



1. feladat

Albrecht az Alkimisták Aukcióján kiváló áron beszerzett egy palack nitrozil-bromidot, amit rögtön alá is vetett pár vizsgálatnak. A nitrozil-bromid (NOBr) termikus disszociációja során bróm és nitrogén-monoxid keletkezik. Egy 10 literes, zárt, vákuumozott edénybe 400 g NOBr-t juttatott, majd az edényt 240°C-ra melegítette, így az egyensúlyi gázelegy klórgázra vonatkoztatott relatív sűrűsége 1,19 lett.

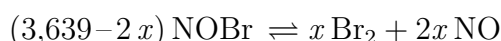
Mekkora a disszociációfok és a koncentrációkkal kifejezett egyensúlyi állandó?



1. feladat megoldás

A kiindulási NOBr tömege 400g; moláris tömege 109,91 g/mol; tehát anyagmennyisége $n = m/M = 3,639$ g/mol.

Ha a disszociálódó NOBr anyagmennyisége $2x$, akkor az alábbi, az egyensúlyi állapotot leíró egyenlet írható fel:



Az egyensúlyi gázeleggyel kapcsolatban az alábbiakat tudjuk:

1. A tömege a tömegmegmaradás törvénye miatt $m = 400$ g.
2. Az elegy klórgázra vonatkoztatott relatív sűrűsége 1,19. Mivel a gázok esetén a sűrűsége a moláris tömeggel egyenesen arányos, $M = M_{(\text{Cl}_2)} \cdot 1,19 = 84,37$ g/mol.
3. Az anyagmennyisége a fentiek alapján $n = 3,639 + x$ mol.

A fentiek szerint az alábbi egyenlet írható fel, az $n = m/M$ összefüggés alapján:

$$3,639 + x = \frac{400}{84,37}$$

amely megoldása $x = 1,102$ mol, ami az átalakult NOBr anyagmennyiségének a fele.

Disszociációfok: $\alpha = \frac{\text{disszociált}}{\text{kiindulási}} = \frac{2x}{3,639} = 0,606$

Egyensúlyi állandó: $K = \frac{[\text{Br}_2] \cdot [\text{NO}]^2}{[\text{NOBr}]^2} = \frac{x \cdot 4x^2}{(3,639 - 2x)^2} = 2,600 \text{ mol}/101 = 0,2600 \text{ mol}/1$



2. feladat

Albrecht talált a laborban egy színtelen, jellegzetes szagú folyadékot tartalmazó üvegedényt, amelyről fogalma sem volt, hogy mit tartalmaz, mert nem volt feliratozva. Abban szerencsére biztos volt, hogy ez a vegyület szénen, hidrogénen és oxigénen kívül nem tartalmaz más elemet, a vegyületet legutóbb oldószerként használta, és csak egy olyan alapvegyszer lehet, ami még az ő szegényes sufnijában is megtalálható. A vegyület 5,372 mg-jának elégetésekor 12,22 mg szén-dioxid és 4,99 mg víz keletkezett.

- Mi a vegyület tömegszázalékos összetétele?
- Írjátok fel a lehetséges vegyületek általános összegképletét!
- A fentiek alapján mi a legvalószínűbb megoldás?
- Az égetéshez Albrecht standard állapotú, 21 V/V% O_2 tartalmú levegőt használt. Hány-szorosa az égés utáni (az égéstermékeket is tartalmazó) standard állapotú, 5 V/V% O_2 tartalmú gázelegy térfogata a felhasznált levegőnek?



2. feladat megoldása

- a) Az égéstermékek tömegszázalékos összetételével megkaphatjuk az ismeretlen vegyületből származó C és H tömegét. A vegyület O tartalmát az ismeretlen össztömegéből a C és H tömegét kivonva kapjuk meg.

$$m_{CO_2} = 12,22 \text{ mg} \rightarrow m_C = 3,333 \text{ mg}$$

$$m_{H_2O} = 4,99 \text{ mg} \rightarrow m_H = 0,554 \text{ mg}$$

$$m_O = m_{ismeretlen} - (m_C + m_H) = 1,485 \text{ mg}$$

A fentiek alapján a tömegszázalékos összetétel: C: 62 m/m%; H: 10 m/m%; O: 28 m/m%

- b) A fent kiszámolt tömegekből (a moláris tömeg segítségével) megkaphatjuk 5,372 mg tömegű anyag moláris összetételét.

$$m_C = 3,333 \text{ mg} \rightarrow n_C = 0,278 \text{ mmol}$$

$$m_H = 0,554 \text{ mg} \rightarrow n_H = 0,554 \text{ mmol}$$

$$m_O = 1,485 \text{ mg} \rightarrow n_O = 0,093 \text{ mmol}$$

Ez alapján a vegyületben a C:H:O arány 3:6:1, így az összegképlet $C_{3n}H_{6n}O_n$.

- c) A legvalószínűbb ilyen vegyület az aceton.
- d) Azonos állapotú gázok esetén a térfogat egyenesen arányos az anyagmennyiséggel, így a továbbiakban elegendő az anyagmennyiséggel számolnunk. A tömegmegmaradás alapján a felhasznált O_2 tömege $m_{O_2} = m_{termék} - m_{ismeretlen} = 11,84 \text{ mg}$, tehát az anyagmennyisége 0,370 mmol. A keletkezett CO_2 és H_2O anyagmennyisége egyaránt 0,278 mmol.

A kiindulási levegő anyagmennyiségét jelöljük x -szel, a reakció utáni gázelegyet y -nal! Ez alapján felírható az alábbi kétismeretlenes egyenletrendszer:

$$x - n_{O_2} + n_{CO_2} + n_{H_2O} = y$$

$$0,21x - n_{O_2} = 0,05y$$

Behelyettesítve az alábbi egyenletet kapjuk:

$$0,21x - n_{O_2} = 0,05(x - n_{O_2} + n_{CO_2} + n_{H_2O})$$

Az egyenletrendszer megoldása:

$$x = 2,371$$

$$y = 2,557$$

A keresett szám a két változó hányadosa: $y/x = 1,078$

Tehát a gázelegyet térfogata a kiindulási levegő 1,078 szorososa.



3. feladat

Albrecht késő este jött rá, hogy elfogyott otthon a kloroform, így gyorsan gyártania kellett egy keveset. A régi magyar nevén hangyanyhalvagként is ismert anyagot többféleképpen is elő lehet állítani.

Az első lehetőség a metánból és klórból, gyökös mechanizmusú reakció során keletkező kloroform elválasztása. A gyök egy párosítatlan elektronnal rendelkező, igen reakcióképes részecske. A gyökös (lánc)reakciónál mindig vannak láncindító, láncvivő és lánczáró reakciók. Például:

Láncindító: $\text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{Cl}\cdot$

Láncvivő: $\text{Cl}\cdot + \text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_3\cdot + \text{HCl}$

Lánczáró: $\text{Cl}\cdot + \text{CHCl}_2\cdot \rightarrow \text{CHCl}_3$

A reakció így több lépésben, különböző utakon játszódik le (az egyes részecskék ütközésétől függően), így a termékek is változatosak, amelyeket például desztillációval lehet elválasztani egymástól.

- Mi lehet szükséges (a kiindulási anyagokon kívül) a reakció beindításához?
- Írjatok láncvivő reakcióra további 2 példát!
- Adjatok meg névvel és összegképlettel további 3 vegyületet, amely a metán klórozása során keletkezhet!
- Mi a desztilláció lényege? Fogalmazzátok meg egy mondatban!

Mivel Albrecht nem rendelkezik ipari felszereléssel, a második lehetőséget kénytelen választani. Kloroformot aceton és klórmész (kénsav katalizálta) reakciójával állít elő, az alábbiak szerint:



- Hány cm^3 25°C -os 75 V/V%-os acetonra van szüksége, ha a 100 ml-es üvegcséjét szeretné teletölteni tiszta kloroformmal?

Az Albrecht zsebében található üvegcsé hőmérséklete tartósan 25°C -os, az otthoni előállítás hatásfoka 75%.



3. feladat megoldása

- a) katalizátor/magas hőmérséklet
- b) $\text{Cl}\cdot + \text{CH}_3\text{Cl} \rightarrow \text{CH}_2\text{Cl}\cdot + \text{HCl}$
 $\text{CH}_3\cdot + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} + \text{Cl}\cdot$
- c) hidrogén-klorid (HCl), klórmétán (CH₃Cl), diklór-métán (CH₂Cl₂), szén-tetraklorid (CCl₄), etán (C₂H₆), stb.
- d) Folyadékelegy összetevőinek szétválasztása forráspont alapján.
- e) A helyesen rendezett reakcióegyenlet:



Az előállítandó kloroform:

$$V = 100 \text{ ml}$$

$$\rho = 1,49 \text{ g/cm}^3 \text{ (25}^\circ\text{C-on)}$$

$$m = V \cdot \rho = 149 \text{ g.}$$

$$M = 119,37 \text{ g/mol}$$

$$n = m/M = 1,248 \text{ mol.}$$

A felhasználandó acetont:

$$n = 1,664 \text{ mol (75\%-os hatásfok)}$$

$$M = 58,08 \text{ g/mol}$$

$$m = n \cdot M = 96,65 \text{ g}$$

$$\rho = 0,784 \text{ g/cm}^3 \text{ (25}^\circ\text{C-on)}$$

$$V = m/\rho = 123,3 \text{ cm}^3$$

123,3 cm³ acetont 164,4 cm³ 75%-os oldat tartalmaz.



4. feladat

Az analitikai kémia egy, a bizonyos komponensek (ún. analátok) kimutatására, mennyiségi, illetve minőségi meghatározására szakosodott tudományág. Talán nem is sejtitek, de ti magatok is foglalkoztatok már mennyiségi analízissel, hiszen titrálással valószínűleg mindenki találkozott közületek. Azonban nem biztos, hogy mindannyian hallottatok már az argentometriáról, a titrimetria kevésbé használt módszeréről! Az argentometria alapja, hogy a mérőoldatként használt ezüst-nitrát az analáttal rosszul oldódó vegyületeket képez, melyek így kicsapódnak a mintaoldatból.

Az iskolánkban jó ideje áll egy hatalmas üveg AgNO_3 oldat, melyen az áll, hogy 0,1 mol/kg-os Raoult-koncentrációjú (1 kg vízben 0,1 mol anyag van feloldva). Azonban az oldat állás közben veszít hatóanyagtartalmából, így a pontos összetétel ismeretéhez ezt faktorozni kell. A faktorozás 0,1 mol/dm³ KCl oldattal történik. Az 1,015 g/cm³ sűrűségű AgNO_3 oldat 10 cm³-eit végpontig titrálva a fogyások átlaga 4,5 cm³-nek adódott.

$$M_{\text{Ag}} = 107,9 \text{ g/mol} \quad M_{\text{N}} = 14,00 \text{ g/mol} \quad M_{\text{O}} = 16,00 \text{ g/mol}$$

- Mit tapasztalunk a titrálás során? Írjátok fel a lejátszódó reakció rendezett egyenletét!
- Mennyi az AgNO_3 oldat mol/dm³-ban kifejezett névleges koncentrációja, és mi a faktora? Az oldat sűrűségét vegyünk függetlennek a töménységétől!

Az argentometriás titrálások segítségével kiválóan meghatározható az egyes oldatok halogenid-ion tartalma. Az iskolánk kiadta nekünk azt a feladatot, hogy határozzuk meg a csapvíz klorid-ion tartalmát, hogy az a megadott határértékeken (250 mg/liter) belül van-e. Mi ezt analitikai pontossággal szeretnénk meghatározni, mely annyit tesz, hogy az oldatban található összes klorid-ion tartalmat 99,9% pontossággal akarjuk megkapni 30 cm³ csapvízből. A büretánk 0,5 cm³-es beosztásokkal rendelkezik!

$$M_{\text{Cl}} = 35,5 \text{ g/mol}$$

- A faktorozott mérőoldatunkat felhasználva mekkora fogyásra számíthatunk, ha az iskola csapvizének klorid-ion tartalma a megadott határértéket 3%-kal meghaladja? Tekintsünk el minden olyan zavaró szennyezőtől, mely az ezüst-ionokkal csapadékot ad, és ezúttal vegyünk úgy, hogy az összes ezüst-klorid kiválik az oldatból! Meg tudjuk-e állapítani analitikai pontossággal a klorid-ion tartalmat ezzel a bürettával?

Az ezüst-klorid oldhatósági szorzata $1,56 \cdot 10^{-10}$. (Az oldhatósági szorzat egy egyensúlyi állandóhoz hasonló konstans, mely a $\text{Me}_x\text{A}_y \rightleftharpoons x\text{Me}^{y+} + y\text{A}^{x-}$ disszociációra $L = [\text{Me}^{y+}]^x \cdot [\text{A}^{x-}]^y$)

- Hány mg AgCl oldódik 1 liter vízben?

A csapadékos titrálások végpontjelzése többféleképpen történhet. Ezek egyike a Mohr-féle indikálás, mely lényege, hogy a mintánkhoz egy olyan komponenst adunk, mely az ezüsttel szintén csapadékot képez. Megfelelő adagolás mellett ezek az indikátorok csak a végpontban adnak csapadékot az ezüst-ionokkal.



e) Vajon milyen két fontosabb kritériumnak kell megfelelnie a Mohr-féle indikátornak?

A kálium-kromát egy jó Mohr-indikátor. Az analitikai pontosságú meghatározáshoz fontos, hogy megfelelő mennyiséget használjunk a mérésünk során, ugyanis a kiindulási kromát-mennyiség határozza meg, hogy mikor jelez végpontot az indikátor.

Amikor a mérésünk végén a leszűrt, kiszáritott AgCl csapadék tömegét megmértük, az 31,0984 mg-nak adódott. Az ezüst-kromát csapadék oldhatósági szorzata $9,0 \cdot 10^{-13}$.

$$M_K = 39,1 \text{ g/mol} \quad M_{Cr} = 52,00 \text{ g/mol}$$

f) Hány mg szilárd K₂CrO₄-ot kell adni egy liter csapvízbe ahhoz, hogy a várt AgNO₃ fogyás hozzáadásakor jelezze a végpontot csapadékleválással? A titrálást a c) feladatban kiszámolt **egyenértékpontig** végezzük!



4. feladat megoldása

- a) A színtelen mintaoldatunkból a titrálás során fehér (kocsonyás) csapadék válik le.

$$\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- = \text{AgCl}$$

- b) **Névleges koncentráció meghatározása:**

Vegyünk 1 kg vizet! Ebben a névleges koncentráció szerint 0,1 mol AgNO_3 volt. Az oldatban névlegesen megtalálható AgNO_3 tömege 0,1 mol \times 169,9 g/mol = 16,99 g. Az oldat össztömege tehát 1017 g, térfogata a sűrűsége alapján: $V = 1002 \text{ cm}^3$
 Az oldat névleges koncentrációja tehát: $c_{\text{névleges}} = 0,0998 \text{ mol/dm}^3$

Faktor meghatározása:

$V_{\text{KCl}} = 4,5 \text{ cm}^3$ és $c_{\text{KCl}} = 0,1 \text{ mol/dm}^3$, tehát $n_{\text{KCl}} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = n_{\text{AgNO}_3}$ (reakció-egyenlet alapján)

$V_{\text{minta}} = 10 \text{ cm}^3$ és $\rho_{\text{minta}} = 1,015 \text{ g/cm}^3$, tehát $m_{\text{minta}} = 10,15 \text{ g}$ és $c_{\text{AgNO}_3} = 0,045 \text{ mol/dm}^3$

Ebből a faktor: $f = \frac{c_{\text{AgNO}_3}}{c_{\text{névleges}}} = 0,4509$

- c) A valós klorid-ion tartalom a csapvízben:

$c_m = 1,03 \times 250 \text{ mg/liter} = 257,5 \text{ mg/dm}^3$, tehát $c_{\text{Cl}^-} = c_m / M_{\text{Cl}^-} = 257,5 \text{ mg/dm}^3 / 35,5 \text{ g/mol} = 7,254 \text{ mmol/dm}^3$. Mivel $V_{\text{minta}} = 30 \text{ cm}^3 = 0,03 \text{ dm}^3$, a $n_{\text{Cl}^-} = n_{\text{AgNO}_3} = 0,03 \text{ dm}^3 \times 7,254 \text{ mmol/dm}^3 = 0,2176 \text{ mmol}$ lesz.

Így a b) részben kiszámolt mérőoldat koncentrációt felhasználva:

$V_{\text{várt}} = n_{\text{AgNO}_3} / c_{\text{AgNO}_3} = 4,836 \text{ cm}^3$

Mivel azonban a bürettánk csak $0,5 \text{ cm}^3$ -s beosztással rendelkezik, a várt fogyás 5 cm^3 lesz.

A leolvasás hibája $1 - \frac{4,836 \text{ cm}^3}{5 \text{ cm}^3} = 0,0328 = 3,28\%$, ami az analitikai pontosság hibájánál jóval nagyobb tehát nem tudjuk ezzel a bürettával jól meghatározni a klorid-ion tartalmat.

- d) Az ezüst-klorid oldhatósági szorzata: $L_{\text{AgCl}} = [\text{Ag}^+] \cdot [\text{Cl}^-] = 1,56 \cdot 10^{-10}$

Ha „s” mol anyag oldódik 1 dm^3 vízben, akkor az ezüst- és a klorid-ionok koncentrációja: $[\text{Ag}^+] \cdot [\text{Cl}^-] = s$. Így az oldhatósági szorzat: $L_{\text{AgCl}} = s^2$, amiből $s = 1,249 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$
 Így egy liter vízben $1,249 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \text{ AgCl}$ oldódik, melynek tömege $0,001791 \text{ g} = 1,791 \text{ mg}$

- e) Mindenképp szerepelnie kell a válaszok között, hogy az indikátor ezüst-ionokkal képzett vegyülete legyen. Több helyes válasz is elfogadható, amennyiben valóságalapja megkérdőjelezhetetlen:

- jobb oldhatóságú az ezüst-kloridnál
- színes *vagy* az indikátor anyaga legyen könnyen bemérhető/stabil/szennyeződésektől mentes



f) Az ezüst-kromát oldhatósági szorzata: $L = [\text{Ag}^+]^2 \cdot [\text{CrO}_4^{2-}] = 9,0 \cdot 10^{-13}$.

A c) feladatrészben kiszámoltuk, hogy az összes keletkező AgCl mennyisége: $n_{\text{AgCl}} = 0,2176 \text{ mmol}$. Az összes AgCl tömege tehát $m_{\text{AgCl,összes}} = 31,2038 \text{ mg}$ lenne. Ennél kevesebbet mértünk, az oldatban maradt tehát $m_{\text{AgCl,oldat}} = 31,2038 \text{ mg} - 31,0984 \text{ mg} = 0,1054 \text{ mg}$. Az oldódott AgCl anyagmennyisége: $n_{\text{AgCl,oldat}} = 7,353 \cdot 10^{-7} \text{ mol}$.

A végpontban a c) feladatban számítottaknak megfelelően $V_{\text{összes}} = 34,836 \text{ cm}^3$ térfogatú oldatot kapunk. Az egyenértékpontban az ezüst-ionok koncentrációja: $[\text{Ag}^+] = 2,111 \cdot 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$. Ahhoz, hogy éppen ebben a pillanatban váljon le csapadék, a kromát-ion koncentrációnk adott: $[\text{CrO}_4^{2-}] = L / [\text{Ag}^+]^2 = 2,020 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$, tehát $n_{\text{kromát}} = [\text{CrO}_4^{2-}] \times V_{\text{összes}} = 7,037 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$.

Ez a titrálás kezdetekor 30 cm^3 csapvízben volt feloldva, tehát a kiindulási kromát-koncentráció: $[\text{CrO}_4^{2-}]_{\text{kiindulási}} = n_{\text{kromát}} / 0,03 \text{ dm}^3 = 2,346 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$. Tehát 1 liter vízben $2,346 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$, tehát $0,4555 \text{ g} = 455,5 \text{ mg}$ ($M = 194,2 \text{ g/mol}$) kálium-kromátot kell feloldani 1 liter csapvízben.