

## 1. feladat

A valóságban létező ún. reális gázokra az ideális gáztörvény sajnos helyesbítésre szorul. Nem ismerünk gázokra olyan általános állapotegyenletet, amellyel kiszámítva egy állapotjelző értékét minden gázra megfelelő pontossággal megegyezne a kísérleti adattal. Mindenkinek ismerősen csenghet Johannes D. van der Waals neve, aki 1873-ban elsőként vette figyelembe, hogy a reális gáz részecskéi vonzásából eredően a nyomás  $a/V^2$ -tel nagyobb, mint ha a gáz tökéletes volna; illetve a gázcsepp mozgásához rendelkezésre álló térfogat kisebb a részecskék  $b$  saját térfogatával. Az így korrigált egyenlet:

$$\left(p + \frac{n^2 a}{V^2}\right) \cdot (V - nb) = nRT$$

Az  $a$  és a  $b$  anyagi minőségtől függő állandót van der Waals-állandóknak nevezik. A szén-dioxid esetében ezek a következő értékeket veszik fel:

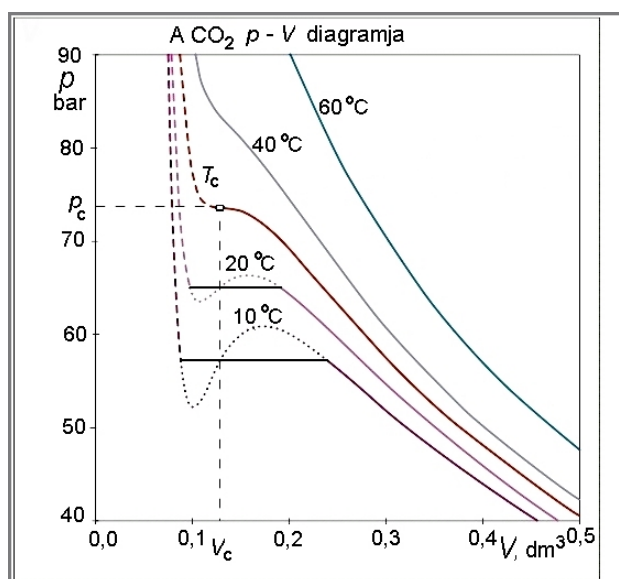
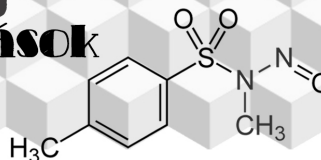
$$a(\text{CO}_2) = 364 \text{ kPa} \cdot \text{dm}^6 / \text{mol}^2; \quad b(\text{CO}_2) = 0,0427 \text{ dm}^3 / \text{mol}$$

- Mekkora lesz ez alapján  $40^\circ\text{C}$ -on  $2,00 \text{ mol CO}_2$  gáz nyomása egy  $1,00 \text{ m}^3$ -es tartályban?
- Mit kapnánk, ha ideális gázként tekintenénk rá?
- Számoljátok ki az így elkövetett hibát!

Egy ugyanilyen térfogatú, de üres tartályba  $0,0468 \text{ mol/s}$  sebességgel áramoltattunk be  $\text{CO}_2$  gázt. A tartályt a gyártáskor úgy tervezték, hogy akkora nyomást (és hőmérsékletet) még biztosan elbírnak, ami akkor áll fenn, amikor a  $\text{CO}_2$  molekulák térfogata a rendelkezésre álló teret  $6,00\%$ -ban tölti be. (Tekintsünk most el a lehetséges kondenzációtól!)

- Mennyi időt tölthetünk biztonságban emellett a tartály mellett az áramoltatás megkezdésétől számítva?
- Hány darab  $\text{CO}_2$  molekula lesz ekkor a tartályban?
- A gáz áramoltatása közben fél órával a kezdés után a tartály belső hőmérsékletét mérő hőmérő  $29,1^\circ\text{C}$ -ot mutatott. Mekkora volt ekkor a tartályban uralkodó nyomás?
- Ha a reális gázok állapotegyenletét  $0$ -ra rendezzük  $V$ -re harmadfokú lesz. Adjátok meg a  $V^3 + kV^2 + lV + m = 0$  formájú egyenletben az  $k$ ,  $l$  és  $m$  paraméterek értékét!

Izotermákkal (azonos hőmérsékleten mért térfogat-nyomás koordinátaértékek által kirajzolt görbe) jól bemutatható ez a harmadfokú jelleg:



- h) Mi az oka egyes izotermáknál, hogy a halványan pontozott görbe helyett valójában vízszintes vonal lesz?

**Megoldás:**

- a) Először is a van der Waals állandókat kell átváltani, hogy bennük csak SI mértékegységek legyenek.

$$a = 364 \text{ kPa} \cdot \text{dm}^6 / \text{mol}^2 = 364\,000 \text{ Pa} \cdot \text{dm}^6 / \text{mol}^2 = 0,364 \text{ Pa} \cdot \text{m}^6 / \text{mol}^2$$

$$b = 0,0427 \text{ dm}^3 / \text{mol} = 4,27 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{mol}.$$

Ezeket behelyettesítve a van der Waals egyenletbe és felhasználva, hogy 2,00 mol 40 °C-os (313,15 K) CO<sub>2</sub>-ről van szó kiszámolható a nyomás értéke.

$$\left( \frac{p + 4 \cdot 0,364}{1^2} \right) \cdot (1 - 2 \cdot 4,27 \cdot 10^{-5}) = 2 \cdot 8,314 \cdot 313,15$$

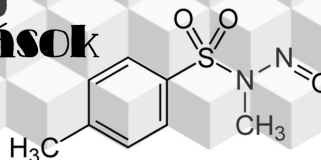
$$p = 5206 \text{ Pa}$$

- b) Az ideális gázegyenletbe ( $pV=nRT$ ) behelyettesítve a nyomásra 5207 Pa adódik.
- c) Ezek alapján az ideális gáztörvénnyel számolva 0,02 % hibát követünk el.
- d) Ha a tartály 6,00 %-át fogják a molekulák kitenni, akkor azok térfogata 0,060 m<sup>3</sup> lesz. Mivel a molekulák térfogatát az  $n \cdot b$  képlet adja meg, ezért  $n$  értéke kiszámolható, abból pedig a beáramoltatási sebesség ismeretében megkapható a keresett időtartam:

$$n = \frac{V_{\text{molekulák}}}{b} = \frac{0,06}{4,27 \cdot 10^{-5}} = 1405,15 \text{ mol}$$

$$t = \frac{n}{t_{\text{áramoltatási}}} = \frac{1405,15}{0,0468} = 30\,024,6 \text{ s} = 8,34 \text{ óra}$$

Tehát 8 óra 20 percet (8,34 órát) tölthetünk biztonságban a tartály mellett.



- e) Az anyagmennyiség ismeretében ( $1405,15 \text{ mol}$ ) kiszámolható, hogy  $8,43 \cdot 10^{26}$  darab  $\text{CO}_2$  molekula lesz a tartályban.
- f) Fél óra  $1800 \text{ s}$ -ot jelent, ennyi idő alatt  $0,0468 \cdot 1800 = 84,24 \text{ mol}$   $\text{CO}_2$  gáz kerül a tartályba. Ezeket az értékeket a van der Waals egyenletbe behelyettesítve nyomásra  $209,9 \text{ kPa}$  adódik (azaz  $2,099 \text{ bar}$ ).

$$\text{g) } 0 = V^3 - \left( \frac{pnb + nRT}{p} \right) V^2 + \left( \frac{n^2 a}{p} \right) V - \frac{n^3 ab}{p}$$

Tehát  $k = - \frac{pnb + nRT}{p}$ ;  $l = \frac{n^2 a}{p}$  és  $m = - \frac{n^3 ab}{p}$

- h) A kisebb hőmérsékletekhez tartozó izotermák esetén a görbéknek lokális minimuma és maximuma is van, ami azt jelentené, hogy a térfogat csökkenése adott viszonyok között nyomáscsökkenéssel jár, ami a gyakorlatban nem fordul elő, ezért kondenzáció lesz.

## 2. feladat

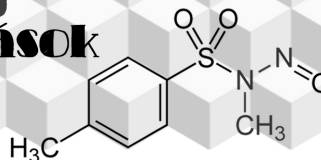
Az 1:1-es sósavoldat úgy készül, hogy  $37 \text{ m/m}\%$ -os sósavat (másnéven tömény sósav, sűrűsége  $1,180 \text{ g/cm}^3$ ) 1:1 (térfogat)arányban kevernek össze  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ -os desztillált vízzel. Lemérve az így készült 1:1-es sósav  $100,0 \text{ ml}$ -ének tömegét  $108,2 \text{ g}$ -ot kapunk. Hány tömegszázalékos az 1:1-es sósav és mennyi a koncentrációja  $\text{mol/dm}^3$ -ben kifejezve?

**Megoldás:** Vegyünk  $50\text{-}50 \text{ cm}^3$ -t a két összetevőből.  $50,00 \text{ cm}^3$  desztillált víz  $49,85 \text{ g}$  (mivel a sűrűsége  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ -on  $0,9970 \text{ g/cm}^3$ ).  $50,00 \text{ cm}^3$  tömény sósav  $59,00 \text{ g}$ , és tömegszázalékos összetétele alapján tartalmaz  $21,83 \text{ g}$   $\text{HCl}$ -ot és  $37,17 \text{ g}$  vizet. Tehát az így elkészült 1:1-es sósavban  $21,83 \text{ g}$   $\text{HCl}$  és  $87,02 \text{ g}$  víz van. Tehát  $21,83/108,85 = 20,06 \text{ m/m}\%$ -os az 1:1-es sósav. A térfogati kontrakció jelensége miatt ki kell számolnunk az oldat térfogatát, ugyanis nem vehetjük azt  $100 \text{ cm}^3$ -nek. Mivel ismerjük az 1:1-es sósav  $100,0 \text{ ml}$ -ének a tömegét, sűrűsége könnyen kiszámolható:  $1,082 \text{ g/cm}^3$ .  $108,85 \text{ g}$ -nak a térfogata ez alapján  $100,60 \text{ cm}^3$ .  $21,83 \text{ g}$   $\text{HCl}$  anyagmennyisége  $0,5988 \text{ mol}$ , tehát az 1:1-es sósav koncentrációja  $5,952 \text{ mol/l}$ .

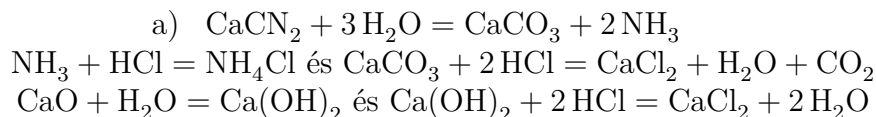
## 3. feladat

A kalcium-ciánamid ( $\text{CaCN}_2$ ) túlhevített vízgőzzel kalcium-karbonát és ammónia keletkezése közben reagál.  $3,860 \text{ g}$  kalcium-ciánamidot (a tisztaságát nem ismerjük, de tudjuk, hogy kalcium-karbonát és kalcium-oxid szennyezi) reagáltatunk vízgőzzel. A fejlődő ammóniát vízben elnyeletjük, majd a kapott oldatot  $100 \text{ cm}^3$ -re hígítjuk.  $10,25 \text{ cm}^3$ -es részleteit  $0,750 \text{ mol/dm}^3$ -es  $\text{HCl}$  oldattal titrálva az átlagfogyás  $11,21 \text{ cm}^3$ . A visszamaradó szilárd anyagot sósavval elreagáltatjuk, és  $1,046 \text{ dm}^3$  standard állapotú szén-dioxid fejlődik.

- a) Írjátok fel a feladatban szereplő reakciók egyenleteit!
- b) Adjátok meg a szennyezett kalcium-ciánamid  $\text{m/m}\%$ -os összetételét! Milyen tisztaságú volt a kalcium-ciánamid?
- c) Mennyi  $0,750 \text{ mol/dm}^3$ -es sósavra van szükség a vízgőzzel való reakció után visszamaradó szilárd keverék közömbösítéséhez?



## Megoldás:



- b) A 11,21 cm<sup>3</sup> HCl-oldatban 8,40 mmol HCl van. Tehát, ha ennyi sósav kell 10,25 cm<sup>3</sup> közömbösítéséhez, akkor 100 cm<sup>3</sup>-hez 82,0 mmol kellene, azaz ennyi ammónia keletkezett a 3,86 g szennyezett kalcium-ciánamid vízgőzzel való reakciója közben. Az egyenlet alapján ennyi ammónia 41,0 mmol kalcium-ciánamidból keletkezett, aminek a tömege 3,28 g. Tehát 3,28 g kalcium-ciánamid mellett 0,58 g kalcium-karbonátot és kalcium-oxidot tartalmaz. Tehát a tisztasága 85,0 %-os.

A CO<sub>2</sub> mennyisége alapján 42,7 mmol kalcium-karbonát volt, amiből 41,0 mmol keletkezett a CaCN<sub>2</sub> reakciója során. Azaz 1,7 mmol volt a kalcium-karbonát anyagmennyisége, tehát 0,17 g volt a tömege. Így kiszámolható, hogy 4,40 m/m%-ban volt jelen a CaCO<sub>3</sub>, és 10,6 m/m%-ban tartalmazott a keverék CaO-t.

- c) A CaCN<sub>2</sub> vízgőzzel való reakció során CaCO<sub>3</sub> keletkezik (az ammónia eltávozik), a CaO pedig Ca(OH)<sub>2</sub>-dá alakul. Mindkét anyag kétszeres anyagmennyiségű HCl-dal reagál. CaCO<sub>3</sub>-ból a szén-dioxid anyagmennyisége alapján 42,7 mmol volt, tehát ez 85,4 mmol HCl-dal reagál. A CaO-ból 0,41 g volt, ami 7,3 mmol-nak felel meg, ebből azonos mennyiségű Ca(OH)<sub>2</sub> keletkezik, ami 14,6 mmol HCl-dal reagál. Tehát összesen 100 mmol HCl-ra van szükség a szilárd anyagok közömbösítéséhez. Ennyi HCl 133,3 cm<sup>3</sup> 0,750 mol/dm<sup>3</sup>-es sósavban található.

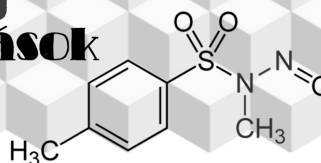
## 4. feladat

Albrechtnek nemrég volt a születésnapja, a bácsikájától kapott némi mínium-ásványt. A mínium egy ólom-oxid ásvány, amely 90,67 m/m% ólomot és 9,33 m/m% oxigént tartalmaz. Ám a bácsikája tudta, hogy Albrechtnek a vérében van a kémia és a kísérletezgetés, ezért inkább kettő darabot vett neki, hogy legalább az egyik megmaradjon hosszabb távon is. Ahogy számítani lehetett rá, Albrecht az egyik ásványt, amelynek tömege 20,18 g volt, már az első héten feláldozta a tudomány oltárán. Sztöchiometriai mennyiségű híg salétromsavban feloldotta, így ólom-dioxidot és ólom-nitrát vizes oldatát kapta. Az oldatból kiszűrte az ólom-dioxid „csapadékot” és tovább kísérletezgetett.

- a) Határozzátok meg a mínium képletét!  
b) Írjátok fel a salétromsavas oldáskor lejátszódó reakció egyenletét!

Albrechtnek ólom-dioxidból sikerült a teljes mennyiséget kinyernie, ezt két részre osztotta. Az egyik részét hevítette, ám a hevítést nem végezte elég ideig, így ólom-dioxid és ólom-oxid keverékét kapta. Ezért úgy döntött, titrálással állapítja meg a keverék összetételét.

Ehhez 35,0 ml, pontosan 0,100 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú oxálsav-oldatot adott a hevítés után maradt 4,65 grammnyi keverékhez, majd kénsavas savanyítás és melegítés mellett lezajlott a reakció, mely során az ólom(IV) Pb<sup>2+</sup>-ná redukálódott, az oxálsav pedig CO<sub>2</sub>-dá oxidálódott víz keletkezése mellett. A megmaradt oxálsavat 0,02 mol/dm<sup>3</sup> névleges koncentrációjú, 1,005 faktorú kálium-permanganát mérőoldattal titrálta vissza savas közegben, a mérőoldatból 8,50 ml fogyott (ekkor a permanganát-ionokból Mn<sup>2+</sup>, az oxálsavból pedig ismét CO<sub>2</sub> keletkezik).



- c) Határozzátok meg az oxidkeverék tömegszázalékos összetételét!
- d) Hány gramm ólom-dioxidot hevített, ha a szóban forgó keveréket kapta?

A kiindulási ólom-dioxid másik részét nitrogén-dioxiddal reagáltatta. A nitrogén-dioxiddal történő reakció eredményeként ólom-nitrátot és ólom-oxidot kapott és emellett gáz is fejlődött, amely a parázsló gyújtópálcát lánggra lobbantotta. Albrecht a keletkező ólom-nitrátot vízzel kioldotta az ólom-dioxid mellől. Szárítás után tömegméréssel megállapította, hogy a két ólomvegyület 1:1 anyagmennyiség arányban keletkezett a nitrogén-dioxiddal történt reakció során.

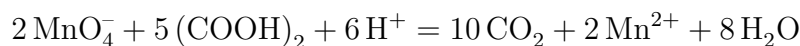
- e) Hány  $\text{cm}^3$  standard állapotú gáz fejlődött a reakció során?

### Megoldás:

- a) Vegyünk 100 g míziumot. Ebben van 90,67 g ólom, ami 0,4376 mol-nak, illetve 9,33 g oxigén, ami 0,5831 mol-nak felel meg. Tehát  $n(\text{Pb}) : n(\text{O}) = 0,4376 : 0,5831 = 1,00 : 1,33 = 3,00 : 4,00$ . Ezek alapján a mízium képlete:  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ .



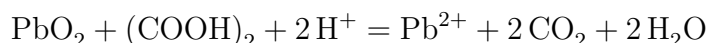
- c) Az oxálsav és a kálium-permanganát reakciója:



A kálium-permanganát anyagmennyiségéből meghatározhatjuk az egyenlet alapján, hogy mennyi oxálsav maradt az ólom-dioxidos reakció után az oldatban:

$$n_{\text{KMnO}_4} = V_{\text{mérőoldat}} \cdot c_{\text{mérőoldat}} \cdot f_{\text{mérőoldat}} = 8,5 \cdot 0,02 \cdot 1,005 = 0,17085 \text{ mmol}$$
$$n_{\text{oxálsav,maradék}} = n_{\text{KMnO}_4} \cdot 2,5 = 0,17085 \cdot 2,5 = 0,427 \text{ mmol}$$

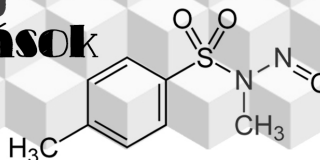
Az oxálsav kezdeti anyagmennyisége könnyen kiszámolható, hiszen ismerjük az oldat térfogatát és koncentrációját.  $n_{\text{oxálsav}} = 0,035 \cdot 0,1 = 0,0035 \text{ mol} = 3,500 \text{ mmol}$ . Mivel tudjuk, hogy 0,427 mmol oxálsav maradt vissza, ezért az ólom-dioxiddal 3,073 mmol reagált el a következő egyenlet szerint:



Ebből kiszámolható a reagáló ólom-dioxid tömege, amiből adódik a tömegszázalékos összetétele, mivel ismert, hogy a keverék tömege 4,65 g volt:

$$m_{\text{PbO}_2, \text{reagált}} = n_{\text{oxálsav, reagált}} \cdot M_{\text{PbO}_2} = 3,07 \cdot 239,2 = 735 \text{ mg} = 0,735 \text{ g}$$
$$m/m\%( \text{PbO}_2 ) = \frac{0,735}{4,65} \cdot 100\% = 15,81 \%$$

Azaz az oxidkeverék 15,81  $m/m\%$  ólom-dioxidot és 84,19  $m/m\%$  ólom-oxidot tartalmazott.



- d) Az ólom-dioxid hevítésének egyenlete:  $2 \text{PbO}_2 = 2 \text{PbO} + \text{O}_2$   
A 4,65 g keverékben 0,735 g  $\text{PbO}_2$  és 3,915 g  $\text{PbO}$  volt. A  $\text{PbO}$  anyagmennyiségére ( $M = 223,2 \text{ g/mol}$ ) 17,54 mmol adódik, és mivel ugyanekkora anyagmennyiségű ólom-dioxidból keletkezett, ezért a hevítés előtti ólom-dioxid anyagmennyisége 20,61 mmol volt, aminek a tömege:

$$m_{\text{PbO}_2, \text{hevítés előtt}} = n_{\text{PbO}_2, \text{hevítés előtt}} \cdot M_{\text{PbO}_2} = 20,61 \cdot 239,2 = 4930 \text{ mg} = 4,93 \text{ g}$$

Tehát Albrecht 4,93 g ólom-dioxidot hevített.

- e) A kérdés megválaszolásához először meg kell tudni, hogy mekkora tömegű volt a másik részlet. Ehhez ismernünk kell, hogy mennyi ólom-dioxid keletkezhetett a kiindulási miniumból:

$$n_{\text{minium}} = \frac{m_{\text{minium}}}{M_{\text{minium}}} = \frac{20,18}{685,6} = 0,0294 \text{ mol}$$

$$m_{\text{PbO}_2, \text{eredeti}} = n_{\text{minium}} \cdot M_{\text{PbO}_2} = 0,0294 \cdot 239,2 = 7,041 \text{ g}$$

Ebből 4,931 g-ot elhevítettünk korábban, így a maradék tömege 2,11 g, ami 0,0088 molnak felel meg. Az ólom dioxid és a nitrogén-dioxid reakcióját megnézve látható, hogy 3 komponens oxidációs száma is változik (ólom, nitrogén, oxigén). Mivel tudjuk, hogy 1:1 arányban keletkezett az ólom-nitrát és az ólom-oxid ezért a következő reakció ment végbe:



A keletkező oxigén anyagmennyisége negyede a kiindulási ólom-dioxidénak, azaz 2,205 mmol. A keletkező oxigén térfogata:

$$V_{\text{O}_2} = V_{m, \text{std}} \cdot n_{\text{O}_2} = 24,5 \cdot 2,205 = 54,03 \text{ cm}^3$$

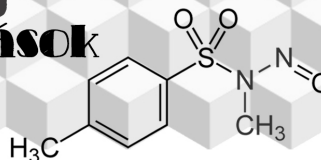
Tehát 54,03  $\text{cm}^3$  standard állapotú oxigén fejlődött a reakció során.

## 5. feladat

A propán termikus disszociációja során propén és hidrogén keletkezik. 1,00 atm össznyomáson, 800 K-en az egyensúlyi gázelegy klórgázra vonatkoztatott relatív sűrűsége 0,4838.

- a) Mekkora ezen körülmények között a disszociációfok és a (koncentrációkkal kifejezett) disszociációs állandó?

A propén klórral addíciós reakcióba lép, ekkor **A** keletkezik. Azonban magasabb hőmérsékleten szubsztitúciós reakció is végbemegy, ekkor a metil-csoport egyik hidrogénje cserélődik klórra miközben **B** keletkezik. **B**-ből kiindulva gyártják az epiklórhidrint (**C**), mely a műanyagipar egyik fontos alapanyaga. Ehhez először hipoklórossavat addíciónálnak **B**-re, majd lúggal kezelve kapják **C**-t, az epiklórhidrint, melyben egy háromtagú, oxigént is tartalmazó gyűrű található. A propént oxidálva akrolein keletkezik (**D**), mely a legkisebb szén-szén kettős kötést is tartalmazó aldehid. Tovább oxidálódva egy sav keletkezik (**E**), mely szintén fontos műanyagipari alapanyag. Propénre vizet addíciónálva **F** keletkezik, melyet oxidálva **G**-t kaphatjuk meg, ami egy fontos szerves oldószer.



b) Rajzoljátok fel **A-G** vegyületek szerkezeti képletét, és nevezzétek el őket!

**Megoldás:**

a) A reakció egyenlete:  $C_3H_8 \rightleftharpoons C_3H_6 + H_2$

Induljunk ki 1,00 mol propánból, ami 44,09 g-nak felel meg. Ha  $x$  mol propán átalakul, akkor az egyensúlyi rendszerben  $x$  mol propén,  $x$  mol hidrogén és  $1-x$  mol propán lesz. Tehát az egyensúlyi elegy anyagmennyisége  $1 - x + 2x$ , azaz  $1 + x$  mol lesz. A klórgázra vonatkoztatott relatív sűrűség alapján az egyensúlyi elegy átlagos molekulatömege  $0,4838 \cdot 70,90 = 34,30$  g/mol. Tehát a következő egyenletet kell megoldanunk:

$$(1 + x) \cdot 34,30 = 44,09$$

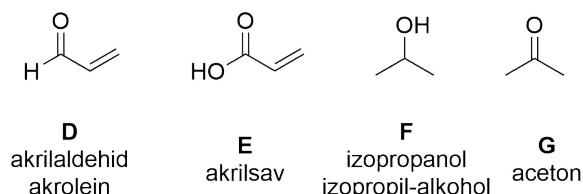
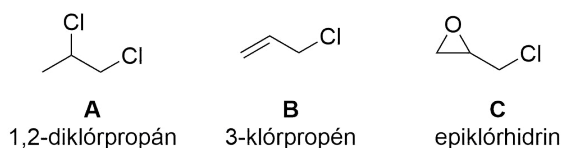
$$x = 0,2854$$

Mivel 1,00 mol propánból indultunk ki, ezért  $x$  értéke valójában a disszociációfoknak felel meg, tehát  $\alpha = 0,2854$ .

Az egyensúlyi állandóhoz ismernünk kell a térfogatot is. Mivel tudjuk, hogy a rendszerben a gázok összes anyagmennyisége 1,2854 mol, a hőmérséklet 800 K, és a nyomás 101325 Pa már csak az ideális gázegyenletbe kell behelyettesítenünk, és térfogatra 84,38 dm<sup>3</sup> adódik. Ebből meghatározható az egyensúlyi állandó:

$$K = \frac{c_{C_3H_6} \cdot c_{H_2}}{c_{C_3H_8}} = \frac{\frac{n_{C_3H_6}}{V} \cdot \frac{n_{H_2}}{V}}{\frac{n_{C_3H_8}}{V}} = \frac{n_{C_3H_6} \cdot n_{H_2}}{V \cdot n_{C_3H_8}} = \frac{0,2854^2}{84,38 \cdot 0,7146} = 1,351 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$$

b)



A feladatok során 4 értékes jeggyel számoljatok! A szükséges adatok a függvénytáblázatban megtalálhatóak! Mindegyik feladat részletesen indokolt megoldása 8 pontot ér. A feladatok megoldásához függvénytáblázat, számológép és íróeszközök használhatóak. Sikeres versenyzést kívánunk!