,03406
muutos (mol/dm ³)	-x	-	+x	+x
$c_{\text{tasap.}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	0,03406 - x	-	x	0,03406 + x

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot vetyoksaalaatti-ionin happovakion lausekkeeseen ja ratkaistaan x :

$$K_a = \frac{[(\text{COO})_2^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{COOH-COO}^-]} \Rightarrow 5,4 \cdot 10^{-5} = \frac{x \cdot (0,03406 - x)}{0,03406 - x}.$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan:

$$x_1 = 5,383 \cdot 10^{-5} \text{ ja}$$

$$x_2 = -0,03406,$$

joista vain x_1 positiivisena lukuna kelpaa, sillä oksoniumionikonsentraation tulee kasvaa (ja oksaalihapon konsentraation pienentyä).

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 5,383 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3.$$

Lasketaan oksoniumionien kokonaiskonsentraatio:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = (0,03406 + 5,383 \cdot 10^{-5}) \text{ mol/dm}^3 = 0,03411 \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{pH} = -\lg 0,03411 = 1,4671 \approx 1,47.$$

Vastaus:

$$\text{pH} = 1,47.$$

5.33

Vastaus:

Suolan nimi	Hapan	Emäksinen	Neutraali
ammoniumkloridi	x		
natriumasetaatti		x	
kaliumkarbonaatti		x	
ammoniumsulfidi		x	
natriumkloridi			x
kalsiumvetysulfaatti	x		
natriumnitraatti			x

5.34

Ratkaisu:

a) Neutraloitumisreaktion reaktioyhtälö on: $\text{HCl(aq)} + \text{NH}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl(aq)}$.

Ammoniumioni on vahvempi happo kuin vesi, joten ekvivalenttikohdassa muodostuva suolaliuos on hapan.

b) Neutraloitumisreaktion reaktioyhtälö on: $\text{KOH(aq)} + \text{HI(aq)} \rightarrow \text{KI(aq)} + \text{H}_2\text{O(l)}$.

Jodidi-ioni on heikompi emäs kuin vesi, joten ekvivalenttikohdassa muodostuva suolaliuos on neutraali.

c) Neutraloitumisreaktion reaktioyhtälö on $\text{NaHCO}_3(\text{aq}) + \text{NaOH(aq)} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O(l)}$.

Karbonaatti-ioni on vahvempi emäs kuin vesi, joten ekvivalenttikohdassa muodostuva suolaliuos on emäksinen.

Vastaus:

a) Liuos on hapan.

b) Liuos on neutraali.

c) Liuos on emäksinen.

5.35

Vastaus:

Koska jauhe ei reagoinut suolahapon kanssa, näyte ei voi sisältää kaliumkarbonaattia. Kaliumkloridin vesiliuos on neutraali, mutta kaliumfluoridin vesiliuos on emäksinen, sillä fluoridi-ioni on vahvempi emäs kuin vesi. Yleisindikaattoripaperi värjäytyy siniseksi emäksisellä aineella.

5.36

Ratkaisu:

$$m(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}) = 3,818 \text{ g}$$

$$M(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}) = 144,100 \text{ g/mol}$$

$$V(\text{liuos}) = 500 \text{ ml}$$

$$pK_w = 13,9965$$

$$K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

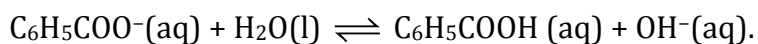
$$\text{pH} = ?$$

Natriumbentsoaatti liukenee veteen seuraavasti: $\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}(\text{s}) \rightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-(\text{aq})$.

Lasketaan natriumbentsoaattiliuoksen konsentraatio:

$$c(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{3,818 \text{ g}}{144,100 \text{ g/mol} \cdot 0,500 \text{ dm}^3} = 0,052991 \text{ mol/dm}^3.$$

Suolan ioneista vain bentsoaatti-ioni on protolyytti (heikko emäs), jonka protolyysireaktio on:

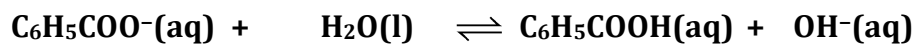


Bentsoaatti-ioni on bentsoehapon vastinemäs, jonka emäsvakio saadaan laskettua lausekkeesta

$$K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) \cdot K_b(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) = K_w$$

$$\Rightarrow K_b(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) = \frac{K_w}{K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2}{6,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3} = 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ mol/dm}^3.$$

Tehdään taulukko bentsoaatti-ionin protolyysireaktiosta:



$c_{\text{alku}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	0,052991	-	0	0
$\text{muutos (mol/dm}^3\text{)}$	$-x$	-	$+x$	$+x$
$c_{\text{tasap.}} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$	$0,052991 - x$	-	x	x

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot bentsoaatti-ionin emäsvakion lausekkeeseen ja ratkaistaan x :

$$K_b = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]} \Rightarrow 1,6 \cdot 10^{-10} = \frac{x^2}{0,052991 - x}$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan:

$$x_1 = 2,912 \cdot 10^{-6} \text{ ja}$$

$$x_2 = -2,912 \cdot 10^{-6},$$

joista vain x_1 positiivisena lukuna kelpaa, sillä hydroksidi-ionikonsentraation tulee kasvaa (ja bentsoaatti-ionikonsentraation pienentyä).

$$[\text{OH}^-] = 2,912 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3 \Rightarrow \text{pOH} = 5,5358.$$

Liuoksen pH-arvo on:

$$\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH} = 13,9965 - 5,5358 = 8,4607 \approx 8,46.$$

Vastaus:

$$\text{pH} = 8,46$$

5.37

Ratkaisu:

a)

$$V(\text{liuos}) = 1,0 \text{ l}$$

$$\text{pH} = 2,50$$

$$K_a(\text{HSO}_4^-) = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$M(\text{NaHSO}_4) = 120,068 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{NaHSO}_4) = ?$$

Lasketaan liuoksen oksoniumionikonsentraatio pH-arvon perusteella:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2,50} = 3,162 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l.}$$

Natriumvetysulfaatti liukenee veteen seuraavasti: $\text{NaHSO}_4(\text{s}) \rightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HSO}_4^-(\text{aq})$.

Vetysulfaatti-ioni protolysoituu seuraavasti: $\text{HSO}_4^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$.

Tehdään taulukko vetysulfaatti-ionin protolyysireaktiosta. Merkitään vetysulfaatti-ionin alkukonsentraatiota kirjaintunnuksella x :

	$\text{HSO}_4^-(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$	+	$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$
alku (mol/dm ³)	x		-		0		0
muutos (mol/dm ³)	$-3,162 \cdot 10^{-3}$		-		$+3,162 \cdot 10^{-3}$		$3,162 \cdot 10^{-3}$
ctasap. (mol/dm ³)	$x - 3,162 \cdot 10^{-3}$		-		$3,162 \cdot 10^{-3}$		$3,162 \cdot 10^{-3}$

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot vetysulfaatti-ionin happovakion lausekkeeseen ja lasketaan x :

$$K_a(\text{HSO}_4^-) = \frac{[\text{SO}_4^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HSO}_4^-]} \Rightarrow 1,1 \cdot 10^{-2} = \frac{(3,162 \cdot 10^{-3}) \cdot (3,162 \cdot 10^{-3})}{x - 3,162 \cdot 10^{-3}}$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan:

$$x = 4,071 \cdot 10^{-3} \Rightarrow c(\text{HSO}_4^-)_{\text{alku}} = 4,071 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l.}$$

Liukenemisyhtälön mukaan myös $c(\text{NaHSO}_4) = c(\text{HSO}_4^-) = 4,071 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l.}$

Tarvittava natriumvetysulfaatin ainemäärä on:

$$n(\text{NaHSO}_4) = 4,071 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \cdot 1,0 \text{ l} = 4,071 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Tarvittava natriumvetysulfaatin massa on:

$$m(\text{NaHSO}_4) = 4,071 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 120,068 \text{ g/mol} = 0,4888 \text{ g} \approx 0,49 \text{ g.}$$

b)

$$n(\text{NaHSO}_4) = 4,071 \cdot 10^{-3} \text{ mol (kohdasta a)}$$

$$M(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 74,096 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = ?$$

Neutraloitumisreaktion reaktioyhtälö on:



Reaktioyhtälön perusteella

$$\frac{n(\text{Ca}(\text{OH})_2)}{n(\text{NaHSO}_4)} = \frac{1}{2} \Rightarrow n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{NaHSO}_4) = \frac{1}{2} \cdot 4,071 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 2,036 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Tarvittava kalsiumhydroksidin massa on:

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 2,036 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 74,096 \text{ g/mol} = 0,1509 \text{ g} \approx 0,15 \text{ g.}$$

Vastaus:

a) $m(\text{NaHSO}_4) = 0,49 \text{ g}$

b) $m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 0,15 \text{ g}$

5.38

Ratkaisu:

$$V(\text{HNO}_3) = 15 \text{ ml} = 0,015 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{NaOH}) = 0,10 \text{ mol/dm}^3$$

$$M(\text{HNO}_3) = 63,018 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{HNO}_3) = ?$$

$$\text{pH(A)} = ?$$

$$\text{pH(B)} = ?$$

Neutraloitumisreaktion reaktioyhtälö on: $\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{NaNO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

Titrauskäyrän perusteella ekvivalenttikohdassa $V(\text{NaOH}) = 6,0 \text{ ml}$.

Lasketaan natriumhydroksidin ainemäärä:

$$n(\text{NaOH}) = 0,10 \text{ mol/l} \cdot 0,0060 \text{ l} = 6,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$

Neutraloitumisreaktion reaktioyhtälön perusteella $n(\text{HNO}_3) = n(\text{NaOH}) = 6,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$.

Kysytty typpihapon massa on:

$$m(\text{HNO}_3) = 6,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 63,018 \text{ g/mol} = 0,03781 \text{ g} \approx 38 \text{ mg}.$$

pH pisteessä A:

$$V(\text{NaOH}) = 4,0 \text{ ml} = 0,0040 \text{ l}$$

$$c(\text{NaOH}) = 0,10 \text{ mol/dm}^3$$

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) = 0,10 \text{ mol/l} \cdot 0,0040 \text{ l} = 4,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$

$$n(\text{HNO}_3) = 6,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol (edellisestä laskusta)}.$$

Pisteessä A neutraloitumattomien typpihappomolekyylien ainemäärä on:

$$n(\text{HNO}_3) = (6,000 \cdot 10^{-4} - 4,000 \cdot 10^{-4}) \text{ mol} = 2,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$

$$V(\text{liuos}) = 15 \text{ ml} + 4,0 \text{ ml} = 19,0 \text{ ml} = 0,019 \text{ dm}^3.$$

Typpihapon konsentraatio on:

$$c(\text{HNO}_3) = \frac{n(\text{HNO}_3)}{V(\text{liuos})} = \frac{2,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,019 \text{ dm}^3} = 0,01053 \text{ mol/dm}^3.$$

Typpihappo on yksiarvoinen, vahva happo, joten

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = c(\text{HNO}_3) = 0,01053 \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+] = -\lg 0,01053 \approx 1,9776 \approx 1,98.$$

pH pisteessä B:

$$V(\text{NaOH}) = 7,0 \text{ ml} = 0,0070 \text{ l}$$

$$c(\text{NaOH}) = 0,10 \text{ mol/dm}^3$$

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) = 0,10 \text{ mol/l} \cdot 0,0070 \text{ l} = 7,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$

$$n(\text{HNO}_3) = 6,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol (edellisestä laskusta)}$$

Typpihapon joukkoon on lisätty 7,0 ml natriumhydroksidiliuosta. Happo on kokonaan neutraloitunut ja emästä on ylimäärin.

Lasketaan ylimäärin lisättyjen hydroksidi-ionien ainemäärä:

$$n(\text{OH}^-) = (7,000 \cdot 10^{-4} - 6,000 \cdot 10^{-4}) \text{ mol} = 1,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$

Liuoksen hydroksidi-ioni konsentraatio pisteessä B on:

$$[\text{OH}^-] = \frac{1,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{(0,015 + 0,0070) \text{ dm}^3} = 4,545 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{pOH} = 2,3425$$

$$\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH} = 13,9965 - 2,3425 = 11,6540 \approx 11,65.$$

Ekvivalenttipisteessä kaikki happo on neutraloitunut ja liuoksen pH määräytyy syntyneen suolan perusteella. Kun typpihappo reagoi natriumhydroksidin kanssa, muodostuu natriumnitraattia. Natriumionilla ei ole happo-emäsluonnetta. Nitraatti-ioni on heikompi emäs kuin vesi, joten liuos on neutraali.

Vastaus:

$$m(\text{HNO}_3) = 38 \text{ mg}$$

Pisteessä A pH = 1,98.

Pisteessä B pH = 11,65

Neutraloitumisreaktiossa muodostuneen suolan (NaNO_3) vesiliuos on neutraali.

5.39

Ratkaisu:

$$V(\text{HCl}) = 50,0 \text{ ml} = 0,0500 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{HCl}) = 0,127 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 10,0 \text{ ml} = 0,0100 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,0125 \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

Koska suolahappo on vahva happo, suolahappoliuoksessa olevien oksoniumionien ainemäärä on:

$$n(\text{H}_3\text{O}^+) = n(\text{HCl}) = 0,127 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0500 \text{ dm}^3 = 6,3500 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Bariumhydroksidiliuoksessa hydroksidi-ionien ainemäärä on:

$$n(\text{OH}^-) = 2 \cdot n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 2 \cdot 0,0125 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0100 \text{ dm}^3 = 2,5000 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Koska $n(\text{H}_3\text{O}^+) > n(\text{OH}^-)$ jää oksoniumioneja neutraloimatta. Oksoniumionien ainemäärä bariumhydroksidiliuoksen lisäyksen jälkeen on:

$$n(\text{H}_3\text{O}^+) = 6,3500 \cdot 10^{-3} \text{ mol} - 2,5000 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 6,1000 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Yhdistetyn liuoksen oksoniumionikonsentraatio on:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{n(\text{H}_3\text{O}^+)}{V(\text{liuos})} = \frac{6,1000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{(0,0500 + 0,0100) \text{ dm}^3} = 0,10167 \text{ mol/dm}^3.$$

Liuoksen pH on:

$$\text{pH} = -\lg 0,10167 \approx 0,99281 \approx 0,993.$$

Vastaus:

$$\text{pH} = 0,993.$$

5.40

Ratkaisu:

a)

$$c(\text{NaOH}) = 0,080 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{HBr}) = 0,10 \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

Neutraloitumisreaktion reaktioyhtälö on: $\text{HBr}(\text{aq}) + \text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{NaBr}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

Natriumionilla ei ole happo-emäsluonnetta. Bromidi-ioni on heikompi emäs kuin vesi, joten liuoksen pH-arvo määräytyy veden autoprotolyysireaktion perusteella.

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] \Rightarrow 1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3) = x^2$$

$$x = 1,004 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3 = [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$\text{pH} = -\lg 1,004 \cdot 10^{-7} = 6,9982 \approx 7,00.$$

b)

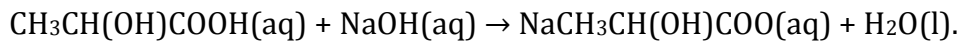
$$c(\text{NaOH}) = 0,080 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}) = 0,10 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_a(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}) = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

Neutraloitumisreaktion reaktioyhtälö on:



Reaktiossa muodostuva suola on natriumlaktaatti $\text{NaCH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}$, jonka laktaatti-ioni $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-$ on maitohapon vastinemäs.

Lasketaan laktaatti-ionin emäsvakio:

$$K_b(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-) = \frac{K_w}{K_a(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH})} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3)^2}{1,4 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3}$$
$$= 7,2 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3.$$

Laktaatti-ioni on vahvempi happo kuin vesi, joten suolan liukeneminen vaikuttaa liuoksen pH-arvoon. Ratkaistaan natriumlaktaatin konsentraatio seuraavasti:

Merkitään titratun maitohappoliuoksen tilavuutta merkinnällä $V_1 \text{ dm}^3$.

Maitohapon ainemäärä tässä tilavuudessa on:

$$n(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}) = c(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}) \cdot V_1 \text{ dm}^3 = 0,10 \text{ mol/dm}^3 \cdot V_1 \text{ dm}^3 = 0,10 \cdot V_1 \text{ mol}.$$

Merkitään neutralointiin tarvittavan natriumhydroksidin tilavuutta merkinnällä $V_2 \text{ dm}^3$.

Neutraloitumiseen tarvittava natriumhydroksidin ainemäärä on:

$$n(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH}) \cdot V_2 = 0,080 \cdot V_2 \text{ mol}.$$

$$\text{Ekvivalenttikohdassa } n(\text{NaOH}) = n(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}) \Rightarrow 0,080 \cdot V_2 \text{ mol} = 0,10 \cdot V_1 \text{ mol}.$$

$$\text{Kun tästä ratkaistaan } V_2, \text{ saadaan: } V_2 = 1,25 \cdot V_1.$$

Koska $n(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-) = n(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH})$, laktaatti-ioninkonsentraation lausekkeeksi saadaan:

$$c(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-) = \frac{n(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-)}{V(\text{liuos})} = \frac{0,10 \cdot V_1 \text{ mol}}{(V_1 + V_2) \text{ dm}^3} = \frac{0,10 \cdot V_1 \text{ mol}}{(V_1 + 1,25 \cdot V_1) \text{ dm}^3}$$

Tästä ratkaistuna $c(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-) = 0,04444 \text{ mol/dm}^3$.

Tehdään taulukko laktaatti-ionin protolyysireaktiosta:

	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$	+	$\text{OH}^-(\text{aq})$
$c_{\text{alku}}(\text{mol/dm}^3)$	0,04444		-		0		0
muutos (mol/dm^3)	-x		-		+x		+x
$c_{\text{tasap.}}(\text{mol/dm}^3)$	0,04444 - x		-		x		x

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot laktaatti-ionin emäsvakion lausekkeeseen ja ratkaistaan x:

$$K_b(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-) = \frac{[\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-]} \Rightarrow 7,2 \cdot 10^{-11} = \frac{x^2}{0,04444 - x}$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan:

$$x_1 = -1,766 \cdot 10^{-6} \text{ ja}$$

$$x_2 = 1,766 \cdot 10^{-6},$$

joista vain positiivinen juuri on järkevä, sillä hydroksidi-ionikonsentraation tulee kasvaa ja laktaatti-ionikonsentraation pienentyä.

$$[\text{OH}^-] = 1,766 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{pOH} = 5,7530$$

Liuoksen pH-arvo on:

$$\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH} = 13,9965 - 5,7530 = 8,2435 \approx 8,24.$$

Vastaus:

a) $\text{pH} = 7,00$

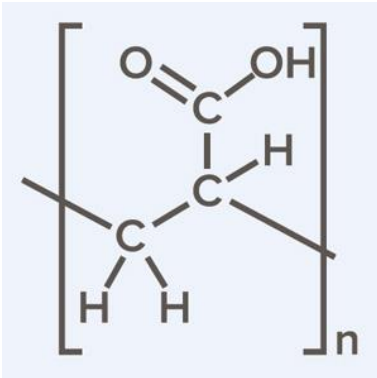
b) $\text{pH} = 8,24$

Harjoittele lisää! Ylioppilastehtäviä

1.

Ratkaisu:

a)



Polyakryylihapon natriumsuola liukenee veteen Na^+ - ja polyakrylaatti-ioneina, joilla on negatiivinen varaus. Vesimolekyylit "imeytyvät" polymeeriin, sillä ne muodostavat useita vetysidoksia polyakrylaatti-ionien negatiivisten karboksylaattiosien ($n \cdot \text{-COO}^-$) kanssa. Koska polymeerin rakenne on verkkomainen, vesimolekyylit jäävät "loukkuun" verkkorakenteen sisään.

b)

$$c(\text{akryylihappo}) = 0,500 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{akryylihappo}) = 10,0 \text{ ml} = 0,0100 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{NaOH}) = 0,200 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_a(\text{akryylihappo}) = 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3)^2$$

$$\text{pH} = ?$$

Neutraloitumisreaktio on: $\text{CH}_2=\text{CHCOOH}(\text{aq}) + \text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{CH}_2=\text{CHCOONa}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

$$n(\text{akryylihappo}) = 0,500 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0100 \text{ dm}^3 = 5,0000 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

$$\text{Ekvivalenttikohdassa } n(\text{NaOH}) = n(\text{CH}_2=\text{CHCOOH}) = 5,0000 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Lasketaan, mikä tilavuus natriumhydroksidiliuosta on kulunut akryylihapon neutraloitumiseen:

$$V(\text{NaOH}) = \frac{5,0000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,200 \text{ mol/dm}^3} = 0,025000 \text{ dm}^3.$$

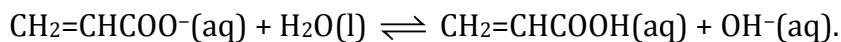
Liuoksen kokonaistilavuus on $0,0100 \text{ dm}^3 + 0,0250 \text{ dm}^3 = 0,0350 \text{ dm}^3$.

Ekvivalenttikohdassa liuoksen pH määräytyy syntyneen suolan perusteella. Natriumionilla ei ole happo-emäsluonnetta, mutta akrylaatti-ioni on akryylihapon vastinemäs. Lasketaan akrylaatti-ionin emäsvakio:

$$K_b(\text{CH}_2=\text{CHCOO}^-) = \frac{K_w}{K_a(\text{CH}_2=\text{CHCOOH})}$$

$$\Rightarrow K_b(\text{CH}_2=\text{CHCOO}^-) = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2}{5,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3} = 1,8 \cdot 10^{-10} \text{ mol/dm}^3.$$

Akrylaatti-ioni on vahvempi emäs kuin vesi, joka tuottaa vesiliuokseen hydroksidi-ioneja seuraavasti:



Lasketaan $c(\text{CH}_2=\text{CHCOO}^-)$ ekvivalenttipisteessä:

$$c(\text{CH}_2=\text{CHCOO}^-) = \frac{5,0000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,0350 \text{ dm}^3} = 0,14286 \text{ mol/dm}^3.$$

Tehdään taulukko akrylaatti-ionin protolyysireaktiosta:

	$\text{CH}_2=\text{CHCOO}^-$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$	+	$\text{OH}^-(\text{aq})$
$c_{\text{alku}}(\text{mol/dm}^3)$	0,14286		-		0		0
muutos (mol/dm^3)	-x		-		+x		+x
$c_{\text{tasap.}}(\text{mol/dm}^3)$	$0,14286 - x$		-		x		x

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot akrylaatti-ionin emäsvakion lausekkeeseen ja ratkaistaan x :

$$K_b(\text{CH}_2=\text{CHCOO}^-) = \frac{[\text{CH}_2=\text{CHCOOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_2=\text{CHCOO}^-]} \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-10} = \frac{x^2}{0,14286 - x}$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan:

$$x_1 = 5,070 \cdot 10^{-6} \text{ ja}$$

$$x_2 = -5,071 \cdot 10^{-6},$$

joista vain positiivinen juuri on järkevä, sillä hydroksidi-ionikonsentraation tulee kasvaa ja akrylaatti-ionikonsentraation pienentyä.

$$[\text{OH}^-] = 5,070 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3.$$

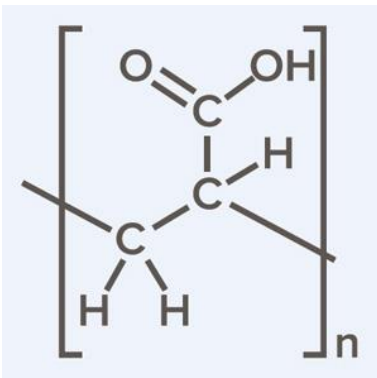
$$\text{pOH} = 5,2950$$

Liuoksen pH-arvo on:

$$\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH} = 13,9965 - 5,2950 = 8,7015 \approx 8,70.$$

Vastaus:

a)



Polyakryylihapon natriumsuola liukenee veteen Na^+ - ja polyakrylaatti-ioneina, joilla on negatiivinen varaus. Vesimolekyylit "imeytyvät" polymeeriin, sillä ne muodostavat useita vetysidoksia polyakrylaatti-ionien negatiivisten karboksylaatti-osien ($n \cdot -\text{COO}^-$) kanssa. Koska polymeerin rakenne on verkkomainen, vesimolekyylit jäävät "loukkuun" verkkorakenteen sisään.

b) $\text{pH} = 8,70$.

2.

Ratkaisu:

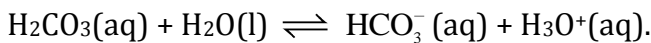
$$c(\text{H}_2\text{CO}_3) = 0,0012 \text{ mol/l}$$

$$c(\text{HCO}_3^-) = 0,024 \text{ mol/l}$$

$$K_a(\text{H}_2\text{CO}_3) = 8,1 \cdot 10^{-7} \text{ mol/l}$$

$$\text{pH} =$$

Hiilihappo-vetykarbonaattipuskurissa vallitsee seuraava tasapainotila:



Tehdään taulukko puskuriliuoksen eri aineiden konsentraatioista:

	$\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{HCO}_3^-(\text{aq})$	+	$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$
alku (mol/dm ³)	0,0012		-		0,024		0
muutos (mol/dm ³)	-x		-		+x		+x
$c_{\text{tasap.}}$ (mol/dm ³)	0,0012 - x		-		0,024 + x		x

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot hiilihapon happovakion lausekkeeseen ja ratkaistaan x:

$$K_a = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \Rightarrow 8,1 \cdot 10^{-7} = \frac{(0,024 + x) \cdot x}{0,0012 - x}.$$

Yhtälön ratkaisuna saadaan:

$$x_1 = 4,050 \cdot 10^{-8} \text{ ja}$$

$$x_2 = -0,02400,$$

joista vain x_1 positiivisena lukuna kelpaa, sillä oksoniumionikonsentraation tulee kasvaa (ja hiilihapon konsentraation pienentyä).

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 4,050 \cdot 10^{-8} \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{pH} = -\lg 4,050 \cdot 10^{-8} = 7,3925 \approx 7,39.$$

b)

$$\text{pH}_2 = 7,35$$

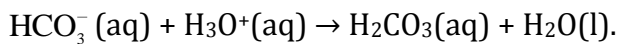
$$c(\text{H}_2\text{CO}_3) = 0,0012 \text{ mol/l}$$

$$c(\text{HCO}_3^-) = 0,024 \text{ mol/l}$$

$$V(\text{veri}) = 5,00 \text{ l}$$

$$n(\text{happo}) = ?$$

Uudessa tasapainotilassa puskuriliuoksen $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7,35} = 4,467 \cdot 10^{-8} \text{ mol/dm}^3$. Kun puskuriliuokseen lisätään happoa $x \text{ mol/dm}^3$, vetykarbonaatti-ioni neutraloi sen ja tapahtuu reaktio:



Tämän seurauksena vetykarbonaatti-ionin konsentraatio pienenee ja hiilihapon konsentraatio kasvaa. Vetykarbonaatti-ionin konsentraation pienenee $x \text{ mol/dm}^3$ ja on uudessa tasapainotilassa $(0,024 - x) \text{ mol/dm}^3$. Hiilihapon konsentraatio puolestaan kasvaa $x \text{ mol/dm}^3$ ja sen uusi tasapainokonsentraatio on $(0,0012 + x) \text{ mol/dm}^3$. Uudessa tasapainotilassa $[\text{H}_3\text{O}^+] = 4,467 \cdot 10^{-8} \text{ mol/dm}^3$. Sijoitetaan nämä konsentraatiot hiilihapon happovakion lausekkeeseen ja lasketaan x :n arvo:

$$K_a = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \Rightarrow 8,1 \cdot 10^{-7} = \frac{(0,024 - x) \cdot 4,467 \cdot 10^{-8}}{0,0012 + x} .$$

Tästä ratkaisuna $x = 1,170 \cdot 10^{-4}$.

Lisätyn yksiarvoisen hapon konsentraation tulee olla $1,170 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$.

Lasketaan, mikä ainemäärä happoa tulee lisätä, kun veren tilavuus on 5,0 l:

$$n(\text{happo}) = 1,170 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 \cdot 5,0 \text{ dm}^3 = 5,850 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \approx 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol} (0,59 \text{ mmol}).$$

Vastaus:

a) $\text{pH} = 7,39$

b) $n(\text{happo}) = 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol} (0,59 \text{ mmol}).$