

Del 1 Kemiska reaktionshastigheter

1.1 Reaktionshastighet och faktorer som påverkar den – facit

1.3

Lösning:

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)

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

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

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

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

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

För att kunna lösa reaktionshastigheterna löser vi ut den här hastigheten också i enheten mol/dm³·min:

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

Svar

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

Hastigheten för reaktion A är störst.

Del 1 Kemiska reaktionshastigheter

1.2 Mätning av reaktionshastighet och grafisk presentation – facit

1.11

Lösning:

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) Reaktionshastigheten för syrebildningen minskar när reaktionen fortskrider. Eftersom koncentrationen av väteperoxid minskar, minskar också antalet gynnsamma kollisioner per tidsenhet.

Svar:

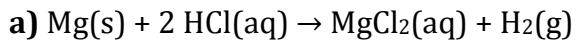
a) $v_1 = 0,80 \text{ cm}^3/\text{s}$

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

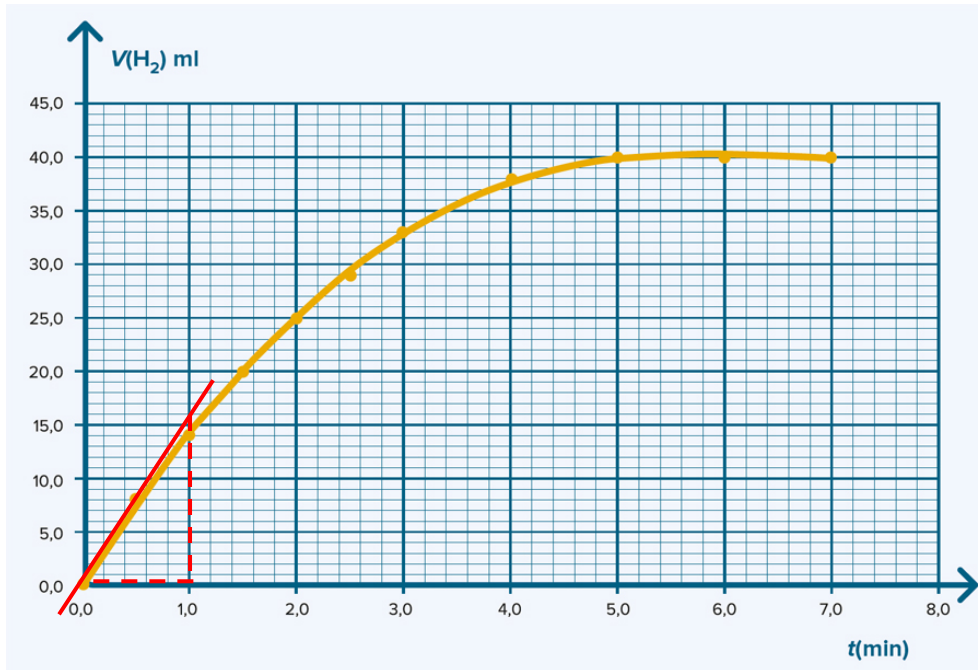
b) Reaktionshastigheten för syrebildningen minskar när reaktionen fortskrider. Eftersom koncentrationen av väteperoxid minskar, minskar också antalet gynnsamma kollisioner per tidsenhet.

1.13

Lösning:



b)



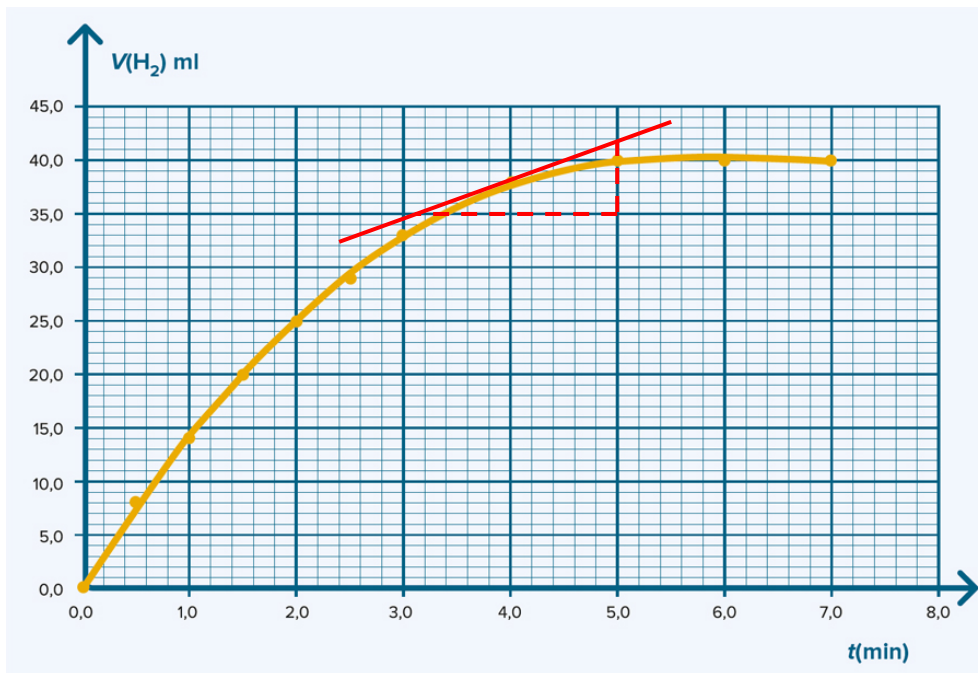
$$\Delta t = 1,0 - 0,0 \text{ min} = 1,0 \text{ min}$$

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

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

c) Antingen har magnesium eller saltsyra (eller båda) förbrukats till slut, och det bildas inga reaktionsprodukter längre.

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)

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

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

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

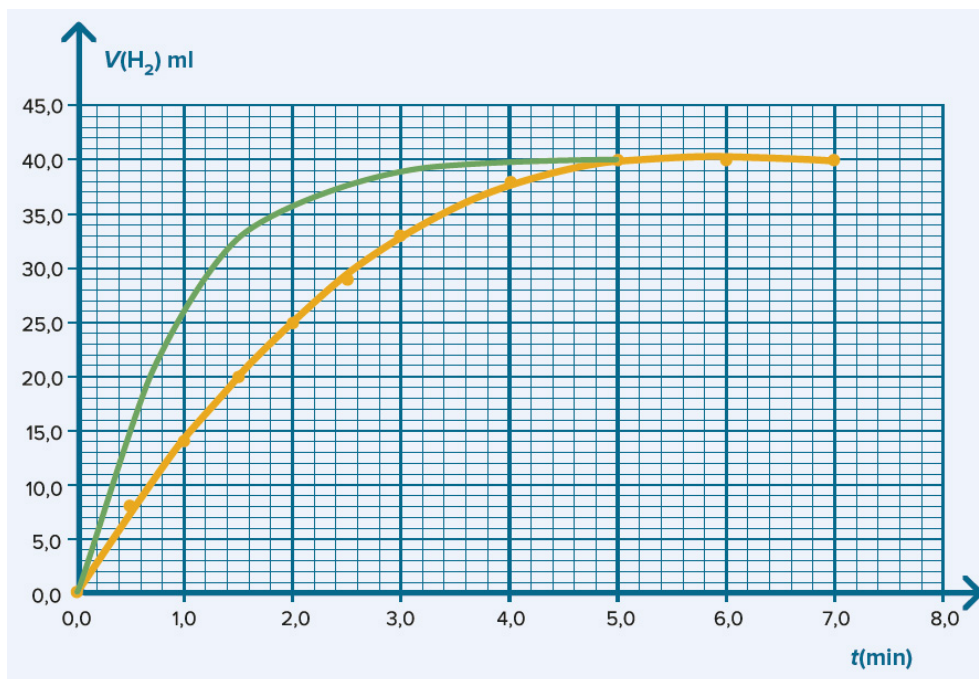
$$m(\text{Mg}) = ?$$

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

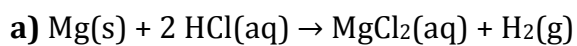
$$n(\text{Mg}) = n(\text{H}_2) = 1,7849 \cdot 10^{-3} \text{ mol} .$$

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

f)



Svar:



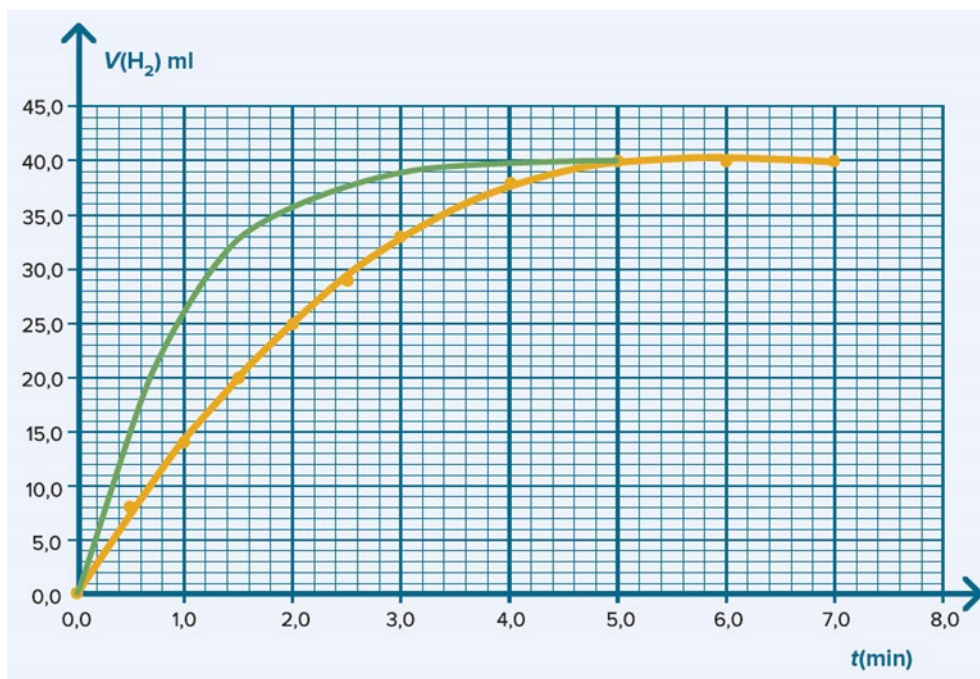
b) $v = 16 \text{ ml/min}$

c) Antingen har magnesium eller saltsyra (eller båda) förbrukats till slut, och det bildas inga reaktionsprodukter längre.

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

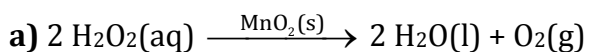
e) $m(\text{Mg}) = 0,0434 \text{ g}$

f)

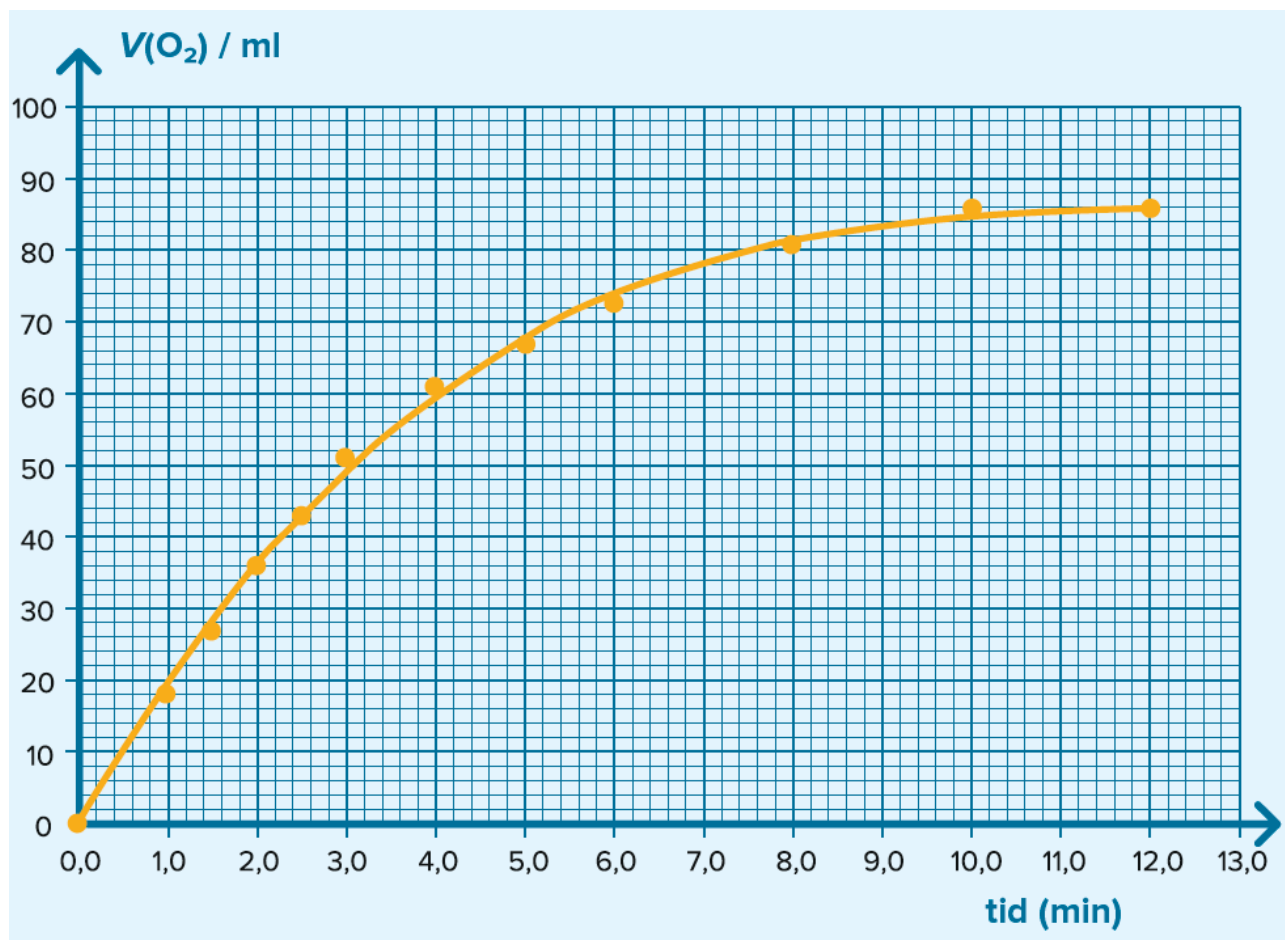


1.14

Lösning:



b)



c) Det bildas rikligt med syre inom tidsintervallet 0,0–3,0 minuter, reaktionshastigheten är stor. Efter 3,0 min bromsar reaktionshastigheten in. Efter 10,0 min bildas det inte syre längre (syrevolymen hålls konstant).

d) Reaktionen är snabb i början, förändringen i koncentrationen av väteperoxid är som störst. Det lönar sig att mäta ofta för att få tillräckligt många observationspunkter i grafen (grafan blir mera pålitlig).

e)

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

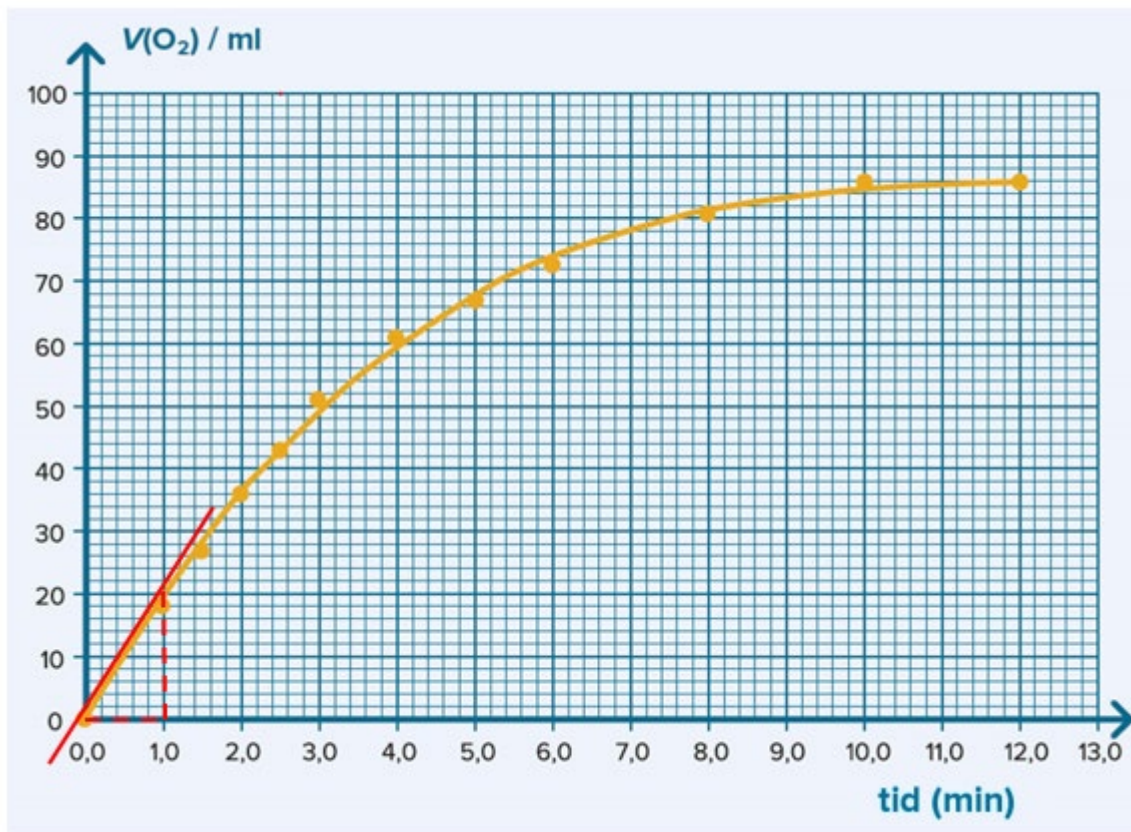
$$V_2(\text{O}_2) = 86 \text{ ml}$$

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

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

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

f)



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

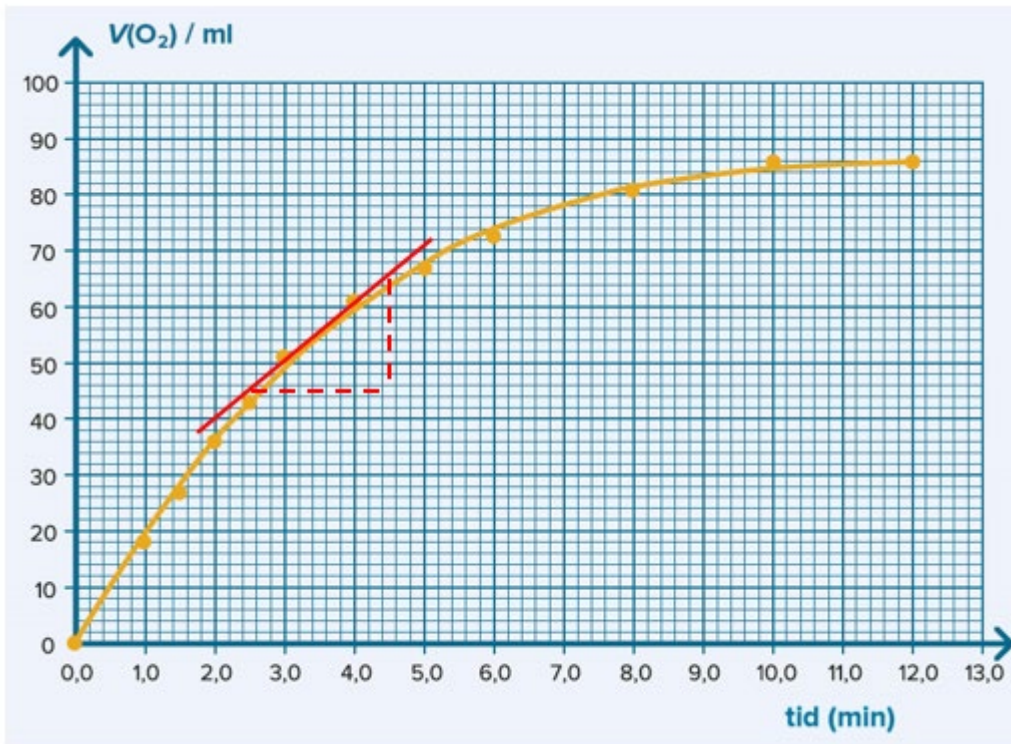
$$V_2(\text{O}_2) = 21 \text{ ml}$$

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

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

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

g)



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

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

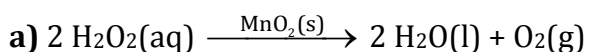
$$t_1 = 2,5 \text{ min}$$

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

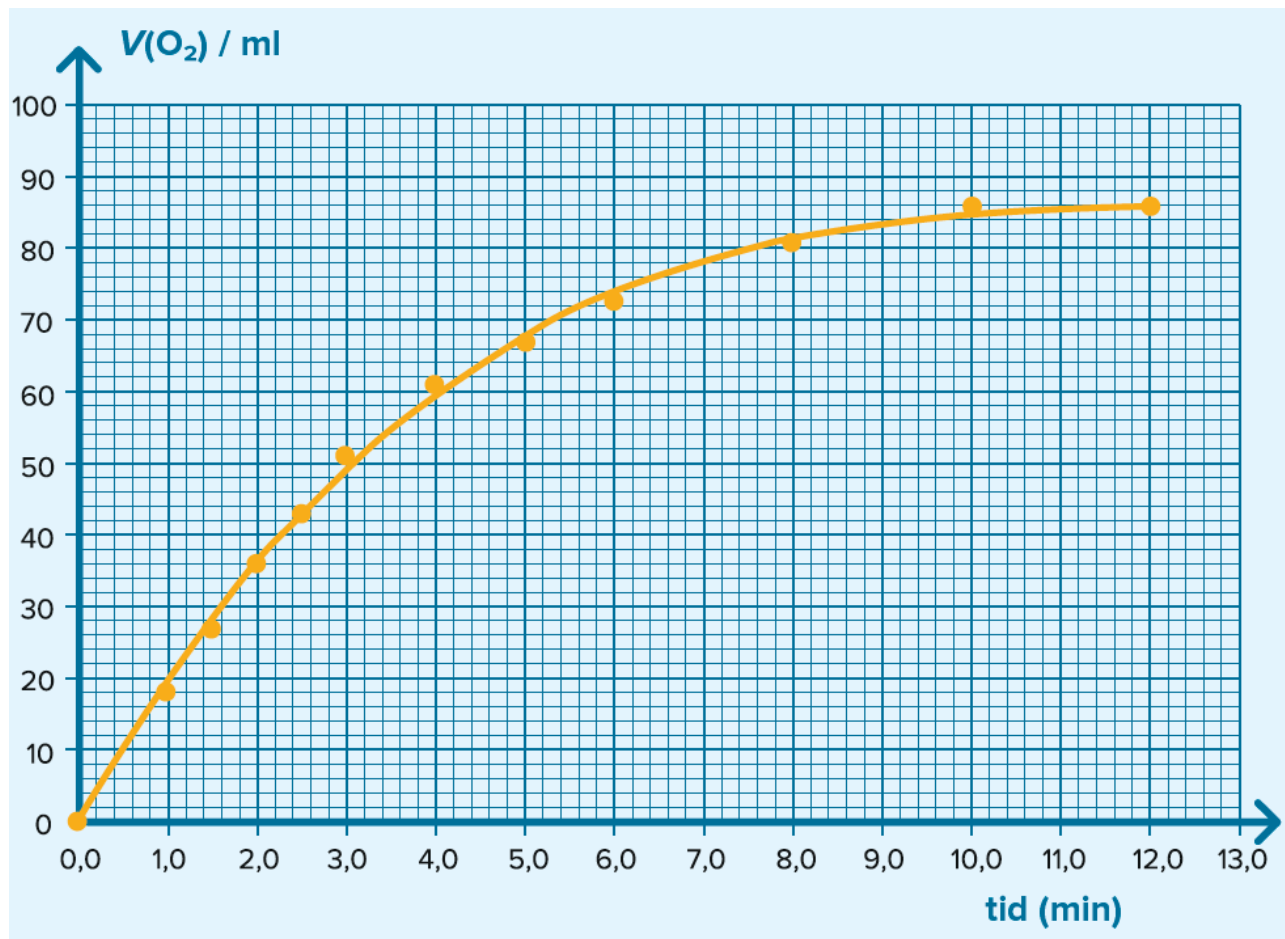
$$v = \frac{65 \text{ ml} - 45 \text{ ml}}{4,5 \text{ min} - 2,5 \text{ min}} = 10,000 \text{ ml/min} \approx 10,0 \text{ ml/min}.$$

h) Genom att mäta koncentrationen av väteperoxiden eller väga reaktionsblandningen vid olika tidpunkter.

Svar:



b)



c) Det bildas rikligt med syre inom tidsintervallet 0,0–3,0 minuter, reaktionshastigheten är stor. Efter 3,0 min bromsar reaktionshastigheten in. Efter 10,0 min bildas det inte syre längre (syrevolymen hålls konstant).

d) Reaktionen är snabb i början, förändringen i koncentrationen av väteperoxid är som störst. Det lönar sig att mäta ofta för att få tillräckligt många observationspunkter i grafen (grafan blir mera pålitlig).

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

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

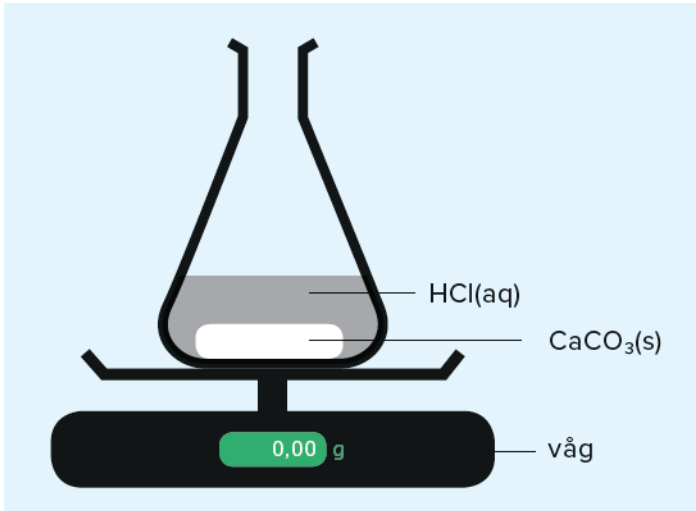
g) $v = 10,0 \text{ ml/min.}$

h) Genom att mäta koncentrationen av väteperoxiden eller väga reaktionsblandningen vid olika tidpunkter.

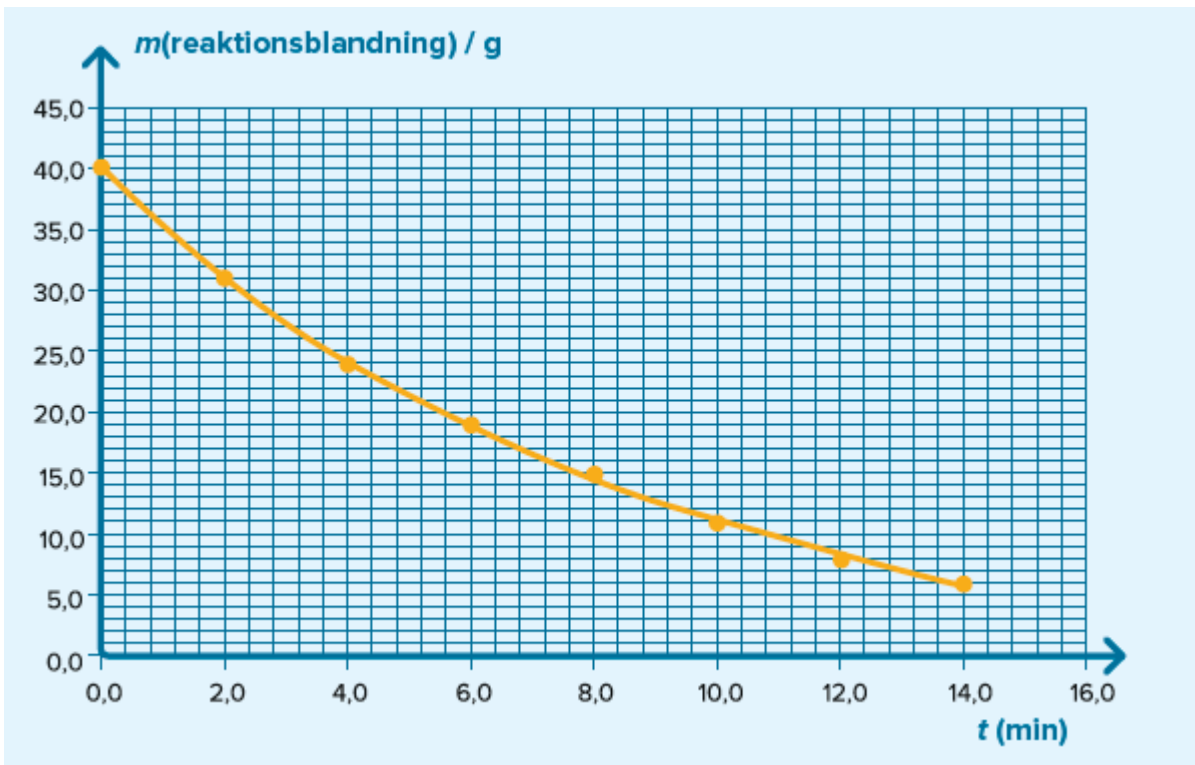
1.15

Lösning:

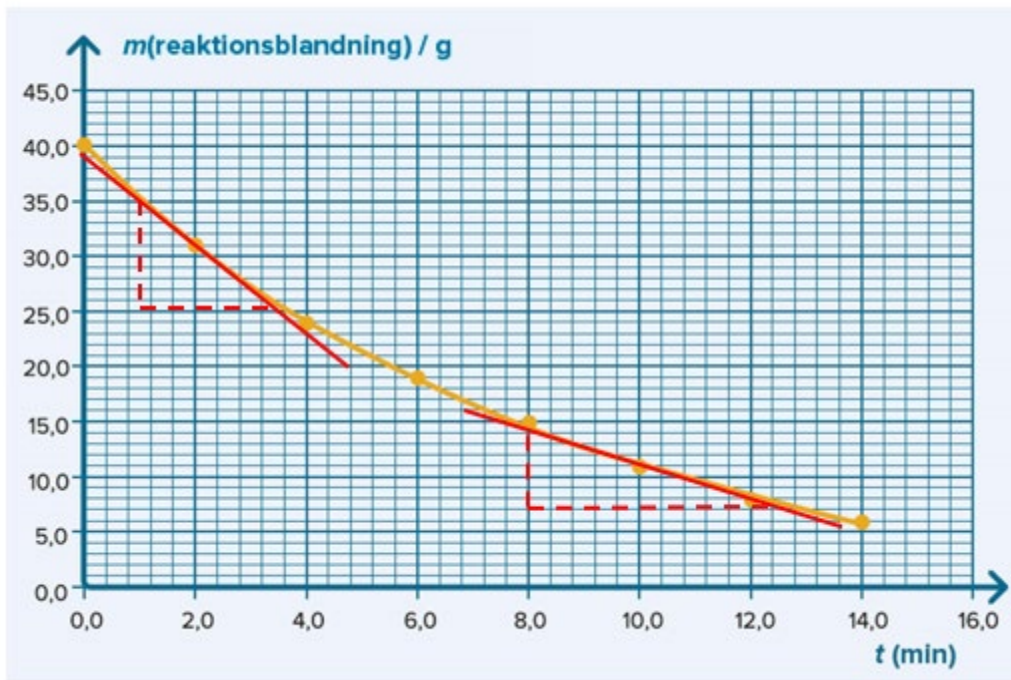
a)



b)



c)



Riktningskoefficienten vid tidpunkten 2,0 min:

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

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

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

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

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

Riktningskoefficienten vid tidpunkten 10,0 min:

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

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

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

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

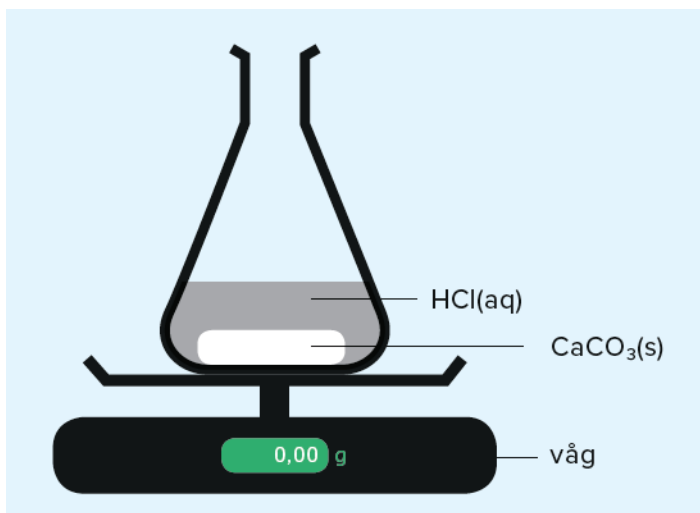
$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{7,0 - 14,0}{12,4 - 8,0} = -2,0.$$

Eftersom metoden bygger på att reaktionsblandningens massa minskar är båda riktningskoefficienterna negativa tal. Linjen som ritats för tidpunkten 10,0 min har ett mindre talvärde, vilket innebär att förändringen i reaktionsblandningens massa per tidsenhet är mindre. Utifrån det här vet vi att reaktionshastigheten är långsammare vid tidpunkten 10,0 min än vid tidpunkten 2,0 min.

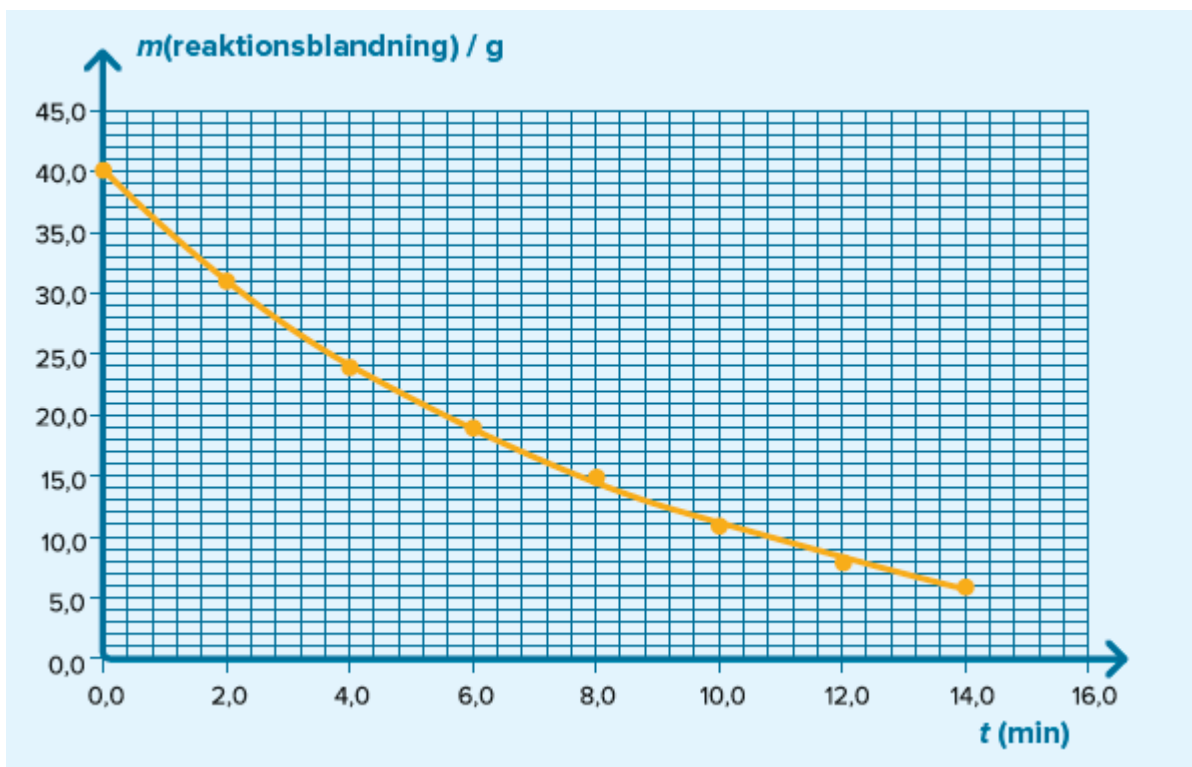
d) Talvärdet för riktningskoefficienten skulle öka eftersom förändringen i reaktionsblandningens massa ($y_2 - y_1$) skulle öka under ett visst tidsintervall. Vid högre temperatur bildas koldioxid snabbare, reaktionshastigheten (förändringen i massan per tidsenhet) är större.

Svar:

a)



b)



c)

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

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

d) Talvärdet för riktningskoefficienten skulle öka eftersom förändringen i reaktionsblandningens massa ($y_2 - y_1$) skulle öka under ett visst tidsintervall. Vid högre temperatur bildas koldioxid snabbare, reaktionshastigheten (förändringen i massan per tidsenhet) är större.

1.17

Lösning:

a) Ökning av kväveoxidkoncentrationen påskyndar reaktionen baserat på experiment 2 och 3 (ozonkoncentrationen hålls konstant). Om kväveoxidkoncentrationen ökar trefalt ökar också reaktionshastigheten trefalt.

b)

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

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

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

$$v = ?$$

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

c)

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

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

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

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

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

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

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

Svar:

a) Ökning av kväveoxidkoncentrationen påskyndar reaktionen baserat på experiment 2 och 3 (ozonkoncentrationen hålls konstant). Om kväveoxidkoncentrationen ökar trefalt ökar också reaktionshastigheten trefalt.

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

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

1.19

Lösning:

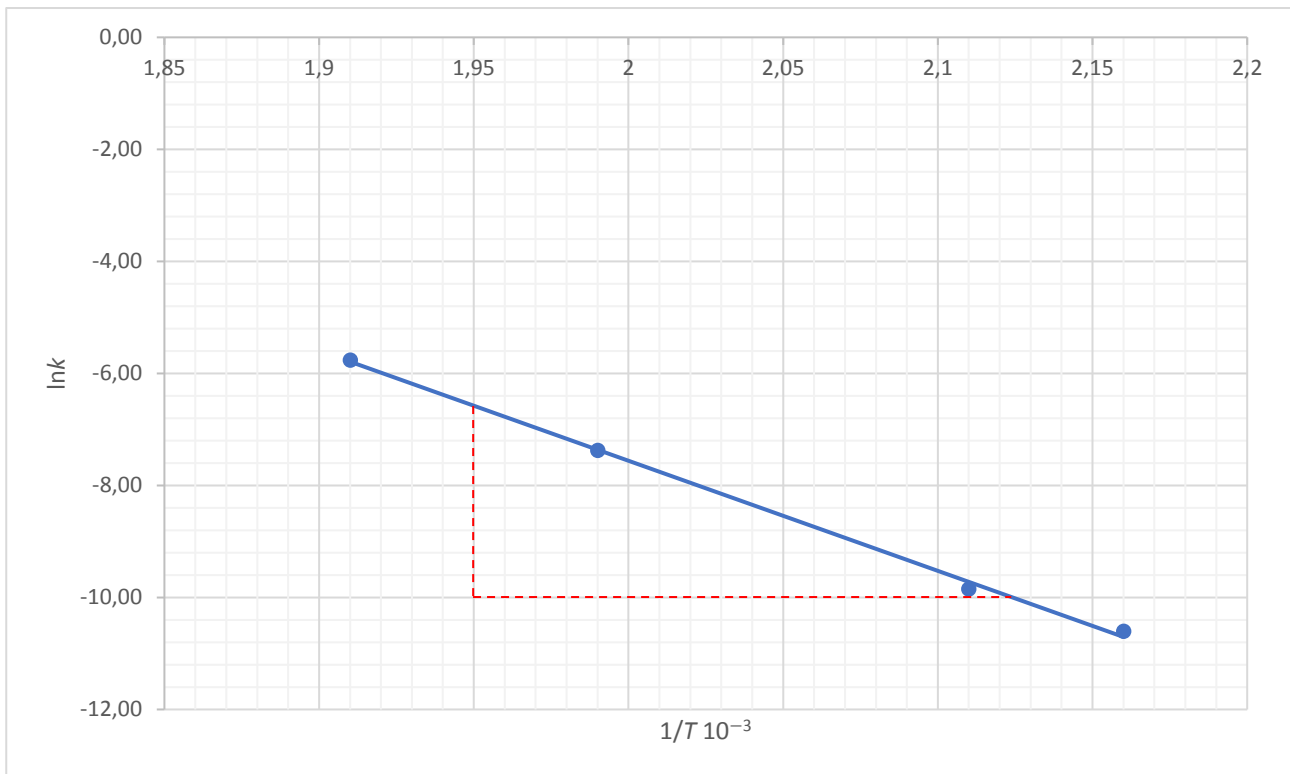
Genom att skriva uträkningen

$\ln k = \frac{-E_a}{RT} + \ln A$ i formen $\ln k = \frac{1}{T} \frac{-E_a}{R} + \ln A$, ser vi att det är frågan om ekvationen för en linje.

När vi ritar en graf med $\ln k$ på den lodräta axeln och $\frac{1}{T}$ på den vågräta axeln är linjens riktningskoefficient $\frac{-E_a}{R}$.

Värdena som behövs för grafen (temperaturomvandlingarna gjorde med värdet 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



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

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

Enheten blir J/mol eftersom enheten för R är J/K · mol och för temperaturen K.

$E_a = 166$ kJ/mol.

Svar:

$E_a = 166$ kJ/mol.

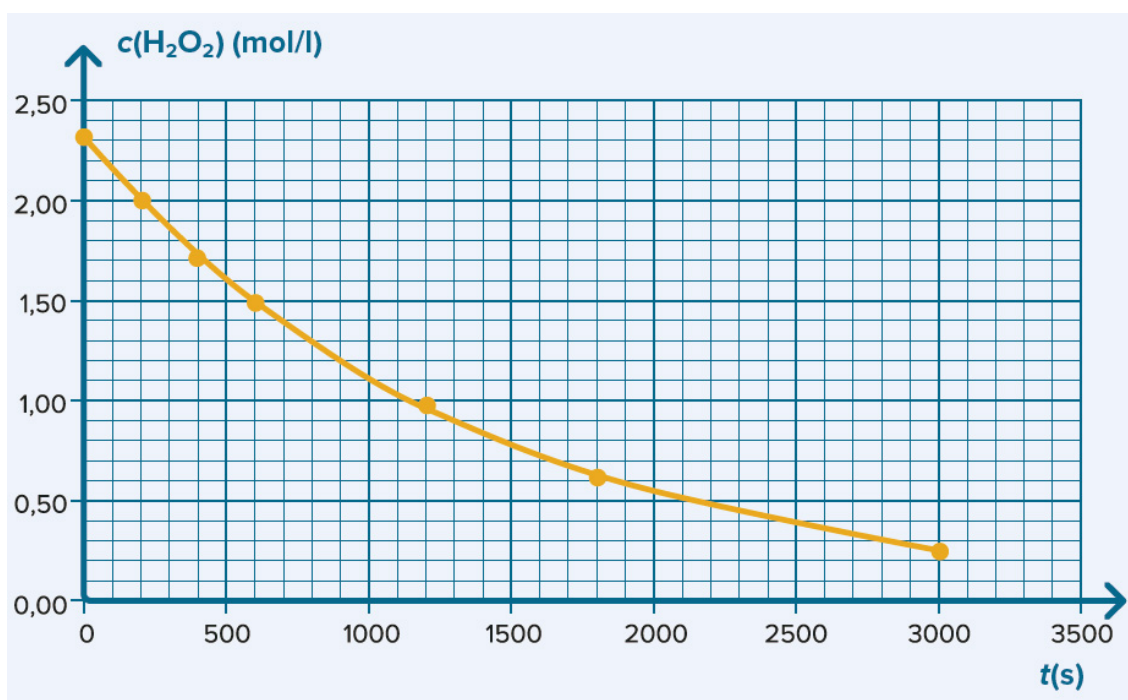
Del 1 Kemiska reaktionshastigheter

Öva mera! - facit

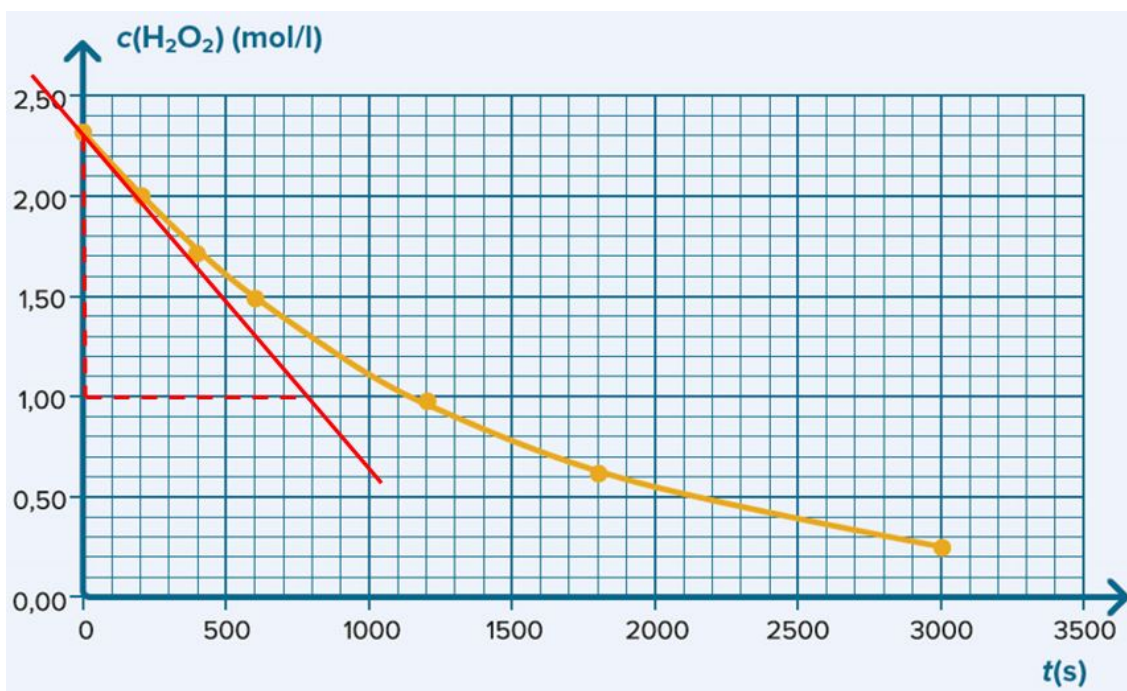
2.

Lösning:

a)



b) Reaktionshastigheten är högst i början av reaktionen. Vi ritar tangenten (den röda linjen) vid tidpunkten 0 och löser tangentens riktningskoefficient (de streckade röda linjerna).

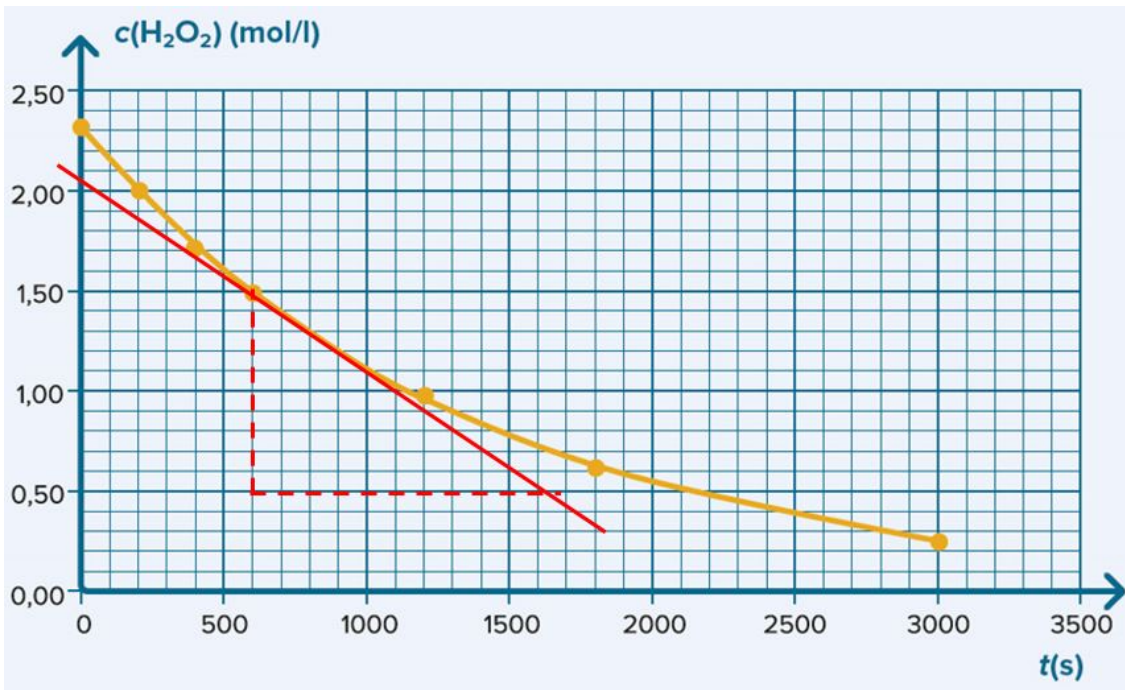


$$\Delta c = 1,00 \text{ mol/l} - 2,30 \text{ mol/l} = -1,31 \text{ mol/l}$$

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

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

c) Vi ritar tangenten (den röda linjen) vid tidpunkten $t = 700$ s och löser tangentens riktningskoefficient (de streckade röda linjerna):

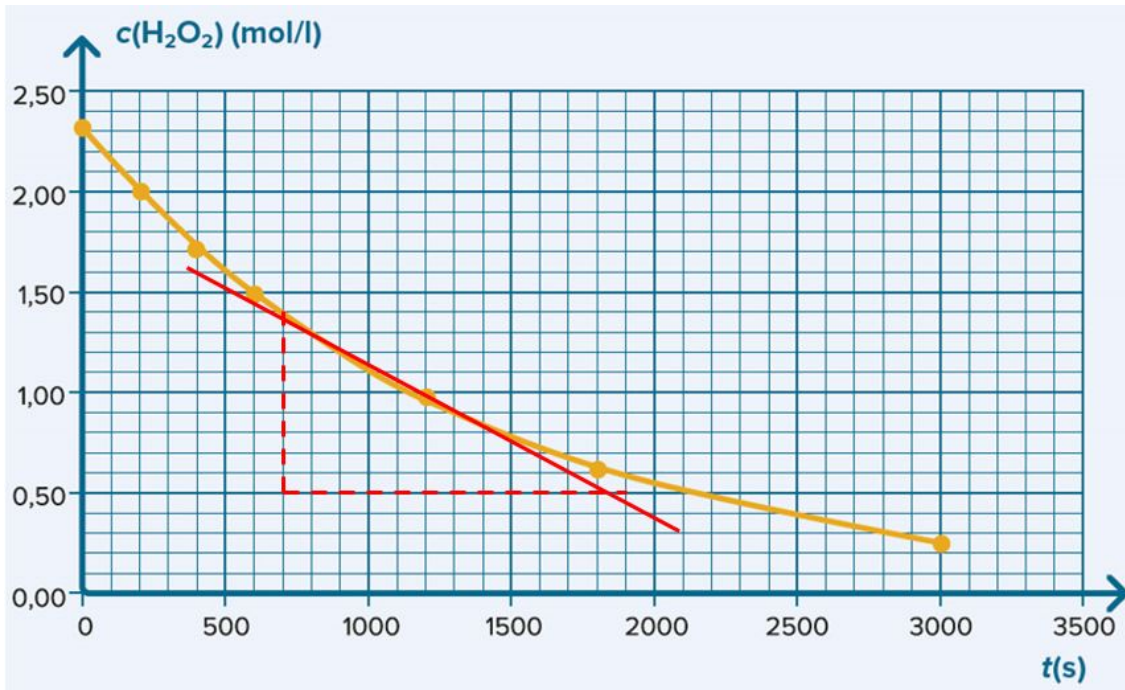


$$\Delta c = 0,70 \text{ mol/l} - 1,62 \text{ mol/l} = -1,00 \text{ mol/l}$$

$$\Delta t = 1400 \text{ s} - 400 \text{ s} = 1000 \text{ s}$$

$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{-1,00 \text{ mol/l}}{1000 \text{ s}} = -9,0909 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l} \cdot \text{s} \approx -9,09 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l} \cdot \text{s}$$

d) Vi får utgångshastigheten för syre när vi ritar tangenten vid tidpunkten 1 100 s och bestämmer tangentens riktningskoefficient. Enligt den balanserade reaktionslikheten är syrets utgångshastighet hälften av väteperoxidens sönderfallshastighet.



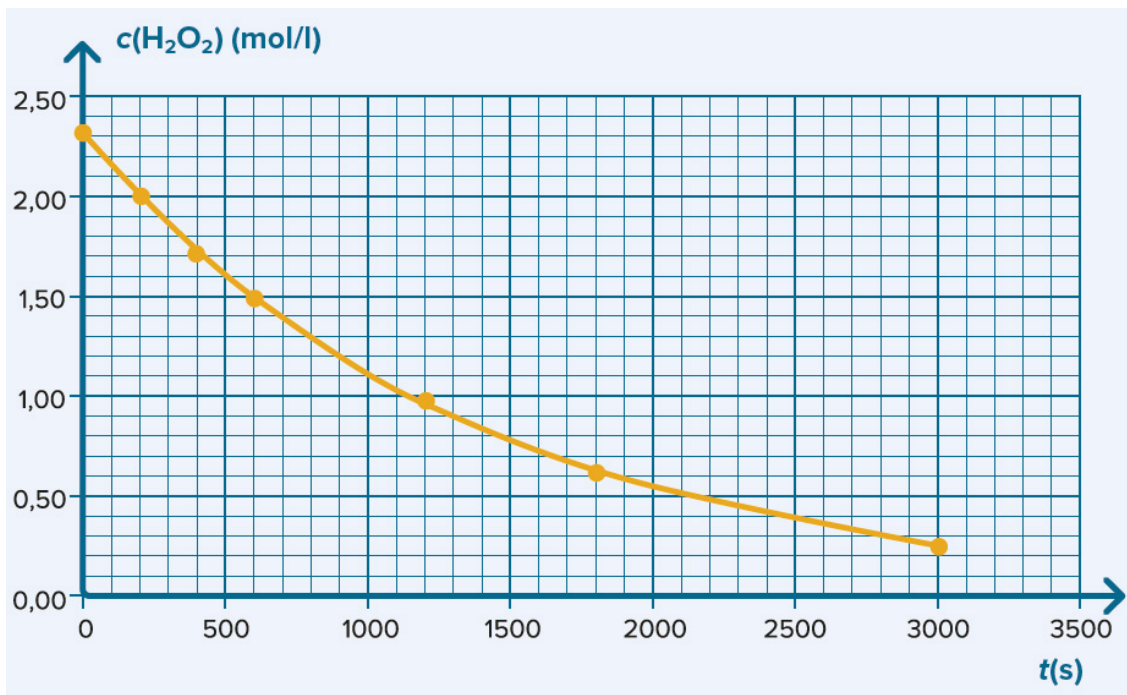
Väteperoxidens sönderfallshastighet:

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

$$\text{Utgångshastigheten för syre: } \frac{7,50 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{l} \cdot \text{s}}}{2} = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l} \cdot \text{s}$$

Svar:

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

Del 2 Jämviktstillstånd och dess reglering

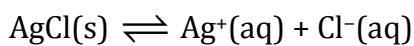
2.1 Homogen och heterogen jämvikt – facit

2.10

Lösning:

a) Ag_3PO_4

b)



c)

Silverfosfat har lösligheten $0,043 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$

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

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

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

När en mol silverfosfat löser sig bildas det tre mol silverjoner i lösningen enligt följande formel:



I en mättat silverfosfatlösning

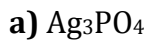
$$c(\text{Ag}^+) = 3 \cdot c(\text{Ag}_3\text{PO}_4) = 3 \cdot 0,043 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 = 1,290 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

När lösningsvolymen är 100 ml är substansmängden silverjoner

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

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

Svar:



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

2.11

Lösning:

a)

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

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

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

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

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

Substansmängden silvernitrat som förbrukas vid titreringen

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

Kloridjonerna enligt utfällningsreaktionen

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

Enligt den kemiska formeln för natriumklorid

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

Massan för natriumkloriden i korven:

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

Natriumkloridhalten i korven i massprocent:

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

b)

Kranvatten innehåller bland annat kloridjoner som fälls ut om vi titrerar provet. Således skulle vi få för hög salthalt som resultat. Dessutom kan andra joner i kranvattnet bilda utfällningar med silverjonerna eller kromatjonerna i indikatorlösningen.

c)

Korven innehöll 1,8 massprocent natriumklorid enligt innehållsförteckningen. Resultatet är lite mindre än det. Faktorer som kan påverka resultatet är:

- provbiten är inte representativ
- saltet är inte jämnt fördelat i provbiten
- all natriumklorid extraherades inte i vattnet
- salt har blivit kvar i korvbitarna som fastnade i filtret
- titrerlösningens koncentration var inte helt exakt
- det är svårt att observera slutpunkten (den orangea färgbildningen) för titreringen
- experimentet upprepades för få gånger.

Svar:

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

b) Kranvatten innehåller bland annat kloridjoner som fälls ut om vi titrerar provet. Således skulle vi få för hög salthalt som resultat. Dessutom kan andra joner i kranvattnet bilda utfällningar med silverjonerna eller kromatjonerna i indikatorlösningen.

c) Korven innehöll 1,8 massprocent natriumklorid enligt innehållsförteckningen. Resultatet är lite mindre än det. Faktorer som kan påverka resultatet är:

- provbiten är inte representativ
- saltet är inte jämnt fördelat i provbiten
- all natriumklorid extraherades inte i vattnet
- salt har blivit kvar i korvbitarna som fastnade i filtret
- titrerlösningens koncentration var inte helt exakt
- det är svårt att observera slutpunkten (den orangea färgbildningen) för titreringen
- experimentet upprepades för få gånger.

Del 2 Jämviktstillstånd och dess reglering

2.2 Jämviktskonstant - numeriskt värde och enhet - facit

2.15

Lösning:

a) Reaktionsblandningen innehåller mer reaktionsprodukter eftersom $K \gg 1$ och jämviktskoncentrationerna av reaktionsprodukterna utgör täljaren i uttrycket för jämviktskonstanten.

b) Eftersom det är frågan om en reversibel reaktion löser vi ut jämviktskonstanten med hjälp av den konstant som ges i uppgiften:

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

Svar:

a) Reaktionsblandningen innehåller mer reaktionsprodukter eftersom $K \gg 1$ och jämviktskoncentrationerna av reaktionsprodukterna utgör täljaren i uttrycket för jämviktskonstanten.

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

2.16

Lösning:

a)

Uttrycket för jämviktskonstanten: $K = \frac{[\text{SO}_3]}{[\text{SO}_2][\text{O}_2]^{1/2}}.$

Uttrycket för jämviktskonstanten för reaktionen $\text{SO}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g})$ är $K = \frac{[\text{SO}_2][\text{O}_2]^{1/2}}{[\text{SO}_3]}$

(reversibel reaktion).

Jämviktskonstanten som efterfrågas är då inversen av konstanten $20,4 \text{ (mol/l)}^{-1/2}$:

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

b) För reaktionen $2 \text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3(\text{g})$ är jämviktskonstanten den givna reaktionens jämviktskonstant upphöjt i två, eftersom koefficienterna i reaktionslikheten är de dubbla:

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

Svar:

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

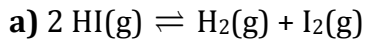
b) $K = 416 \text{ mol/l}$.

Del 3 Jämviktsberäkningar

3.1 Beräkna jämviktskonstanten och förutsäga reaktionsriktningen - facit

3.1

Lösning:



b)

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

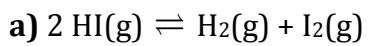
$$[\text{H}_2] = 4,79 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$$

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

$$K_c = ?$$

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

Svar:



b) $K_c = 0,0184$

3.2

Lösning:

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

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

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

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

$$K_c = ?$$

Gasernas jämviktskoncentrationer:

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

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

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

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

Svar:

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

3.3

Lösning:

a)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Eftersom volymen är 1,00 liter är de olika ämnens utgångskoncentrationer:

$$C_i \text{ början}(\text{NO}) = 0,100 \text{ mol/l}$$

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

$$C_i \text{ början}(\text{N}_2) = 0,100 \text{ mol/l}$$

Vi betecknar kvävet utgångskoncentration som 0, eftersom det inte finns något kväve i utgångsläget.

Vi skriver utgångskoncentrationerna, jämviktskoncentrationen för kvävemoxid och förändringarna i koncentrationerna (enligt förändringen i kvävemoxidkoncentrationen) i en tabell och beräknar jämviktskoncentrationerna. Observera att förändringen i vätes och vattnets koncentrationer är samma som förändringen i kvävemoxidkoncentrationen enligt koefficienterna i reaktionslikheten. Förändringen i kvävet koncentration är däremot hälften så stor som förändringen i kvävemoxidens koncentration.

	2 NO(g)	+	2 H₂(g)	⇌	N₂(g)	+	2 H₂O(g)
C_i början (mol/l)	0,100		0,050		0		0,100
förändring (mol/l)	-0,038		-0,038		+0,019		+0,038
$C_{\text{jämvikt}}$ (mol/l)	0,062		0,012		0,019		0,138

Enligt tabellen

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

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

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

b)

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

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

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

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

$$K_c = ?$$

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

Svar:

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

Lösning:

a) Uttrycket för jämviktskonstanten $K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$.

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna ur tabellen i uttrycket för K_c och löser ut värdet och enheten:

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

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

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

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

Jämviktskonstanten som beräknats i alla olika experiment är den samma (0,21 mol/dm³) alltså är den oberoende av utgångskoncentrationerna.

b) Experiment 1–3.

c) Reaktionen $2 \text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ är den reversibla reaktionen till den givna reaktionen ($\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$). Vi har löst K_c för reaktionen $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$ i uppgift a), alltså är jämviktskonstanten för den efterfrågade reaktionen dess invers, $\frac{1}{K_c}$.

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

Eftersom koefficienterna i reaktionen $2 \text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 4 \text{NO}_2(\text{g})$ är dubbelt så stora som koefficienterna i reaktion $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$, får vi jämviktskonstanten för reaktionen genom att beräkna potensen av jämviktskonstanten i a-uppgiften.

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

Svar:

a) Jämviktskonstanten som beräknats i flera olika experiment är den samma ($0,21 \text{ mol/dm}^3$) alltså är den oberoende av utgångskoncentrationerna.

b) Experiment 1–3.

c)

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

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

3.5

Lösning:

a)

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

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

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

$$K_c = ?$$

Vi beräknar svaveltrioxidens utgångskoncentration och svaveldioxidens jämviktskoncentration:

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

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

Vi skriver utgångskoncentrationerna, svaveldioxidens jämviktskoncentration och koncentrationsförändringarna (med hjälp av förhållandet mellan koefficienterna i den balanserade reaktionslikheten) och beräknar jämviktskoncentrationerna för de andra ämnena.

	2 SO₃(g)	\rightleftharpoons	2 SO₂(g)	+	O₂(g)
<i>c</i> _i början (mol/l)	4,0		0		0
förändring (mol/l)	-1,0		+1,0		$+\frac{1}{2} \cdot 1,0$
<i>c</i> _{jäm} vikt (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) Jämviktskonstantens värde förändras inte eftersom K är oberoende av tryck och volym. Den är endast beroende av temperaturen.

Svar:

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

b) Jämviktskonstantens värde förändras inte eftersom K är oberoende av tryck och volym. Den är endast beroende av temperaturen.

3.6

Lösning:

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

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

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

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

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

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

$$K_c = ?$$

Vi beräknar utgångskoncentrationerna för väte och brom samt jämviktskoncentrationen för väte:

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

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

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

Vi skriver utgångskoncentrationerna, väteets jämviktskoncentration och koncentrationsförändringarna (med hjälp av förhållandet mellan koefficienterna i den balanserade reaktionslikheten) och beräknar jämviktskoncentrationerna för de andra ämnen.

	H₂(g)	+	Br₂(g)	⇌	2 HBr(g)
<i>c</i> _i början (mol/dm ³)	0,682540		0,439987		0
förändring (mol/dm ³)	-0,406746		-0,406746		+2 · 0,406746
<i>c</i> _{jämvikt} (mol/dm ³)	0,275794		0,033241		0,813492

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

Svar:

$$K_c = 72,19$$

3.7

Lösning:

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

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

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

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

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

$$K = ?$$

Utgångskoncentration för dikvävetetraoxiden:

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

Vi beräknar substansmängden kvävedioxid med hjälp av formeln för de ideala gaslagen:

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

Kvävedioxidens jämviktskoncentration är

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

Vi gör en tabell med koncentrationerna och deras förändringar. Vi beräknar jämviktskoncentrationerna:

	$\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$	\rightleftharpoons	$2 \text{NO}_2(\text{g})$
$c_{\text{i början}} \text{ (mol/l)}$	0,065591		0
förändring (mol/l)	$-\frac{1}{2} \cdot 0,016136$		+0,016136
$c_{\text{jämvikt}} \text{ (mol/l)}$	0,057523		0,016136

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

Svar:

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

3.8

Lösning:

a)

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

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

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

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

Vi skriver uttrycket för K_c , skriver in de givna koncentrationerna och löser ut K_c :

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

Eftersom det beräknade värdet på K_c är samma som det givna värdet på K_c , har reaktionen uppnått jämvikt.

b)

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

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

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

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

Vi skriver uttrycket för K_c , skriver in de givna koncentrationerna och löser ut K_c :

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

Eftersom det beräknade värdet på K_c är mindre än det givna värdet på K_c , har reaktionen inte uppnått jämvikt. Reaktionen fortskrider mot reaktionsprodukterna.

c)

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

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

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

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

Vi skriver uttrycket för K_c , skriver in de givna koncentrationerna och löser ut värdet.

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

Eftersom det beräknade värdet på K_c är mindre än det givna värdet på K_c , har reaktionen inte uppnått jämvikt. Reaktionen fortskrider mot reaktionsprodukterna.

Svar:

- a) Reaktionen har uppnått jämvikt.
- b) Reaktionen fortskrider mot reaktionsprodukterna.
- c) Reaktionen fortskrider mot reaktionsprodukterna.

3.9

Lösning:

a)

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

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

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

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

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

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

Vi beräknar koncentrationen för de olika ämnena:

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

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

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

Vi beräknar värdet för K_c med de här koncentrationerna:

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

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

Eftersom $0,500 > 0,104$ bör reaktionen framskrida mot utgångsämnen för att uppnå jämvikt.

b) Hastigheten för den reversibla reaktionen är högre eftersom koncentrationen av ammoniak borde minska för att reaktionen ska uppnå jämvikt.

Svar:

a) Reaktionen borde fortskrida mot utgångsämnen.

b) Hastigheten för den reversibla reaktionen är högre eftersom koncentrationen av ammoniak borde minska för att reaktionen ska uppnå jämvikt.

3.10**Lösning:**

Eftersom substansmängderna är de samma för alla ämnena och volymen är konstant är koncentrationerna för de olika ämnena $c = \frac{n}{V}$.

Vi beräknar jämviktskonstanten genom att sätta in koncentrationerna i uttrycket för K_c :

$$K_c = \frac{c(\text{etylacetat}) \cdot c(\text{vatten})}{c(\text{etanol}) \cdot c(\text{ättiksyra})} = \frac{\left(\frac{n}{V}\right) \cdot \left(\frac{n}{V}\right)}{\left(\frac{n}{V}\right) \cdot \left(\frac{n}{V}\right)} = 1,0.$$

Eftersom $1,0 < 4,0$, borde reaktionen fortskrida mot reaktionsprodukterna. Koncentrationen av etylacetat och vatten ökar. Koncentrationen av etanol och vatten minskar.

Svar:

Reaktionen fortskrider mot reaktionsprodukterna. Koncentrationen av etylacetat och vatten ökar. Koncentrationen av etanol och vatten minskar.

3.11

Lösning:

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 förändras inte. Gasernas deltryck förändras, men när vi beräknar jämviktskonstanten i för det nya jämviktstillståndet förblir värdet konstant. Det är endast temperaturen som påverkar jämviktskonstantens värde.

Svar:

a) $K_p = 4,00.$

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

c) K_p förändras inte eftersom endast temperaturen påverkar jämviktskonstantens värde.

3.12

Lösning:

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

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

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

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

$$K_p = ?$$

Vi beräknar molandelen för varje gas och deltrycket för gaserna med hjälp av den.

Gasernas totala substansmängd $n_{\text{tot}} = (0,33 + 0,67 + 0,67) \text{ mol} = 1,67 \text{ mol}$.

Vi får gasernas molandel (y) genom att dividera gasens substansmängd med gasernas totala substansmängd.

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

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

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

Vi får gasens deltryck genom att multiplicera totaltrycket med gasens molandel:

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

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

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

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

Svar:

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

3.13

Lösning:

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

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

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

$$c_i(\text{X}) = ?$$

Vi kan lösa koncentrationen ur formen $p_i = c_i RT$:

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

Svar:

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

3.14

Lösning:

a) Vi skriver uttrycket för båda jämviktskonstanterna:

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

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

Med hjälp av formeln för den ideala gaslagen $pV = nRT$ får vi:

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

Genom att sätta in detta i uttrycket för K_p får vi:

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

(RT) förkortas bort ur både täljaren och nämnaren varpå vi får:

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

b) Vi skriver uttrycket för båda jämviktskonstanterna:

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

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

Med hjälp av formeln för den ideala gaslagen $p_i = [\text{gas}] \cdot R \cdot T$ och uttrycket för K_p får vi:

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

(RT) förkortas bort ur både täljaren och nämnaren varpå vi får:

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

c) Vi skriver uttrycket för båda jämviktskonstanterna:

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

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

Med hjälp av formeln för den ideala gaslagen $p_i = [\text{gas}] \cdot R \cdot T$ och uttrycket för K_p får vi:

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

Vi förkortar bort $(RT)^2$ från både täljaren och nämnaren och får då

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

Svar:

a) $K_p = K_c$

b) $K_p = K_c \cdot RT$

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

3.15

Lösning:

a)

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

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

Med hjälp av formeln för den ideala gaslagen får vi $p_i = [\text{gas}] \cdot R \cdot T$. Genom att skriva in det här i uttrycket för K_p får vi:

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

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

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

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

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

$$K_c = ?$$

$$K_p = K_c \cdot RT$$

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

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

b)

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

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

Med hjälp av formeln för den ideala gaslagen får vi $p_i = [\text{gas}] \cdot R \cdot T$. Genom att skriva in det här i uttrycket för K_p får vi:

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

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

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

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

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

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

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

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

Svar:

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**Lösning:**

a)

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

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

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

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

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

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

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

Ur formeln för den ideala gaslagen $pV = nRT$ kan vi lösa ut gasernas totala substansmängd i jämviktsläget då vi känner till temperaturen, trycket och volymen:

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

$$\begin{aligned} n(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{jämvikt}} &= n(\text{gaserna})_{\text{jämvikt}} - n(\text{CO})_{\text{jämvikt}} - n(\text{H}_2)_{\text{jämvikt}} \\ &= (0,52317 - 0,122 - 0,298) \text{ mol} = 0,10317 \text{ mol} \approx 0,103 \text{ mol} \end{aligned}$$

b)

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

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

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

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

$$K_c = ?$$

Vi beräknar jämviktskoncentrationerna:

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

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

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

$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{OH}]}{[\text{CO}] \cdot [\text{H}_2]^2} = \frac{0,099038 \text{ mol/dm}^3}{(0,11731 \text{ mol/dm}^3) \cdot (0,28654 \text{ mol/dm}^3)^2}$$
$$= 10,282 (\text{mol/dm}^3)^{-2} \approx 10,3 (\text{mol/dm}^3)^{-2}.$$

c)

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

$$[\text{CO}] = 0,117 \text{ mol/dm}^3 \text{ (från b-uppgiften/3 gällande siffror)}$$

$$[\text{H}_2] = 0,287 \text{ mol/dm}^3 \text{ (från b-uppgiften/3 gällande siffror)}$$

$$[\text{CH}_3\text{OH}] = 0,0990 \text{ mol/dm}^3 \text{ (från b-uppgiften/3 gällande siffror)}$$

$$c_i \text{ början}(\text{H}_2) = ?$$

Vi gör en tabell med utgångs- och jämviktskoncentrationerna. Vi betecknar den efterfrågade utgångskoncentrationen för väte med x . Vi skriver in koncentrationsförändringarna baserat på koefficienterna i reaktionslikheten.

	CO(g)	+	2 H₂(g)	⇌	CH₃OH(g)
c_i början (mol/dm ³)	0,216		x		0
förändring (mol/dm ³)	-0,0990		$-2 \cdot 0,0990$		+ 0,0990
c_j jämvikt (mol/dm ³)	0,117		0,287		0,0990

Ur kolumnen för väte får vi $x - 2 \cdot 0,0990 = 0,287$, $x = 0,485$.

Vätets koncentration i början var 485 mol/dm³.

d)

$$c_i \text{ början}(\text{CO}) = 0,216 \text{ mol/l}$$

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

$$[\text{CH}_3\text{OH}] = 0,0990 \text{ mol/dm}^3 \text{ (från b-uppgiften/3 gällande siffror)}$$

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

För att reaktionen ska framskrida fullkomligt måste det teoretiska utbytet av metanolen på reaktionsprodukternas sida, enligt reaktionslikheten $\text{CO}(\text{g}) + 2 \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$, vara lika med utgångskoncentrationen för kolmonoxiden, eftersom kolmonoxiden är den begränsande faktorn i reaktionen.

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

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

e)

$$[\text{CO}] = 0,117 \text{ mol/dm}^3 \text{ (från b-uppgiften/3 gällande siffror)}$$

$$[\text{H}_2] = 0,287 \text{ mol/dm}^3 \text{ (från b-uppgiften/3 gällande siffror)}$$

$$[\text{CH}_3\text{OH}] = 0,0990 \text{ mol/dm}^3 \text{ (från b-uppgiften/3 gällande siffror)}$$

$$K_p = ?$$

Vi skriver uttrycket för K_p :
$$K_p = \frac{p_i(\text{CH}_3\text{OH})}{p_i(\text{CO}) \cdot p_i(\text{H}_2)^2}.$$

Ur formeln för den ideala gaslagen får vi $p_i = [\text{gas}] \cdot RT$.

Genom att skriva in det här i uttrycket för K_p vid deltrycket för varje gas får vi:

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

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

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

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

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

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

Svar:

- a) $n_{\text{jämvikt}}(\text{CH}_3\text{OH}) = 0,103 \text{ mol}$
- b) $K_c = 10,3 (\text{mol/dm}^3)^{-2}$
- c) $c(\text{H}_2) = 0,485 \text{ mol/l}$
- d) $\text{utbytes-\%}(\text{CH}_3\text{OH}) = 45,8 \%$
- e) $K_p = 0,0103 \text{ bar}^{-2}$

Del 3 Jämviktsberäkningar

3.2 Bestämning av jämviktslösningens sammansättning - Facit

3.17

Lösning:

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

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

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

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

$$K = 2,0$$

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

$$N(\text{CO})_{\text{jämvikt}} = ?$$

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

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

	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	+	$\text{CO}(\text{g})$	\rightleftharpoons	$\text{H}_2(\text{g})$	+	$\text{CO}_2(\text{g})$
utgångsläge (st./V)	$8/V$		$6/V$		$0/V$		$0/V$
förändring (st./V)	$-x$		$-x$		$+x$		$+x$
jämviktsläge (st./V)	$\frac{8-x}{V}$		$\frac{6-x}{V}$		$\frac{x}{V}$		$\frac{x}{V}$

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

Vi får svaret:

$$x_1 = 24$$

$$x_2 = 4,$$

där enbart det senare är rimligt, eftersom det finns högst 8 stycken molekyler av utgångsämnet.

Vi beräknar antalet molekyler vid jämviktsläget:

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

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

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

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

Svar:

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

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

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

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

3.18

Lösning:

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

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

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

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

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

	$[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}(\text{aq})$	\rightleftharpoons	$\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$	+	$\text{SCN}^-(\text{aq})$
c_i början (mol/l)	2,00		0		0
förändring (mol/l)	-x		+x		+x
$c_{\text{jämvikt}}$ (mol/l)	2,00 - x		x		x

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

Ekvationens lösning

$$x_1 = -0,043119$$

$$x_2 = 0,042209,$$

av vilka enbart det positiva talet duger, eftersom utgångsämnetts koncentration ska minska och koncentrationen i reaktionsprodukterna öka.

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

Vi beräknar de jämviktskoncentration som efterfrågas:

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

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

Svar:

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

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

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

3.19

Lösning:

a)

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

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

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

$$K = 0,090$$

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

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

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

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

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

Utgångskoncentrationer för väte och dikloroxid:

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

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

	H₂O(g)	+	Cl₂O(g)	⇌	2 HOCl(g)
<i>c</i> _i början (mol/l)	0,05551		0,02301		0
förändring (mol/l)	-x		-x		+2x
<i>c</i> _{jämvikt} (mol/l)	0,05551 - x		0,02301 - x		2x

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

Vi får svaret:

$$x_1 = -0,006399$$

$$x_2 = 0,004592.$$

av vilka enbart det positiva talet duger, eftersom utgångsämnets koncentration ska minska och koncentrationen i reaktionsprodukterna öka.

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

Gasernas jämviktskoncentrationer:

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

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

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

b)

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

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

$$K = 0,090$$

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

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

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

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

Vi beräknar utgångskoncentration för HOCl:

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

Eftersom reaktionen i utgångsläget enbart innehåller reaktionsprodukten minskar dess koncentration samtidigt som utgångsämnenas koncentrationer ökar. Vi skriver förändringarna i koncentration med hjälp av förhållandet mellan koefficienterna i reaktionslikheten:

	H₂O(g)	+	Cl₂O(g)	⇌	2 HOCl(g)
<i>c_i</i> början (mol/l)	0		0		0,9531
förändring (mol/l)	$+\frac{1}{2}x$		$+\frac{1}{2}x$		-x
<i>c_j</i> jämvikt (mol/l)	0,50x		0,50x		0,9531 - x

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

Vi får svaret:

$$x_1 = 1,121$$

$$x_2 = 0,8288.$$

Av de här är enbart 0,8288 rimligt, eftersom utgångskoncentrationen för HOCl är 0,9531 mol/l

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

Gasernas jämviktskoncentrationer:

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

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

Svar:

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)

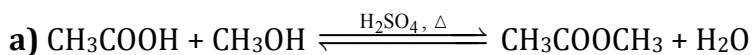
$$[\text{H}_2\text{O}] = 0,41 \text{ mol/l}$$

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

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

3.20

Lösning:



b)

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

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

$$K_c = 4,0$$

Eftersom vi inte känner till reaktionslösningens volym betecknar vi den med V .
Utgångskoncentrationerna för syran och alkoholen är:

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

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

	CH_3COOH	+	CH_3OH	\rightleftharpoons	$\text{CH}_3\text{COOCH}_3$	+	H_2O
ci början	$\frac{1,0 \text{ mol}}{V}$		$\frac{1,0 \text{ mol}}{V}$		0		0
förändring	-x		-x		+x		+x
Cjämvikt	$\frac{1,0 \text{ mol}}{V} - x$		$\frac{1,0 \text{ mol}}{V} - x$		$\frac{x \text{ mol}}{V}$		$\frac{x \text{ mol}}{V}$

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

Volymen V förkortas bort, varpå vi får:

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

Vi får lösningen

$$x_1 = 2,0$$

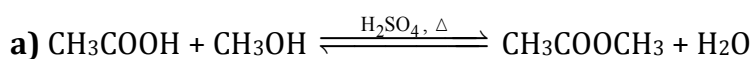
$$x_2 = 0,6667.$$

Av de här är enbart talet 0,6667 rimligt, eftersom det fanns 1,0 mol $\Rightarrow x = 0,67$ mol utgångsämnen.

c) Det förbättrar utbytet av estern eftersom avlägsnandet av vatten förskjuter jämvikten mot reaktionsprodukterna.

d) Metyletanoat (metylacetat).

Svar:



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

c) Se Det förbättrar utbytet av estern eftersom avlägsnandet av vatten förskjuter jämvikten mot reaktionsprodukterna.

d) Metyletanoat (metylacetat)

3.21

Lösning:

a)

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

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

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

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

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

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

$$K_c = ?$$

De olika ämnenas utgångskoncentrationer:

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

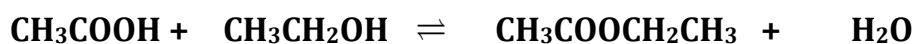
$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{0,60 \text{ mol}}{0,130 \text{ dm}^3} = 4,615 \text{ mol/dm}^3$$

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

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

Jämviktskoncentrationen för etansyra:

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



$c_i \text{ början (mol/dm}^3)$	4,615	3,846	4,615	3,077
förändring (mol/dm ³)	-1,538	-1,538	+1,538	+1,538
$c_{\text{jämvikt (mol/dm}^3)$	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)

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

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

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

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

$$K_c = 4,0$$

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

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

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

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

Eftersom vi inte känner till lösningens volym betecknar vi den med V . Vi beräknar värdet för jämviktskonstanten med de givna substansmängderna i volymen V :

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

Eftersom den beräknade jämviktskonstanten är större än den jämviktskonstant vi fått i a-uppgiften ($9,0 > 4,0$) framskrider reaktionen i riktning mot utgångsämnen. Därmed måste substansmängderna för etansyra och etanol öka och substansmängderna för etylacetat och vatten minska.

	$\text{CH}_3\text{COOH} +$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightleftharpoons$	$\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3 +$	H_2O
$n_{\text{i början}} \text{ (mol/l)}$	1,0	1,0	3,0	3,0
förändring (mol/l)	+x	+x	-x	-x
$n_{\text{jämvikt}} \text{ (mol/l)}$	$1,0 + x$	$1,0 + x$	$3,0 - x$	$3,0 - x$

Vi löser ut x

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

Vi får svaret:

$$x_1 = -5,000$$

$$x_2 = 0,3333.$$

Enbart det positiva talet duger eftersom utgångsämnenas substansmängder borde öka och substansmängderna för reaktionsprodukterna minska.

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

Substansmängderna vid jämviktsläget:

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

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

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

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

c)

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

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

$$K_c = 4,0$$

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

	CH₃COOH	+	CH₃CH₂OH	⇌	CH₃COOCH₂CH₃	+	H₂O
$n_{\text{i början}}(\text{mol/l})$	x		4,0		0		0
förändring (mol/l)	-2,0		-2,0		+2,0		+2,0
$n_{\text{jämvikt}}(\text{mol/l})$	$x - 2,0$		2,0		2,0		2,0

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

Vi får lösningen: $x = 2,5$.

Substansmängden etansyra som ska tillsättas är 2,5 mol.

Svar:

a) $K_c = 4,0$

b) Reaktionen fortskrider mot utgångsämnenen.

$$N_{\text{jämvikt}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,3 \text{ mol}$$

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

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

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

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

3.22**Lösning:**

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

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

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

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

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

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

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

När vi tillämpar idealgaslagen vid jämviktsläget råder följande förhållande mellan gasens deltryck och koncentration: $p_i = c_i RT$. Vi skriver K_p med hjälp av det här uttrycket:

$$K_p = \frac{[\text{H}_2\text{O}]RT \cdot [\text{CO}]RT}{[\text{H}_2]RT \cdot [\text{CO}_2]RT}. RT \text{ förkortas bort och därmed är } K_p = \frac{[\text{H}_2\text{O}] \cdot [\text{CO}]}{[\text{H}_2] \cdot [\text{CO}_2]}$$

Vi skriver in utgångs- och jämviktskoncentrationerna i en tabell:

	$\text{H}_2(\text{g})$	+	$\text{CO}_2(\text{g})$	\rightleftharpoons	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	+	$\text{CO}(\text{g})$
c_i början (mol/l)	0,2500		0,2500		0		0
förändring (mol/l)	-x		-x		+x		+x
$c_{\text{jämvikt}}$ (mol/l)	$0,2500 - x$		$0,2500 - x$		+x		+x

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för K_p och löser ut x :

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

Vi får lösningen:

$$x_1 = 0,1148$$

$$x_2 = -1,400.$$

Av de här är enbart x_1 rimlig, eftersom utgångsämnenas koncentrationer är 0,2500 mol/l och de borde minska.

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

Substansmängden kolmonoxid vid jämviktsläget:

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

Svar:

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

3.23

Lösning:

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

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

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

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

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

För att nå det utbyte man vill ha måste det bildas $0,90 \cdot 2,0 \text{ mol} = 1,8 \text{ mol}$ svaveltrioxid.

Vi skriver gasernas substansmängder i utgångsläget, förändringarna i substansmängderna samt substansmängderna vid jämvikt i en tabell.

	2 SO₂(g)	+	O₂(g)	⇌	2 SO₃(g)
$n_{i \text{ början}}(\text{mol})$	2,0		2,0		0
förändring	-1,8		$-\frac{1}{2} \cdot 1,8 = -0,90$		+1,8
$n_{\text{jämvikt}}(\text{mol})$	0,20		1,1		1,8

Uttrycket för jämviktskonstanten K_p är:

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

Gasens deltryck (p_i) är det totala trycket (p_{tot}) multiplicerat med gasens molandel (y):

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

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

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

Gasernas molandelar vid jämviktsläget:

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

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

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

Vi får följande uttryck för jämviktskonstanten:

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

Vi får lösningen: $p_{\text{tot}} = 17,56 \text{ kPa} \approx 18 \text{ kPa}$.

Svar:

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

3.24

Lösning:

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

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

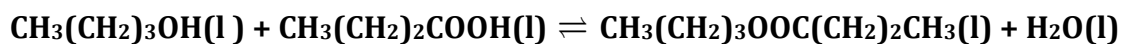
$$[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OOC}(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3] = 1,50 \text{ mol/l}$$

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

$$K_c = 9,00$$

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

Vi skriver jämviktskoncentrationerna för syran, alkoholen och estern som nytt utgångsläge. Den nya utgångskoncentrationen för vatten är 1,00 mol/l. Eftersom vatten har avlägsnats ska reaktionen fortskrida i riktning mot reaktionsprodukterna tills ett nytt jämviktsläge uppnås. Därmed ska koncentrationerna för utgångsämnen minska (-x) och koncentrationerna för reaktionsprodukterna öka (+x). Vi får följande tabell:



c_i början (mol/l)	2,50	0,200	1,50	1,00
förändring (mol/l)	-x	-x	+x	+x
c_{tasap} (mol/l)	2,50 - x	0,200 - x	1,50 + x	1,00 + x

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

Vi får lösningen:

$$x_1 = 3,2340$$

$$x_2 = 0,11595.$$

Av de här är enbart den sista rimlig, eftersom det som mest finns 2,50 mol/l utgångsämnen.

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

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

Svar:

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

3.25**Lösning:**

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

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

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

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

$$K = 0,050$$

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

Som nytt utgångsläge skriver vi de givna jämviktskoncentrationerna för kväve och kvävemonoxid samt för syret jämviktskoncentrationen $-x$ (minskande mängd). Eftersom syre avlägsnas fortskrider jämviktsläget i riktning mot utgångsämnen, varpå kvävet och syrets koncentrationer ökar.

(+ $\frac{1}{2} \cdot 0,010 \text{ mol/dm}^3 = 0,0050 \text{ mol/dm}^3$). Utifrån de här slutsatserna får vi följande tabell:

	N₂(g)	+	O₂(g)	⇌	2 NO(g)
<i>C</i> _i början (mol/dm ³)	0,10		0,080 - x		0,020
förändring (mol/dm ³)	0,10 + 0,0050		(0,080 - x) + 0,0050		-0,010
<i>C</i> _{jämvikt} (mol/dm ³)	0,1050		0,0850 - x		0,010

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för K_c och löser ut x . Vi räknar utan enheter, men i svaret måste vi ge x enheten för koncentrationen (mol/dm³).

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

Vi får lösningen: $x = 0,06596 \text{ mol/dm}^3$.

Man måste alltså avlägsna $0,06596 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,066 \text{ mol/dm}^3$ syre.

Syrets nya jämviktskoncentration:

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

Svar:

Man måste avlägsna $0,066 \text{ mol/dm}^3$ syre.

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

3.26

Lösning:

a)

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

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

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

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

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

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

Vi skriver svaveldioxidens och svaveltrioxidens deltryck som nytt utgångsläge. Vi skriver $4,5 \text{ bar} + x$ som deltryck för syret, där x innebär att trycket ökar. Eftersom trycket ökar och det finns 3 mol gasmolekyler bland utgångsämnen och 2 mol bland reaktionsprodukterna förskjuts jämvikten mot reaktionsprodukterna. Vi skriver förändringarna i deltrycken (i förhållande till koefficienterna i reaktionslikheten) och deltrycken i det nya jämviktsläget i en tabell:

	$2 \text{ SO}_2(\text{g})$	+	$\text{O}_2(\text{g})$	\rightleftharpoons	$2 \text{ SO}_3(\text{g})$
$p_i(\text{i början})$ (bar)	2,3		$4,5 + x$		2,3
förändring (bar)	-0,2		$(4,5 + x) - 0,1$		+0,2
$p_i(\text{jämvikt})$ (bar)	2,1		$4,4 + x$		2,5

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

Vi får lösningen: $x = 2,042$

Syrets deltryck borde öka med 2,042 bar.

Deltrycket som efterfrågas: $p_i(\text{O}_2) = (4,5 + 2,042) \text{ bar} = 6,542 \text{ bar} \approx 6,5 \text{ bar}$.

b)

Enligt de bildningsvärmen (ΔH_f) som anges i tabellboken är reaktionen exoterm.

Uttryck:

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{reaktion}} &= \Sigma \Delta H_f(\text{reaktionsprodukter}) - \Sigma \Delta H_f(\text{utgångsämnen}) \\ &= [2 \text{ mol } (-395,2 \text{ kJ/mol})] - [2 \text{ mol } (-296,9 \text{ kJ/mol}) + (0 \text{ kJ/mol})] = -196,6 \text{ kJ}.\end{aligned}$$

Enligt det här skulle man kunna öka svaveltrioxidens deltryck genom att sänka temperaturen, varpå jämviktsläget förskjuts i riktning mot svaveltrioxiden. Vi skulle också kunna öka svaveldioxidens deltryck (= tillsätta svaveldioxid) för att förskjuta jämviktsläget mot svaveltrioxiden. Samma sak händer också om vi pressar ihop gaserna (= minskar reaktionsblandningens volym). Bland utgångsämnen finns 3 mol gaser och bland reaktionsprodukterna 2 mol, vilket gör att svaveltrioxidens deltryck ökar.

c) Genom att höja temperaturen eller använda katalysator. Utbytet av svaveltrioxid minskar om man höjer temperaturen. Katalysatorer påverkar inte utbytet av svaveltrioxid.

Svar:

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

b) Man kan öka svaveltrioxidens deltryck genom att sänka temperaturen, öka svaveldioxidens deltryck eller minska reaktionsblandningens volym.

c) Genom att höja temperaturen eller använda katalysator. Utbytet av svaveltrioxid minskar om man höjer temperaturen. Katalysatorer påverkar inte utbytet av svaveltrioxid.

Del 3 Jämviktsberäkningar

Öva mera! - facit

Studentexamensuppgifter

1.

Lösning:

a) En ökning av volymen förskjuter jämvikten åt det håll som har större antal gasmolekyler (molmängd) enligt Le Châteliers princip. Eftersom utgångsämnen har 2 mol ämnen i gasform och reaktionsprodukterna har 4 mol förskjuts jämvikten mot reaktionsprodukterna. Volymökningen påverkar inte jämviktskonstantens värde eftersom konstanten endast är beroende av temperaturen.

b) Andelen väte ökar när temperaturen ökar baserat på bilden, alltså förskjuts jämvikten mot reaktionsprodukterna. Den fortskridande reaktionen är därmed endoterm, den binder alltså värme.

c)

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

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

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

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

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

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

Ämnenas koncentrationer:

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

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

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

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

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

Vi skriver in de beräknade koncentrationerna i uttrycket för jämviktskonstanten och löser ut K :

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

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

Eftersom det beräknade värdet på K är större än reaktionens K har reaktionen inte uppnått jämvikt. Reaktionshastigheten för den reversibla reaktionen är högre än för den fortskridande eftersom koncentrationen av reaktionsprodukterna är för stor. Reaktionsprodukternas koncentration borde minska för att reaktionen ska uppnå jämvikt.

Svar:

a) En ökning av volymen förskjuter jämvikten åt det håll som har större antal gasmolekyler (molmängd) enligt Le Châteliers princip. Eftersom utgångsämnen har 2 mol ämnen i gasform och reaktionsprodukterna har 4 mol förskjuts jämvikten mot reaktionsprodukterna. Volymökningen påverkar inte jämviktskonstantens värde eftersom konstanten endast är beroende av temperaturen.

b) Andelen väte ökar när temperaturen ökar baserat på bilden, alltså förskjuts jämvikten mot reaktionsprodukterna. Den fortskridande reaktionen är därmed endoterm, den binder alltså värme.

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

Reaktionshastigheten för den reversibla reaktionen är högre än för den fortskridande eftersom koncentrationen av reaktionsprodukterna är för stor. Reaktionsprodukternas koncentration borde minska för att reaktionen ska uppnå jämvikt.

2.

Lösning:

a)

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

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

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

svaveldioxid som reagerat 61,3 %

$$K = ?$$

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

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

När jämvikten uppnåddes hade 61,3 % det vill säga $0,613 \cdot 0,20000 \text{ mol/l}$ svaveldioxid reagerat och omvandlats till svaveltrioxid. Därmed hade svaveldioxidens koncentration minskat $0,12260 \text{ mol/l}$. Vi gör en tabell med utgångskoncentrationerna, förändringarna i koncentration (med hjälp av koefficienterna i den balanserade reaktionsformeln) och skriver in jämviktskoncentrationerna i tabellen:

	2 SO₂(g)	+	O₂(g)	⇌	2 SO₃(g)
<i>c_i</i> början (mol/l)	0,20000		1,0000		0
förändring (mmol/l)	-0,12260		-0,06130		+0,12260
<i>c_j</i> jämvikt (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)

Vi beräknar reaktionens entalpiförändring med hjälp av de bildningsvärmen (ΔH_f) som anges i tabellboken:

$$\Delta H_{\text{reaktion}} = \Sigma \Delta H_f(\text{reaktionsprodukter}) - \Sigma \Delta H_f(\text{utgångsämnen})$$

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

Utifrån entalpiförändringens förtecken ser vi att reaktionen är exoterm. När man sänker temperaturen förskjuts jämvikten enligt Le Châteliers princip mot den exoterma reaktionen, det vill säga i det här fallet mot reaktionsprodukterna. När temperaturen minskar, minskar hastigheten för både den fortskridande och den reversibla reaktionen. Temperaturminskningen påverkar den endoterma alltså den reversibla reaktionen mer..

Svar:

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

b) Jämvikten förskjuts mot reaktionsprodukterna. Hastigheten för både den fortskridande och den reversibla reaktionen minskar om temperaturen minskar. Temperaturminskningen påverkar den endoterma alltså den reversibla reaktionen mer.

4 Syrabasjämvikt och buffertlösningar

4.1 Protolys och homogen jämvikt - facit

4.13

Lösning:

a)

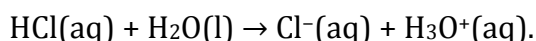
$$n(\text{HCl}) = 1,0 \text{ mol}$$

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

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

Saltsyrans utgångskoncentration är $c(\text{HCl}) = \frac{1,0 \text{ mol}}{2,0 \text{ l}} = 0,5000 \text{ mol/l}$.

Saltsyra är en stark syra som protolyseras fullständigt. Reaktionslikheten är



Utifrån reaktionslikheten ser vi att oxoniumjonkoncentrationen är lika stor som syrans utgångskoncentration, och därmed är $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,5000 \text{ mol/l} \approx 0,50 \text{ mol/l}$.

b)

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

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

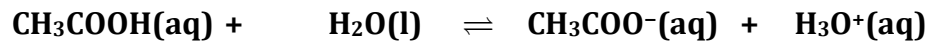
$$K_a = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \text{ (enligt tabellboken)}$$

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

Ättiksyrans utgångskoncentration är $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{1,0 \text{ mol}}{2,0 \text{ l}} = 0,5000 \text{ mol/l}$.

Eftersom ättiksyran bara protolyseras delvis bildas ett jämviktstillstånd i vattenlösningen. Vi gör upp en tabell över de olika ämnens utgångskoncentrationer, förändringarna i koncentrationerna samt jämviktskoncentrationerna (som vi lärt oss när vi arbetat med jämviktsberäkningar).

Observera att vi inte tar med vattnets koncentration, eftersom det värdet redan ingår i värdet för syrakonstanten K_a .



C_i början (mol/dm ³)	0,5000	-	0	0
förändring (mol/dm ³)	-x	-	+x	+x
$C_{\text{jämvikt}}$ (mol/dm ³)	0,5000 - x	-	x	x

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

Vi får lösningen:

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

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

Av de här är det enbart den positiva roten som duger, eftersom ättiksyrans koncentration ska minska och reaktionsprodukternas koncentration öka.

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

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

c)

C_i början(CH₃COOH) = 0,5000 mol/l (från b-uppgiften)

$C_{\text{förändring}}$ (= mängden protolyserade molekyler) = $2,991 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$.

Vi beräknar den procentuella andelen protolyserade molekyler av den totala mängden ättiksyramolekyler:

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

Svar:

a) [H₃O⁺] = 0,50 mol/l.

b) [H₃O⁺] = $3,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$.

c) 0,60 %

4.14

Lösning:

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

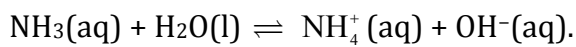
$$V(\text{lösning}) = 100 \text{ ml} = 0,100 \text{ l}$$

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

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

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

Protolysreaktionen för ammoniak:



Vi gör upp en tabell över de olika ämnenas utgångskoncentrationer, förändringarna i koncentrationerna samt jämviktskoncentrationerna (som vi lärt oss när vi arbetat med jämviktsberäkningar). Vi beräknar utgångskoncentrationen för ammoniak med x . Vi skriver inte någon koncentration för vattnet, eftersom det värdet redan ingår i ammoniakens baskonstant.

	$\text{NH}_3(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{NH}_4^+(\text{aq})$	+	$\text{OH}^-(\text{aq})$
C_i början (mol/l)	x		-		0		0
förändring	$-1,0 \cdot 10^{-3}$		-		$+1,0 \cdot 10^{-3}$		$+1,0 \cdot 10^{-3}$
$C_{\text{jämvikt}}$ (mol/l)	$x - 1,0 \cdot 10^{-3}$		-		$1,0 \cdot 10^{-3}$		$1,0 \cdot 10^{-3}$

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

Vi får lösningen $x = 0,05656$.

Utgångskoncentrationen för ammoniak ska alltså vara $0,05656 \text{ mol/l}$.

Vi beräknar substansmängden ammoniak i 100 ml lösning:

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

Ammoniakens massa:

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

Svar:

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

4.15

Lösning:

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

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

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

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

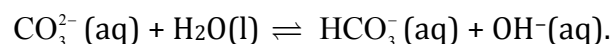
$$[\text{OH}^-] = ?$$

Kristallsodalösningens koncentration:

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

Enligt formeln för kristallsoda $c(\text{CO}_3^{2-}) = c(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}) = 1,1649 \text{ mol/dm}^3$.

Karbonatjonen är en svag bas med följande protolysreaktion:



Vi gör upp en tabell över de olika ämnenas utgångskoncentrationer, förändringarna i koncentrationerna samt jämviktskoncentrationerna. Observera att vi inte skriver in vattnets koncentration, eftersom det värdet redan ingår i baskonstanten K_b .

	$\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{HCO}_3^-(\text{aq})$	+	$\text{OH}^-(\text{aq})$
C_i början (mol/dm ³)	1,1649		-		0		0
förändring (mol/dm ³)	-x		-		+x		+x
C_j jämvikt (mol/dm ³)	1,1649 - x		-		x		x

$$K_b = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{OH}^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} \Rightarrow 2,1 \cdot 10^{-4} = \frac{x \cdot x}{1,1649 - x}$$

Vi får lösningen:

$$x_1 = 0,01554$$

$$x_2 = -0,01574.$$

Av de här är det enbart den positiva roten som duger, eftersom karbonatjonernas koncentration ska minska och koncentrationen för reaktionsprodukterna öka.

$$x = 0,01554 \text{ mol/dm}^3.$$

$$[\text{OH}^-] = 0,01554 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,016 \text{ mol/dm}^3$$

Svar:

$$[\text{OH}^-] = 0,016 \text{ mol/dm}^3$$

4 Syrabasjämvikt och buffertlösningar

4.2 Neutralisationsreaktioner och titrerkurva - facit

4.18

Lösning:

a)

$$c(\text{NaOH}) = 0,350 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{HCl})_{\text{prov}} = 40,0 \text{ ml} = 0,0400 \text{ dm}^3$$

$$m(\text{HCl}) = 1,65 \text{ g}$$

$$V(\text{HCl}) = 1,00 \text{ l}$$

$$M(\text{HCl}) = 36,458 \text{ g/mol}$$

$$V(\text{NaOH}) = ?$$

Vi beräknar saltsyralösningens koncentration:

$$c(\text{HCl}) = \frac{n}{V} = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{1,65 \text{ g}}{36,458 \text{ g/mol} \cdot 1,00 \text{ l}} = 0,045258 \text{ mol/l.}$$

Vi beräknar substansmängden saltsyra i den titrerade volymen:

$$n(\text{HCl}) = c \cdot V = 0,045258 \text{ mol/l} \cdot 0,0400 \text{ l} = 1,8103 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Neutralisationsreaktionen: $\text{HCl}(\text{aq}) + \text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

Utifrån det här är $n(\text{NaOH}) = n(\text{HCl}) = 1,8103 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$.

Vi beräknar natriumhydroxidlösningens volym:

$$V(\text{NaOH}) = \frac{n}{c} = \frac{1,8103 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,350 \text{ mol/l}} = 5,1723 \cdot 10^{-3} \text{ l} \approx 5,17 \cdot 10^{-3} \text{ l} = 5,17 \text{ ml.}$$

b)

$$c(\text{NaOH}) = 0,350 \text{ mol/l}$$

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{titrerat}} = 25,0 \text{ ml} = 0,0250 \text{ l}$$

$$c_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,25 \text{ mol/l}$$

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{pipetterat}} = 10,0 \text{ ml} = 0,0100 \text{ l}$$

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{utspädning}} = 100 \text{ ml} = 0,100 \text{ l}$$

$$V(\text{NaOH}) = ?$$

Vi beräknar substansmängden för svavelsyran i utspädningen:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = c_1 \cdot V(\text{pipetterat}) = 1,25 \text{ mol/l} \cdot 0,0100 \text{ l} = 0,012500 \text{ mol}.$$

Vi beräknar koncentrationen för den utspädda svavelsyran:

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0,012500 \text{ mol}}{0,100 \text{ l}} = 0,12500 \text{ mol/l}.$$

Vi beräknar substansmängden svavelsyra i den titrerade volymen:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = c \cdot V = 0,12500 \text{ mol/l} \cdot 0,0250 \text{ l} = 3,1250 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\Rightarrow n(\text{NaOH}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot 3,1250 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 6,2500 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Vi beräknar natriumhydroxidlösningens volym:

$$V(\text{NaOH}) = \frac{6,2500 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,350 \text{ mol/l}} = 0,017857 \text{ l} \approx 0,0179 \text{ l} = 17,9 \text{ ml}.$$

Svar:

a) $V(\text{NaOH}) = 5,17 \text{ ml}$

b) $V(\text{NaOH}) = 17,9 \text{ ml}$

4.19

Lösning:

a)

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 20 \text{ mg} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ g}$$

$$c(\text{HNO}_3) = 0,020 \text{ mol/dm}^3$$

$$M(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 74,096 \text{ g/mol}$$

$$V(\text{HNO}_3) = ?$$

Vi beräknar substansmängden kalciumhydroxid:

$$n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{20 \cdot 10^{-3} \text{ g}}{74,096 \text{ g/mol}} = 2,699 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Enligt reaktionslikheten $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq}) + 2 \text{HNO}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

är $n(\text{HNO}_3) = 2 \cdot n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 2 \cdot 2,699 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 5,398 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$

Vi beräknar den volym salpetersyra som behövs:

$$V(\text{HNO}_3) = \frac{n}{c} = \frac{5,398 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,020 \text{ mol/l}} = 0,02699 \text{ l} \approx 27 \text{ ml.}$$

b)

$$n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 2,699 \cdot 10^{-4} \text{ mol (enligt a-uppgiften)}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,015 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4) = ?$$

Enligt reaktionslikheten $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{CaSO}_4(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

är $n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 2,699 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$

Vi beräknar den volym salpetersyra som behövs:

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n}{c} = \frac{2,699 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,015 \text{ mol/l}} = 0,01799 \text{ l} \approx 18 \text{ ml.}$$

Svar:

Det behövs större volym svavelsyra.

4.20

Lösning:

a)

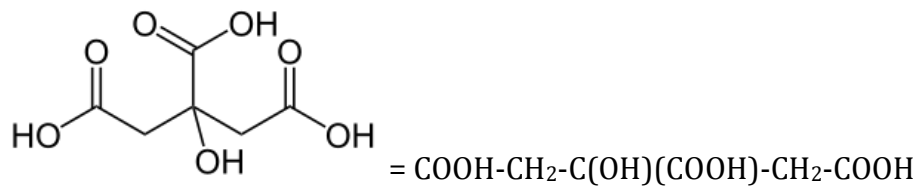
(i) mätglas

(ii) mätflaska

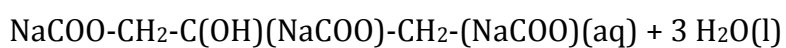
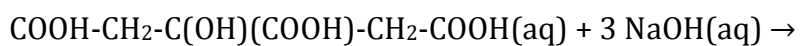
(iii) fyllpipett (och pumpett)

(iv) byrett

b) Strukturformeln för citronsyra:



Reaktionsformeln är:



c)

$$c(\text{NaOH}) = 0,250 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{NaOH}) = 18,8 \text{ ml} = 0,0188 \text{ dm}^3$$

$$V(\text{citronsaft}) = 22,5 \text{ ml} = 0,0225 \text{ dm}^3$$

$$V(\text{saftprov}) = 100 \text{ ml}$$

$$V(\text{titrerat saftprov}) = 10,0 \text{ ml} = 0,0100 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{citronsyra}) = ?$$

Vi beräknar substansmängden natriumhydroxid som går åt vid titreringen:

$$n(\text{NaOH}) = 0,250 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0188 \text{ dm}^3 = 4,7000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Enligt reaktionslikheten för neutralisationsreaktionen (i b-uppgiften) har det titrerade provet

$$n(\text{citronsyra}) = \frac{1}{3} \cdot n(\text{NaOH}) = \frac{1}{3} \cdot 4,7000 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 1,5667 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Den totala substansmängden citronsyra i provet som späts ut till 100 ml:

$$10 \cdot 1,5667 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 1,5667 \cdot 10^{-2} \text{ mol}.$$

Vi beräknar citronsyrans koncentration i citronsaften:

$$c(\text{citronsyra}) = \frac{1,5667 \cdot 10^{-2} \text{ mol}}{0,0225 \text{ dm}^3} = 0,69631 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,696 \text{ mol/dm}^3.$$

d)

$$n(\text{citronsyra}) = 1,5667 \cdot 10^{-2} \text{ mol (från c-uppgiften)}$$

$$m(\text{citron}) = 58,0 \text{ g}$$

$$M(\text{citronsyra}) = 192,124 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{citronsyra}) / 100 \text{ g} = ?$$

Citronsyrans massa i den undersökta citronen:

$$m(\text{citronsyra}) = 1,5667 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 192,124 \text{ g/mol} = 3,0100 \text{ g}.$$

Den efterfrågade mängden citronsyra per 100 g citron:

$$\frac{3,0100 \text{ g}}{58,0 \text{ g}} \cdot 100 \text{ g} = 5,1897 \text{ g} \approx 5,19 \text{ g}.$$

e) Citron kan också innehålla andra sura ämnen som neutraliseras av natriumhydroxid. Natriumhydroxidens koncentration var inte helt exakt och kunde vara mera utspädd och vilket ledde till att det behövdes mera av den för att neutralisera provet. Man har observerat titreringens slutpunkt för sent och volymen natriumhydroxidlösning i beräkningarna har varit för stor.

Svar:

a) (i) mätglas

(ii) mätflaska

(iii) fyllpipett (och pumpett)

(iv) byrett

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) $c(\text{citronsyra}) = 0,696 \text{ mol/dm}^3$

d) $5,19 \text{ g} / 100 \text{ g}$

e) Citron kan också innehålla andra sura ämnen som neutraliseras av natriumhydroxid. Natriumhydroxidens koncentration var inte helt exakt och kunde vara mera utspädd och vilket ledde till att det behövdes mera av den för att neutralisera provet. Man har observerat titreringens slutpunkt för sent och volymen natriumhydroxidlösning i beräkningarna har varit för stor.

4.21**Lösning:**

a)

$V(\text{indikatorlösning}) = 50 \text{ ml} = 0,050 \text{ l}$

$\text{vol-}\%(\text{etanol}) = 93 \%$

$\text{m-}\%(\text{tymolblått}) = 0,10 \text{ m-}\%$

$\rho(70 \text{ vol-}\% \text{ etanol}) = 0,80 \text{ g/ml}$

För att 50 milliliter lösningsmedel ska innehålla 70 vol-% etanol måste lösningsmedlet innehålla $50 \text{ ml} \cdot 0,70 = 35 \text{ ml}$ etanol.

För att få 35 milliliter etanol behöver vi 93 vol-% etanol:

$$V(93 \text{ vol-}\% \text{ etanol}) = \frac{35 \text{ ml}}{0,93} = 37,63 \text{ ml} \approx 38 \text{ ml}.$$

Alternativ lösningsmetod till föregående uträkning:

$$V(93 \text{ vol-\% etanol}) = \frac{93 \text{ til-\%}}{70 \text{ til-\%}} = \frac{50 \text{ ml}}{x} \Rightarrow x = 37,63 \text{ ml} \approx 38 \text{ ml}.$$

För att framställa lösningsmedlet späder vi ut 38 milliliter 93 vol-% etanol till 50 ml med vatten. Vi beräknar hur mycket indikator som behövs:

50 milliliter 70 vol-% etanolösning väger enligt den givna densiteten

$$m(70 \text{ vol-\% etanol}) = \rho(70 \text{ vol-\% etanol}) \cdot V(\text{lösning}) = 0,80 \text{ g/ml} \cdot 50 \text{ ml} = 40 \text{ g}.$$

För att få en 0,10 m-% indikatorlösning måste vi väga upp följande mängd indikator:

$$m(\text{indikator}) = 0,0010 \cdot 40 \text{ g} = 0,040 \text{ g} = 40 \text{ mg}.$$

Vi väger upp 40 mg tymolblått. Vi späder ut 38 ml 93 vol-% etanol till 50 ml med vatten och löser upp 40 mg tymolblått i lösningen.

b) Lösligheten för tymolblått är låg eftersom den är en stor organisk molekyl som har få polära delar. Etanol har en opolär kolvätedel och en polär hydroxylgrupp. Den opolära delen av etanolemolekylen binder till opolära delarna av tymolblått och hydroxylgruppen bildar vätebindningar med vattenmolekylerna och indikatorn löses upp. Även vattenmolekylerna separerar indikatormolekylerna från varandra genom att binda till dess polära delar.

Svar:

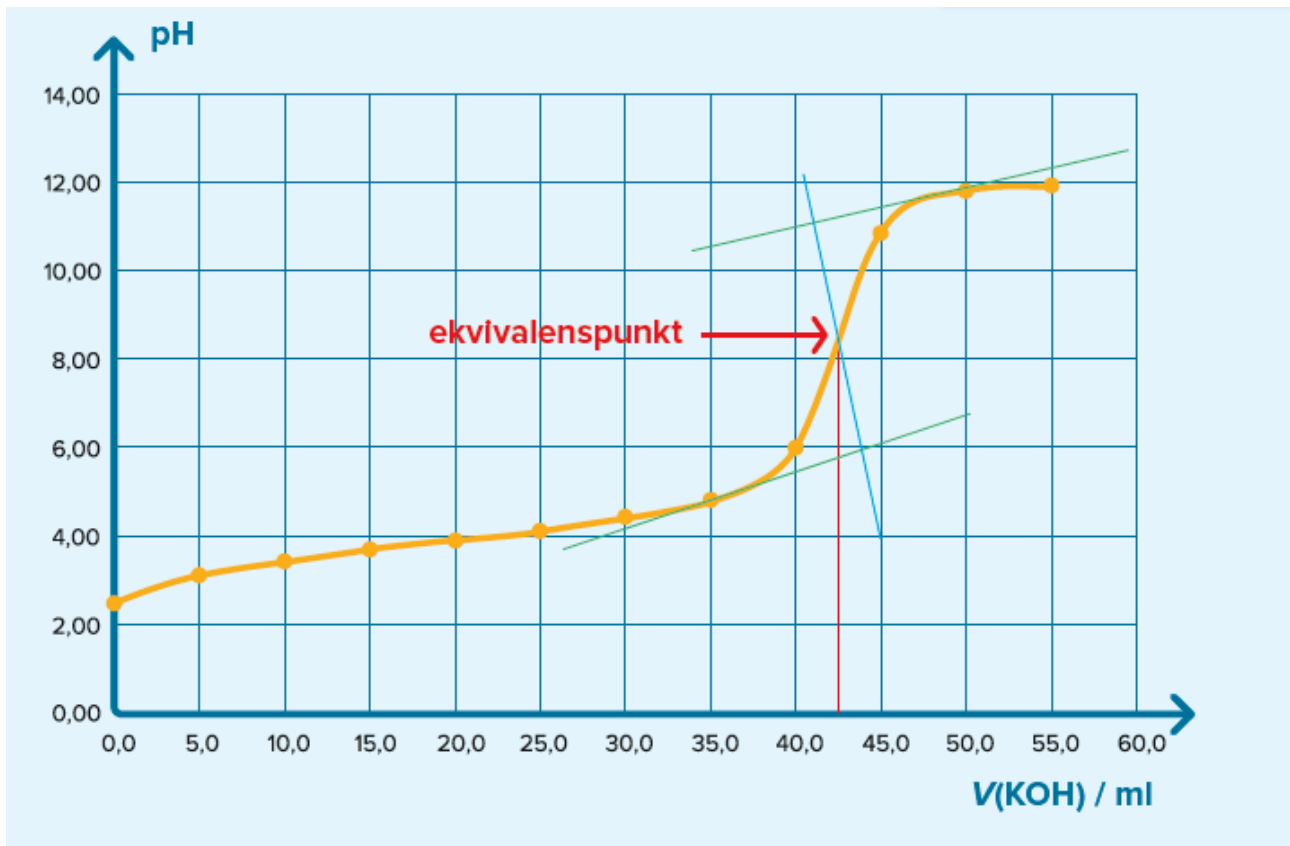
a) Vi späder ut 38 ml 93 vol-% etanol till 50 ml med vatten och löser upp 40 mg tymolblått i lösningen.

b) Lösligheten för tymolblått är låg eftersom den är en stor organisk molekyl som har få polära delar. Etanol har en opolär kolvätedel och en polär hydroxylgrupp. Den opolära delen av etanolemolekylen binder till opolära delarna av tymolblått och hydroxylgruppen bildar vätebindningar med vattenmolekylerna och indikatorn löses upp. Även vattenmolekylerna separerar indikatormolekylerna från varandra genom att binda till dess polära delar.

4.22

Lösning:

a)



b) Ekvivalenspunkten har märkts ut i grafen till uppgift a.

c) Vi avläser ekvivalenspunkten vid $V(\text{KOH}) = 42,5 \text{ ml}$ (utmärkt i grafen i uppgift a)

$$V(\text{KOH}) = 42,5 \text{ ml} = 0,0425 \text{ dm}^3$$

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

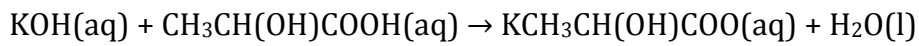
$$V(\text{prov}) = 20,0 \text{ cm}^3 = 0,0200 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{mjölksyra}) = ?$$

Vi beräknar substansmängden kaliumhydroxid vid ekvivalenspunkten:

$$n(\text{KOH}) = 0,10 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0425 \text{ dm}^3 = 4,250 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Enligt reaktionslikheten



är $n(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}) = n(\text{KOH}) = 4,250 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$.

Vi beräknar mjölksyrans koncentration

$$c(\text{mjölksyra}) = \frac{4,250 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,0200 \text{ dm}^3} = 0,2125 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,21 \text{ mol/dm}^3.$$

d) 2-hydroxipropansyra.

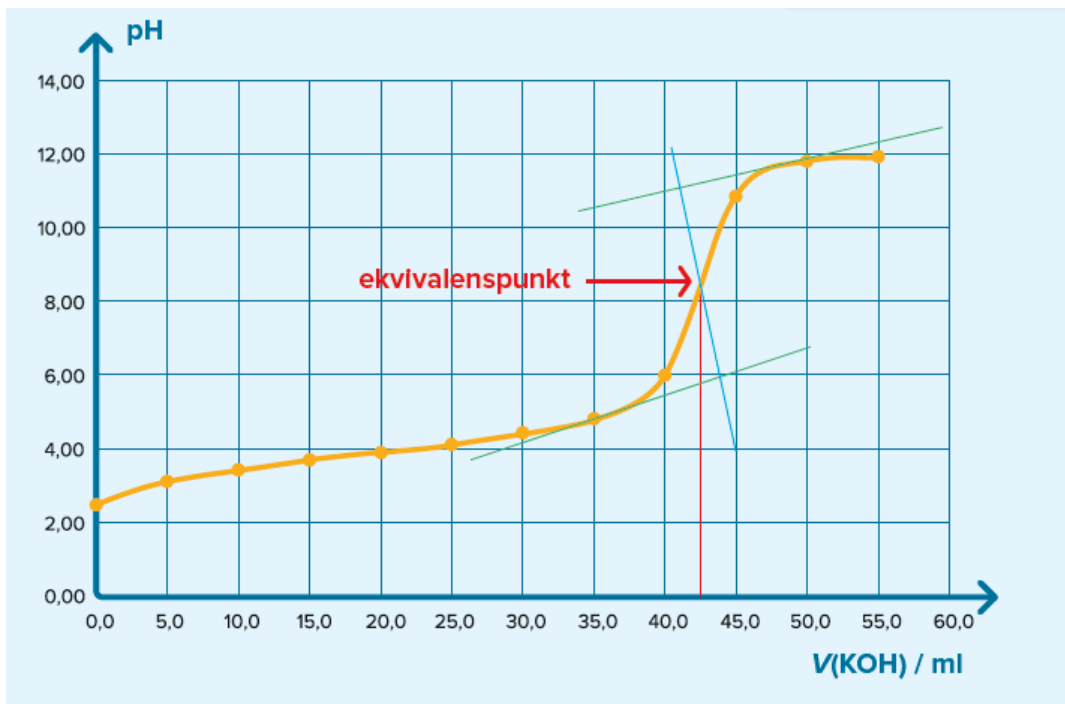
e) Mjölksyra är en organisk syra (karboxylsyra), vilka oftast är svaga syror.

f) Kaliumlaktat.

g) Fenolftalein eller tymolblått. Lösningens pH är ca 8,5 i ekvivalenspunkten. Färgförändringsområdet är vid pH 8,3–10,0 för fenolftalein och 8,2–9,8 för tymolblått.

Svar:

a)



b) Ekvivalenspunkten har märkts ut i grafen till uppgift a.

c) $c(\text{mjölksyra}) = 0,21 \text{ mol/dm}^3$.

d) 2- hydroxipropansyra.

e) Mjölksyra är en organisk syra (karboxylsyra), vilka oftast är svaga syror.

f) Kaliumlaktat.

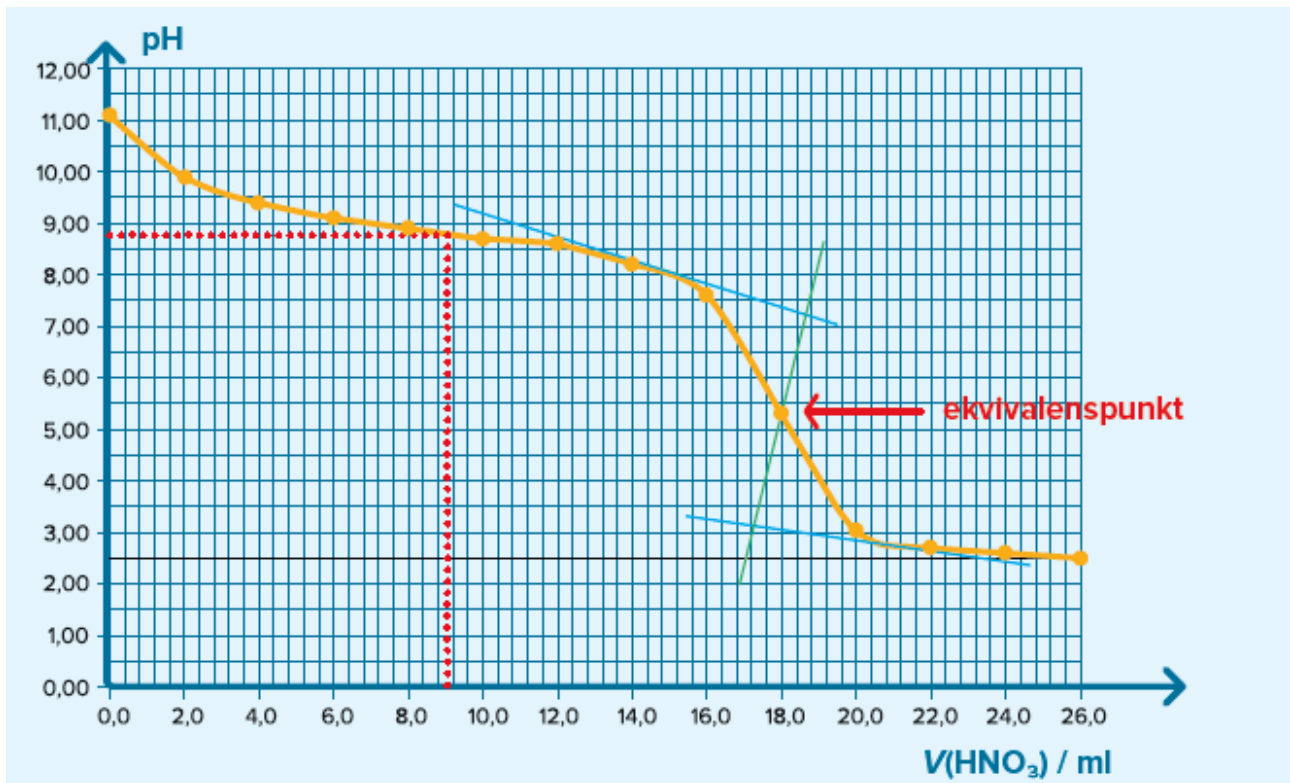
g) Fenolftalein eller tymolblått. Lösningens pH är ca 8,5 i ekvivalenspunkten.

Färgförändringsområdet är vid pH 8,3–10,0 för fenolftalein och 8,2–9,8 för tymolblått.

4.23

Lösning:

a)



b)

Ekvivalenspunkten har märkts ut i grafen till uppgift a.

Vid ekvivalenspunkten är $V(\text{HNO}_3) = 18,0 \text{ ml}$ (utmärkt i grafen).

$$V(\text{HNO}_3) = 18,0 \text{ ml} = 0,0180 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{HNO}_3) = 0,20 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{prov}) = 25,0 \text{ ml} = 0,0250 \text{ dm}^3$$

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

Vi beräknar substansmängden salpetersyra vid ekvivalenspunkten:

$$n(\text{HNO}_3) = 0,20 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0180 \text{ dm}^3 = 3,600 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

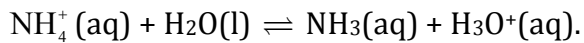
Enligt reaktionslikheten $\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{NH}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3(\text{aq})$ är

$$n(\text{NH}_3) = n(\text{HNO}_3) = 3,600 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Vi beräknar ammoniakens koncentration

$$c(\text{NH}_3) = \frac{3,600 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,0250 \text{ dm}^3} = 0,1440 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,14 \text{ mol/dm}^3.$$

c) När ammoniaklösningen har neutraliserats innehåller lösningen ammoniumjoner NH_4^+ . Ammoniumjonen är en svag syra som protolyseras i en vattenlösning:



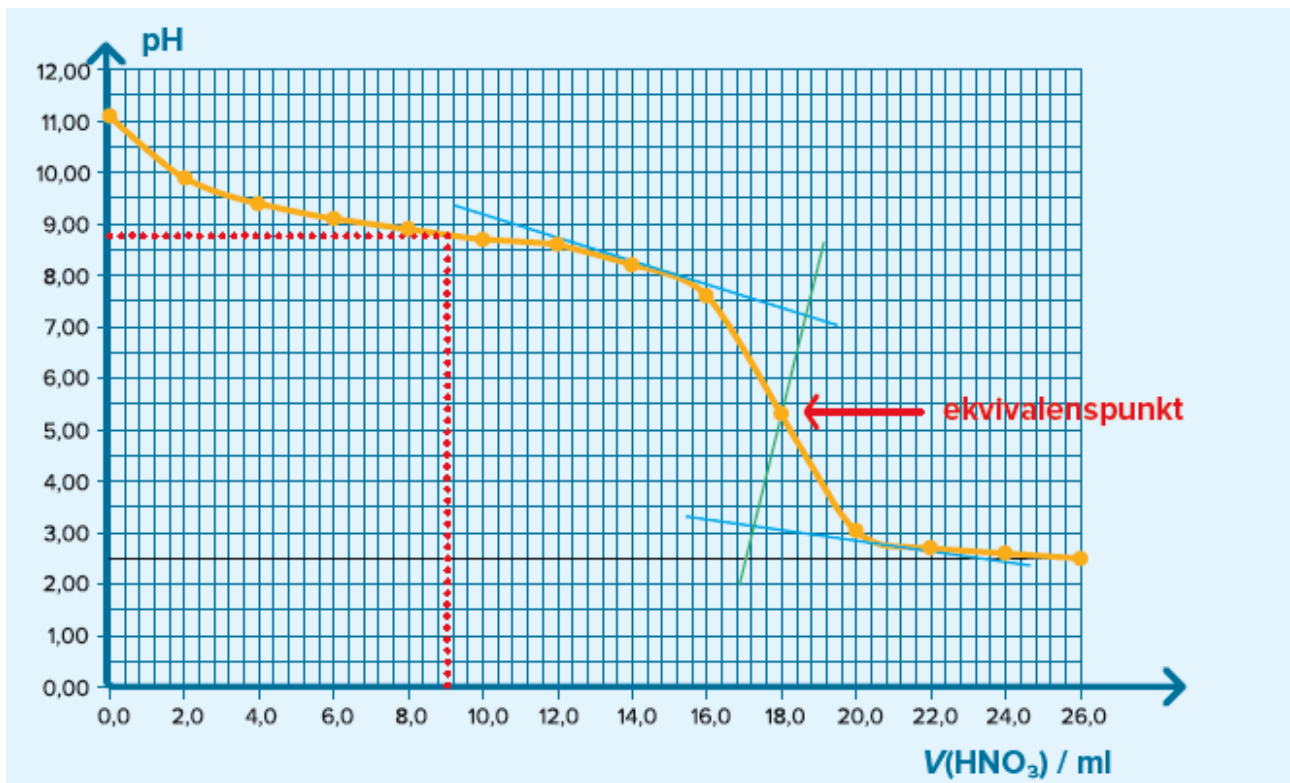
Oxoniumjonerna gör lösningen sur.

d) Lösningens pH är ca 5,3 i ekvivalenspunkten. En indikator med färgförändringsområde i det är pH-intervallet är metylrött (4,4–6,0).

e) $c(\text{NH}_3) = c(\text{NH}_4^+)$, kun puolet ammoniakiliuoksesta 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). $\text{pH} \approx 8,80$.

Svar:

a)



b) $c(\text{NH}_3) = 0,14 \text{ mol/dm}^3$

c) Lösningen innehåller ammoniumjoner NH_4^+ (aq). Ammoniumjonen är en svag syra som protolyseras enligt: NH_4^+ (aq) + H_2O (l) \rightleftharpoons NH_3 (aq) + H_3O^+ (aq). Oxoniumjonerna gör lösningen sur.

d) Lösningens pH är ca 5,3 i ekvivalenspunkten. En indikator med färgförändringsområde i det är pH-intervallet är metylrött (4,4–6,0).

e) $\text{pH} \approx 8,80$.

4.25

Lösning:

Reaktionslikheten för neutralisationsreaktionen är $\text{Ba}(\text{OH})_2(\text{aq}) + 2 \text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{BaCl}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

Enligt titrerkurvan är $V(\text{HCl}) = 7,5 \text{ ml}$ vid ekvivalenspunkten.

Vid ekvivalenspunkten är substansmängden saltsyra som förbrukats vid titreringen:

$$n(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = 0,10 \text{ mol/l} \cdot 0,0075 \text{ l} = 7,500 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$

$$\text{Enligt reaktionslikheten är } n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{HCl}) = \frac{1}{2} \cdot 7,500 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 3,750 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$

Massan för bariumhydroxiden i det titrerade provet:

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 3,750 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 171,346 \text{ g/mol} = 0,06425 \text{ g}.$$

Massan för kristallvattnet i provet:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 118,3 \text{ mg} - 64,25 \text{ mg} = 54,05 \text{ mg}.$$

Kristallvattnets substansmängd

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,05405 \text{ g}}{18,016 \text{ g/mol}} = 3,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Förhållandet mellan substansmängderna för kristallvattnet och bariumhydroxiden:

$$\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{Ba}(\text{OH})_2)} = \frac{3,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{3,750 \cdot 10^{-4} \text{ mol}} = 8,000 = 8.$$

$\Rightarrow x = 8$ och formeln är $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$.

Svar:

$x = 8$. Formeln är $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$.

4.26

Lösning:

a)

$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = n(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$ i ekvivalenspunkt A eftersom en av fosforsyrans protoner har neutraliserats vid den punkten.

b) Monoveätefosfatjonens (HPO_4^{2-}) koncentration är störst i ekvivalenspunkt B, eftersom två av fosforsyrans protoner har neutraliserats vid den punkten.

c)

Uttrycket för divätefosfatjonens syrakonstant:

$$K_a = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$$

Då $[\text{H}_2\text{PO}_4^-] = [\text{HPO}_4^{2-}]$ kan vi förenkla uttrycket till $K_a = [\text{H}_3\text{O}^+]$.

Eftersom $\text{p}K_a = -\lg K_a$ och $\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+]$, får vi $\text{p}K_a = \text{pH}$.

Då vi avläser pH-värdet från titrerkurvan när vi tillsatt en mängd natriumhydroxid som motsvarar hälften av volymen för ekvivalenspunkt B ($V(\text{NaOH}) \approx 60 \text{ ml}$) $\Rightarrow \text{pH} = \text{p}K_a$. Vi löser ut syrakonstanten för divätefosfatjonen ur uttrycket $K_a = 10^{-\text{p}K_a}$.

d) All fosforsyra har neutraliserats i ekvivalenspunkt C.

e)

$$c(\text{NaOH}) = 0,500 \text{ mol/l}$$

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

$$n(\text{fosforsyra}) = ?$$

All fosforsyra i provet har neutraliserats i ekvivalenspunkt C. $V(\text{NaOH})$ är då 105 ml.

Vi beräknar den substansmängd natriumhydroxid som behövs för att neutralisera fosforsyran:

$$n(\text{NaOH}) = 0,500 \text{ mol/l} \cdot 0,105 \text{ l} = 0,052500 \text{ mol.}$$

Enligt reaktionslikheten $\text{H}_3\text{PO}_4(\text{aq}) + 3 \text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{Na}_3\text{PO}_4(\text{aq}) + 3 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

är $n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{1}{3} \cdot n(\text{NaOH}) = \frac{1}{3} \cdot 0,052500 \text{ mol} = 0,017500 \text{ mol} = 17,5 \text{ mmol}$.

Provet innehåller mer fosforsyra (17,5 mmol/100 ml) än drycken (0,275 mmol/100ml).

f) Syrliga drycker som konsumeras ofta fräter på tandemaljen.

Svar:

a) I ekvivalenspunkt A eftersom en av fosforsyrans protoner har neutraliserats vid den punkten.

b) I ekvivalenspunkt B eftersom två av fosforsyrans protoner har neutraliserats vid den punkten

c) När ($V(\text{NaOH}) \approx 60 \text{ ml}$) $\text{pH} = \text{p}K_a$. Vi kan beräkna K_a med uttrycket $K_a = 10^{-\text{p}K_a}$.

d) All fosforsyra har neutraliserats i ekvivalenspunkt C.

e) Provet innehöll mer fosforsyra.

f) Syrliga drycker som konsumeras ofta fräter på tandemaljen.

4 Syrabasjämvikt och buffertlösningar

4.3 Buffertlösningar och deras funktion – facit

4.31

Lösning:

$$c(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 0,012 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{lösning}) = 500 \text{ ml} = 0,500 \text{ dm}^3$$

$$M(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 141,958 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = ?$$

Koncentrationen divätefosfat som vi vill uppnå

$$1,6 \cdot c(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 1,6 \cdot 0,012 \text{ mol/dm}^3 = 0,01920 \text{ mol/dm}^3.$$

Substansmängden vätefosfatjoner som behövs för 500 ml lösning:

$$n(\text{HPO}_4^{2-}) = 0,01920 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,500 \text{ dm}^3 = 9,600 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Enligt formeln för natriumvätefosfat

$$n(\text{HPO}_4^{2-}) = n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) \Rightarrow n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 9,600 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Massan för den mängd natriumvätefosfat som behöver tillsättas:

$$m(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 9,600 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 141,958 \text{ g/mol} = 1,363 \text{ g} \approx 1,4 \text{ g}.$$

Svar:

$$m(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 1,4 \text{ g}$$

4 Syrabasjämvikt och buffertlösningar

Öva mera! – facit

Studentexamensuppgifter

2.

Lösning:

$$V(\text{NaOH}) \text{ i ekvivalenspunkten} = 20 \text{ ml} = 0,020 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{NaOH}) = 0,121 \text{ mol/dm}^3$$

$$m(\text{fällning}) = 225 \text{ mg} = 0,225 \text{ g}$$

$$M(\text{HCl}) = 36,458 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{HNO}_3) = 63,018 \text{ g/mol}$$

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

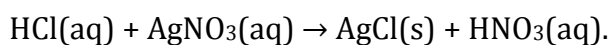
$$m(\text{HNO}_3) = ?$$

I ekvivalenspunkten är substansmängden natriumhydroxid

$$n(\text{NaOH}) = 0,121 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,020 \text{ dm}^3 = 2,420 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Den totala substansmängden för syrorna i blandningen $n(\text{syror}) = n(\text{NaOH}) = 2,420 \cdot 10^{-3}$ mol.

Kloridjonerna i saltsyran utfälls (det bildas svårlösligt salt), när man tillsätter silvernitratt i lösningen. Reaktionslikheten är:



Enligt reaktionslikheten är $n(\text{HCl}) = n(\text{AgCl})$.

Vi beräknar substansmängden silverklorid som bildas:

$$n(\text{AgCl}) = \frac{0,225 \text{ g}}{143,32 \text{ g/mol}} = 1,5699 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$m(\text{HCl}) = 1,5699 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 36,458 \text{ g/mol} = 0,057235 \text{ g} \approx 57 \text{ mg.}$$

$$n(\text{HNO}_3) = n(\text{syror}) - n(\text{HCl}) = 2,420 \cdot 10^{-3} \text{ mol} - 1,5699 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 8,501 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$m(\text{HNO}_3) = 8,501 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 63,018 \text{ g/mol} = 0,05357 \text{ g} \approx 54 \text{ mg}.$$

Svar:

$$m(\text{HCl}) = 57 \text{ mg}$$

$$m(\text{HNO}_3) = 54 \text{ mg}$$

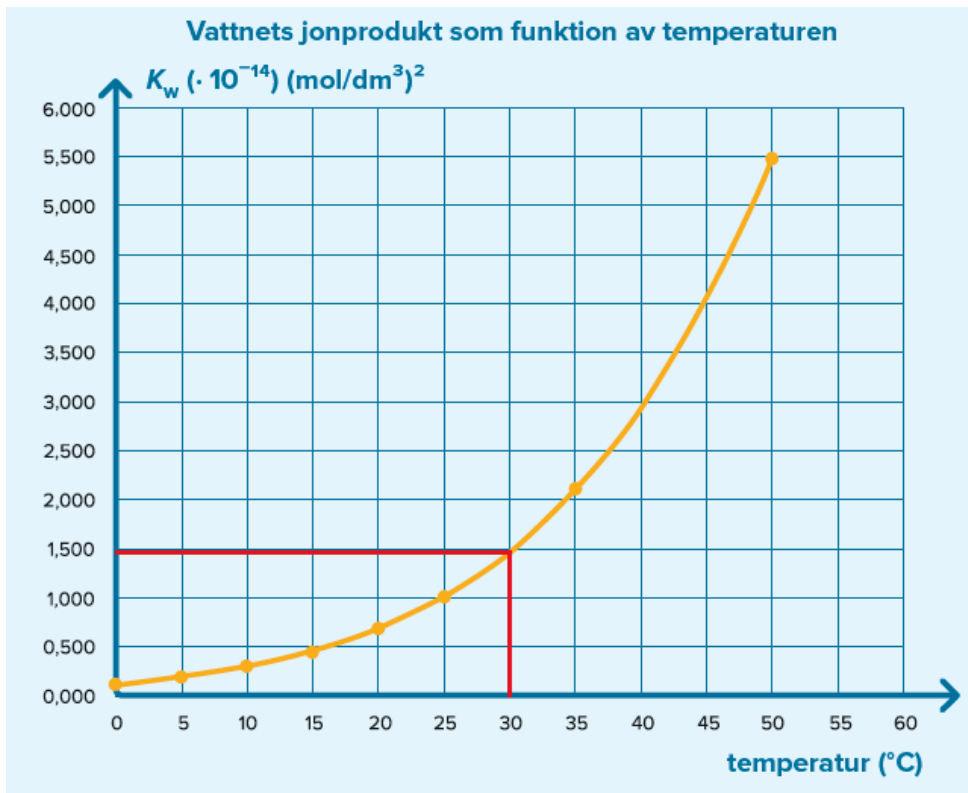
Del 5 Beräkning av pH-värdet för vattenlösningar

5.1 Vattnets autoprotolys och pH-skala – facit

5.1

Lösning:

a)



b) Reaktionen är endoterm eftersom vattnets jonprodukt stiger när temperaturen ökar. Jämvikten förskjuts mot reaktionsprodukterna när temperaturen ökar.

c) $K_w = \approx 1,500 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}^2$ (har märkts ut i grafen till uppgift a).

d)

$$K_w (50\text{ }^\circ\text{C}) = 5,476 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}^2 \text{ (ges i uppgiften)}$$

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

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

$$\text{pH} = ?$$

Enligt autoprotolysreaktionen är oxonium- och hydroxidjonskoncentrationerna i rent vatten lika stora. Vi betecknar koncentrationen med x . Från uttrycket

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] \text{ får vi:}$$

$$K_w = x \cdot x$$

$$\Rightarrow 5,476 \cdot 10^{-14} = x^2.$$

Vi löser uttrycket och får $x = 2,340 \cdot 10^{-7}$.

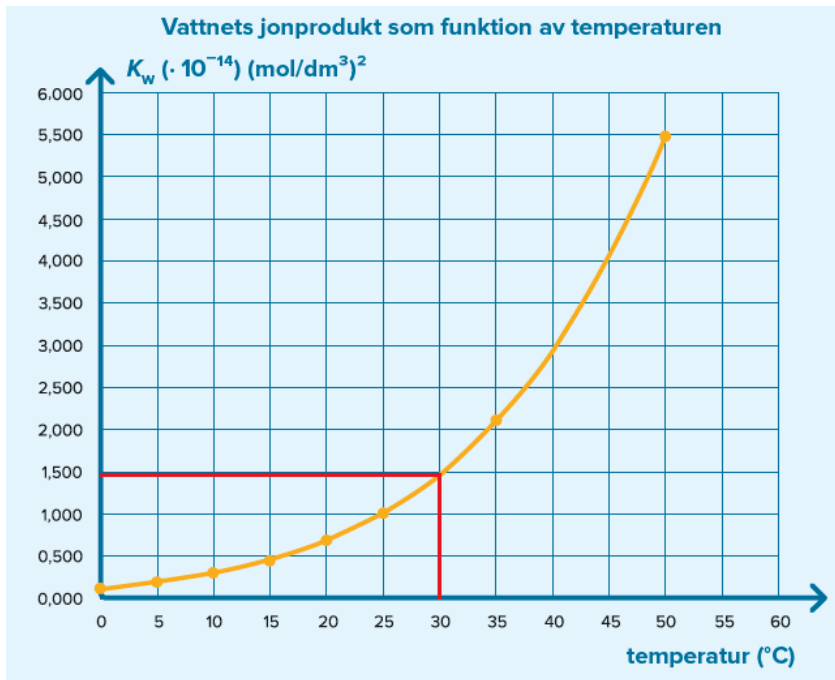
$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 2,340 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3 \approx 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+] = -\lg 2,340 \cdot 10^{-7} = 6,6308 \approx 6,63.$$

e) Rent vatten är neutralt vid olika temperaturer eftersom autoprotolysen bildar lika stora substansmängder oxonium- och hydroxidjoner.

Svar:

a)



b) Reaktionen är endoterm eftersom vattnets jonprodukt stiger när temperaturen ökar. Jämvikten förskjuts mot reaktionsprodukterna när temperaturen ökar.

c) $K_w \approx 1,500 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}^2$ (har märkts ut i grafen till uppgift a).

d) $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$.

pH = 6,63.

e) Rent vatten är neutralt vid olika temperaturer eftersom autoprotolysen bildar lika stora substansmängder oxonium- och hydroxidjoner.

5.2

Lösning:

a)

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$$

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

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}^2}{1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3} = 1,008 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3 \approx 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3.$$

Lösningen är neutral.

b)

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,9 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$$

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

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}^2}{1,9 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3} = 5,305 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 \approx 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

Lösningen är basisk.

c)

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 6,7 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$$

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

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}^2}{6,7 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3} = 1,504 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3 \approx 1,5 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3.$$

Lösningen är sur.

d)

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 2,3 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}$$

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

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$$

$$\Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3\text{)}^2}{2,3 \text{ mol/dm}^3} = 4,383 \cdot 10^{-15} \text{ mol/dm}^3 \approx 4,4 \cdot 10^{-15} \text{ mol/dm}^3.$$

Lösningen är sur.

Svar:

a) $[\text{OH}^-] = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$. Lösningen är neutral.

b) $[\text{OH}^-] = 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$. Lösningen är basisk.

c) $[\text{OH}^-] = 1,5 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3$. Lösningen är sur.

d) $[\text{OH}^-] = 4,4 \cdot 10^{-15} \text{ mol/dm}^3$. Lösningen är sur.

5.3

Lösning:

a)

$$K_a(\text{HCO}_3^-) = 4,7 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2$$

$$K_b(\text{CO}_3^{2-}) = ?$$

Utifrån uttrycket $K_w = K_a(\text{HA}) \cdot K_b(\text{A}^-)$ får vi:

$$K_b(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{K_w}{K_a(\text{HCO}_3^-)} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2}{4,7 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3} = 2,145 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 \approx 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

b)

$$K_b(\text{HS}^-) = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2$$

$$K_a(\text{H}_2\text{S}) = ?$$

Utifrån uttrycket $K_w = K_a(\text{HA}) \cdot K_b(\text{A}^-)$ får vi:

$$K_a(\text{H}_2\text{S}) = \frac{K_w}{K_b(\text{HS}^-)} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2}{1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3} = 1,008 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3 \approx 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3.$$

c)

$$K_a(\text{CHCl}_2\text{COOH}) = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2$$

$$K_b(\text{CHCl}_2\text{COO}^-) = ?$$

Utifrån uttrycket $K_w = K_a(\text{HA}) \cdot K_b(\text{A}^-)$ får vi:

$$K_b(\text{CHCl}_2\text{COO}^-) = \frac{K_w}{K_a(\text{CHCl}_2\text{COOH})} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2}{5,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol/dm}^3}$$

$$= 1,833 \cdot 10^{-13} \text{ mol/dm}^3 \approx 1,8 \cdot 10^{-13} \text{ mol/dm}^3.$$

Svar:

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) $K_b(\text{CHCl}_2\text{COO}^-) = 1,8 \cdot 10^{-13} \text{ mol/dm}^3$.

5.5**Lösning:**

$$\text{pH} = 6,77$$

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

$$n(\text{OH}^-) = ?$$

Vi beräknar mjölkens koncentration av oxoniumjoner med hjälp av pH-värdet:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-6,77} = 1,698 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3.$$

Substansmängden oxoniumjoner i ett mjölkprov med volymen 100 milliliter:

$$n(\text{H}_3\text{O}^+) = 1,698 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,100 \text{ dm}^3 = 1,698 \cdot 10^{-8} \text{ mol}.$$

I den neutrala lösningen är $n(\text{H}_3\text{O}^+) = n(\text{OH}^-) \Rightarrow n(\text{OH}^-) = 1,698 \cdot 10^{-8} \text{ mol} \approx 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ mol}$.

Svar:

$$n(\text{OH}^-) = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ mol}.$$

Del 5 Beräkning av pH-värdet för vattenlösningar

5.2 pH i vattenlösningar av stark syra eller bas – facit

5.6

Lösning:

Alla syrorna är envärda starka syror, som alltså protolyseras fullständigt. I vattenlösningen är $[\text{H}_3\text{O}^+] = c(\text{syra})$.

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)

$$c(\text{HNO}_3) = 0,025 \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+] = -\lg 0,025 = 1,6021 \approx 1,60.$$

Svar:

$$\text{a) pH} = 0,70$$

$$\text{b) pH} = 2,25$$

$$\text{c) pH} = 1,60$$

5.7

Lösning:

a)

$$\text{pH} = 2,50$$

$$c(\text{HNO}_3) = ?$$

Eftersom salpetersyra är en envärd, stark syra

$$c(\text{HNO}_3) = [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2,50} \text{ mol/dm}^3 = 3,162 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \approx 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

b)

$$\text{pH} = 5,20$$

$$c(\text{HNO}_3) = ?$$

$$c(\text{HNO}_3) = [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-5,20} \text{ mol/dm}^3 = 6,310 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3 \approx 6,3 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3.$$

Svar:

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

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

5.8

Lösning:

$$m\text{-}\%(\text{HCl}) = 36 \%$$

$$\rho(\text{HCl}) = 1,18 \text{ g/ml}$$

$$\text{pH} = 2,10$$

$$V(\text{lösning}) = 12,5 \text{ l}$$

$$M(\text{HCl}) = 36,458 \text{ g/mol}$$

$$V(\text{HCl}) = ?$$

Oxoniumjonkoncentrationen i saltsyralösningen som framställs:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2,10} \text{ mol/l} = 7,943 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l.}$$

Den totala substansmängden oxoniumjoner i lösningen:

$$n(\text{H}_3\text{O}^+) = [\text{H}_3\text{O}^+] \cdot V = 7,943 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \cdot 12,5 \text{ l} = 0,09929 \text{ mol.}$$

Eftersom väteklorid är en envärd, stark syra är den substansmängd saltsyra som behövs lika med substansmängden oxoniumjoner, det vill säga

$$n(\text{HCl}) = n(\text{H}_3\text{O}^+) = 0,09929 \text{ mol.}$$

Enligt densiteten motsvarar 1 000 g 36 m-% saltsyra volymen:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1\,000 \text{ g}}{1,18 \text{ g/ml}} = 847,5 \text{ ml} = 0,8475 \text{ l.}$$

1 000 gram 36-massaprocentig saltsyra innehåller 360 g väteklorid. Med hjälp av den här massan och den tidigare lösta volymen kan vi räkna ut koncentrationen i saltsyran med massprocenten 36 m-%:

$$c(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{V} = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl}) \cdot V} = \frac{360 \text{ g}}{36,458 \text{ g/mol} \cdot 0,8475 \text{ l}} = 11,65 \text{ mol/l.}$$

Volymen saltsyra som behövs:

$$V(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{c(\text{HCl})} = \frac{0,09929 \text{ mol}}{11,65 \text{ mol/l}} = 8,523 \cdot 10^{-3} \text{ l} \approx 8,5 \text{ ml}.$$

Svar:

$$V(\text{HCl}) = 8,5 \text{ ml}$$

5.9

Lösning:

$$V(\text{HCl}) = 205 \text{ ml} = 0,205 \text{ dm}^3$$

$$t = (23,0 + 273,15) \text{ K} = 296,15 \text{ K}$$

$$p = 0,987 \text{ bar}$$

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

$$V(\text{lösning}) = 4,25 \text{ dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

Vi beräknar substansmängden för vätekloriden som löst sig med hjälp av formeln för den ideala gaslagen $pV = nRT$, som ger

$$n(\text{HCl}) = \frac{pV}{RT} = \frac{0,987 \text{ bar} \cdot 0,205 \text{ dm}^3}{0,0831451 \frac{\text{bar} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 296,15 \text{ K}} = 8,2172 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Vätekloridens koncentration i lösningen som framställs:

$$c(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{V(\text{lösning})} = \frac{8,2172 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{4,25 \text{ l}} = 1,9335 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}.$$

Eftersom väteklorid är en envärd, stark syra gäller följande för lösningen:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = c(\text{HCl}) = 1,9335 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}.$$

pH-värdet som efterfrågas:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+] = -\lg 1,9335 \cdot 10^{-3} \approx 2,714.$$

Svar:

$$\text{pH} = 2,714$$

5.10

Lösning:

$$c(\text{KOH}) = 3,0 \text{ mol/l}$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$\text{pH} = ?$$

En mol kaliumhydroxid producerar en mol hydroxidjoner i lösningen:

$$[\text{OH}^-] = c(\text{KOH}) = 3,0 \text{ mol/l.}$$

Lösningens pOH-värde:

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = -\lg 3,0 = -0,4771.$$

Lösningens pH:

$$\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH} = 13,9965 - (-0,4771) = 14,4736 \approx 14,47.$$

Det frigörs glycerol och fettsyror i bashydrolys av fetter. Fettsyrorna neutraliseras med basen som används.

Svar:

$$\text{pH} = 14,47.$$

Det frigörs glycerol och fettsyror i bashydrolys av fetter. Fettsyrorna neutraliseras med basen som används.

5.11

Lösning:

$$V(\text{NaOH}) = 125 \text{ ml} = 0,125 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{NaOH}) = 0,60 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{lösning}) = 15 \text{ l}$$

$$pK_w = 13,9965$$

$$\text{pH} = ?$$

Eftersom en mol natriumhydroxid producerar en mol hydroxidjoner är substansmängden hydroxidjoner i utspädningen:

$$n(\text{OH}^-) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = 0,60 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,125 \text{ dm}^3 = 0,07500 \text{ mol.}$$

Lösningens hydroxidjonkoncentration är:

$$[\text{OH}^-] = \frac{n(\text{OH}^-)}{V(\text{lösning})} = \frac{0,07500 \text{ mol}}{15 \text{ l}} = 5,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l.}$$

Lösningens pOH-värde:

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = -\lg 5,000 \cdot 10^{-3} = 2,3010.$$

Lösningens pH:

$$\text{pH} = pK_w - \text{pOH} = 13,9965 - 2,3010 = 11,6955 \approx 11,70.$$

Svar:

$$\text{pH} = 11,70.$$

5.12

Lösning:

a)

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}) = 39 \text{ mg} = 0,039 \text{ g}$$

$$V(\text{lösning}) = 100 \text{ ml}$$

$$M(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}) = 315,474 \text{ g/mol}$$

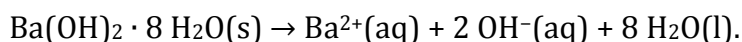
$$pK_w = 13,9965$$

$$\text{pH} = ?$$

Vi beräknar substansmängden bariumhydroxid:

$$n(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M} = \frac{0,039 \text{ g}}{315,474 \text{ g/mol}} = 1,236 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

När en mol bariumhydroxid löser sig bildas det två mol hydroxidjoner i lösningen:



Substansmängden hydroxidjoner i lösningen:

$$n(\text{OH}^{-}) = 2 \cdot 1,236 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 2,472 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Lösningens hydroxidjonkoncentration:

$$[\text{OH}^{-}] = \frac{n(\text{OH}^{-})}{V(\text{lösning})} = \frac{2,472 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,100 \text{ l}} = 2,472 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l.}$$

Lösningens pOH-värde:

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^{-}] = -\lg 2,472 \cdot 10^{-3} = 2,6070.$$

Lösningens pH:

$$\text{pH} = pK_w - \text{pOH} = 13,9965 - 2,6070 = 11,3895 \approx 11,39.$$

b)

$$[\text{OH}^-] = 2,472 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l (enligt a-uppgiften)}$$

$$\text{pH} = 10,30$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

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

$$V(\text{OH}^-) = ?$$

Vi beräknar utspädningens hydroxidjonkoncentration med hjälp av pH-värdet:

$$\text{pOH} = \text{p}K_w - \text{pH} = 13,9965 - 10,30 = 3,6965$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-3,6965} = 2,011 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l.}$$

Substansmängden hydroxidjoner i 100 ml av den utspädda lösningen:

$$n(\text{OH}^-) = 0,100 \text{ l} \cdot 2,011 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l} = 2,011 \cdot 10^{-5} \text{ mol.}$$

Vi beräknar hur mycket (volym) av den ursprungliga lösningen vi behöver för att få den här substansmängden hydroxidjoner:

$$V(\text{OH}^-) = \frac{2,011 \cdot 10^{-5} \text{ mol}}{2,472 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}} = 8,135 \cdot 10^{-3} \text{ l} \approx 8,1 \text{ ml.}$$

Svar:

a) $\text{pH} = 11,39.$

b) $V = 8,1 \text{ ml.}$

5.13

Lösning:

$$m\text{-}\%(\text{KOH}) = 15 \%$$

$$\rho(15 \text{ m-}\% \text{ KOH}) = 1,14 \text{ g/ml}$$

$$V(\text{lösning}) = 25,0 \text{ l}$$

$$\text{pH} = 11,55$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$M(\text{KOH}) = 56,108 \text{ g/mol}$$

$$V(\text{KOH}) = ?$$

Vi använder lösningens pH-värde för att beräkna pOH-värdet för lösningen som framställs:

$$\text{pOH} = \text{p}K_w - \text{pH} = 13,9965 - 11,55 = 2,4465.$$

Därmed är hydroxidjonkoncentrationen för den lösning som framställs:

$$[\text{OH}^-] = 10^{-2,4465} \text{ mol/l} = 3,577 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}.$$

När en mol kaliumhydroxid löser sig i vatten bildas en mol hydroxidjoner, därmed är

$$n(\text{KOH}) = n(\text{OH}^-) = [\text{OH}^-] \cdot V(\text{lösning}) = 3,577 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \cdot 25,0 \text{ l} = 0,08943 \text{ mol}.$$

Massan för kaliumhydroxiden i lösningen som framställs är

$$m(\text{KOH}) = n(\text{KOH}) \cdot M(\text{KOH}) = 0,08943 \text{ mol} \cdot 56,108 \text{ g/mol} = 5,018 \text{ g}.$$

Vi räknar ut den massa av 15 massprocentig KOH-lösning som vi behöver:

$$m(15 \text{ m-}\% \text{ KOH}) = \frac{5,018 \text{ g}}{0,15} = 33,45 \text{ g}.$$

Vi löser ut volymen med hjälp av den här massan och densiteten för den 15-massprocentiga kaliumhydroxidlösning:

$$V(15 \text{ m-\% KOH}) = \frac{m}{\rho} = \frac{33,45 \text{ g}}{1,14 \text{ g/ml}} = 29,34 \text{ ml} \approx 29 \text{ ml}.$$

Svar:

$$V(15 \text{ m-\% KOH}) = 29 \text{ ml}.$$

Del 5 Beräkning av pH-värdet för vattenlösningar

5.3 pH i vattenlösningar av svag syra eller bas – Facit

5.14

Lösning:

$$c(\text{HNO}_2) = 0,250 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_a(\text{HNO}_2) = 7,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

Vi betecknar oxoniumjonkoncentrationen i lösningen med x och gör en tabell med utgångskoncentrationerna, förändringen i koncentrationerna och jämviktskoncentrationerna. Notera att vi inte skriver koncentrationsförändring för vattnet eftersom det beaktas i syrakonstanten.

	$\text{HNO}_2(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{NO}_2^-(\text{aq})$	+	$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$
C_i början (mol/dm ³)	0,250		-		0		0
förändring (mol/dm ³)	- x		-		+ x		+ x
C_j jämvikt (mol/dm ³)	0,250 - x		-		x		x

Vi sätter in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för syrakonstanten för salpetersyran:

$$K_a = \frac{[\text{NO}_2^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HNO}_2]} \Rightarrow 7,2 \cdot 10^{-4} = \frac{x \cdot x}{0,250 - x}$$

Som lösning till andragradsekvationen får vi:

$$x_1 = 0,01306 \text{ och}$$

$$x_2 = -0,01378.$$

Endast den positiva roten duger eftersom oxoniumjonkoncentrationen borde öka och salpetersyrakoncentrationen borde minska.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,01306 \text{ mol/dm}^3.$$

pH-värdet för lösningen:

$$\text{pH} = -\lg 0,01306 = 1,8841 \approx 1,88.$$

Svar:

$$\text{pH} = 1,88.$$

5.15

Lösning:

a)

$$c(\text{HF}) = 0,020 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_a(\text{HF}) = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

$$\text{Protolyseringsgrad} = ?$$

Vi betecknar oxoniumjonkoncentrationen i lösningen med x och gör en tabell med utgångskoncentrationerna, förändringen i koncentrationerna och jämviktskoncentrationerna. Notera att vi inte skriver koncentrationsförändringför för vattnet eftersom det beaktas i syrakonstanten.

	HF(aq)	+	H₂O(l)	⇌	F⁻(aq)	+	H₃O⁺(aq)
C_i början (mol/dm ³)	0,020		-		0		0
förändring (mol/dm ³)	- x		-		+ x		+ x
$C_{\text{jämvikt}}$ (mol/dm ³)	0,020 - x		-		x		x

Vi sätter in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för syrakonstanten för vätefluorid.

$$K_a = \frac{[\text{F}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HF}]} \Rightarrow 6,6 \cdot 10^{-4} = \frac{x^2}{0,020 - x}$$

Som lösning till andragradsekvationen får vi:

$$x_1 = 0,003318 \text{ och}$$

$$x_2 = -0,003978.$$

Endast den positiva roten duger eftersom oxoniumjonkoncentrationen borde öka och vätefluoridkoncentrationen borde minska.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,003318 \text{ mol/dm}^3$$

pH-värdet för lösningen:

$$\text{pH} = -\lg 0,003318 = 2,4791 \approx 2,48.$$

b)

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,003318 \text{ mol/dm}^3 \text{ (enligt a-uppgiften)}$$

$$c(\text{HF})_{\text{i början}} = 0,020 \text{ mol/dm}^3$$

Protolyseringsgrad = ?

$$\text{Protolyseringsgrad} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c(\text{HF})_{\text{i början}}} = \frac{0,003318 \text{ mol/dm}^3}{0,020 \text{ mol/dm}^3} \cdot 100 \% = 16,59 \% \approx 17 \%$$

c)

$$c(\text{HF})_{\text{i början}} = 0,020 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{förändring}) = 0,003318 \text{ mol/dm}^3$$

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

Vätefluoridens jämviktskoncentration:

$$[\text{HF}] = (0,020 - 0,003318) \text{ mol/dm}^3 = 0,01668 \text{ mol/dm}^3 \approx 0,017 \text{ mol/dm}^3.$$

Svar:

a) $\text{pH} = 2,48$

b) Protolyseringsgraden är 17 %.

c) $[\text{HF}] = 0,017 \text{ mol/dm}^3.$

5.16

Lösning:

$$m(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}) = 11,0 \text{ g}$$

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

$$\text{pH} = 2,94$$

$$M(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}) = 116,156 \text{ g/mol}$$

$$K_a(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}) = ?$$

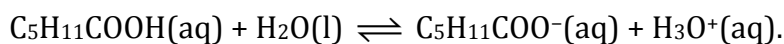
Vi beräknar kapronsyrans koncentration med hjälp av lösligheten:

$$c(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{11,0 \text{ g}}{116,156 \text{ g/mol} \cdot 1,0 \text{ dm}^3} = 0,094700 \text{ mol/dm}^3.$$

Vi beräknar lösningens oxoniumjonkoncentration med hjälp av det givna pH-värdet:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \text{ mol/dm}^3 = 10^{-2,94} \text{ mol/dm}^3 = 1,148 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Kapronsyra är en organisk, svag syra med protolysreaktionen



I jämviktsläget är koncentrationerna:

$$[\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COO}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,148 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$[\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}] = (0,094700 - 1,148 \cdot 10^{-3}) \text{ mol/dm}^3 = 0,093552 \text{ mol/dm}^3.$$

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för syrakonstanten för kapronsyra och beräknar K_a :

$$K_a = \frac{[\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}]} = \frac{(1,148 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3)^2}{0,093552 \text{ mol/dm}^3} = 1,409 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \approx 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3.$$

Svar:

$$K_a = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3.$$

5.17

Lösning:

$$c([\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}) = 0,10 \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = 3,00$$

$$\text{p}K_a = ?$$

$$\text{Protolyseringsgrad} = ?$$

Enligt pH-värdet gäller följande för lösningen i jämviktsläget:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3,00} = 1,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Enligt reaktionslikheten för protolysreaktionen får vi också:

$$[[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^{2+}] = 1,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Jämviktskoncentrationen för utgångsämnet $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$:

$$(0,10 - 1,000 \cdot 10^{-3}) \text{ mol/dm}^3 = 0,09900 \text{ mol/dm}^3.$$

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för syrakonstanten och beräknar K_a :

$$K_a = \frac{(1,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3)^2}{0,09900 \text{ mol/dm}^3} = 1,010 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{p}K_a = -\lg K_a = -\lg 1,010 \cdot 10^{-5} = 4,9957 \approx 5,00.$$

$$\text{Protolyseringsgrad} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]}{c([\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+})} \frac{1,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3}{0,10 \text{ mol/dm}^3} \cdot 100 \% = 1,000 \% \approx 1,0 \%.$$

Svar:

$$\text{p}K_a = 5,00$$

Protolyseringsgraden är 1,0 %.

5.18

Lösning:

$$c(\text{HA}) = 0,010 \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{Protolyseringsgrad} = 1,0 \%$$

$$K_a = ?$$

$$\text{p}K_a = ?$$

Enligt protolysreaktionen $\text{HA}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{A}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ och protolyseringsgraden får vi för jämviktsläget:

$$[\text{A}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] = 0,001 \cdot 0,010 \text{ mol/dm}^3 = 1,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$[\text{HA}] = 0,010 \text{ mol/dm}^3 - (0,001 \cdot 0,010 \text{ mol/dm}^3) = 9,900 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för syrakonstanten och beräknar 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 skulle placera sig ovanför kolsyra.

Svar:

$$K_a = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{p}K_a = 6,00.$$

HA skulle placera sig ovanför kolsyra.

5.19

Lösning:

$$c((\text{CH}_3)_3\text{N}) = 0,050 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_b((\text{CH}_3)_3\text{N}) = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

$$pK_w = 13,9965$$

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

$$\text{pH} = ?$$

Vi betecknar hydroxidjonkoncentrationen i lösningen med x och gör en tabell med utgångskoncentrationerna, förändringen i koncentrationerna och jämviktskoncentrationerna. Notera att vi inte skriver koncentrationsförändring för vattnet eftersom det beaktas i baskonstanten.

	$(\text{CH}_3)_3\text{N}(\text{aq})$	$+$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+(\text{aq})$	$+$	$\text{OH}^-(\text{aq})$
C_i början (mol/dm ³)	0,050		-		0		0
förändring (mol/dm ³)	- x		-		+ x		+ x
C_j jämvikt (mol/dm ³)	$0,050 - x$		-		x		x

Vi sätter in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för baskonstanten av trimetylamin:

$$K_b = \frac{[(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+][\text{OH}^-]}{[(\text{CH}_3)_3\text{N}]} \Rightarrow 6,3 \cdot 10^{-5} = \frac{x^2}{0,050 - x}$$

Vi får följande svar som lösning till andragradsekvationen:

$$x_1 = 1,744 \cdot 10^{-3} \text{ och}$$

$$x_2 = -1,807 \cdot 10^{-3}$$

Endast den positiva roten duger eftersom koncentrationen av hydroxidjoner borde öka och koncentrationen av trimetylamin borde minska.

$$[\text{OH}^-] = 1,744 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \approx 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pOH} = -\lg 1,744 \cdot 10^{-3} = 2,7585$$

Lösningens pH-värde:

$$\text{pH} = pK_w - \text{pOH} = 13,9965 - 2,7585 = 11,2380 \approx 11,24$$

Svar:

$$[\text{OH}^-] = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = 11,24.$$

5.20**Lösning:**

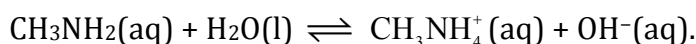
$$\text{pH} = 10,97$$

$$K_b(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$c(\text{CH}_3\text{NH}_2) = ?$$

Protolysreaktionen för metylamin:



Vi beräknar metylaminlösningens pOH-värde med hjälp av det uppmätta pH-värdet:

$$\text{pOH} = \text{p}K_w - \text{pH} = 13,9965 - 10,97 = 3,027.$$

Lösningens hydroxidjonkoncentration:

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-3,027} = 9,397 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

Enligt reaktionslikheten för protolysreaktionen är också $[\text{CH}_3\text{NH}_3^+] = 9,397 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$.

Vi betecknar utgångskoncentrationen för metylaminet med x och fyller i utgångs- och jämviktskoncentrationerna samt koncentrationernas förändringar i en tabell:

	$\text{CH}_3\text{NH}_2(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{H}_3\text{NH}_3^+(\text{aq})$	+	$\text{OH}^-(\text{aq})$
C_i början (mol/dm ³)	x		-		0		0
förändring (mol/dm ³)	$-9,397 \cdot 10^{-4}$		-		$+9,397 \cdot 10^{-4}$		$+9,397 \cdot 10^{-4}$
C_j jämvikt (mol/dm ³)	$x - 9,397 \cdot 10^{-4}$		-		$9,397 \cdot 10^{-4}$		$9,397 \cdot 10^{-4}$

Vi sätter in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för baskonstanten av metylamin och löser ut x :

$$K_b = \frac{[\text{CH}_3\text{NH}_3^+][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{NH}_2]}$$
$$\Rightarrow 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 = \frac{(9,397 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3)^2}{(x - 9,397 \cdot 10^{-4}) \text{ mol/dm}^3} = 3,042 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \approx 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Svar:

$$c(\text{CH}_3\text{NH}_2) = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

5.21

Lösning:

$$m(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{O}) = 25 \text{ mg} = 0,025 \text{ g}$$

$$V(\text{lösning}) = 50 \text{ ml} = 0,050 \text{ dm}^3$$

$$M(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{O}) = 116,090 \text{ g/mol}$$

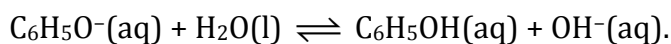
$$K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ mol/dm}^3 \text{ (enligt tabellboken)}$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$\text{pH} = ?$$

Protolysreaktioner för fenolatjonen:



Vi beräknar fenolatjonens baskonstant ur uttrycket

$$K_a \cdot K_b = K_w$$

$$\Rightarrow K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2}{1,0 \cdot 10^{-10} \text{ mol/dm}^3} = 1,008 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

Vi beräknar utgångskoncentrationen för natriumfenolat:

$$c(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{O}) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{0,025 \text{ g}}{116,090 \text{ g/mol} \cdot 0,050 \text{ dm}^3} = 4,307 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Enligt formeln för natriumfenolat $c(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-) = 4,307 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$.

Vi betecknar hydroxidjonkoncentrationen i lösningen med x och gör en tabell med utgångskoncentrationerna, förändringen i koncentrationerna och jämviktskoncentrationerna. Notera att vi inte skriver koncentrationsförändring för vattnet eftersom det beaktas i baskonstanten.

	$\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}(\text{aq})$	+	$\text{OH}^-(\text{aq})$
C_i början (mol/dm^3)	$4,307 \cdot 10^{-3}$		-		0		0
förändring (mol/dm^3)	$-x$		-		$+x$		$+x$
$C_{\text{jämvikt}}$ (mol/dm^3)	$4,307 \cdot 10^{-3} - x$		-		x		x

Vi sätter in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för baskonstanten av fenolatjonen:

$$K_b = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}][\text{OH}^-]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-]} \Rightarrow 1,008 \cdot 10^{-4} = \frac{x^2}{4,307 \cdot 10^{-3} - x}$$

Vi får lösningen:

$$x_1 = 6,104 \cdot 10^{-4} \text{ och}$$

$$x_2 = -7,112 \cdot 10^{-4}$$

Endast den positiva roten duger eftersom hydroxidjonkoncentrationen borde öka och fenolatjonkoncentrationen minska.

$$[\text{OH}^-] = 6,104 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pOH} = -\lg 6,104 \cdot 10^{-4} = 3,2144$$

Lösningens pH:

$$\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH} = 13,9965 - 3,2144 = 10,7821 \approx 10,78$$

Svar:

$$\text{pH} = 10,78$$

5.22

Lösning:

a)

$$\text{pH} = 11,70$$

$$V(\text{lösning}) = 500 \text{ ml} = 0,500 \text{ dm}^3$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$n(\text{bas}) = ?$$

Vi beräknar lösningens hydroxidjonkoncentration med hjälp av pH-värdet:

$$\text{pH} + \text{pOH} = \text{p}K_w \Rightarrow \text{pOH} = \text{p}K_w - \text{pH} = 13,9965 - 11,70 = 2,2965$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-2,2965} = 5,052 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Eftersom det är frågan om en stark, envärd bas är basens koncentration samma som hydroxidjonkoncentrationen. Vi beräknar substansmängden för basen:

$$n(\text{bas}) = [\text{OH}^-] \cdot V = 5,052 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,500 \text{ dm}^3 = 2,526 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \approx 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

b)

$$\text{pH} = 11,70$$

$$V(\text{bas}) = 500 \text{ ml} = 0,500 \text{ dm}^3$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$K_b = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$n(\text{bas}) = ?$$

Protolysreaktionen för en svag bas (B) är $\text{B}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{BH}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$.

Från a) får vi $[\text{OH}^-] = 5,052 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$, då pH-värdet är 11,70.

Enligt reaktionslikheten för protolysreaktionen är också $[\text{BH}^+] = 5,052 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$.

Vi betecknar utgångskoncentrationen för bas B med bokstaven x . Vi gör upp en tabell över utgångs- och jämviktskoncentrationerna samt förändringarna i koncentration:

	B(aq)	+	H₂O(l)	\rightleftharpoons	BH⁺(aq)	+	OH⁻(aq)
C_i början (mol/dm ³)	x		-		0		0
förändring (mol/dm ³)	$-5,052 \cdot 10^{-3}$		-		$+5,052 \cdot 10^{-3}$		$+5,052 \cdot 10^{-3}$
$C_{\text{jämvikt}}$ (mol/dm ³)	$x - 5,052 \cdot 10^{-3}$		-		$5,052 \cdot 10^{-3}$		$5,052 \cdot 10^{-3}$

Vi sätter in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för baskonstanten och löser ut x :

$$K_b = \frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]} \Rightarrow 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 = \frac{(5,052 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3)^2}{(x - 5,052 \cdot 10^{-3}) \text{ mol/dm}^3}.$$

Vi får lösningen:

$$x = 0,03057 \text{ det vill säga}$$

$$c(\text{bas})_{\text{i början}} = 0,03057 \text{ mol/dm}^3.$$

Den substansmängd svag bas som behövs för volymen 500 milliliter:

$$n(\text{bas}) = 0,03057 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,500 \text{ dm}^3 = 0,01529 \text{ mol} \approx 15 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Svar:

a) $n(\text{bas}) = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$

b) $n(\text{bas}) = 15 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$

Del 5 Beräkning av pH-värdet för vattenlösningar

5.4 Beräkning av pH-värdet för buffertlösningar – Facit

5.23

Lösning:

a)

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,10 \text{ mol/l}$$

$$c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 0,10 \text{ mol/l}$$

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

$$\text{pH} = ?$$

Vi gör en tabell över utgångskoncentrationerna, koncentrationernas förändringar och jämviktskoncentrationerna för ämnena i buffertlösningen.

	$\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$	$+$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$	$+$	$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$
C_i början (mol/dm ³)	0,10		-		0,10		0
förändring (mol/dm ³)	-x		-		+x		+x
$C_{\text{jämvikt}}$ (mol/dm ³)	0,10 - x		-		0,10 + x		x

Vi beräknar värdet för x ur uttrycket för syrakonstanten för ättiksyra

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

Vi får följande svar som lösning till ekvationen:

$$x_1 = 1,797 \cdot 10^{-5} \text{ och}$$

$$x_2 = -0,1002.$$

Av de här är enbart x_1 rimlig eftersom koncentrationen av oxoniumjoner (och acetatjoner) ska öka.

I buffertlösningen är $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,797 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$.

Lösningens pH-värde:

$$\text{pH} = -\lg 1,797 \cdot 10^{-5} = 4,7454 \approx 4,75.$$

b)

När vi använder Henderson-Hasselbalchs ekvation antar vi att förändringen i utgångskoncentrationen av den svaga syran och korresponderande basen (eller svaga basen och korresponderande syran) är så liten att vi kan beräkna pH-värdet för en buffertlösning tillräckligt noggrant genom att endast använda utgångskoncentrationen. Det lönar sig att nämna antagandet när du använder Henderson-Hasselbalchs ekvation.

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = [\text{CH}_3\text{COOH}] = 0,10 \text{ mol/l}$$

$$c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = [\text{CH}_3\text{COO}^-] = 0,10 \text{ mol/l}$$

$$K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \Rightarrow \text{p}K_a = 4,74$$

$$\text{pH} = ?$$

$$\text{Henderson-Hasselbalchs ekvation: } \text{pH} = \text{p}K_a + \lg \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

I den här ekvationen skriver vi in utgångskoncentrationerna för ättiksyran och acetatjonen samt ättiksyrans $\text{p}K_a$:

$$\text{pH} = 4,74 + \lg \frac{0,10}{0,10} = 4,74 + 0 = 4,74 \approx 4,74.$$

c) Skillnaden är 0,01 pH-enheter.

Svar:

a) $\text{pH} = 4,75$

b) $\text{pH} = 4,75$

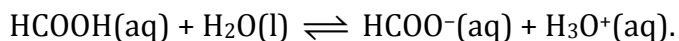
c) Skillnaden är 0,01 pH-enheter.

5.24

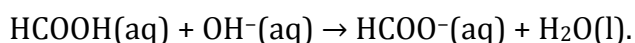
Lösning:

a)

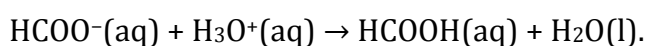
I buffertlösningen råder följande jämvikt:



När man tillsätter en bas reagerar hydroxidjonerna i metansyran enligt följande:



När man tillsätter en syra reagerar metanatjonerna med oxoniumjonerna enligt följande:



b)

$$n(\text{HCOOH}) = 15 \text{ mmol} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{HCOO}^-) = 8,5 \text{ mmol} = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$V(\text{lösning}) = 75 \text{ ml} = 0,075 \text{ dm}^3$$

$$K_a(\text{HCOOH}) = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

Modellösningen har gjorts med hjälp av uttrycket för syrakonstanten.

Vi beräknar utgångskoncentrationerna för myrsyran och metanatjonerna:

$$c(\text{HCOOH}) = \frac{15 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,075 \text{ dm}^3} = 0,2000 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{HCOO}^-) = \frac{8,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,075 \text{ dm}^3} = 0,1133 \text{ mol/dm}^3.$$

Vi gör en tabell över utgångskoncentrationerna, koncentrationernas förändringar och jämviktskoncentrationerna:

	HCOOH(aq)	+	H₂O(l)	⇌	HCOO⁻(aq)	+	H₃O⁺(aq)
<i>c_i</i> början (mol/dm ³)	0,2000		-		0,1133		0
förändring (mol/dm ³)	-x		-		+x		+x
<i>c</i> _{jämvikt} (mol/dm ³)	0,2000 - x		-		0,1133 + x		x

Vi beräknar värdet för x ur uttrycket för syrakonstanten av metansyra

$$K_a = \frac{[\text{HCOO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCOOH}]} \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-4} = \frac{(0,1133 + x) \cdot x}{0,2000 - x}$$

Vi får följande svar som lösning till ekvationen:

$$x_1 = 3,171 \cdot 10^{-4} \text{ och}$$

$$x_2 = -0,1135.$$

Av dessa är enbart x_1 rimlig, eftersom oxoniumjonkoncentrationen (och metanationkoncentrationen) borde öka.

I buffertlösningen är $[\text{H}_3\text{O}^+] = 3,171 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$.

Lösningens pH-värde:

$$\text{pH} = -\lg 3,171 \cdot 10^{-4} = 3,4988 \approx 3,50.$$

(Henderson-Hasselbalchs ekvation leder till samma resultat:

$$\text{pH} = 3,7447 + \lg \frac{0,1133}{0,2000} = 3,7447 - 0,2468 = 3,4979 \approx 3,50.)$$

Svar:

$$\text{pH} = 3,50$$

5.25

Lösning:

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 2,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol/l}$$

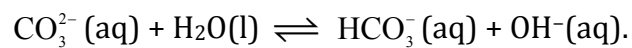
$$\text{pH} = 7,30$$

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

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$[\text{HCO}_3^-] = ?$$

I akvarievattnet bildar karbonat- och vätekarbonatjonerna följande buffertsystem:



Enligt pH-värdet är lösningens $\text{pOH} = \text{p}K_w - \text{pH} = 13,9965 - 7,30 = 6,6965$.

Buffertlösningens $[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-6,6965} = 2,011 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$.

Uttrycket för karbonatjonens baskonstant:

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

Vi beräknar $[\text{HCO}_3^-]$ ur det här uttrycket:

$$2,1 \cdot 10^{-4} = \frac{[\text{HCO}_3^-] \cdot 2,011 \cdot 10^{-7}}{2,0 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow [\text{HCO}_3^-] = 2,089 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 \approx 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

Svar:

$$[\text{HCO}_3^-] = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

5.26

Lösning:

a)

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 2,00 \text{ g}$$

$$m(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}) = 2,00 \text{ g}$$

$$M(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 122,118 \text{ g/mol}$$

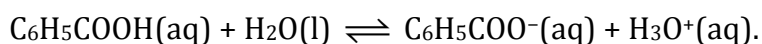
$$M(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}) = 144,100 \text{ g/mol}$$

$$V(\text{lösning}) = 750 \text{ ml} = 0,750 \text{ dm}^3$$

$$K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

I buffertlösningen råder följande jämvikt:



Vi beräknar utgångskoncentrationerna för bensoesyran och bensoatjonerna:

$$c(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{2,00 \text{ g}}{122,118 \text{ g/mol} \cdot 0,750 \text{ dm}^3} = 0,021837 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) = c(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{2,00 \text{ g}}{144,100 \text{ g/mol} \cdot 0,750 \text{ dm}^3} = 0,018506 \text{ mol/dm}^3.$$

Vi gör en tabell över utgångskoncentrationerna, koncentrationernas förändringar och jämviktskoncentrationerna för ämnena i buffertlösningen:

	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-(\text{aq})$	+	$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$
C_i början (mol/dm ³)	0,021837		-		0,018506		0
förändring (mol/dm ³)	-x		-		+x		+x
$C_{\text{jämvikt}}$ (mol/dm ³)	0,021837 - x		-		0,018506 + x		x

Vi beräknar värdet för x med hjälp av uttrycket för syrakonstanten för bensoesyra

$$K_a = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}]} \Rightarrow 6,3 \cdot 10^{-5} = \frac{(0,018506 + x) \cdot x}{0,021837 - x}$$

Vi får följande svar som lösning till ekvationen:

$$x_1 = 7,380 \cdot 10^{-5} \text{ och}$$

$$x_2 = -0,01864.$$

Av de här är enbart x_1 rimlig, eftersom oxoniumjonkoncentrationen (och bensoatkoncentrationen) borde öka.

I buffertlösningen är $[\text{H}_3\text{O}^+] = 7,380 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$.

Lösningens pH-värde:

$$\text{pH} = -\lg 7,380 \cdot 10^{-5} = 4,1319 \approx 4,13.$$

(Henderson-Hasselbalchs ekvation leder till samma resultat:

$$\text{pH} = 4,2007 + \lg \frac{0,018506}{0,021837} = 4,2007 - 0,07188 = 4,1288 \approx 4,13.)$$

b)

$$c_1(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 0,021837 \text{ mol/dm}^3 \text{ (från a-uppgiften)}$$

$$c_1(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) = 0,018506 \text{ mol/dm}^3 \text{ (från a-uppgiften)}$$

$$V_1 = 750 \text{ ml} = 0,750 \text{ dm}^3$$

$$V_2 = 10 \text{ dm}^3$$

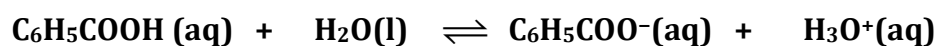
$$K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

pH=?

Vi beräknar bensoesyra- och bensoatkoncentrationerna i den utspädda lösningen:

$$c_2(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = \frac{c_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{0,021837 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,750 \text{ dm}^3}{10 \text{ dm}^3} = 1,638 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

$$c_2(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) = \frac{c_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{0,018506 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,750 \text{ dm}^3}{10 \text{ dm}^3} = 1,388 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$



C_i början (mol/dm ³)	$1,638 \cdot 10^{-3}$	-	$1,388 \cdot 10^{-3}$	0
förändring (mol/dm ³)	-x	-	+x	+x
$C_{\text{jämvikt}}$ (mol/dm ³)	$1,638 \cdot 10^{-3} - x$	-	$1,388 \cdot 10^{-3} + x$	x

Vi beräknar värdet för x ur uttrycket för syrakonstanten för bensoesyra

$$K_a = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}]} \Rightarrow 6,3 \cdot 10^{-5} = \frac{(1,388 \cdot 10^{-3} + x) \cdot x}{1,638 \cdot 10^{-3} - x}$$

Vi får följande svar som lösning till ekvationen:

$$x_1 = 6,794 \cdot 10^{-5} \text{ och}$$

$$x_2 = -1,519 \cdot 10^{-3}$$

Enbart x_1 är rimlig eftersom oxoniumjonkoncentrationen (och bensoatkoncentrationen) borde öka.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 6,794 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

Den utspädda buffertlösningens pH-värde: $\text{pH} = -\lg 6,794 \cdot 10^{-5} = 4,1679 \approx 4,17$.

Svar:

a) $\text{pH} = 4,13$

b) $\text{pH} = 4,17$.

5.27

Lösning:

a)

Det går att framställa buffertlösningen genom att neutralisera hälften av ättiksyramolekylerna med natriumhydroxid. Efter det här är koncentrationen av ättiksyran och dess korresponderande bas (acetatjoner) lika stora i lösningen. Då är lösningens buffertkapacitet så bra som möjligt.

Beräkna pH:

$$V(\text{CH}_3\text{COOH}) = 500 \text{ ml} = 0,500 \text{ dm}^3$$

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

$$c(\text{NaOH}) = 0,50 \text{ mol/dm}^3$$

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

$$\text{pH} = ?$$

Vi beräknar substansmängden ättiksyra i 500 ml:

$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,10 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,500 \text{ dm}^3 = 0,05000 \text{ mol.}$$

När vi neutraliserar hälften av ättiksyran är det neutraliserade $n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,02500 \text{ mol}$.

Enligt neutralisationsreaktionen är $n(\text{NaOH}) = n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,02500 \text{ mol}$.

Volymen natriumhydroxidlösning som behövs:

$$V(\text{NaOH}) = \frac{0,02500 \text{ mol}}{0,50 \text{ mol/dm}^3} = 0,05000 \text{ dm}^3.$$

Efter att man tillsatt NaOH är $n(\text{CH}_3\text{COOH}) = n(\text{CH}_3\text{COO}^-)$ och buffertlösningens volym:

$$0,500 \text{ dm}^3 + 0,0500 \text{ dm}^3 = 0,5500 \text{ dm}^3.$$

Vi beräknar utgångskoncentrationerna för ättiksyran och acetatjonerna:

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{0,02500 \text{ mol}}{0,5500 \text{ dm}^3} = 0,04545 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = \frac{0,02500 \text{ mol}}{0,5500 \text{ dm}^3} = 0,04545 \text{ mol/dm}^3.$$

Vi gör en tabell över utgångskoncentrationerna, koncentrationernas förändringar och jämviktskoncentrationerna:

	CH₃COOH(aq) + H₂O(l) ⇌ CH₃COO⁻(aq) + H₃O⁺(aq)			
<i>C</i> _i början (mol/dm ³)	0,04545	-	0,04545	0
förändring (mol/dm ³)	-x	-	+x	+x
<i>C</i> _{jämvikt} (mol/dm ³)	0,04545 - x	-	0,04545 + x	x

Vi beräknar värdet för x med hjälp av uttrycket för syrakonstanten för ättiksyra:

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-5} = \frac{(0,04545 + x) \cdot x}{0,04545 - x}.$$

Vi får följande svar som lösning till ekvationen:

$$x_1 = 1,799 \cdot 10^{-5} \text{ och}$$

$$x_2 = -0,04549.$$

Av de här är enbart x₁ rimlig eftersom koncentrationen av oxoniumjoner (och acetatjoner) ska öka.

I buffertlösningen är $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,799 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$.

Lösningens pH-värde:

$$\text{pH} = -\lg 1,799 \cdot 10^{-5} = 4,7450 \approx 4,75.$$

b)

$$c_{\text{i början}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,04545 \text{ mol/dm}^3 \text{ (från a-uppgiften)}$$

$$c_{\text{i början}}(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 0,04545 \text{ mol/dm}^3 \text{ (från a-uppgiften)}$$

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

$$V(\text{HCl}) = 2,0 \text{ ml} = 0,0020 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{HCl}) = 0,50 \text{ mol/dm}^3$$

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

$$\text{pH} = ?$$

Prognos: Eftersom vi tillsätter syra i buffertlösningen sjunker lösningens pH-värde en aning.

Uträkning:

Vi beräknar substansmängden för ättiksyran och acetatjonerna i 100 ml buffertlösning:

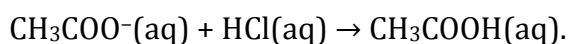
$$n(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,100 \text{ dm}^3 \cdot 0,04545 \text{ mol/dm}^3 = 4,545 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{CH}_3\text{COO}^-) = 0,100 \text{ dm}^3 \cdot 0,04545 \text{ mol/dm}^3 = 4,545 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

Vi beräknar substansmängden saltsyra som tillsatts:

$$n(\text{HCl}) = 0,50 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0020 \text{ dm}^3 = 1,000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}.$$

När man tillsätter saltsyra sker följande reaktion:



Den här reaktionen leder till att acetatjonernas substansmängd minskar till $1,000 \cdot 10^{-3}$ mol och ättiksyrans substansmängd ökar till $1,000 \cdot 10^{-3}$ mol. Buffertlösningens nya volym är 102 ml.

Vi beräknar utgångskoncentrationerna för ättiksyran och acetatjonerna:

$$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{(4,545 \cdot 10^{-3} + 1,000 \cdot 10^{-3}) \text{ mol}}{0,102 \text{ dm}^3} = 0,05436 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{CH}_3\text{COO}^-) = \frac{(4,545 \cdot 10^{-3} - 1,000 \cdot 10^{-3}) \text{ mol}}{0,102 \text{ dm}^3} = 0,03475 \text{ mol/dm}^3.$$

Vi gör en tabell över utgångskoncentrationerna, koncentrationernas förändringar och jämviktskoncentrationerna för ämnena i buffertlösningen:

	$\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) +$	$\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons$	$\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) +$	$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$
C_i början (mol/dm ³)	0,05436	-	0,03475	0
förändring (mol/dm ³)	-x	-	+x	+x
$C_{\text{jämvikt}}$ (mol/dm ³)	0,05436 - x	-	0,03475 + x	x

Vi beräknar värdet för x ur uttrycket för syrakonstanten för ättiksyra:

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-5} = \frac{(0,03475 + x) \cdot x}{0,05436 - x}$$

Vi får följande svar som lösning till ekvationen:

$$x_1 = 2,812 \cdot 10^{-5} \text{ och}$$

$$x_2 = -0,03480.$$

Enbart x_1 är rimlig eftersom oxoniumjonkoncentrationen (och acetatjonkoncentrationen) borde öka.

I buffertlösningen är $[\text{H}_3\text{O}^+] = 2,812 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$.

Lösningens pH-värde:

$$\text{pH} = -\lg 2,812 \cdot 10^{-5} = 4,5496 \approx 4,55.$$

Svar:

a) Vi kan framställa buffertlösningen genom att neutralisera hälften av ättiksyramolekylerna med natriumhydroxid.

$$\text{pH} = 4,75.$$

b) Buffertlösningens pH sjunker en aning. $\text{pH} = 4,55$.

5.28

Lösning:

$$c(\text{NH}_3) = 1,0 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{buffertlösning}) = 10 \text{ dm}^3$$

$$\text{pH} = 9,00$$

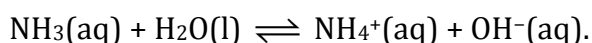
$$M(\text{NH}_4\text{Cl}) = 53,492 \text{ g/mol}$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

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

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = ?$$

Jämvikten i buffertlösningen:



Vi beräknar lösningens pOH och därefter hydroxidjonkoncentrationen med hjälp av pH-värdet:

$$\text{pOH} = \text{p}K_w - \text{pH} = 13,9965 - 9,00 = 4,9965$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-4,9965} = 1,008 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3.$$

Vi beräknar utgångskoncentrationen för ammoniumjonerna i buffertlösningen med x och gör en tabell med utgångs- och jämviktskoncentrationerna samt koncentrationernas förändringar.

	$\text{NH}_3(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{NH}_4^+(\text{aq})$	+	$\text{OH}^-(\text{aq})$
C_i början (mol/dm ³)	1,0		-		x		0
C förändring (mol/dm ³)	$-1,008 \cdot 10^{-5}$		-		$+1,008 \cdot 10^{-5}$		$+1,008 \cdot 10^{-5}$
C jämvikt (mol/dm ³)	$1,0 - 1,008 \cdot 10^{-5}$		-		$x + 1,008 \cdot 10^{-5}$		$1,008 \cdot 10^{-5}$

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för baskonstanten för ammoniak och beräknar x :

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-5} = \frac{(x + 1,008 \cdot 10^{-5}) \cdot 1,008 \cdot 10^{-5}}{(1,0 - 1,008 \cdot 10^{-5})}.$$

Ekvationen ger oss $x = 1,786$

$$C_{i \text{ början}}(\text{NH}_4^+) = 1,786 \text{ mol/dm}^3.$$

Vi beräknar massan för ammoniumkloriden i 10 liter buffertlösning:

$$n(\text{NH}_4\text{Cl}) = n(\text{NH}_4^+) \Rightarrow c(\text{NH}_4^+) \cdot V(\text{buffertlösning}) = 1,786 \text{ mol/dm}^3 \cdot 10 \text{ dm}^3 = 17,86 \text{ mol}$$

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 17,86 \text{ mol} \cdot 53,492 \text{ g/mol} = 955,4 \text{ g} \approx 960 \text{ g}.$$

Man kontrollerar pH-värdet genom att kalibrera pH-mätaren med en kommersiell buffertlösning och mäter den framställda lösningens pH.

Svar:

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 960 \text{ g}.$$

Man kontrollerar pH-värdet genom att kalibrera pH-mätaren med en kommersiell buffertlösning och mäter den framställda lösningens pH.

5.29

Lösning:

a)

När vi använder Henderson-Hasselbalchs ekvation antar vi att förändringen i utgångskoncentrationen av den svaga syran och korresponderande basen (eller svaga basen och korresponderande syran) är så liten att vi kan beräkna pH-värdet för en buffertlösning tillräckligt noggrant genom att endast använda utgångskoncentrationen. Det lönar sig att nämna antagandet när du använder Henderson-Hasselbalchs ekvation.

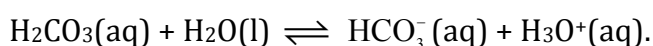
$$c(\text{HCO}_3^-) = [\text{HCO}_3^-] = 0,027 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{H}_2\text{CO}_3) = [\text{H}_2\text{CO}_3] = 0,0014 \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{p}K_a(\text{H}_2\text{CO}_3) = 6,10$$

$$\text{pH} = ?$$

Mellan kolsyran som lösts i vatten och dess korresponderande bas, vätekarbonatjonerna, råder följande jämviktstillstånd:



Enligt Henderson-Hasselbalchs ekvation:

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \lg \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \Rightarrow \text{pH} = 6,10 + \lg \frac{0,027}{0,0014} = 6,10 + 1,285 = 7,385 \approx 7,39.$$

b)

När vi använder Henderson-Hasselbalchs ekvation antar vi att förändringen i utgångskoncentrationen av den svaga syran och korresponderande basen (eller svaga basen och korresponderande syran) är så liten att vi kan beräkna pH-värdet för en buffertlösning tillräckligt noggrant genom att endast använda utgångskoncentrationen. Det lönar sig att nämna antagandet när du använder Henderson-Hasselbalchs ekvation.

$$c(\text{HCO}_3^-) = 0,027 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{H}_2\text{CO}_3) = 0,0014 \text{ mol/dm}^3$$

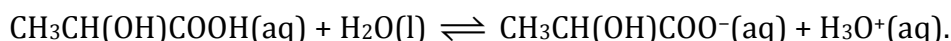
$$\text{p}K_a(\text{H}_2\text{CO}_3) = 6,10$$

$$n(\text{mjölksyra}) = 8,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

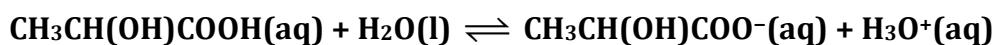
$$\text{p}K_a(\text{mjölksyra}) = 3,86.$$

$$\text{pH} = ?$$

Mjölksyra (2-hydroxidpropansyra) är en envärd, svag syra som protolyseras enligt följande:



Vi beräknar hur mycket oxoniumjoner mjölksyran i blodet producerar:



C_i början(mol/dm ³)	$8,0 \cdot 10^{-4}$	-	0	0
förändring(mol/dm ³)	-x	-	+x	+x
$C_{\text{jämvikt}}$ (mol/dm ³)	$8,0 \cdot 10^{-4} - x$	-	x	x

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för syrakonstanten för mjölksyra och beräknar x :

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}]} \Rightarrow 1,4 \cdot 10^{-4} = \frac{x^2}{8,0 \cdot 10^{-4} - x}$$

Vi får följande svar som lösning till ekvationen:

$$x_1 = 2,719 \cdot 10^{-4} \text{ och}$$

$$x_2 = -4,119 \cdot 10^{-4}$$

Enbart x_1 är rimlig eftersom oxoniumjonkoncentrationen (och laktatjonkoncentrationen) borde öka..

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 2,719 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

Det basiska ämnet i kolsyravätekarbonatbuffertlösningen (vätekarbonatjonerna) reagerar med de oxoniumjoner som mjölksyran producerar, varpå koncentrationen av vätekarbonatjoner minskar samtidigt som koncentrationen av kolsyran ökar.

De nya koncentrationerna i buffertsystemet:

$$c(\text{HCO}_3^-) = [\text{HCO}_3^-] = 0,027 \text{ mol/dm}^3 - 2,719 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 = 0,02673 \text{ mol/dm}^3$$

$$c(\text{H}_2\text{CO}_3) = [\text{H}_2\text{CO}_3] = 0,0014 \text{ mol/dm}^3 + 2,719 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 = 0,001672 \text{ mol/dm}^3$$

Vi skriver in de nya koncentrationerna i Henderson-Hasselbalchs ekvation och beräknar pH:

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \lg \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \Rightarrow \text{pH} = 6,10 + \lg \frac{0,02673}{0,001672} = 6,10 + 1,204 = 7,304 \approx 7,30$$

Svar:

a) $\text{pH} = 7,39$

b) $\text{pH} = 7,30$.

5.30

Lösning:

a)

$$pK_a(\text{HHb}) = 8,18$$

$$pK_a(\text{HHbO}_2) = 6,62.$$

Enligt definitionen är $pK_a = -\lg K_a$. Eftersom oxihemoglobinet (HHbO_2) pK_a -värde är lägre måste dess K_a -värde vara större, alltså är det en starkare syra.

Vi kan kontrollera det här genom att beräkna K_a -värdena:

$$K_a(\text{HHb}) = 10^{-8,18} = 6,6 \cdot 10^{-9} \text{ mol/dm}^3.$$

$$K_a(\text{HHbO}_2) = 10^{-6,62} = 2,4 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3.$$

b)

$$pK_a(\text{HHb}) = 8,18$$

$$pK_a(\text{HHbO}_2) = 6,62$$

$$\text{pH} = 7,4$$

$$\%(\text{HHb}) = ?$$

$$\%(\text{HHbO}_2) = ?$$

Med hjälp av Henderson-Hasselbalchs ekvation löser vi ut syraformernas andelar enligt följande:

HHb-form:

$$7,40 = 8,18 + \lg \frac{[\text{Hb}^-]}{[\text{HHb}]} \Rightarrow \lg \frac{[\text{Hb}^-]}{[\text{HHb}]} = -0,78 \Rightarrow \frac{[\text{Hb}^-]}{[\text{HHb}]} = 0,1660.$$

Enligt förhållandet mellan koncentrationerna är andelen HHb-form cirka 85,76 % \approx 86 %.

HHbO₂-form:

$$7,40 = 6,62 + \lg \frac{[\text{HbO}_2^-]}{[\text{HHbO}_2]} \Rightarrow \lg \frac{[\text{HbO}_2^-]}{[\text{HHbO}_2]} = 0,78 \Rightarrow \frac{[\text{HbO}_2^-]}{[\text{HHbO}_2]} = 6,026.$$

Enligt förhållandet mellan koncentrationerna är andelen HHbO₂-form cirka 14,23 % \approx 14 %.

Svar:

a) Oxihemoglobin är en starkare syra.. pK_a är mindre (K_a-värdet är större).

b) Andelen HHb-form är 86 %. Andelen HHbO₂-form är 14 %.

Del 5 Beräkning av pH-värdet för vattenlösningar

5.5 Flervärda protolyters och saltlösningars pH – Facit

5.31

Lösning:

$$c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,20 \text{ mol/dm}^3$$

$$pK_b(\text{CO}_3^{2-}) = 3,68$$

$$pK_b(\text{HCO}_3^-) = 7,63$$

$$\text{pH} = ?$$

Vi beräknar hydroxidjonkoncentrationen efter den första protolysreaktionen:

	$\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{HCO}_3^-(\text{aq})$	+	$\text{OH}^-(\text{aq})$
C_i början (mol/dm ³)	0,20		-		0		0
förändring (mol/dm ³)	-x		-		+x		+x
$C_{\text{jämvikt}}$ (mol/dm ³)	0,20 - x		-		x		x

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för baskonstanten för karbonatjonen och löser ut x:

$$K_b(\text{CO}_3^{2-}) = 10^{-3,68} = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3.$$

$$\Rightarrow K_b = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{OH}^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} \Rightarrow 2,1 \cdot 10^{-4} = \frac{x^2}{0,20 - x}.$$

Vi får lösningen:

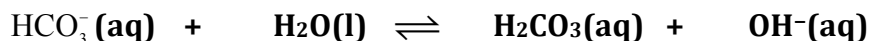
$$x_1 = 6,377 \cdot 10^{-3} \text{ och}$$

$$x_2 = -6,587 \cdot 10^{-3}.$$

Av de här duger enbart det positiva talet x_1 , eftersom hydroxidjonkoncentrationen borde öka (och karbonatjonkoncentrationen minska).

$$[\text{OH}^-] = 6,377 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Vi beräknar hur mycket hydroxidjoner som bildas i den andra protolysreaktionen:



$c_{\text{alku}} (\text{mol/dm}^3)$	$6,377 \cdot 10^{-3}$	-	0	$6,377 \cdot 10^{-3}$
förändring (mol/dm ³)	-x	-	+x	+x
$c_{\text{jämvikt}} (\text{mol/dm}^3)$	$6,377 \cdot 10^{-3} - x$	-	x	$6,377 \cdot 10^{-3} + x$

$$K_b(\text{HCO}_3^-) = 10^{-7,63} = 2,3 \cdot 10^{-8} \text{ mol/dm}^3.$$

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för baskonstanten för vätekarbonatjonen och löser ut x:

$$K_b = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3][\text{OH}^-]}{[\text{HCO}_3^-]} \Rightarrow 2,3 \cdot 10^{-8} = \frac{x \cdot (6,377 \cdot 10^{-3} + x)}{6,377 \cdot 10^{-3} - x}.$$

Vi får lösningen:

$$x_1 = 2,300 \cdot 10^{-8} \text{ och}$$

$$x_2 = -6,377 \cdot 10^{-3}.$$

Av de här duger enbart det positiva talet x_1 , eftersom hydroxidjonkoncentrationen borde öka (och karbonatjonkoncentrationen minska).

$$[\text{OH}^-] = 2,300 \cdot 10^{-8} \text{ mol/dm}^3.$$

Den totala koncentrationen för hydroxidjonerna:

$$[\text{OH}^-] = 6,377 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3 + 2,300 \cdot 10^{-8} \text{ mol/dm}^3 = 6,377 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

Eftersom vätekarbonatjonen är en betydligt svagare bas än karbonatjonen är det bara den hydroxidjonkoncentration som karbonatjonen producerar som påverkar lösningens pH-värde.

$$\text{pOH} = 2,1954.$$

Lösningens pH-värde:

$$\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH} = 13,9965 - 2,1954 = 11,8011 \approx 11,80.$$

Svar:

pH = 11,80.

5.32

Lösning:

$$m((\text{COOH})_2) = 500 \text{ mg} = 0,500 \text{ g}$$

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

$$M((\text{COOH})_2) = 90,036 \text{ g/mol}$$

$$K_{a1} = 5,4 \cdot 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_{a2} = 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

pH = ?

Vi beräknar oxalsyrakoncentrationen:

$$c((\text{COOH})_2) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{0,500 \text{ g}}{90,036 \text{ g/mol} \cdot 0,100 \text{ dm}^3} = 0,055533 \text{ mol/dm}^3.$$

Oxalsyrans första protolysreaktion:



Vi beräknar oxoniumjonkoncentrationen efter den första protolysreaktionen:

$(\text{COOH})_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{COOH-COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$				
C_i början (mol/dm ³)	0,055533	-	0	0
förändring (mol/dm ³)	-x	-	+x	+x
C_j jämvikt (mol/dm ³)	0,055533 - x	-	x	x

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för syrakonstanten av oxalsyra och löser ut x:

$$K_a = \frac{[\text{COOH-COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[(\text{COOH})_2]} \Rightarrow 5,4 \cdot 10^{-2} = \frac{x^2}{0,055533 - x}.$$

Vi får lösningen:

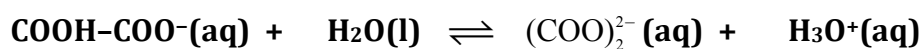
$$x_1 = 0,03406 \text{ och}$$

$$x_2 = -0,08806.$$

Av de här duger enbart det positiva talet x_1 , eftersom oxoniumjonkoncentrationen borde öka (och oxalsyrakoncentrationen minska).

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,03406 \text{ mol/dm}^3.$$

Vi räknar ut hur mycket oxoniumjoner det bildas i den andra protolysreaktionen:



C_i början (mol/dm ³)	0,03406	-	0	0,03406
förändring (mol/dm ³)	-x	-	+x	+x
$C_{\text{jämvikt}}$ (mol/dm ³)	0,03406 - x	-	x	0,03406 + x

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för syrakonstanten för väteoxalat och löser ut x:

$$K_a = \frac{[(\text{COO})_2^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{COOH-COO}^-]} \Rightarrow 5,4 \cdot 10^{-5} = \frac{x \cdot (0,03406 - x)}{0,03406 - x}.$$

Vi får lösningen:

$$x_1 = 5,383 \cdot 10^{-5} \text{ och}$$

$$x_2 = -0,03406,$$

Av de här duger enbart det positiva talet x_1 , eftersom oxoniumjonkoncentrationen borde öka (och oxalsyrakoncentrationen minska).

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 5,383 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3.$$

Vi beräknar oxoniumjonernas totalkoncentration:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = (0,03406 + 5,383 \cdot 10^{-5}) \text{ mol/dm}^3 = 0,03411 \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{pH} = -\lg 0,03411 = 1,4671 \approx 1,47.$$

Svar:

pH = 1,47.

5.34

Lösning:

a) Neutralisationsreaktionens reaktionslikhet: $\text{HCl(aq)} + \text{NH}_3(\text{aq}) \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl(aq)}$.

Ammonium är en starkare syra än vatten, alltså är den saltlösning som bildas vid ekvivalenspunkten sur.

b) Neutralisationsreaktionens reaktionslikhet: $\text{KOH(aq)} + \text{HI(aq)} \rightarrow \text{KI(aq)} + \text{H}_2\text{O(l)}$.

Jodidjonen är en svagare bas än vatten, alltså är den saltlösning som bildas vid ekvivalenspunkten neutral.

c) Neutralisationsreaktionens reaktionslikhet $\text{NaHCO}_3(\text{aq}) + \text{NaOH(aq)} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O(l)}$.

Karbonatjonen är en starkare bas än vatten, alltså är den saltlösning som bildas vid ekvivalenspunkten basisk.

Svar:

a) Lösningen är sur.

b) Lösningen är neutral.

c) Lösningen är basisk.

5.36

Lösning:

$$m(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}) = 3,818 \text{ g}$$

$$M(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}) = 144,100 \text{ g/mol}$$

$$V(\text{lösning}) = 500 \text{ ml}$$

$$\text{p}K_w = 13,9965$$

$$K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

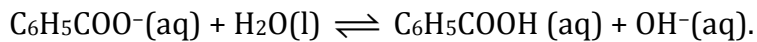
$$\text{pH} = ?$$

Natriumbensoat löser sig i vatten enligt följande: $\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO(s)} \rightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-(\text{aq})$.

Vi beräknar natriumbensoatlösningens koncentration:

$$c(\text{NaC}_6\text{H}_5\text{COO}) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{3,818 \text{ g}}{144,100 \text{ g/mol} \cdot 0,500 \text{ dm}^3} = 0,052991 \text{ mol/dm}^3.$$

Av jonerna i saltet är enbart bensoatjonen en protolyt (svag bas). Dess protolysreaktion är följande:



Bensoatjonen är bensoesyrens korresponderande bas, vars baskonstant vi kan beräkna med hjälp av uttrycket

$$K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) \cdot K_b(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) = K_w$$

$$\Rightarrow K_b(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) = \frac{K_w}{K_a(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol}/\text{dm}^3)^2}{6,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol}/\text{dm}^3} = 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ mol}/\text{dm}^3.$$

Vi gör upp en tabell över bensoatjonens protolysreaktion:

	C₆H₅COO⁻(aq) +	H₂O(l)	⇌	C₆H₅COOH(aq) +	OH⁻(aq)
<i>C_i</i> början (mol/dm ³)	0,052991	-		0	0
förändring (mol/dm ³)	-x	-		+x	+x
<i>C_j</i> jämvikt (mol/dm ³)	0,052991 - x	-		x	x

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för bensoatjonens baskonstant och löser ut *x*:

$$K_b = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-]} \Rightarrow 1,6 \cdot 10^{-10} = \frac{x^2}{0,052991 - x}.$$

Vi får lösningen:

$$x_1 = 2,912 \cdot 10^{-6} \text{ och}$$

$$x_2 = -2,912 \cdot 10^{-6},$$

där enbart det positiva talet *x*₁ duger, eftersom hydroxidjonkoncentrationen ska öka (och bensoatjonkoncentrationen minska).

$$[\text{OH}^-] = 2,912 \cdot 10^{-6} \text{ mol}/\text{dm}^3 \Rightarrow \text{pOH} = 5,5358.$$

Lösningens pH-värde:

$$\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH} = 13,9965 - 5,5358 = 8,4607 \approx 8,46.$$

Svar:

$$\text{pH} = 8,46$$

5.37

Lösning:

a)

$$V(\text{lösning}) = 1,0 \text{ l}$$

$$\text{pH} = 2,50$$

$$K_a(\text{HSO}_4^-) = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$M(\text{NaHSO}_4) = 120,068 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{NaHSO}_4) = ?$$

Vi beräknar lösningens oxoniumjonkoncentration med hjälp av pH-värdet:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2,50} = 3,162 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l.}$$

Natriumvätesulfat löser sig i vatten enligt följande: $\text{NaHSO}_4(\text{s}) \rightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HSO}_4^-(\text{aq})$.

Vätesulfatjonen protolyseras enligt följande: $\text{HSO}_4^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$.

Vi gör en tabell över vätesulfatjonens protolysreaktion. Vi betecknar vätesulfatjonens utgångskoncentration med x :

$$\text{HSO}_4^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$$

C_i början(mol/dm ³)	x	-	0	0
förändring (mol/dm ³)	$-3,162 \cdot 10^{-3}$	-	$+3,162 \cdot 10^{-3}$	$3,162 \cdot 10^{-3}$
C_j jämvikt(mol/dm ³)	$x - 3,162 \cdot 10^{-3}$	-	$3,162 \cdot 10^{-3}$	$3,162 \cdot 10^{-3}$

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för vätesulfatjonens syrakonstant och löser ut x :

$$K_a(\text{HSO}_4^-) = \frac{[\text{SO}_4^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HSO}_4^-]} \Rightarrow 1,1 \cdot 10^{-2} = \frac{(3,162 \cdot 10^{-3}) \cdot (3,162 \cdot 10^{-3})}{x - 3,162 \cdot 10^{-3}}$$

Vi får lösningen:

$$x = 4,071 \cdot 10^{-3} \Rightarrow c(\text{HSO}_4^-)_{\text{i början}} = 4,071 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l.}$$

Enligt upplösningsreaktionen är också $c(\text{NaHSO}_4) = c(\text{HSO}_4^-) = 4,071 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l.}$

Den substansmängd natriumvätesulfat som behövs:

$$n(\text{NaHSO}_4) = 4,071 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} \cdot 1,0 \text{ l} = 4,071 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Massan för den mängd natriumvätesulfat som behövs:

$$m(\text{NaHSO}_4) = 4,071 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 120,068 \text{ g/mol} = 0,4888 \text{ g} \approx 0,49 \text{ g.}$$

b)

$$n(\text{NaHSO}_4) = 4,071 \cdot 10^{-3} \text{ mol (från a-uppgiften)}$$

$$M(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 74,096 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = ?$$

Neutralisationsreaktionens reaktionslikhet:



Enligt reaktionslikheten

$$\frac{n(\text{Ca}(\text{OH})_2)}{n(\text{NaHSO}_4)} = \frac{1}{2} \Rightarrow n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{NaHSO}_4) = \frac{1}{2} \cdot 4,071 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 2,036 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Massan för den mängd kalciumhydroxid som behövs:

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 2,036 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 74,096 \text{ g/mol} = 0,1509 \text{ g} \approx 0,15 \text{ g.}$$

Svar:

a) $m(\text{NaHSO}_4) = 0,49 \text{ g}$

b) $m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 0,15 \text{ g}$

5.38

Lösning:

$$V(\text{HNO}_3) = 15 \text{ ml} = 0,015 \text{ dm}^3$$

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

$$M(\text{HNO}_3) = 63,018 \text{ g/mol}$$

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

$$\text{pH(A)} = ?$$

$$\text{pH(B)} = ?$$

Neutralisationsreaktionens reaktionslikhet: $\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{NaNO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

Enligt titrerkurvan är $V(\text{NaOH}) = 6,0 \text{ ml}$ vid ekvivalenspunkten.

Vi beräknar natriumhydroxidens substansmängd:

$$n(\text{NaOH}) = 0,10 \text{ mol/l} \cdot 0,0060 \text{ l} = 6,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Enligt neutralisationsreaktionens reaktionslikhet $n(\text{HNO}_3) = n(\text{NaOH}) = 6,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$.

Massan salpetersyra som efterfrågas:

$$m(\text{HNO}_3) = 6,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 63,018 \text{ g/mol} = 0,03781 \text{ g} \approx 38 \text{ mg.}$$

pH i punkt A:

$$V(\text{NaOH}) = 4,0 \text{ ml} = 0,0040 \text{ l}$$

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

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) = 0,10 \text{ mol/l} \cdot 0,0040 \text{ l} = 4,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

$$n(\text{HNO}_3) = 6,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol (från föregående uträkning).}$$

I punkt A är substansmängden salpetersyramolekyler som inte neutraliserats

$$n(\text{HNO}_3) = (6,000 \cdot 10^{-4} - 4,000 \cdot 10^{-4}) \text{ mol} = 2,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

$$V(\text{lösning}) = 15 \text{ ml} + 4,0 \text{ ml} = 19,0 \text{ ml} = 0,019 \text{ dm}^3.$$

Salpetersyrans koncentration:

$$c(\text{HNO}_3) = \frac{n(\text{HNO}_3)}{V(\text{lösning})} = \frac{2,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,019 \text{ dm}^3} = 0,01053 \text{ mol/dm}^3.$$

Salpetersyra är en envärd, stark syra, alltså ör

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = c(\text{HNO}_3) = 0,01053 \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}_3\text{O}^+] = -\lg 0,01053 \approx 1,9776 \approx 1,98.$$

pH i punkt B:

$$V(\text{NaOH}) = 7,0 \text{ ml} = 0,0070 \text{ l}$$

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

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) = 0,10 \text{ mol/l} \cdot 0,0070 \text{ l} = 7,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$

$$n(\text{HNO}_3) = 6,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol (från föregående uträkning)}$$

Man har tillsatt 7,0 ml natriumhydroxidlösning i salpetersyran. Syran har neutraliserats helt och det finns ett överskott av basen.

Vi beräknar substansmängden för hydroxidjonerna som tillsatts i överskott:

$$n(\text{OH}^-) = (7,000 \cdot 10^{-4} - 6,000 \cdot 10^{-4}) \text{ mol} = 1,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol}.$$

Lösningens hydroxidjonkoncentration i punkt B:

$$[\text{OH}^-] = \frac{1,000 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{(0,015 + 0,0070) \text{ dm}^3} = 4,545 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{pOH} = 2,3425$$

$$\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH} = 13,9965 - 2,3425 = 11,6540 \approx 11,65.$$

I ekvivalenspunkten har all syra neutraliserats och lösningens pH-värde bestäms av det salt som bildats. När salpetersyra reagerar med natriumhydroxid bildas natriumnitrat. Natriumjoner uppvisar inte syra-baseegenskaper. Eftersom nitratjonen är en svagare bas än vatten är lösningen neutral.

Svar:

$$m(\text{HNO}_3) = 38 \text{ mg}$$

I punkt A $\text{pH} = 1,98$.

I punkt B $\text{pH} = 11,65$

Saltlösningen (NaNO_3) som bildades i neutralisationsreaktionen är neutral.

5.39

Lösning:

$$V(\text{HCl}) = 50,0 \text{ ml} = 0,0500 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{HCl}) = 0,127 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 10,0 \text{ ml} = 0,0100 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,0125 \text{ mol/dm}^3$$

$\text{pH} = ?$

Eftersom saltsyran är en stark syra är substansmängden för oxoniumjonerna i saltsyralösningen

$$n(\text{H}_3\text{O}^+) = n(\text{HCl}) = 0,127 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0500 \text{ dm}^3 = 6,3500 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Substansmängden för hydroxidjonerna i bariumhydroxidlösningen:

$$n(\text{OH}^-) = 2 \cdot n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 2 \cdot 0,0125 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0100 \text{ dm}^3 = 2,5000 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Eftersom $n(\text{H}_3\text{O}^+) > n(\text{OH}^-)$ blir det kvar oxoniumjoner som inte neutraliserats. Substansmängden oxoniumjoner efter att man tillsatt bariumhydroxidlösning:

$$n(\text{H}_3\text{O}^+) = 6,3500 \cdot 10^{-3} \text{ mol} - 2,5000 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 6,1000 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

Oxoniumjonkoncentrationen i blandningen:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{n(\text{H}_3\text{O}^+)}{V(\text{lösning})} = \frac{6,1000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{(0,0500 + 0,0100) \text{ dm}^3} = 0,10167 \text{ mol/dm}^3.$$

Lösningens pH-värde:

$$\text{pH} = -\lg 0,10167 \approx 0,99281 \approx 0,993.$$

Svar:

$$\text{pH} = 0,993.$$

5.40

Lösning:

a)

$$c(\text{NaOH}) = 0,080 \text{ mol/dm}^3$$

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

$$\text{pH} = ?$$

Neutralisationsreaktionens reaktionslikhet: $\text{HBr}(\text{aq}) + \text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{NaBr}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

Natriumjoner uppvisar inte syra-basegenskaper. Eftersom bromidjonen är en svagare bas än vatten bestäms lösningens pH-värde av vattnets autoprotolys.

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] \Rightarrow 1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3) = x^2$$

$$x = 1,004 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3 = [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$\text{pH} = -\lg 1,004 \cdot 10^{-7} = 6,9982 \approx 7,00.$$

b)

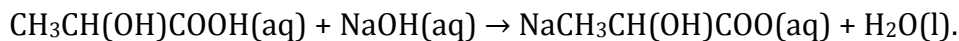
$$c(\text{NaOH}) = 0,080 \text{ mol/dm}^3$$

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

$$K_a(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}) = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$$

$$\text{pH} = ?$$

Neutralisationsreaktionens reaktionslikhet:



Saltet som bildas i reaktionen är natriumlaktat $\text{NaCH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}$, vars laktatjon $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-$ är den korresponderande basen till mjölksyra.

Vi beräknar laktatjonens baskonstant:

$$K_b(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-) = \frac{K_w}{K_a(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH})} = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3)^2}{1,4 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3}$$
$$= 7,2 \cdot 10^{-11} \text{ mol/dm}^3.$$

Eftersom laktatjonen är en starkare syra än vatten påverkar saltet lösningens pH-värde när det löser sig. Vi beräknar natriumlaktatkoncentrationen enligt följande:

Vi betecknar den titrerade mjölksyralösningens volym med $V_1 \text{ dm}^3$.

Mjölksyrans substansmängd i den här volymen:

$$n(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}) = c(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}) \cdot V_1 \text{ dm}^3 = 0,10 \text{ mol/dm}^3 \cdot V_1 \text{ dm}^3 = 0,10 \cdot V_1 \text{ mol}.$$

Vi betecknar den volym natriumhydroxid som behövs för neutralisationen med $V_2 \text{ dm}^3$.

Substansmängden natriumhydroxid som behövs för neutralisationen:

$$n(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH}) \cdot V_2 = 0,080 \cdot V_2 \text{ mol}.$$

Vid ekvivalenspunkten är $n(\text{NaOH}) = n(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}) \Rightarrow 0,080 \cdot V_2 \text{ mol} = 0,10 \cdot V_1 \text{ mol}$.

När vi löser ut V_2 ur det får vi $V_2 = 1,25 \cdot V_1$.

Eftersom $n(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-) = n(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH})$, får vi följande uttryck för laktatjonkoncentrationen:

$$c(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-) = \frac{n(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-)}{V(\text{lösning})} = \frac{0,10 \cdot V_1 \text{ mol}}{(V_1 + V_2) \text{ dm}^3} = \frac{0,10 \cdot V_1 \text{ mol}}{(V_1 + 1,25 \cdot V_1) \text{ dm}^3}$$

Det här ger oss $c(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-) = 0,04444 \text{ mol/dm}^3$.

Vi gör en tabell över laktatjonens protolysreaktion:

	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH} + \text{OH}^-(\text{aq})$			
C_i början (mol/dm ³)	0,04444	-	0	0
förändring (mol/dm ³)	-x	-	+x	+x
$C_{\text{jämvikt}}$ (mol/dm ³)	0,04444 - x	-	x	x

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för laktatjonens baskonstant och löser ut x:

$$K_b(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-) = \frac{[\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-]} \Rightarrow 7,2 \cdot 10^{-11} = \frac{x^2}{0,04444 - x}$$

Vi får lösningen:

$$x_1 = -1,766 \cdot 10^{-6} \text{ och}$$

$$x_2 = 1,766 \cdot 10^{-6},$$

av vilka enbart den positiva roten är rimlig, eftersom hydroxidjonkoncentrationen borde öka och laktatjonkoncentrationen minska.

$$[\text{OH}^-] = 1,766 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{pOH} = 5,7530$$

Lösningens pH-värde:

$$\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH} = 13,9965 - 5,7530 = 8,2435 \approx 8,24.$$

Svar:

a) pH = 7,00

b) pH = 8,24

Del 5 Beräkning av pH-värdet för vattenlösningar

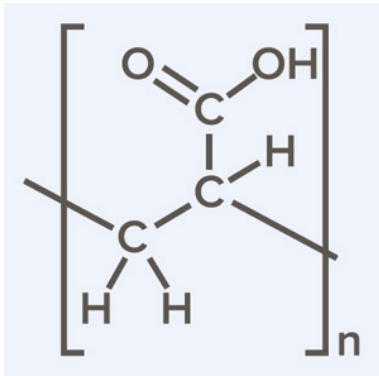
Öva mera! – facit

Studentexamensuppgifter

1.

Lösning:

a)



Polyakrylsyrans natriumsalt löser sig i vatten som Na^+ - och polyakrylatjoner som har en negativ laddning. Vattenmolekyler "sugs in" i polymeren och bildar många vätebindningar till polyakrylatjonernas negativa karboxylatdelar ($n \cdot \text{-COO}^-$). Vattenmolekylerna blir "tillfångatagna" i polymerens struktur eftersom den har en nätstruktur.

b)

$$c(\text{akrylsyra}) = 0,500 \text{ mol/dm}^3$$

$$V(\text{akrylsyra}) = 10,0 \text{ ml} = 0,0100 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{NaOH}) = 0,200 \text{ mol/dm}^3$$

$$K_a(\text{akrylsyra}) = 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$$

$$K_w = 1,008 \cdot 10^{-14} (\text{mol/dm}^3)^2$$

$$\text{pH} = ?$$

Neutralisationsreaktionen är: $\text{CH}_2=\text{CHCOOH}(\text{aq}) + \text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{CH}_2=\text{CHCOONa}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.

$$n(\text{akrylsyra}) = 0,500 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0,0100 \text{ dm}^3 = 5,0000 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

I ekvivalenspunkten är $n(\text{NaOH}) = n(\text{CH}_2=\text{CHCOOH}) = 5,0000 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$

Vi beräknar vilken volym natriumhydroxidlösning som gått åt för att neutralisera akrylsyran:

$$V(\text{NaOH}) = \frac{5,0000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,200 \text{ mol/dm}^3} = 0,025000 \text{ dm}^3.$$

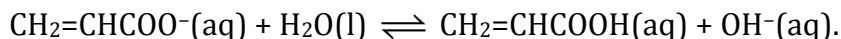
Lösningens totala volym är $0,0100 \text{ dm}^3 + 0,0250 \text{ dm}^3 = 0,0350 \text{ dm}^3$.

I ekvivalenspunkten avgörs lösningens pH av det salt som bildas. Natriumjonen saknar syra-
basegenskaper, men akrylatjonen är korresponderande bas till akrylsyra. Vi beräknar
baskonstanten för akrylatjonen:

$$K_b(\text{CH}_2=\text{CHCOO}^-) = \frac{K_w}{K_a(\text{CH}_2=\text{CHCOOH})}$$

$$\Rightarrow K_b(\text{CH}_2=\text{CHCOO}^-) = \frac{1,008 \cdot 10^{-14} \text{ (mol/dm}^3)^2}{5,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3} = 1,8 \cdot 10^{-10} \text{ mol/dm}^3.$$

Akrylatjonen är en starkare bas än vatten, som producerar hydroxidjoner i vattenlösning enligt följande:



Vi beräknar $c(\text{CH}_2=\text{CHCOO}^-)$ i ekvivalenspunkten:

$$c(\text{CH}_2=\text{CHCOO}^-) = \frac{5,0000 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{0,0350 \text{ dm}^3} = 0,14286 \text{ mol/dm}^3.$$

Vi gör en tabell över akrylatjonens protolysreaktion:

	$\text{CH}_2=\text{CHCOO}^-$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$	+	$\text{OH}^-(\text{aq})$
C_i början (mol/dm ³)	0,14286		-		0		0
förändring (mol/dm ³)	-x		-		+x		+x
C_j jämvikt (mol/dm ³)	0,14286 - x		-		x		x

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycke för akrylatjonens baskonstant och bestämmer x :

$$K_b(\text{CH}_2=\text{CHCOO}^-) = \frac{[\text{CH}_2=\text{CHCOOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_2=\text{CHCOO}^-]} \Rightarrow 1,8 \cdot 10^{-10} = \frac{x^2}{0,14286 - x}$$

Vi får följande lösning:

$$x_1 = 5,070 \cdot 10^{-6} \text{ och}$$

$$x_2 = -5,071 \cdot 10^{-6},$$

där bara den positiva roten är rimlig, eftersom hydroxidjonskoncentrationen borde öka och akrylatjonkoncentrationen minska.

$$[\text{OH}^-] = 5,070 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3.$$

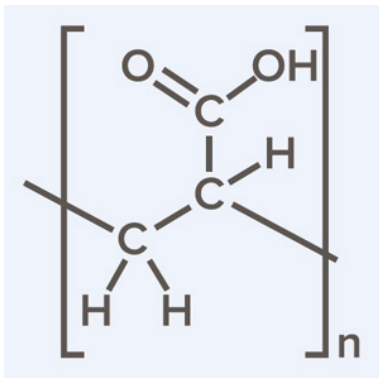
$$\text{pOH} = 5,2950$$

Lösningens pH-värde:

$$\text{pH} = \text{p}K_w - \text{pOH} = 13,9965 - 5,2950 = 8,7015 \approx 8,70.$$

Svar:

a)



Polyakrylsyrans natriumsalt löser sig i vatten som Na^+ - och polyakrylatjoner som har en negativ laddning. Vattenmolekyler "sugs in" i polymeren och bildar många vätebindningar till polyakrylatjonernas negativa karboxylatdelar ($n \cdot \text{-COO}^-$). Vattenmolekylerna blir "tillfångatagna" i polymerens struktur eftersom den har en nätstruktur.

b) $\text{pH} = 8,70$.

2.

Lösning:

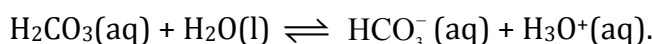
$$c(\text{H}_2\text{CO}_3) = 0,0012 \text{ mol/l}$$

$$c(\text{HCO}_3^-) = 0,024 \text{ mol/l}$$

$$K_a(\text{H}_2\text{CO}_3) = 8,1 \cdot 10^{-7} \text{ mol/l}$$

$$\text{pH} =$$

I kolsyra-vätekarbonatbufferten råder följande jämviktsläge:



Vi gör en tabell över koncentrationen för de olika ämnena i buffertlösning:

	$\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{HCO}_3^-(\text{aq})$	+	$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$
C_i början (mol/dm ³)	0,0012		-		0,024		0
förändring (mol/dm ³)	-x		-		+x		+x
$C_{\text{jämvikt}}$ (mol/dm ³)	0,0012 - x		-		0,024 + x		x

Vi skriver in jämviktskoncentrationerna i uttrycket för kolsyrans syrakonstant och bestämmer x:

$$K_a = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \Rightarrow 8,1 \cdot 10^{-7} = \frac{(0,024 + x) \cdot x}{0,0012 - x}.$$

Vi får lösningen:

$$x_1 = 4,050 \cdot 10^{-8} \text{ och}$$

$$x_2 = -0,02400,$$

där bara det positiva talet x_1 duger, eftersom oxoniumjonkoncentrationen borde öka (och kolsyrans koncentration minska).

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 4,050 \cdot 10^{-8} \text{ mol/dm}^3.$$

$$\text{pH} = -\lg 4,050 \cdot 10^{-8} = 7,3925 \approx 7,39.$$

b)

$$\text{pH}_2 = 7,35$$

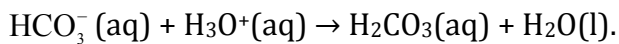
$$c(\text{H}_2\text{CO}_3) = 0,0012 \text{ mol/l}$$

$$c(\text{HCO}_3^-) = 0,024 \text{ mol/l}$$

$$V(\text{blod}) = 5,00 \text{ l}$$

$$n(\text{syra}) = ?$$

I det nya jämviktsläget är buffertlösningens $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7,35} = 4,467 \cdot 10^{-8} \text{ mol/dm}^3$. När vi tillsätter $x \text{ mol/dm}^3$ av syra x neutraliseras den av vätekarbonatjonen och följande reaktion äger rum:



Det här leder till att koncentrationen av vätekarbonatjoner minskar och kolsyrans koncentration ökar. Vätekarbonatjonens koncentration minskar $x \text{ mol/dm}^3$ och är $(0,024 - x) \text{ mol/dm}^3$ i det nya jämviktsläget. Kolsyrans koncentration ökar med $x \text{ mol/dm}^3$ och har den nya jämviktskoncentrationen $(0,0012 + x) \text{ mol/dm}^3$. I det nya jämviktsläget är $[\text{H}_3\text{O}^+] = 4,467 \cdot 10^{-8} \text{ mol/dm}^3$. Vi skriver in de här koncentrationerna i uttrycket för syrakonstanten för kolsyra och beräknar x :

$$K_a = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \Rightarrow 8,1 \cdot 10^{-7} = \frac{(0,024 - x) \cdot 4,467 \cdot 10^{-8}}{0,0012 + x} .$$

Vi får $x = 1,170 \cdot 10^{-4}$.

Koncentrationen för den envärda syra som tillsätts ska vara $1,170 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$.

Vi beräknar vilken substansmängd av syran vi ska tillsätta då blodets volym är 5,0 l:

$$n(\text{syra}) = 1,170 \cdot 10^{-4} \text{ mol/dm}^3 \cdot 5,0 \text{ dm}^3 = 5,850 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \approx 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol (0,59 mmol)}.$$

Svar:

a) $\text{pH} = 7,39$

b) $n(\text{syra}) = 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol (0,59 mmol)}$.