

GONDOLKODÓ



Megoldások

K541. Legyen az öt főzőpohárban a következő:

1. pH = 12-es NaOH oldat
2. desztillált víz + pár csepp fenolftalein indikátor
3. desztillált víz + pár csepp timolftalein indikátor
4. pH = 5-ös HCl-oldat + 4-nitrofenol
5. pH = 14-es NaOH-oldat

Kezdetben az összes oldat pH-ja a benne lévő indikátor szintelen tartományában található.

A mutatóványt az alábbi módon végezzük el:

Az első főzőpohárból töltünk annyit a másodikba, hogy közelítőleg pH = 11-es oldatot kapjunk. Ekkor a fenolftalein miatt az oldat rózsaszín (ciklámen színű).

A második főzőpohárból töltünk annyit a harmadikba, hogy közelítőleg pH = 10,5-ös oldatot kapjunk. Ekkor a fenolftalein és a timolftalein együttes hatása miatt az oldat kékeslila.

A harmadik főzőpohárból töltünk annyit a negyedikbe, hogy közelítőleg pH = 8-es oldatot kapjunk. Ezen pH értéken még a fenolftalein és a timolftalein szintelen, viszont a 4-nitrofenol már sárga, ezért az oldat sárga színű lesz.

A negyedik főzőpohárból öntsünk annyit az ötödik főzőpohárba, hogy pH = 13 felett legyen az új oldat. Itt a fenolftalein második átcsapása felett vagyunk, tehát szintelen, a timolftalein és a 4-nitrofenol pedig kék és sárga. Tehát az oldat zöld lesz.

A továbbiakban határozzuk meg, hogy kb. mekkora térfogatokat kell a 4 öntögetés során tovább öntenünk. Továbbiakban a térfogati kontrakciót elhanyagoljuk, továbbá az indikátoroldatok térfogatát is.

Legyen minden főzőpohárban kezdetben 1 liter, azaz 1 dm^3 térfogatú oldat.

Ahhoz, hogy az első oldatban 11-es pH legyen, az eredeti 12-est 10-szeresen kell hígítani. Azaz az első oldatból kb. $1/9 \approx 0,111 \text{ dm}^3$ -t, azaz kb. 110-115 ml-t kell a második főzőpohárba önteni. Hogy a 3. pohárban 10,5-es pH alakuljon ki, kb. 3,2-szeres hígítás szükséges, így kb. 0,455 azaz 455 ml továbböntése a másodikból. A 4. pohárnál a szükséges 8-as pH-t (a víz autoprotolízisét elhanyagolhatjuk) kb. 1:30-as elegyítésével érjük el, így kb. 35 ml szükséges a 3. oldatból. A kapott új negyedik oldatból pedig pár csepp hozzáadása után a kellő szint láthatjuk az utolsó 5. főzőpohár esetén is.

Rajtik Sándor Barnabás megoldása alapján.

Sok különböző megoldás is helyes lehet, a fenti csak egy ezek közül. Kiemelkedő megoldást küldött be Rajtik Sándor Barnabás, Suhajda Csenge és Wéber Zara.

(Nemeskéri Dániel)

K542. A táblázat alapján a sav képletében van szén, fluor és hidrogén is, valamint egy **X** elem. Legyen a sav anionjának (**A⁻**) képlete általánosan $\text{C}_x\text{H}_y\text{F}_w\text{X}_u$.

$$M_{\text{A}^-} = x \cdot M_{\text{C}} + y \cdot M_{\text{H}} + w \cdot M_{\text{F}} + u \cdot M_{\text{X}}$$

A megadott ionok szintén mind egyértékűek, az összetétel alapján felírható minden származékra külön három egyenlet, amelyek aztán leosztva egymással egyszerűbb egyenletrendszer adnak. Ezekből is elég azt a kettőt használni, ahol a kationban az adott atom nem szerepel. Az ammónium származékon bemutatva:

$$\frac{x \cdot M_{\text{C}}}{x \cdot M_{\text{C}} + (y + 4) \cdot M_{\text{H}} + M_{\text{N}} + w \cdot M_{\text{F}} + u \cdot M_{\text{X}}} = 0,03346$$

$$\frac{w \cdot M_{\text{F}}}{x \cdot M_{\text{C}} + (y + 4) \cdot M_{\text{H}} + M_{\text{N}} + w \cdot M_{\text{F}} + u \cdot M_{\text{X}}} = 0,5822$$

amelyekből

$$\frac{x \cdot M_C}{w \cdot M_F} = \frac{0,03346}{0,5822} \text{ azaz } \frac{x}{w} = 0,0909, \text{ avagy } \frac{w}{x} = 11$$

A tetrafluorammónium esetén:

$$\frac{y \cdot M_H}{x \cdot M_C} = \frac{0,0023344}{0,02787} \text{ azaz } \frac{y}{x} = 1$$

Ezenfelül egymással összevetve abszolút moláris tömeget is számolhatunk. A tetrafluorammónium és az ammónium moláris tömege közötti különbség 71,968 g / mol. Ezzel a két sóra felírva a fluortartalomról tudott adatokat:

$$\frac{w \cdot M_F}{M_{\text{NH}_4\text{só}}} = 0,5822 \text{ azaz } w \cdot M_F = 0,5822 \cdot M_{\text{NH}_4\text{só}}$$

és

$$\frac{(w + 4) \cdot M_F}{M_{\text{NH}_4\text{só}} + 71,968} = 0,6613$$

$$(w + 4) \cdot M_F - 47,592 = 0,6613 \cdot M_{\text{NH}_4\text{só}}$$

Ismét elosztva egymással a két átrendezett egyenletet:

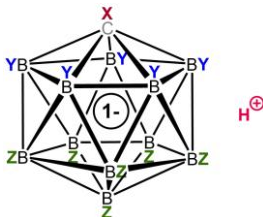
$$\frac{w \cdot M_F}{(w + 4) \cdot M_F - 47,592} = 0,8804$$

$$19 \cdot w = 16,7276 \cdot w + 25,0104$$

$$w = 11$$

Tehát az arányokból kapott érték egyben abszolút is, az anion képletében 11 fluor-, 1 szén- és 1 hidrogénatom található. Az ammóniumsó moláris tömege az előző alapján 358,983 g/mol, tehát a sav anionjának moláris tömege 340,944 g/mol. Ennek helyességét le is ellenőrizhetjük a még nem használt terc-butil kationnal alkotott só arányaival. Ezek után ebből az **X** atomokra a F, C, H kivonása után 118,926 g/mol jut. Végig kell próbálnunk, melyik egész számmal osztva kapunk értelmes atomtömeget **X** elemre, amely az így kapott összetételben kémiai is értelmes szeretlen aniont tud képezni. Itt nem kifejtve ez végül a 11-es szám, M_X

= 10,81 g / mol, amely alapján **X** elem a bór, a keresett sav pedig egy fluoro-karboránsav: $\text{H}_2\text{CB}_{11}\text{F}_{11}$, ami az egyik legerősebb létező Brønsted-sav. A karboránsavak általános szerkezete a következő ábrával szemléltethető:

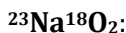


A mi esetünkben **X** = H, **Y** = **Z** = F. A savas hidrogénatom gyakorlatilag hidrogénionként a váz egyik fluoratomjához kapcsolódik, ill. két fluoratom között hidrogénhídként van jelen (és viszonylag kis aktiválási energiagáttal vándorolhat az egyes pozíciók között). A vonalakat semmiképpen sem szabad a hagyományos értelemben vett kovalens kötés-ként értelmezni. Az ilyen bórtartalmú ún. clusterok kötésviszonyait nem lehet leírni lokalizált kételektronos kötésekkel.

A feladat viszonylag könnyűnek bizonyult, a legtöbben helyesen oldották meg.

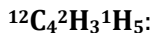
(Szobota András)

K543. A beküldők az alábbi vegyületeket találták, amelyek kielégítenek minden szempontot (csak természetes izotópokat tartalmaznak) és standard körülmények között is előfordulhatnak:



$$2 \cdot p^+(\text{O}) + p^+(\text{Na}) = 2 \cdot 8 + 11 = 27$$

$$2 \cdot n^0(^{18}\text{O}) + n^0(^{23}\text{Na}) = 2 \cdot 10 + 12 = 32$$



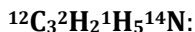
$$4 \cdot n^0(^{12}\text{C}) + 3 \cdot n^0(^2\text{H}) + 5 \cdot n^0(^1\text{H}) = 4 \cdot 6 + 3 \cdot 1 + 5 \cdot 0 = 27$$

$$4 \cdot p^+(\text{C}) + 8 \cdot p^+(\text{H}) = 4 \cdot 6 + 8 \cdot 1 = 32$$



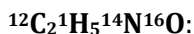
$$3 \cdot n^0(^{12}\text{C}) + n^0(^{17}\text{O}) + 6 \cdot n^0(^1\text{H}) = 3 \cdot 6 + 9 + 6 \cdot 0 = 27$$

$$3 \cdot p^+(\text{C}) + p^+(\text{O}) + 6 \cdot p^+(\text{H}) = 3 \cdot 6 + 8 + 6 \cdot 1 = 32$$



$$n^0(^{14}\text{N}) + 3 \cdot n^0(^{12}\text{C}) + 2 \cdot n^0(^2\text{H}) + 5 \cdot n^0(^1\text{H}) = 7 + 3 \cdot 6 + 2 \cdot 1 + 5 \cdot 0 = 27$$

$$p^+(\text{N}) + 3 \cdot p^+(\text{C}) + 7 \cdot p^+(\text{H}) = 7 + 3 \cdot 6 + 7 \cdot 1 = 32$$



$$2 \cdot n^0(^{12}\text{C}) + 5 \cdot n^0(^1\text{H}) + n^0(^{14}\text{N}) + n^0(^{16}\text{O}) = 2 \cdot 6 + 5 \cdot 0 + 7 + 8 = 27$$

$$2 \cdot p^+(\text{C}) + 5 \cdot p^+(\text{H}) + p^+(\text{N}) + p^+(\text{O}) = 2 \cdot 6 + 5 \cdot 1 + 7 + 8 = 32$$



$$n^0(^{12}\text{C}) + 5 \cdot n^0(^1\text{H}) + 3 \cdot n^0(^{14}\text{N}) = 6 + 5 \cdot 0 + 3 \cdot 7 = 27$$

$$p^+(\text{C}) + 5 \cdot p^+(\text{H}) + 3 \cdot p^+(\text{N}) = 6 + 5 \cdot 1 + 3 \cdot 7 = 32$$



$$n^0(^{10}\text{B}) + n^0(^{11}\text{B}) + 6 \cdot n^0(^1\text{H}) + 2 \cdot p^+(\text{B}) + 6 \cdot p^+(\text{H}) = 5 + 6 + 6 \cdot 0 + 2 \cdot 5 + 6 \cdot 1 = 27$$

$$2 \cdot p^+(\text{B}) + 6 \cdot p^+(\text{H}) + 2 \cdot e^-(\text{B}) + 6 \cdot e^-(\text{H}) = 2 \cdot (2 \cdot 5 + 6 \cdot 1) = 32$$



$$n^0(^{12}\text{C}) + 5 \cdot n^0(^1\text{H}) + n^0(^{10}\text{B}) + p^+(\text{C}) + 6 \cdot p^+(\text{H}) + p^+(\text{B}) = 6 + 5 \cdot 0 + 5 + 6 + 6 \cdot 1 + 5 = 27$$

$$p^+(\text{C}) + p^+(\text{B}) + 5 \cdot p^+(\text{H}) + e^-(\text{C}) + e^-(\text{B}) + 5 \cdot e^-(\text{H}) = 2 \cdot (6 + 5 + 5 \cdot 1) = 32$$

A feladat kifejezetten nehéznek bizonyult, mindösszesen két beküldőnek (Ritli Abigél és Suhajda Csenge) esett le, hogy a 27-et, illetve 32-t egyazon molekula elemi részecskéinek számából kell kihozni, így a többiek megoldása sajnos nem tartalmazott értékelhető megoldást.

(Viczkó Csaba)

K544. 1. Olyan ionvegyületek, amelyekben egyetlen kation és egyetlen anion azonos számú elektront tartalmaz, és az egyik összetett ion:

Az ammónium-fluorid, NH_4F ilyen vegyület. Az NH_4^+ ion elektronszáma $7 + 4 \cdot 1 - 1 = 10$, a fluoridioné pedig $9 + 1 = 10$. Tehát a kation és az anion azonos számú elektronnal rendelkezik.

Ugyancsak megfelel a hidrazónium-klorid, $\text{N}_2\text{H}_5\text{Cl}$. A N_2H_5^+ ion elektronszáma $2 \cdot 7 + 5 \cdot 1 - 1 = 18$, a kloridioné $17 + 1 = 18$. Itt is teljesül, hogy az egyetlen kation és az egyetlen anion ugyanannyi elektront tartalmaz.

2. Olyan ionvegyületek, amelyekben az egyenlőség csak az összes kation és az összes anion elektronszámát összeadva teljesül:

A cink-cianid, $\text{Zn}(\text{CN})_2$ jó példa. A Zn^{2+} ion elektronszáma $30 - 2 = 28$, egy cianidioné $6 + 7 + 1 = 14$. Egyetlen kationra 28 elektron jut, két anionra együtt $2 \cdot 14 = 28$ elektron, tehát az összes kation és az összes anion elektronszáma megegyezik, de egyetlen Zn^{2+} és egyetlen CN^- ion elektronszáma nem azonos.

Hasonló a helyzet az ón(II)-nitrittel, $\text{Sn}(\text{NO}_2)_2$. A Sn^{2+} ion elektronszáma $50 - 2 = 48$, egy NO_2^- ioné $7 + 2 \cdot 8 + 1 = 24$. Két nitrition együtt $2 \cdot 24 = 48$ elektront tartalmaz, vagyis a teljes kationos és anionos elektronszám azonos, de egyetlen kation és egyetlen anion külön nem izoelektronos.

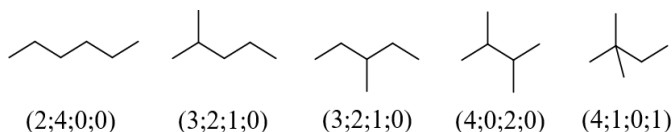
Összefoglalva tehát az első típusra példa az NH_4F és a $\text{N}_2\text{H}_5\text{Cl}$, a másodikra pedig a $\text{Zn}(\text{CN})_2$ és a $\text{Sn}(\text{NO}_2)_2$. Sok további helyes példa adható.

A feladat könnyűnek bizonyult, a beküldők többsége maximális pontot ért el. Akik csak az egyik módra adtak példát, a pontok felét kapták meg.

(Nemeskéri Dániel)

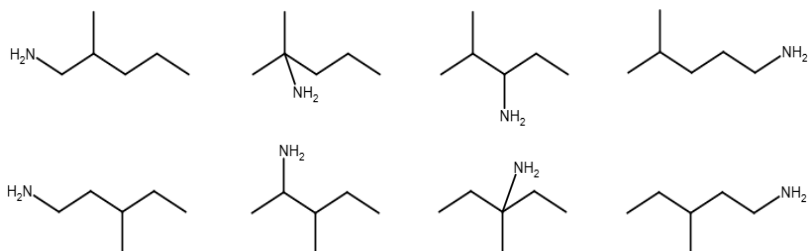
K545. A keresett anyag a DMBA, avagy a 4-metilpentán-2-amin, ennek összegképlete $\text{C}_6\text{H}_{15}\text{N}$. Ismert, hogy ha egy vegyületben nincsenek gyűrűk és π -kötések, akkor nincsen olyan konstitúciós izomere, melyben lennének.

Rajzoljuk fel a szénváz (hexán) lehetséges konstitúciós izomerjeinek vonalképletét:

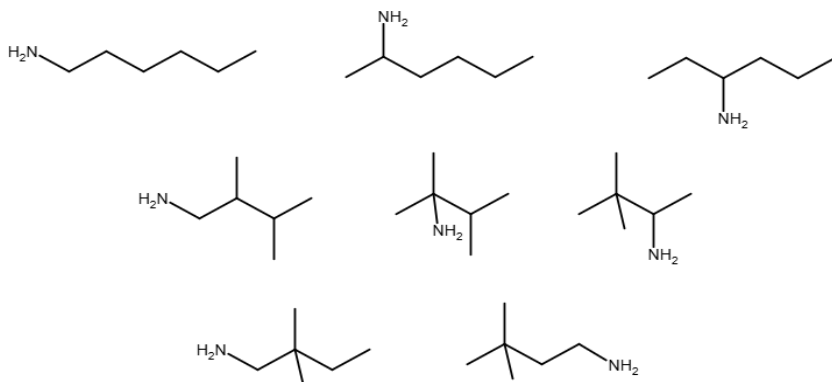


A molekulák alatti számok rendre az elsőrendű, másodrendű, harmadrendű és negyedrendű szénatomokat jelölik. Ha ezek közül valamely molekulában egy hidrogént kicserélünk egy aminocsoportra, akkor a DMBA egy konstitúciós izomerét fogjuk kapni. Könnyen látható, hogy ilyen módon az összes konstitúciós izomer meg is kapható.

a) Az eredeti molekula szénváza a 2-metilpentán, tehát minket a (3; 2; 1; 0) alakú listák érdekelnek. Innen a lehetséges izomerek (a DMBA-t kihagyva):



- b) Ide olyan lista kellene, melyben 3; 2; 1; 0 számok vannak, de más sorrendben. Jól láthatóan itt ilyen nincs.
- c) Ide olyan lista kell, melyben van két egyenlő szám. Ilyen a (2; 4; 0; 0), a (4; 0; 2; 0) és a (4; 1; 0; 1). Az ezekhez tartozó izomerek:



- d) Ide olyan lista kellene, melyben van három egyenlő szám. Jól láthatóan itt nincs ilyen.

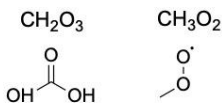
A feladat kifejezetten nehéznek bizonyult, az átlag jócskán a szokásos K-feladatok átlaga alatti, 3,71 pont lett. Részletes és helyes megoldást adott le Rajtik Sándor Barnabás, melyet fent közöltünk. Több beküldőnek is nehézséget jelentett a kérdéses anyag megtalálása, illetve előfordult a rendűség helytelen értelmezése is. Ilyenkor kizárólag a szomszédos szénatomok száma a mérvadó, a többszörös kötések és egyéb szubsztituensek nem

játszanak semmilyen szerepet. A hidrogének újbóli megszámlálásával elkerülhetőek az olyan hibák, mint például egy gyűrűs vagy telítetlen konstitúciós izomer felrajzolása egy teljes mértékben telített molekulához.

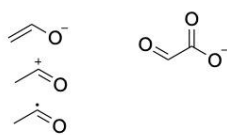
(Viczkó Csaba)

K546. A legtöbb beküldő szerves vegyületekkel próbálkozott és ezekből valóban léteznek több jó kombináció is. Például:

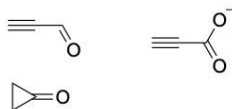
C, H, O, 1, 2, 3:



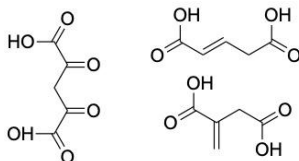
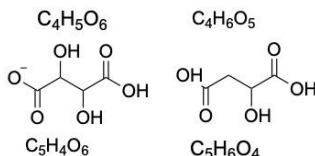
$\text{C}_2\text{H}_3\text{O}$	C_2HO_3
--------------------------------	-------------------------



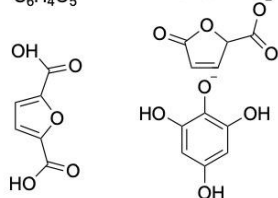
$\text{C}_3\text{H}_2\text{O}$	C_3HO_2
--------------------------------	-------------------------



C, H, O, 4, 5, 6:

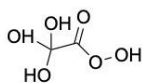


$\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_5$	$\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_4$
----------------------------------	----------------------------------

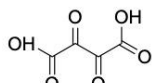


C, H, O, 2, 4, 6:

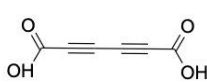
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_6$



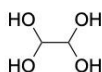
$\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_6$



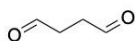
$\text{C}_6\text{H}_2\text{O}_4$



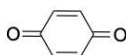
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_4$



$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$



$\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2$



A legtöbb beküldő (helyesen) úgy értelmezte a feladatot, hogy a megoldási javaslatot elegendő indoklással kell ellátni (ezt egy helyes szerkezeti képlet is kielégíti). Néhányan azonban nem tettek így, erre a jövőben érdemes odafigyelni. A beküldők nagy része 4-5 helyes szerkezetig eljutott, apróbb figyelmetlenségek csúsztak be több helyen. Hibátlan megoldást öten adtak be.

(Viczkó Csaba)

K547. a) PH_3 , NH_2Cl , NF_3

b) SOF_2 , ClFO_2

c) XeOF_4

d) $[\text{InCl}_5]^{2-}$

e) $[\text{Ni}(\text{CN})_5]^{3-}$

A feladat könnyűnek bizonyult, a beküldők többsége maximális pontot ért el.

(Varga Szilárd Bercel)

K548*. a) Feltételezhetjük, hogy a nagyobb érték, 72,1 az 1 mólos táblázathoz, a 0,321 az 1 grammoshoz tartozik.

b) Beláthatjuk, hogy a 72,1 érték a képződő víz tömege lesz. Ehhez a vegyület molekulájának 8 H-atomot kell tartalmaznia. Ugyan 3 mol gáz térfogata is 72,1 dm³ közelében van, ennek nem feleltethető meg anyag. A 0,321-es érték tehát az 1 g vegyület égésekor képződő gáz térfogata.

Ha ez kizárólag a CO_2 , akkor a vegyület moláris tömege $24,5/0,321 = 76,3$ g/mol. A hiányzó atom(ok)ra $76,3 - 12,01 - 8,08 = 56,21$ g jut, ami megfelel 2 Si-atomnak. A keresett vegyület tehát a CSi_2H_8 , egy propánanalóg. Az Si-atomok izoláltan helyezkednek el, tehát nincs a molekulában Si-Si kötés. Égésnél a hidrogénből folyékony víz, a szilíciumból szilárd SiO_2 keletkezik.

c) Igen, mivel a metán a lehető legkisebb moláris tömegű egy szénatomos vegyület, ezért a rá kiszámítható anyagmennyiség a legnagyobb, így az 1 grammra vonatkozó értékek rekordnak számítanak. Triviális rekord természetesen a holtversenyes $44,0$ g CO_2 / 1 mol anyag is.

d) Az új rekorder molekulája szintén 8 H-atomot tartalmaz, de moláris tömege $24,5/0,148 = 165,5$ g/mol. A hiányzó atom(ok)ra $165,5 - 12,01 - 8,08 = 145,5$ g jut, ami megfelel 2 Ge-atomnak. A keresett vegyület tehát az előzővel analóg szerkezetű CGe_2H_8 .

Update2: A K542-ben szereplő halogénezett karboránsavak analógja, a $\text{H}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$ ugyan nem izolálható anyag, de a sói igen. Ezek viszont megdöntik az 1 mol vegyület égésekor keletkező víz tömegére vonatkozó rekordot, hiszen 6 mol H_2O képződésével kell számolnunk (egyértékű kation esetén). Sőt, nagy moláris tömegű kation (pl. Cs) a gáztérfogat/1 g anyag rekordot is letaszítja. Itt az ideje, hogy Vendel ezeket is felvegye a táblázatába.

A feladat nehéznek bizonyult, a szilícium- és germániumvegyületek nem jutottak senkinek az eszébe.

(Nemeskéri Dániel – Zagyi Péter)

K549. Elsőként számítsuk ki a kristályvizes timsó összetételét:

$$w_{\text{só}} = \frac{258,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{258,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} + 12 \cdot 18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,544.$$

$m = 135$ g sóban tehát $m_{\text{vízmentes}} = 0,544 \cdot 135$ g = 73,4 g vízmentes só és $m_{\text{kristályvíz}} = 61,6$ g kristályvíz van.

Vizsgáljuk először Róza módszerét:

80 °C-on 73,4 g vízmentes só feloldásához

$$m_{\text{víz}, 80^\circ\text{C}} = \frac{73,4}{71} \cdot 100 \text{ g} = 103,4 \text{ g vízre van szükség.}$$

Ehhez még 41,8 g vízben kellett feloldani a kristályvizes sót és ebből:

$$w_{80^\circ\text{C}} = \frac{73,4}{135+41,8} = 0,415.$$

0 °C-on 73,4 g vízmentes só feloldásához $m_{\text{víz}, 0^\circ\text{C}} = \frac{73,4}{3} \cdot 100$ g = 2447 g vízre van szükség. Ehhez még 2385 g vízben kellett feloldani a kristályvizes sót és ebből:

$$w_{0^\circ\text{C}} = \frac{73,4}{135+2385} = 0,029.$$

Ezen adatok ismeretében keverési egyenlettel egyszerűen ki lehet számolni a lehűléskor kiváló kristályvizes só tömegét:

$$(m + 41,8) \cdot w_{80^\circ\text{C}} = m_{\text{Róza}} \cdot w_{\text{Só}} + (m + 41,8 - m_{\text{Róza}}) \cdot w_{0^\circ\text{C}}$$

$$176,8 \cdot 0,415 = m_{\text{Róza}} \cdot 0,544 + (176,8 - m_{\text{Róza}}) \cdot 0,029$$

$$\text{Ebből } m_{\text{Róza}} = 132,5 \text{ g.}$$

Róza módszerének hatásfoka:

$$\eta_{\text{Róza}} = \frac{132,5}{135} \cdot 100 \% = 98,2\%.$$

Sándor módszerével:

$$20^\circ\text{C-on } 73,4 \text{ g vízmentes só feloldásához } m_{\text{víz},20^\circ\text{C}} = \frac{73,4}{5,9} \cdot 100 \text{ g} = 1244 \text{ g vízre van szükség. Ehhez még } 1182 \text{ g vízben kellett feloldani a kristályvizes sót és ebből: } w_{20^\circ\text{C}} = \frac{73,4}{135 + 1182} = 0,056.$$

Az elektrolízis során vízbontás történt, 1 mol víz elbontásához 2 mol e-szükséges ($\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$).

$$Q = I \cdot t = 10 \text{ A} \cdot 10 \text{ h} \cdot 3600 \text{ s/h} = 3,6 \cdot 10^5 \text{ C}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 0,5 \cdot n_{e^-} = 0,5 \cdot \frac{Q}{F} = 0,5 \cdot \frac{3,6 \cdot 10^5 \text{ C}}{9,6 \cdot 10^4 \text{ C/mol}} = 1,87 \text{ mol}$$

Ezek alapján $m_{\text{el}} = 1,87 \text{ mol} \cdot 18 \text{ g/mol} = 33,7 \text{ g}$ vizet bontott el Sándor.

Ismét felírva a keverési egyenletet:

$$(m + 1182) \cdot w_{20^\circ\text{C}} = m_{\text{S}} \cdot w_{\text{Só}} + (m - m_{\text{el}} - m_{\text{S}} + 1182) \cdot w_{20^\circ\text{C}}$$

$$1317 \cdot 0,056 = m_{\text{S}} \cdot 0,544 + (1283 - m_{\text{S}}) \cdot 0,056.$$

$$\text{Ebből } m_{\text{S}} = 3,90 \text{ g, valamint } \eta_{\text{S}} = \frac{3,90}{135} \cdot 100 \% = 2,89\%.$$

Tehát a lehűtéssel történő átkristályosítás szignifikánsan hatékonyabb, mint az elektrolízissel történő vízbontás a timsó esetén.

b) A szennyezőktől megtisztítani csak Róza módszerével, vagyis az átkristályosítással lehet, amikor a timsó egy új, tiszta fázist alkot, míg a szennyezők vagy oldva maradnak, mivel a koncentrációjuk nem éri el a vízben való oldhatóságukat, vagy egy egyszerű szűréssel eltávolíthatók. Az elektrolízis során (kvázi bepárlásként is értelmezhető) a szennyező anyagok visszamaradnak oldott állapotban, épp úgy, mint a timsó.

A feladatra 4 beküldő adott be hibátlan megoldást és további 2 versenyző esetén is csak a b) feladatrész részletesebb indoklása hiányzott. A többi

beküldő változatos módszerekkel próbálta a feladatot megoldani, több esetben a kiváló só kristályvizéről feledkeztek meg.

(Viczkó Csaba)

K550. a) A földi légkör teljes tömegét a légköri nyomás segítségével becsülték meg, és $5 \cdot 10^{21}$ g a nagyságrendje.

Egy lélegzetet 0,5 liternek becsülve, az anyagmennyisége 0,02 mol. A pontos hőmérséklet és nyomás ilyen becslésnél nem változtat sokat, akár a testhőmérsékletet vagy más szobahőmérséklet körüli értéket használunk. A levegő 29 g/mol körüli átlagos moláris tömegével számolva ennyi levegő tömege 0,6 g körül lehet.

A tömegeket összevetve a légkörben tehát kb. $n = \frac{5 \cdot 10^{21} \text{ g}}{0,6 \text{ g} \cdot N_A} \cong 0,014$ mol lélegzetvétel lehet, ami egyértelműen kisebb, mint az egy lélegzetvételben fellelhető gázcseppcskék anyagmennyisége, de a két érték hasonló nagyságrendű.

b) A beküldők jó néhány aránnyal próbálták szemléltetni az Avogadro-szám nagyságát. Ezek között sok volt az a) kérdéssel analóg: hány pohár víz van az óceánokban és hány molekula egy pohár vízben; konyhasó móljai egy sótartóban és a kősó mennyisége a földkéregben.

Más jellegű, de hasonló összehasonlítások, hogy 1 molnyi homokszemből a Földdel összemérhető méretű homokdomb jönne össze, vagy hogy a földgömböt teljesen befüvesítve távolról sem közelítené meg a fűszálak száma az Avogadro-számot.

Ugyan csillagból a Világegyetemben 1 mólnyinál valamivel több van, de általában leszámolással nehéz elérni ilyen nagyságrendeket: kis értékű pénzermében számolva sem lesz ilyen nagyságrendű a világgazdaság értéke; a Világegyetem kora másodpercben számolva is eltörpül az Avogadro-szám mellett.

A becslés számszerűsítése szinte minden beküldőnek jól sikerült, bár néhányan félreértették az összehasonlítandó számokat. Az összehasonlítások változatos tárháza érkezett be a b) részre, de néhány esetben azért feltűntek ügyetlen mennyiségek, pl. NaCl molekulákat nem illene kémiából készített diákoknak emlegetni.

(Magyarfalvi Gábor)

K551. A összetételének meghatározáskor feltehető, hogy egy sóról beszélünk, hiszen kikristályosítható. Amennyiben NaClO_n formában írható fel, a tömegszázalékból következik:

$$n = \frac{35,45 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0,333} - 35,45 \frac{\text{g}}{\text{mol}} - 23 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 3.$$

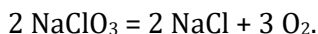
A összegképlete tehát: NaClO_3 , képződésének egyenlete:



A bomlásakor $n = \frac{1\text{g}}{106,45 \text{ g/mol}} = 9,39 \text{ mol}$ nátrium-klorátból indultunk ki és a keletkező gáz anyagmennyisége ($T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ -ot feltételezve):

$$\Delta n = \frac{p_{\text{vég}} V_{\text{vég}}}{RT_{\text{vég}}} - \frac{p_0 V_0}{RT_0} = \frac{265 \text{ kPa} \cdot 1 \text{ dm}^3}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{molK}} \cdot 573 \text{ K}} - \frac{101 \text{ kPa} \cdot 1 \text{ dm}^3}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{molK}} \cdot 298 \text{ K}} = 14,05 \text{ mol}.$$

Ez pont 1,5-szerese a kiindulási anyagmennyiségnek, tehát feltételezhetően az oxigén elemi formában távozott és NaCl maradt vissza:



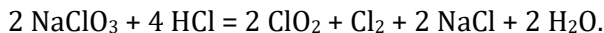
B és **C** meghatározásánál észszerű feltevés, ha klórtartalmú gázokra gondolunk. Ekkor amennyiben az egyik az elemi klórgáz, a másikra: $1,051 \cdot M(\text{Cl}_2) = 74,52 \text{ g/mol}$ -ra nem adódik értelmes megoldás, ám:

$$M(\text{Cl}_2)/1,051 = 67,46 \text{ g/mol}$$
-ra épp a klór-dioxid moláris tömege jön ki.

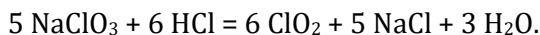
Az eljárásnál a klórgáz képződését próbálják elkerülni, így

B: Cl_2 és **C:** ClO_2 .

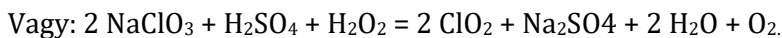
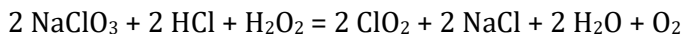
Keletkezésük egyenlete:



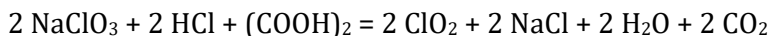
Töményebb sósavval:

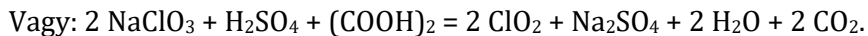


Hidrogén-peroxiddal:



Oxálsavval:



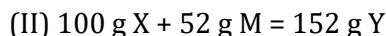
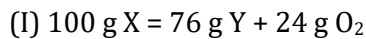


A feladat jól szórta a mezőnyt. Hibátlan megoldást egyedül Rajtik Sándor Barnabás adott le. Érkezett több olyan megoldás is, ahol bár az ismeretlen vegyületeket kitalálta a beküldő, az egyenletek rendezésénél merültek fel hiányosságok. Továbbá sokan figyelmetlenségből kihagytak 1-2 egyenletet a megoldásukból. Jövőre figyeljetelek arra, hogy a megoldás tisztázása előtt fussátok át még egyszer alaposan a feladat szövegét. Az csupán egy versenyzőt vezetett félre, hogy ha a klórgázt a másik ismeretlenként azonosítjuk, a 74,52 g/mol-os moláris tömeg éppen megfelel a NaOCl-nak. Azonban a feladat szövegéből egyértelműen adódik, hogy a szerző a klór-dioxidra gondolt a nátrium-hipoklorit helyett.

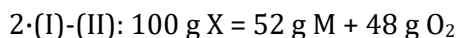
Ezt támasztja alá például az alábbi cikk is: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652605002568>.

(Viczkó Csaba)

K552. Írjuk fel a két folyamatot minden részt vevő részecske tömegét jelezve:



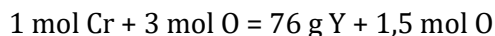
Észrevesszük, hogy a második egyenlet jobb oldalán éppen kétszer annyi Y van, mint az elsőben, így egyszerűen tudjuk eliminálni:



Ebből következik: $n(\text{O}) = 3 \text{ mol}$, valamint: $M(\text{M}) = 17,33n \text{ g/mol}$, ahol n az O/M arányt jelöli X vegyületben. Néhány kis számra próbálva, $n=3$ esetén $M(\text{M}) = 52 \text{ g/mol}$ adódik, ami éppen a króm moláris tömege.

Tehát **X**: CrO_3 .

Az ismert adatokat behelyettesítve (I)-be:



Tehát Y-ban az O:Cr-arány: $1,5:1 = 3:2$.

Ezek alapján **Y**: Cr_2O_3 .

A feladat nem bizonyult nehéznek a beküldők jelentős részének, szinte mindenki megtalálta a két vegyületet. A megoldás Mikita Chuyeshkou ötletén alapul.

(Viczkó Csaba)

K553. a) Minél nagyobb mértékben tölti ki a lombikot az ammónia, annál nagyobb mennyiségű gáz oldódik a vízben, így annál nagyobb mennyiségű víz fog felszívódni a kísérlet során. A bejutó víz tömege alapján a lombikban lévő ammónia teljes mennyisége feloldódik, míg a levegő csak elhanyagolhatóan kis mértékben oldódik a vízben. Ez azt jelenti, hogy kezdetben a ledugózott lombikban lévő gázelegy 70%-a ammónia, 30%-a pedig levegő volt.

A megadott adatok, valamint az általános gáztörvény alapján a lombikban lévő gázok együttes anyagmennyisége 10,62 mmol, így az ammónia anyagmennyisége 7,44 mmol, míg tömege 126 mg volt.

b) A bejuttatott 1 csepp víz hatására az ammónia egy része oldódik, így csökken a gázhalmazállapotú anyagok anyagmennyisége, továbbá (igaz, hogy csak elhanyagolható mértékben) csökken a gázok által kitöltött térrész is. A telített oldat összetétele miatt az oldódó ammónia tömege egy harmada lesz a bejuttatott víz tömegének, vagyis 13,3 mg, ami 0,784 mmol. Emiatt a gázhalmazállapotú részecskék anyagmennyisége 9,84 mmol-ra csökkent. Feltételezve, hogy az edényben ekkor még mindig 30°C a gázok hőmérséklete, ezek együttes nyomása az általános gáztörvény alapján 93,6 kPa-nak adódik.

c) Az U-csőben lévő kalcium-oxid 20 mg, vagyis 1,11 mmol vizet kötött meg. Ez alapján a lombikot elhagyó elegyben a víz és az ammónia anyagmennyiségének aránya 1,0 : 6,7.

A feladat megoldása szempontjából érdemes megemlíteni azt, hogy a fenti, oldhatóságon alapuló megoldásban nem kerül figyelembevételre a kísérlet végén beálló mechanikai egyensúly, ugyanis a víz addig fog beáramlani a lombikba, amíg annak belsejében a nyomás el nem éri a külső nyomás értékét. Ez azért fontos, mert a kísérlet végén is meglévő gáz nyomása ennek megfelelően kisebb lesz, mint a külső (légköri) nyomás, vagyis a levegő anyagmennyisége kisebb, míg az ammónia anyagmennyisége nagyobb lesz a fentihez képest. Mivel egy átlagos 250 ml-es lombik magassága nem nagyobb, mint 20 cm, így az ilyen módon kialakuló, a dugóba fűrt csőben lévő víz hidrosztatikai nyomásából, illetve a víz gőznyomásából (tenzió) együttesen származó eltérés nem lesz nagyobb, mint 5%. Ha figyelembe vesszük azt, hogy a térfogatmérés (70%) hibája is legalább 1,4%, úgy a fenti becslés jó közelítésnek tekinthető.

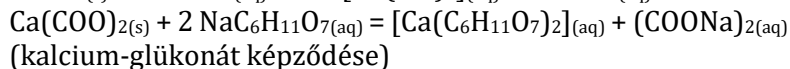
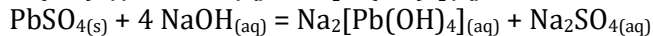
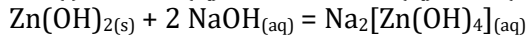
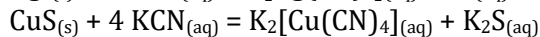
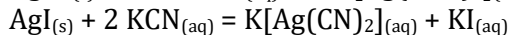
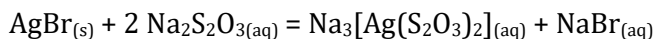
A szökőkút kísérletek esetén gyakran láthatjuk azt, hogy a külső nyomás által benyomott víz áramlási sebessége a kísérlet elején nő (egyre gyorsabban áramlik be a víz). Ezt a fenti számolás alapján magyarázhatjuk azzal, hogy a még fel nem oldódott ammónia pillanatszerűen oldódik a bejutó (egy cseppnél jóval nagyobb mennyiségű) vízben, így ez a hatás gyorsabban csökkenti a belső nyomást, mint amilyen sebességgel növeli azt a beáramló víz. Ahogy a kísérlet során csökken a gáz-halmazállapotú ammónia mennyisége, úgy csökken ez a hatás, míg végül beáll az egyensúly.

A fenti számolással kapcsolatban érdemes megjegyezni, hogy a dugóba fűrt cső (anyagi minőség, átmérő) és a beszívott víz (térfogat, viszkozitás, felületi feszültség) megfelelő tulajdonságainak, továbbá a kísérlet dinamikájának figyelembevételével tovább pontosíthatjuk a számolásunk alapját képező modellünket.

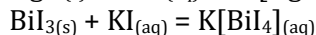
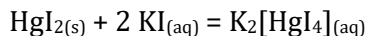
(Ficsór István Dávid)

K554. Az alábbiakban a beküldők által javasolt egyenletekből szemezgetünk kategóriánként:

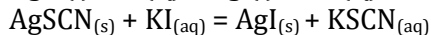
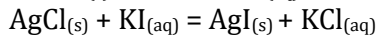
1. Komplexképződés, vízben oldódó vegyület keletkezik:

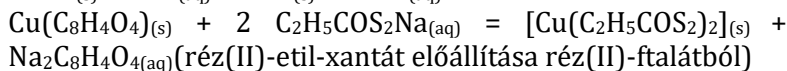
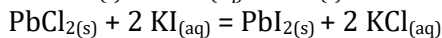
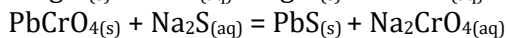
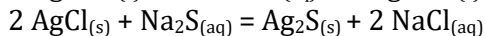
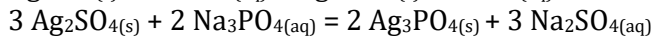
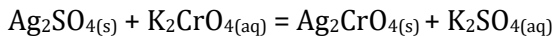


Színes komplex képződésével jár:

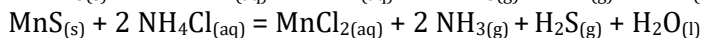
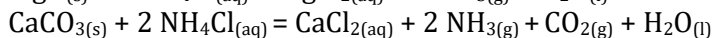
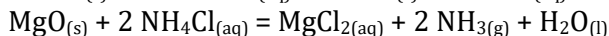
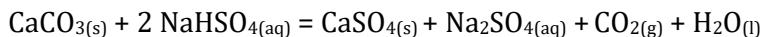


2. Újabb csapadék képződik (rosszabb oldhatósággal, kisebb oldhatósági szorzattal):

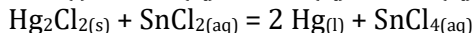
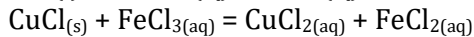
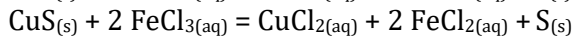




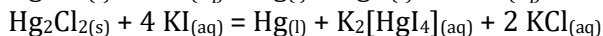
3. Gáz fejlődik:



4. Színváltozással kísért redoxireakció zajlik le:



Ennek speciális esete: diszproporcionálódás:



A feladatra változatos tartalmú és hosszúságú megoldásokat küldtek be a versenyzők. A legtöbb helyes reakciót (15-öt és ezzel együtt a maximális pontszámot) Németh Ábel érte el. A pontozásnál nem csupán a felsorolt egyenletek száma, hanem azok változatossága és helyessége is szerepet játszott, ezért nincs egyenes arányosság az elért pontszám és a közölt reakciók száma között. Típushibának számítottak a nem ionos vegyületek oldataival (például szalmiákszesszel vagy sósavval) felírt egyenletek, valamint ionegyenletek esetén az ellenionok elhagyása (itt a feladat kiírásából fakadóan mindenképpen meg kellett adni a két só képletét).

(Viczkó Csaba)

K555. Az ismeretlen vegyület azonosítását a mennyiségi meghatározások során fogyott mérőoldat mennyisége, továbbá az alkalmazott indi-

kátorok minősége is segíti. Mivel a második mérés előtt az oldatot kiforraljuk, ezért a fogyások közötti különbségért egy illékony, savas kémhatást okozó vegyület a felelős. Ilyen lehet például egy hidrogén-halogenid. A metilnarancs 3-as, illetve 4,5-es pH között, a timolftalein pedig 9-es, illetve 10,5-es pH között vált színt. Ez azt jelenti, hogy a vízzel történő reakció során keletkező vegyületek közül a forralással el nem távolítható komponens egyrészt egy-, illetve kétértékű savként viselkedik a két végpontban, hiszen a második mérésben az első, illetve a második titrálás során 1,00 : 2,00 arányban fogyott a mérőoldat. Másrészt ennek a savnak a mononátrium sója (egy savanyú só) gyengén savas kémhatású, ugyanis a második mérés során az első végpontban (metilnarancs) ez az egyetlen oldott anyag az oldatban. Hasonló okokból a dinátrium só vizes oldata gyengén lúgos.

Ilyen tulajdonsággal rendelkező sav például a foszforsav.

A két vizsgálat során elvégzett titrálások esetén tapasztalt fogyások közötti különbségek lényegében megegyeznek (4,79 ml és 4,80 ml), így a foszforsav mellett lévő savas kémhatást okozó anyagok teljes mennyisége eltávolítható a forralással, továbbá ezek teljes mennyisége elreagál a nátrium-hidroxiddal mikorra a metilnarancs színvált.

Mivel az első vizsgálat első titrálásában a foszforsav, mint egyértékű sav vett részt, így a foszforsav mellett lévő anyagok 23,99 ml nátrium-hidroxid-oldattal közömbösíthetők. Ez azt jelenti, hogy e titrálás során a foszforsavból, illetve az ismeretlen vegyületből származó hidrogénionok mennyiségének aránya 1,00 : 5,00.

Mivel az ismeretlen vegyület tömegét is ismerjük, így ennek segítségével megállapítható, hogy abban 149 mg foszfor található, vagyis 1 mol foszfor mellett 177,4 gramm tömegű ismeretlen alkotóelem található. Ez, valamint a fenti arány, továbbá a feladat szövegében szereplő fizikai és kémiai tulajdonságok alapján arra következtethetünk, hogy az ismeretlen vegyület a PCl_5 .

A feladatra megoldást beküldők általában előbb sejtették meg azt, hogy mi lehet az ismeretlen vegyület, mintsem, hogy azt számolás útján igazolták volna, így a leírások több versenyző esetén is csak megerősítő erejűek voltak. A további lehetőségeket nem zárták ki.

(Ficsór István Dávid)

K556. Induljunk ki egy olyan helyzetből, amikor az anódon 3 mol gáz fejlődik. Ekkor ebből 2 mol nyelődik el nátrium-hidroxid-oldatban, ami azt jelenti, hogy a két elektródon összesen ennek a kétszerese, vagyis 4 mol gáz fejlődik. Ebből az következik, hogy amíg az anódon 3 mol gáz, addig a katódon 1 mol gáz fejlődése figyelhető meg.

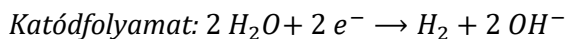
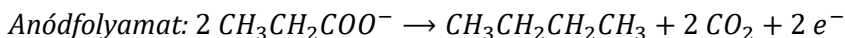
Az átlagos moláris tömegek alapján ilyen anyagmennyiségű gázok esetén az anódon 146 gramm, míg a két elektródon összesen 148 gramm gáz fejlődik. Ezek alapján a katódon hidrogén fejlődik, hiszen annak lehet csak 2 g/mol a moláris tömege.

Az anódon 2 mol anyagmennyiségben fejlődik egy olyan gáz, mely nátrium-hidroxiddal reagál, ilyen lehet például a szén-dioxid.

Ez azt jelenti, hogy az anódon keletkező másik gáz anyagmennyisége 1 mol, míg tömege 58 gramm. Ez alapján arra következtethetünk, hogy az ismeretlen vegyület C_4H_{10} összegképlettel jellemezhető.

Ha figyelembe vesszük azt, hogy ez a gáz a nátrium-propanoát elektrolízisekor keletkezik, akkor megsejthetjük, hogy a kérdéses vegyület a bután.

Az elektrolízis során az alábbi elektródfolyamatok mennek végbe:



Mivel a feladatban szereplő folyamat egy nem túlzottan egzotikus család (Kolbe-elektrolízis) egyik tagja, így több diák is csak leellenőrizte, hogy az általa jónak gondolt vegyületek teljesítik-e a feladatban szereplő feltételeket. Ez a fajta megoldásmenet azonban nem igazolja azt, hogy más vegyületek ne teljesítenék a feladatban megfogalmazott feltételeket.

(Ficsór István Dávid)

H441. A hígításkor a sósav és az ecetsavoldat koncentrációja is a felére csökken, az előbbiből származó protonok koncentrációja így

$$[\text{H}^+]_{\text{HCl}} = 0,5 \cdot 10^{-2} = 0,005 \text{ M}$$

Az új oldatban a releváns specieszek koncentrációja a következő:

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = 0,5c - x$$

$$[\text{H}^+] = 0,005 \text{ M} + x$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = x$$

ahol c az ecetsav kiindulási koncentrációja, x az acetátionok koncentrációja a hígított oldatban. A pH ismeretében a $[H^+]$ kiszámítható:

$$[H^+] = 10^{-4,76} = 0,005 \text{ M} + x$$

ebből pedig következik, hogy $x = 1,187 \cdot 10^{-5}$.

Az ecetsav disszociációállandójával felírható az alábbi egyenlet:

$$10^{-pK_a} = [H^+][CH_3COO^-]/[CH_3COOH]$$

Behelyettesítve a korábbi kifejezéseket másodfokú egyenletet kapunk, melynek egyetlen ismeretlene a c kiindulási koncentráció, mely az a) esetén $6,87 \cdot 10^{-3}$ M, a b)-ben pedig $2,64 \cdot 10^{-5}$ M-nak adódik.

A kiindulási koncentrációk ismeretében az eredeti ecetsavoldatok pH-ja is meghatározható:

$$10^{-pK_a} = [H^+]_1[CH_3COO^-]_1/[CH_3COOH] = y^2/(c-y)$$

mivel az egyenlet egyetlen ismeretlene az y eredeti oldatban lévő acetát- illetve diklóracetátionok koncentrációja. y megegyezik a hidrogénionok mennyiségével is, így abból kiszámítható, hogy az ecetsavoldat kezdeti pH-ja 3,47, a diklórecetsavé 4,58.

Vegyünk azonban észre valamit. A pH-változás mértéke gyakorlatilag megfelel a sósav kétszeres hígításának. Ebből az következik, hogy tiszta vízzel is lényegében ugyanekkora pH-változás érhető el – a kiszámított pH-k tehát minimális értékek. Ezeknél nagyobb pH-jú oldatokkal ugyanúgy 2,3 lesz a kapott oldat pH-ja.

Többen elfelejtettek számolni az oldatok hígulásával, illetve azon is átsiklottak, hogy a kérdés az eredeti oldatok pH-jára vonatkozik. Hibátlan megoldások is érkeztek szép számmal.

(Varga Szilárd Bercel)

H442. A fejlődő gáz, kiindulva a NaOH adagolásából, hogy kénsavas gázmosóval lehet elnyeletni, ezért valószínűleg ammónia.

A fejlődő ammónia **A** és **B** esetén:

A só: $n(NH_3) = 0,2771 \text{ g} / 17,04 \text{ g/mol} = 16,26 \text{ mmol}$.

B só: $n(NH_3) = 0,0852 \text{ g} / 17,04 \text{ g/mol} = 5,000 \text{ mmol}$.

A fogyott NaOH mennyisége:

A: $n(\text{NaOH}) = (1,000 - 0,9643) \text{ g} / 40,00 \text{ g/mol} = 8,128 \text{ mmol}$.

B: $n(\text{NaOH}) = (1,000 - 0,6002) \text{ g} / 40,00 \text{ g/mol} = 9,995 \text{ mmol}$.

Mivel az első vegyület esetén $n(\text{NH}_3) > n(\text{NaOH})$, ezért az **A** vegyületben az ammónia legalább egy része komplex alkotóként van jelen.

Tételezzük fel, hogy minden NH_3 komplexben van kötve, ekkor a teljes NaOH a fém-hidroxid keletkezésére fordítódik.

A fém legyen Me^{x+} , ekkor $n(\text{Me}(\text{OH})_x) = 8,128/x \text{ mmol}$.

A fém-oxid képlete: $\text{MeO}_{x/2}$, ennek anyagmennyisége: $8,128/x \text{ mmol}$, tömege a feladat szerint $0,3236 \text{ g}$.

Így a moláris tömeg:

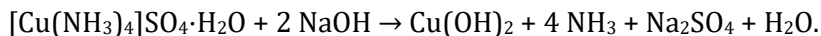
$$M(\text{MeO}_{x/2}) = M(\text{Me}) + x/2 \cdot 16 = 0,3236 / (8,128/x) \cdot 1000 \text{ (g/mol)}.$$

Innen $M(\text{Me}) = 31,81 \cdot x \text{ (g/mol)}$, ez $x = 2$ -re lesz közele a Cu azaz a réz moláris tömegéhez. Ez konzisztens a várakozásainkkal, hiszen a réznek a hidroxidja valóban csapadék $\text{Cu}(\text{OH})_2$. Így $1 \text{ grammra } n(\mathbf{A}) = 4,064 \text{ mmol}$.

Ekkor **A** só moláris tömege: $M(\mathbf{A}) = 246,1 \text{ g/mol}$. Ammóniából $16,26/4,064 \approx 4$ ekvivalens van jelen, ez $4 \cdot 17 = 68 \text{ (g/mol)}$. Ez a jól ismert tetraammin-réz(II) komplex lesz, a maradék moláris tömeg $246,1 - (68 + 63,6) = 114,5$. Ez kb. megfelel $1-1$ ekvivalens szulfátnak és kristályvíznek. (A feladat szövege szerint mind a két só tartalmaz kristályvizet, illetve mivel a keletkező kénsavas oldatban csak egyféle anyag van, ezért az anion csak szulfát lehet.)

Így az **A** vegyület képlete: $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Így a lezajlott reakció:



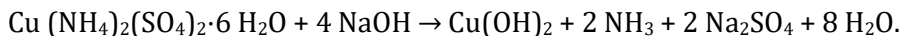
A **B** vegyület meghatározása így már sokkal könnyebb:

$$n(\mathbf{B}) = 0,1989 \text{ g} / (79,55 \text{ g/mol}) = 2,500 \text{ mmol}. \text{ Így } M(\mathbf{B}) = 400 \text{ g/mol}.$$

Ammóniából: $5 \text{ mmol} / 2,5 \text{ mmol} = 2$ ekvivalens van a vegyületben, valószínűleg nem komplexként, hanem ammóniumion formájában, mivel a fogyott nátrium-hidroxid 4-szeres ekvivalens, így két ammóniumion szükséges. Így a kristályvízre és szulfátra megmaradó moláris tömeg $400 - 2 \cdot 18 - 63,6 = 300,4$. Ez a töltések miatt csak a 2 ekvivalens szulfátnak és 6 ekvivalens kristályvíz mellett lehetséges.

Így végül **B** vegyület képlete: $\text{Cu}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$.

A lezajlott reakció:



A feladat alapvetően könnyűnek bizonyult, sok alapvetően jó megoldás született.

(Nemeskéri Dániel)

H443. a) A Lugol-oldattal végzett próba során keletkező sárga színű vegyület a jodoform. E reakció akkor játszódik le, ha a vizsgált anyag részecskéiben acetyl csoport, vagy azzá oxidálható funkciós csoport található. A reakció jodoform melletti társterméke egy karbonsav. Az utolsó lépésekben ennek a savnak a kalciumsója szerepel, továbbá ez a vegyület savas közegben szén-dioxidra oxidálható. Mivel a kalciumsó vízben rosszul oldódik, és csak erősen savas közegben oldható fel, így a keresett sav az oxálsav. Tejsav, illetve hangyasav a só oldhatósága, borkősav, valamint citromsav az ecetsavban való oldódás miatt nem jöhet szóba.

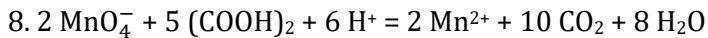
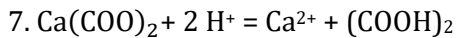
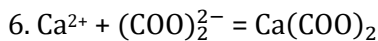
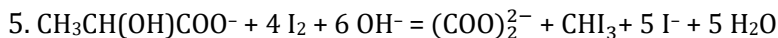
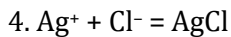
Ez a sav a jodoform reakció során piroszölősavból vagy tejsavból, esetleg bután-2,3-diolból keletkezhet. Elméletileg propilén-glikolból is keletkezhetne oxálsav, azonban a primer hidroxilcsoport ilyen körülmények között nem oxidálódik karboxilcsoporttá.

Savas közegben kálium-nitrit hatására egy diazotálási reakció játszódik le, mely során primer aminokból – nitrogén fejlődése mellett – alkoholok keletkeznek. A megadott információk alapján az ismeretlen vegyület erősen savas kémhatást okoz, így az nem lehetett valamely alifás amin sója, hiszen azok gyenge savak. Felmerülhet azonban annak gondolata, hogy az ismeretlen vegyület egy aminosav, vagy annak valamilyen származéka.

Ezek alapján az oxálsav tejsavból keletkezett, míg az ismeretlen vegyület az alanin valamely sója. Mivel a vegyület ezüst-nitráttal fehér színű csapadékot képez, így az aminosav hidrogén-kloriddal képzett sója, az alaninium-klorid lehetett az ismeretlen vegyület.

b)

- $[\text{NH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{COOH}]^+ + \text{HS}^- = [\text{NH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{COO}] + \text{H}_2\text{S}$
- $[\text{NH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{COOH}]^+ + \text{HCO}_3^- = [\text{NH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{COO}] + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $[\text{NH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{COOH}]^+ + \text{HNO}_2 = \text{HOCH}(\text{CH}_3)\text{COOH} + \text{N}_2 + \text{H}_3\text{O}^+$



A feladat nem bizonyult könnyűnek. Többen is megálltak valamely szerves sav (oxálsav, tejsav, piroszőlősav) ammóniával képzett sójánál. Ezek azért nem lehetnek megoldásai a feladatnak, mert az ammóniumion és a nitrition reakciójában csak melegítésre fejlődik gáz, továbbá ezek a vegyületek gyenge savak, így nem képesek szén-dioxidot fejleszteni az ammónium-karbonát vizes oldatából.

Az első két reakció során megfigyelt változások alapján egy erős bázis is lehetne az ismeretlen vegyület, azonban az nagy eséllyel festené a lángot.

A kísérleti tapasztalatokat a feladat szerzője igyekezett úgy megadni, hogy a megoldás (minél inkább) egyértelmű legyen. Sajnos a megadott információk alapján az ismeretlen vegyület anionja lehetne hidrogén-oxalátion is. Ebben az esetben azonban a kation beazonosítása problémákba ütközne, ugyanis ekkor a feladatban szereplő információk alapján nem tudnánk egyértelműen meghatározni a kationt. Ez a részlet kiküszöbölhető lett volna azzal, hogy ezüst-nitrát-oldat helyett salétromsavval megsavanyított ezüst-nitrát-oldattal végezzük az analízist, ugyanis a napfényen szürkülő ezüst-oxalát ilyen körülmények között nem válik le csapadékként, míg az ezüst-klorid igen.

A megadott információk alapján a feladatnak a 2-aminopropanoil-klorid is megoldása. Ez a vegyület vízzel heves reakcióba lép (hidrolizál), mely során szúrós szagú anyag keletkezése (HCl), továbbá a folyadék erős felmelegedése is megfigyelhető. A hidrolízis termékeinek reakciójában aluminium-klorid keletkezik. Ilyen módon az oldódás körülményeinek pontosabb feltüntetése, vagy az ismeretlen vegyület olvadáspontjának ismerete alapján tudnánk csak kizárni, vagy megerősíteni ezt az esetet.

Hibátlan megoldást küldött be Milovecz Fruzsina Panka, Elek János, Fekete Simon és Takách Máté.

(Ficsór István Dávid)

H444. a) Az ammóniaszintézis egyenlete: $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3(\text{g})$. A megadott standard adatokból:

$$\Delta_r H^\circ = 2 \cdot (-46,2 \text{ kJ/mol}) = -92,4 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_r S^\circ = 2 \cdot 192,7 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} - 191,6 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} - 3 \cdot 130,7 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} = -198,3 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}.$$

Így amikor $K_p = 1$, akkor $\Delta_r G^\circ = -RT \cdot \ln K_p = 0$. Azaz $\Delta_r H^\circ - T \Delta_r S^\circ = 0$, és $T = \Delta_r H^\circ / \Delta_r S^\circ = (92,4 \cdot 1000) / 198,3 \text{ K} \approx 466 \text{ K}$;

tehát kb. 466 K hőmérsékleten lesz ekkora a K_p értéke.

b) 300 °C hőmérséklet kb. 573,2 K-nek felel meg. Állandó hőkapacitást feltételezve, hőkapacitás-változás a reakcióra:

$$\Delta C_p = 2 \cdot 35,1 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} - 29,1 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} - 3 \cdot 28,8 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} = -45,3 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}.$$

Így a reakcióentalpia-változás hőmérséklet függése:

$$\Delta_r H^\circ(T) = \Delta_r H^\circ(298 \text{ K}) + \Delta C_p \cdot (T - 298 \text{ K}).$$

A reakcióentrópia-változás hőmérséklet függése:

$$\Delta_r S^\circ(T) = \Delta_r S^\circ(298 \text{ K}) + \Delta C_p \cdot \ln(T/298 \text{ K}).$$

Adott hőmérsékleten:

$$\Delta_r H(573,15 \text{ K}) = -92,4 \text{ kJ/mol} - 45,31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} \cdot (573,15 \text{ K} - 298 \text{ K}) \approx -104,86 \text{ kJ/mol}.$$

$$\Delta_r S^\circ(573,15 \text{ K}) \approx -227,93 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$$

Ezekkel pedig adódik, hogy: $\Delta_r G = 25,773 \text{ J/mol}$, innen pedig $K_p = 4,48 \cdot 10^{-3}$.

c) A reakció szerint (lásd a) feladatrész) 1 mol N_2 -hez 3 mol H_2 sztöchiometrikus mennyiség szükséges.

Ha a nitrogén 90%-a reagál: $n(\text{N}_2, \text{ reagált}) = 0,90 \text{ mol}$. Ehhez a szükséges hidrogén: $n(\text{H}_2, \text{ min}) = 3 \cdot 0,90 = 2,70 \text{ mol}$. Ez tehát a minimális hidrogénmennyiség.

d) Előbbieket szerint 300 °C - on $K_p = 4,48 \cdot 10^{-3}$, írjuk fel egyensúlyban móltörttel K_p -t (kihasználjuk hogy sztöchiometrikus a kiindulási arány).

$$x(\text{H}_2) = (3 - 3c)/(4 - 2c), \quad x(\text{N}_2) = (1 - c)/(4 - 2c),$$

$$x(\text{NH}_3) = (2c)/(4 - 2c).$$

Így:

$$K_p = \frac{\left(\frac{p_{\text{NH}_2}}{p^\circ}\right)^2}{\left(\frac{p_{\text{H}_2}}{p^\circ}\right)^3 \cdot \frac{p_{\text{N}_2}}{p^\circ}} = \frac{\left(\frac{2c}{4-2c} \cdot \frac{p}{p^\circ}\right)^2}{\left(\frac{3-3c}{4-2c} \cdot \frac{p}{p^\circ}\right)^3 \cdot \frac{1-c}{4-2c} \cdot \frac{p}{p^\circ}};$$

$p^\circ = 1 \text{ bar}; p = 150 \text{ bar}$

beírva a standard és a jelenlegi nyomásértéket:

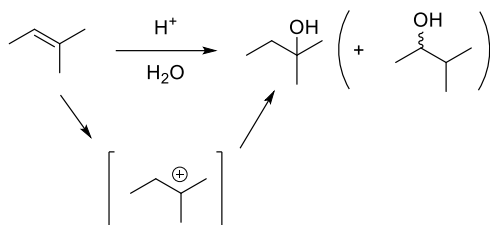
$$K_p = 4.5 \cdot 10^{-3} = \frac{(2c)^2 \cdot (4-2c)^2}{(3-3c)^3 \cdot (1-c) \cdot 150^2}$$

$c = 0,733$, azaz kb. 73,3%-os a kitermelés.

A feladat könnyűnek bizonyult, de mint általában a fizikai kémiai feladatokban, sok kisebb hiba, figyelmetlenség, pontatlanság volt.

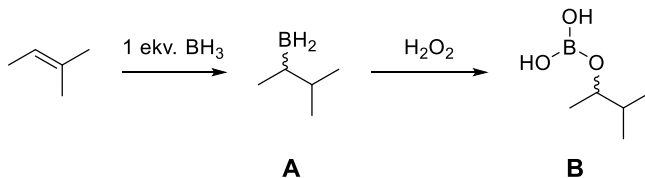
(Nemeskéri Dániel)

H445. a) A 2-metilbut-2-én (savkatalizált) vízáddíciójának termékei:



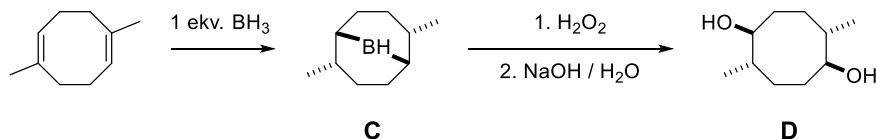
Természetesen a stabilabb, tercier karbokation képződik leginkább a kettős kötés protonálódásakor, amiből a tercier alkohol fog végül kialakulni (követve a Markovnyikov-szabályt). A melléktermék királis, de itt csak racém módon keletkezik.

b) A borán addíciója anti-Markovnyikov-terméket eredményez (Brown-féle hidroborálás), „mezei” változata természetesen racém módon. **A** és **B** vegyületek szerkezeti képlete a reakcióegyenlettel:

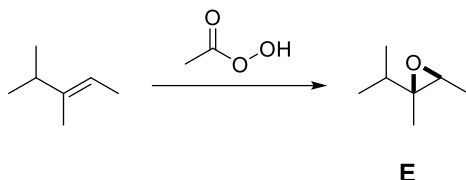


Bár a feladat nem írja ki, bórsav-monoészter csak akkor keletkezhet, ha egy ekvivalens boránt használtunk és csak egyszeres az addíció is.

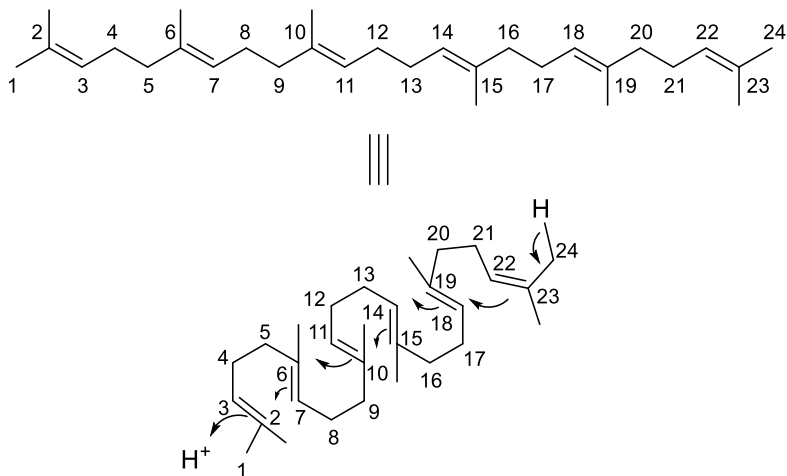
c) Ekvivalens borán addíciójakor 1,5-dimetil-ciklookta-1,5-diénnre áthidalt gyűrűs alkil-borán keletkezik, amelynek oxidációjakor racém módon, de a diol terméknek egy (szintén) pontosan meghatározott diasztereomere keletkezik.

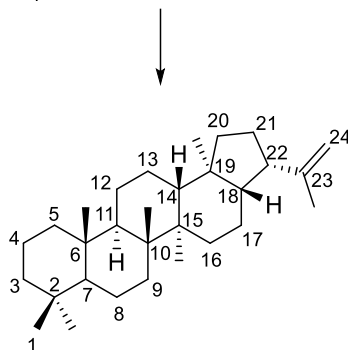


d) Az alkének persavakkal való reakciója szintén sztereospecifikus, epoxidok képződnek, mégpedig szin-addíció termékeként (Prilezhaev-reakció), egyszerű esetben persze racém formában.



e) A hopén keletkezése szkvalénból:





Mivel a szkvalén kicsit „palindrom” szerkezetű, ha fogalmazhatunk így, mindkét irányból elfogadtuk a számozást.

A feladat könnyűnek bizonyult, sokan küldtek jó megoldást, leggyakoribb hiba az ekvivalensek eltévesztése volt. Ugyanakkor kérünk titeket, hogy ne feledkezzetek el a szerves kémiai szintézisekben oly fontos sztereokémiáról és annak feltüntetéséről, főleg, ha a tárgyalt reakciónak van bármilyen sztereoselektivitása.

(Szobota András)

H446. a) Az ábrán egy ún. mag–héj típusú részecskét (angolul: core-shell particle, jelölése: $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{Fe}$) látunk egy vékony köztes réteggel. Az előállítás során egy redukációs zóna halad a felszíntől befelé, mert a magnetitrészecske a felületén keresztül érintkezik a redukálószerrel. A mag (kiindulási anyag) és a héj (reakciótermék) között lévő 10 nm-es réteg a reakció köztitermékét/(-termékeit) tartalmazza. A kiindulási anyagban a Fe +2-es és +3-as oxidációs számmal vegyesen fordul elő, az átlagérték +8/3. A köztitermékben ennek csökkennie kell, így a megadott vas-oxidok és -hidroxidok egy kivétellel nem jönnek számításba, mert azokban a vas oxidációs száma pontosan +3. Az egyetlen lehetőség a FeO, +2-es oxidációs számmal.

Ha a feladatot a sűrűségadatok elemzésével próbáljuk megoldani, ellentmondásra jutunk. Tudjuk, hogy a redukció során a magnetitrészecske oxigénatomokat veszít, vagyis össztömege csökken, miközben teljes vastartalma (és a feladat megfogalmazása szerint a térfogata is!) állandó marad. Mivel a külső Fe-héj sűrűsége jóval nagyobb a kiindulási magne-

tit sűrűségénél, a köztés réteg sűrűségének a magnetiténél jóval kisebbnek kellene lennie, amennyiben a méret nem csökken. Ilyen sűrűséggel a megadottak közül a két vas-hidroxid rendelkezik, nekik azonban az oxidációs számuk nem stimmel. Így gyanakodhatunk, hogy a részecske mégsem tarthatja meg az eredeti térfogatát. Másik magyarázat az lehet, hogy a tömbfázisbeli sűrűségek nem használhatók.

b) Ha mindezek ellenére kihasználjuk a feladat szerzőinek a térfogat állandóságára vonatkozó „nagyvonalú” állítását, nagyban egyszerűsíthetjük a megoldás menetét, és az egyes rétegek figyelembevétele nélkül kaphatunk egy közelítő eredményt. (Bevallom, én magam ezt az utat követtem volna, viszont a feladat szerzői nem erre gondoltak.) Később majd megvizsgáljuk, hogy ezzel a közelítéssel kapott érték mennyire tér el.

A 10 g vasból keletkezik $(10 \text{ g} \cdot 232 \text{ g/mol}) / (3 \cdot 56 \text{ g/mol}) = 13,8 \text{ g}$ magnetit, melynek ösztérfogata $13,8 \text{ g} / 5,0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 2,76 \text{ cm}^3$

A 100 nm sugarú gömb térfogata $V_{100} = 4 \cdot \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot (10^{-5} \text{ cm})^3 = 4,20 \cdot 10^{-15} \text{ cm}^3$, felszíne $A_{100} = 4 \cdot 3,14 \cdot (10^{-5} \text{ cm})^2 = 1,26 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^2$

A részecskék közelítő darabszáma a fenti térfogatok arányából adódik: $N \sim 2,76 \text{ cm}^3 / 4,20 \cdot 10^{-15} \text{ cm}^3 = 6,57 \cdot 10^{14}$, a teljes felszín pedig $A \sim N \cdot A_{100} = 6,57 \cdot 10^{14} \cdot 1,26 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^2 = 8,28 \cdot 10^5 \text{ cm}^2 = 82,8 \text{ m}^2$ lenne a térfogat állandóságát feltételezve.

A hivatalos megoldás, ha nem élünk a közelítéssel és mindhárom réteget figyelembe vesszük, akkor az egyes rétegek térfogatára, tömegére, majd pedig a bennük lévő vas mólszámára (n_{Fe}) lesz szükségünk. Az egyes rétegek térfogata: $V_{\text{magnetit}} = V_{50}$, $V_{\text{FeO}} = V_{60} - V_{50}$, ill. $V_{\text{Fe}} = V_{100} - V_{60}$, ahol V_{50} , V_{60} és V_{100} rendre az 50 nm, 60 nm és 100 nm sugarú gömbök térfogatát jelenti. A magnetit esetében $n_{\text{Fe}} = 3 \cdot m / M_{\text{magnetit}}$, míg FeO és Fe esetében $n_{\text{Fe}} = m / M$

A részeredmények táblázatos formában:

		V	m	n_{Fe}
Fe₃O₄	V_{100}	$4,20 \cdot 10^{-15} \text{ cm}^3$	$20,9 \cdot 10^{-15} \text{ g}$	$0,270 \cdot 10^{-15} \text{ mol}$
Fe₃O₄	V_{50}	$0,525 \cdot 10^{-15} \text{ cm}^3$	$2,63 \cdot 10^{-15} \text{ g}$	$0,034 \cdot 10^{-15} \text{ mol}$
FeO	$V_{60} - V_{50}$	$0,382 \cdot 10^{-15} \text{ cm}^3$	$2,18 \cdot 10^{-15} \text{ g}$	$0,030 \cdot 10^{-15} \text{ mol}$
Fe	$V_{100} - V_{60}$	$3,293 \cdot 10^{-15} \text{ cm}^3$	$26,0 \cdot 10^{-15} \text{ g}$	$0,465 \cdot 10^{-15} \text{ mol}$

Egy részecske, vagyis a három réteg összesen $0,529 \cdot 10^{-15}$ mol vasat tartalmaz, melynek tömege $0,529 \cdot 10^{-15} \text{ mol} \cdot 56 \text{ g/mol} = 29,6 \cdot 10^{-15} \text{ g}$. A részecskék darabszáma a tömegek arányából adódik: $N = 10 \text{ g} / 29,6 \cdot 10^{-15} \text{ g} = 3,38 \cdot 10^{14}$

A 10 g vasat tartalmazó összes részecske teljes felszíne: $A_{\text{tot}} = N \cdot A_{100} = 3,38 \cdot 10^{14} \cdot 1,26 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^2 = 4,26 \cdot 10^5 \text{ cm}^2 = 42,6 \text{ m}^2$

A közelítéssel durván kétszer ennyi részecskét és kétszeres felszínt kapunk: $N_{\sim} \approx 2 \cdot N$ és $A_{\sim} \approx 2 \cdot A_{\text{tot}}$. Az is látszik, hogy a vas mólszáma már önmagában a külső Fe-héjban jóval meghaladja azt a vastartalmat, ami egy 100 nm sugarú magnetitgömbben lenne. Vagyis az eredeti magnetitrészecske méretének nagyobbak kell lennie 100 nm-nél.

c) Mindezek után a felszínek összehasonlítása már igen egyszerű. A durvaszemcsés katalizátorban egy „vaskocka” térfogata $V_{\text{Fe}} = 10 \text{ g} / 7,9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 1,266 \text{ cm}^3$, élhossza $a = (V_{\text{Fe}})^{1/3} = 1,08 \text{ cm}$. Ebből a „vaskocka” felszíne $A_{\text{Fe}} = 6 \cdot a^2 = 7,02 \text{ cm}^2$.

A reakciósebességek aránya: $v_{\text{NP}}/v_{\text{Fe}} = A_{\text{tot}}/A_{\text{Fe}} = 4,26 \cdot 10^5 \text{ cm}^2 / 7,02 \text{ cm}^2 = 6,07 \cdot 10^4$. Tehát kb. hatvanezerszer gyorsabb az ammóniaszintézis, ha 100 nm-es vasszemcséket használunk katalizátorként.

(A „közelítő” számítással, amikor az eredeti magnetitrészecske sugarát (is) 100 nm-esnek vesszük, kétszer annyi részecskét és emiatt kétszer ekkora sebességet kapunk.)

Tanulságos diszkutálni kicsit a feladatot és utána számolni pár dolognak, melyek nem szerepeltek a kérdések között:

A három réteg mennyiségét összevetve meglepődhetünk, hogy bár a három anyag rétegvastagsága hasonló, térfogat- ill. mólarányát tekintve a külső réteg, vagyis az elemi vas dominál. A nanorészecske összetételére nézve 78,5 térfogatszázaléka elemi Fe, a teljes vastartalomnak pedig 88 mól%-a redukálódott elemi vassá. Tehát a magnetitrészecske redukciója tulajdonképpen igen jó hatásfokkal végbement.

Másik kérdés az eredeti magnetitrészecske mérete. Vagyis annak megvizsgálása, hogy mennyire helytálló a feladat szerzőinek állítása, miszerint „a redukció során a katalizátorszemcse gyakorlatilag megtartja az eredeti térfogatát”.

A részletes megoldás során kapott $5,29 \cdot 10^{-16}$ mol Fe/nanorészecske adatot felhasználva a kiindulási magnetitrészecske térfogatára $V_{\text{oxidált}} = (5,29 \cdot 10^{-16} \text{ mol} \cdot 232 \text{ g/mol}) / (3 \cdot 5,0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}) = 8,17 \cdot 10^{-15} \text{ cm}^3$, sugarára

125 nm adódik. Vagyis térfogata KÉTSZERESE (1,95-szorosa) a 100 nm sugarú részecske térfogatának. Ezt állandónak nevezni igen félrevezető! A katalizátorszemcsék az előállításuk során jelentősen zsugorodnak. Állandóságon legfeljebb nagyságrendi állandóságot lehet érteni, hogy pl. nem megy végbe a részecskék összeolvadása vagy aprózódása. A feladatban pontosabb lett volna olyasmi megfogalmazás, hogy „a méretváltozás a gyakorlati alkalmazás szempontjából nem számottevő”.

Összegzésképpen elmondhatjuk, hogy akkor jártunk volna a legjobban, ha az egész 100 nm-es katalizátorszemcsét gyakorlatilag tiszta vasnak tekintjük. Így 10% körüli eltéréssel megkapjuk ugyanazt a darabszámot, miközben a számítás nagyban egyszerűsödik:

$$N = 10 \text{ g} / (4,20 \cdot 10^{-15} \text{ cm}^3 \cdot 7,9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}) = 3,01 \cdot 10^{14}$$

Tehát a megadott geometria mellett valójában nem követnénk el nagy hibát, ha elhanyagoljuk a mag és a köztes réteg eltérő összetételét! Ezt átlátni azonban inkább csak utólag lehet, a feladat elolvasásakor egyáltalán nem szembeötlő.

A feladat megfogalmazásában rejlő ellentmondásra senki sem mutatott rá. A megoldás során az „egyszerűsítés” lehetőségével Zólmány Csanád élt, a többiek a „munkaigényesebb” utat követték. A feladat nem bizonyult nehéznek, a beküldők kétharmada maximális pontot ért el. A megoldás elve ill. a mértékváltások mindenkinél helyesek voltak. Pontvesztéssel járt, ha az a) részben a választás indoklása hiányzott vagy pedig a b) részben a nanorészecskék darabszámának számításakor a FeO- és Fe₃O₄-rétegek vastartalma rosszul lett figyelembe véve. Utóbbi hiba ugyan csak 10% körüli eltérést eredményez, de ez csupán a külső vasréteg nagy térfogatarányának köszönhető. Egy-egy esetben, feltételezem sietség miatt, a négyzetméter és köbméter mértékegységek kitevői felcserélődtek. Arra szerencsére szinte mindenki ügyelt, hogy az eredményeket értelmetlen sok (jelen esetben háromnál több) számjegy pontossággal megadni vagy kiszámolni, ha a feladat adatai csak két értékes jegyre ismertek.

(Horváth Judit)

H447. a) A problémát érdemes lehet **B** vegyület összetételének meghatározásával kezdeni. A megadott C₃-forgástengely alapján a legegyszerűbb megoldás PX₃ alakban írható fel (trigonális piramis).

$$M(\mathbf{X}) = \frac{\frac{30,97 \text{ g/mol}}{0,1181} - 30,97 \text{ g/mol}}{3} = 77,09 \text{ g/mol}$$

Ez megfelel a fenilcsoport moláris tömegének, **B** tehát a trifenilfoszfin (PPh₃). Amennyiben feltételezzük, hogy **C** vegyület egymagvú és 1 mol **A** *n* mol PPh₃-mal reagál (sztöchiometrikus arányban kevertük össze), **M** moláris tömegét kifejezhetjük:

$$M(\mathbf{M}) = \frac{m(\mathbf{M})}{n(\text{PPh}_3) \frac{1}{n}} = \frac{0,3909 \cdot 2,00 \text{ g}}{\frac{7,96 \text{ g}}{n \cdot 262,24 \text{ g/mol}}} = n \cdot 25,76 \text{ g/mol}$$

A reakcióegyenlet együtthatóinak számából következik: $n < 5$. **M** fém moláris tömegére csak $n = 4$ esetén adódik 5. periódusbeli fém, mégpedig a ródiom. Így **M**: Rh.

A vegyület összegképletének meghatározásához feltesszük, hogy **A** szintén egymagvú, valamint a vizen kívül csak egyféle ligandumot, Y-t tartalmaz (*m*-szer). Ekkor Y moláris tömegére következik:

$$M(\mathbf{Y}) = \frac{\frac{102,9 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0,3909} - 102,9 \frac{\text{g}}{\text{mol}} - 3 \cdot 18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{m} = \frac{106,34 \text{ g}}{m \text{ mol}}$$

Ebből $m=3$ esetén $M(\mathbf{Y}) = 35,45 \text{ g/mol}$, vagyis Y a kloridion.

A összegképlete tehát: [Rh^{III}Cl₃(H₂O)₃].

C meghatározásánál észrevesszük, hogy **B**-ből nem épült be a teljes mennyiség az új komplexbe (a ruténium azonban igen, a termelést figyelembe véve), ekkor **C** moláris tömegére:

$$M(\mathbf{C}) = \frac{m(\mathbf{C})}{n(\text{Rh})} = \frac{6,18 \text{ g}}{0,88 \cdot \frac{0,3909 \cdot 2,00 \text{ g}}{102,9 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}} = 924,33 \text{ g/mol}$$

Amennyiben 4 helyett csak 3 mol PPh₃ koordinál 1 mol Rh-atom köré:

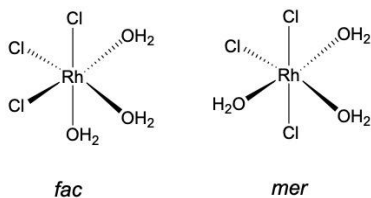
$$M(\mathbf{C}) = 102,9 \text{ g/mol} + 3 \cdot 262,24 \text{ g/mol} + 34,71 \text{ g/mol}.$$

Tehát látható, hogy (kisebb kerekítési hibával) 1 mol klorid épült még a komplexbe. Így **C**: [Rh^ICl(PPh₃)₃] (Wilkinson-katalizátor).

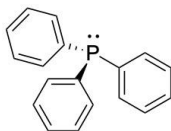
b) C összegképletéből következik (mivel semleges speciesz), hogy a szintézise során nemcsak ligandum-metatézis, hanem redoxreakció is lezajlott. Kézenfekvő partner a trifenilfoszfin, amely vegyület készséggel oxidálódik trifenilfoszfin-oxiddá ($O=PPh_3$). Így a reakció egyenlete (amely igazolja az előző számításokból fakadó $n=4$ értéket):



A szerkezete a 6-os koordinációs számnak megfelelően oktaéder formában írható le, azonban 3-3 egyforma ligandum esetén kétféle konfigurációs izomer is elképzelhető: a *fac*-izomerben mindhárom azonos ligandum egy lapon helyezkedik el, míg a *mer*-izomerben két átellenes csúcs (és egy harmadik tetszőleges pozícióban) vannak.



B szerkezete trigonális piramis (az ammóniával, foszfinnal analóg).



A feladat nem jelentett kirívó nehézséget a beküldőknek, hárman adtak be tökéletes megoldást és a többieknél is csak figyelmetlenségből fakadó hibák voltak, de a három vegyület összegképletét mindenki kitalálta.

(Viczkó Csaba)

H448. a) Az oxidáció során történő gázfejlődés (nitrogén-dioxid), majd a fehér báriumcsapadék szulfidok jelenlétére utal, amelyeket szulfát formájában választottunk le.

$$n(\text{NO}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101,325 \text{ kPa} \cdot 1,65 \text{ dm}^3}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 273,15 \text{ K}} = 73,62 \text{ mmol}$$

$$n(\text{S}) = 2 \cdot n(\text{BaSO}_4) = 2 \cdot \frac{0,929 \text{ g}}{233,36 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 7,96 \text{ mmol}$$

Mivel a fejlődő NO_2 anyagmennyisége nem egész számú többszöröse a jelenlevő kénnek, feltételezhető, hogy más is oxidálódott az oldás során. Az oldat másik feléből képződő mélykék ammóniakomplex Cu^{2+} vagy Ni^{2+} jelenlétére utal. A másik ismeretlen fémkation a lúgos közegben képzett barna csapadék, valamint lúgos bromáttal oxidálás után báriummal adott vörös csapadék alapján a vas lehet, amelyet ferrát (VI)-tá oxidáltunk. Ellenőrzésképpen a kálium-ferrát (K_2FeO_4) 32,3 w%, míg a bárium-ferrát 24,9 w% oxigént tartalmaz, így jó közelítéssel megfeleltethető **D**-nek és **E**-nek.

$$n(\text{Fe}) = 2 \cdot n(\text{BaFeO}_4) = 2 \cdot \frac{0,256 \text{ g}}{257,15 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 1,99 \text{ mmol}$$

Így tehát 1,00 g ásványban volt:

$$m(\text{S}) = 7,96 \text{ mmol} \cdot 32,06 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,2552 \text{ g kén valamint}$$

$$m(\text{Fe}) = 1,99 \text{ mmol} \cdot 55,85 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,1111 \text{ g vas.}$$

A maradék fémion (amely az ammóniakomplexet képezte) tömege:

$$m(\text{Me}) = 0,6337 \text{ g} \rightarrow n(\text{Ni}) = 10,80 \text{ mmol ill. } n(\text{Cu}) = 9,97 \text{ mmol.}$$

Ekkor, ha a vas mellett csupán réz van az ásványban, az alábbi arányok adódnak:

$$n(\text{Fe}) : n(\text{Cu}) : n(\text{S}) = 1:5:4$$

Tehát az ásvány tapasztalati képlete: **FeCu₅S₄**, vagyis a bornit.

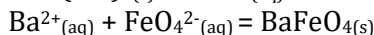
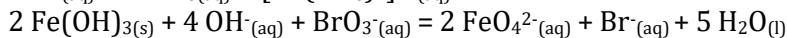
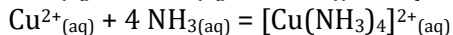
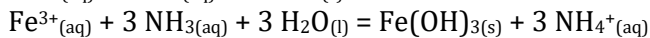
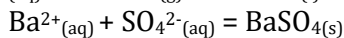
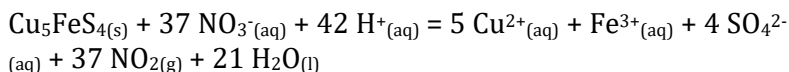
Ellenőrzésképpen: a b) pontban kért egyenlet alapján 1 mol bornitból 37 mol NO_2 fejlődik.

$$n(\text{NO}_2) = 37 \cdot \frac{1,00 \text{ g}}{504,54 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 73,33 \text{ mmol}$$

A reakció sorban képződött vegyületek képletei tehát:

A: NO₂, **B:** BaSO₄, **C:** Fe(OH)₃, **D:** K₂FeO₄, **E:** BaFeO₄

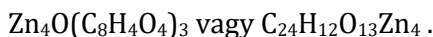
b) A lejátszódó reakciók egyenletei:



A feladat az utolsó fordulóra is kitartó beküldőknek nem jelentett leküzdhetetlen akadályt, az a) részre mindenki maximális pontszámot kapott, míg az átlag 9,58 pont lett.

(Viczkó Csaba)

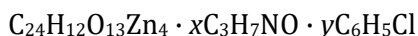
H449. a) A MOF-5 szerkezete: a Zn₄O csomópontok a kocka csúcaiban, a BDC linkerek pedig az élein helyezkednek el. Egy elemi kockának nyolc csúcsa és tizenkét éle van, és minden csúcs nyolc, minden él négy szomszédos cellához tartozik, ezért egy cellára $8 \cdot 1/8 = 1$ csomópont és $12 \cdot 1/4 = 3$ linker jut. Ugyanerre az 1 : 3 arányra jutunk akkor is, ha abból indulunk ki, hogy minden csomópontozat hat linker kapcsolódik, de minden linker két csomópontot köt össze, így egy csomópontra $6/2 = 3$ linker jut. A tapasztalati képlet ezért:



b) A képződés során a cink-nitrát adja a fémiot, a H₂BDC a szerves linkert, a hozzáadott víz pedig a Zn₄O-klaszter központi oxigénjét. A trietilamin a dikarbonsavat deprotonálja, így trietil-ammónium-nitrát só formájában távozik a rendszerből, a nitrácion nem változik. A rendezett reakcióegyenlet:



c) A kiszűrt, még aktiválatlan kristályok az aktivált MOF-5 vázán kívül a pórusokban visszamaradt oldószermolekulákat is tartalmaznak. A 7,64 tömegszázaléknyi nitrogén kizárólag a DMF-ből (C₃H₇NO) származik, a tömegspektrumban kimutatott klórbenzol (C₆H₅Cl) pedig szintén beépül a pórusokba. Az aktiválatlan anyag összetétele ennél fogva:

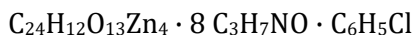


alakú, ahol x a DMF, y pedig a klórbenzol molekulák darabszáma. A nitrogén- és a széntartalomból egy-egy egyenlet írható fel (az aktivált váz moláris tömege 769,9 g/mol, a DMF-é 73,09 g/mol, a klórbenzolé 112,56 g/mol):

$$14,01 x / (769,9 + 73,09x + 112,56y) = 0,0764$$

$$\text{és } 24 \cdot 12,01 / (769,9 + 73,09x + 112,56y) = 0,4421.$$

Az egyenletrendszer megoldása $x = 8$ és $y = 1$; ez a hidrogéntartalommal is összhangban van. Az aktiválás előtti kristályok összetétele tehát



d) Egy elemi cella egyetlen $\text{Zn}_4\text{O}(\text{BDC})_3$ egységnek felel meg, amelynek moláris tömege 769,9 g/mol. Egy cella tömege így

$$m = M / N_A = 769,9 \text{ g/mol} / 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 1,28 \cdot 10^{-21} \text{ g}$$

A 2900 m² / g fajlagos felület, így az egy cellára jutó aktív felületet:

$$S_{\text{cella}} = 2900 \text{ m}^2 / \text{g} \cdot 1,28 \cdot 10^{-21} \text{ g} = 3,7 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2 \approx 3,7 \text{ nm}^2.$$

Egy kockára tehát körülbelül 3,7 nm² aktív felület jut.

e) Az elemi cella térfogata a klaszter-középpontok 1,294 nm-es távolságából $(1,294 \text{ nm})^3 = 2,167 \cdot 10^{-21} \text{ cm}^3$, így a MOF-5 sűrűsége:

$$\rho = m / V = 1,28 \cdot 10^{-21} \text{ g} / 2,167 \cdot 10^{-21} \text{ cm}^3 \approx 0,59 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}.$$

Ezért 10 g anyag térfogata $10 \text{ g} / 0,59 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \approx 16,95 \text{ cm}^3$. Ugyanekkora térfogatban 20 bar nyomáson és 298 K hőmérsékleten az ideális hidrogéngáz tömege:

$$m = MpV / (RT) =$$

$$(2 \text{ g} / \text{mol} \cdot 20 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 16,95 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3) / (8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 298 \text{ K}) \approx 0,027 \text{ g}.$$

A MOF-5 ugyanabban a térfogatban $10 \text{ g} / 0,010 = 0,10 \text{ g}$ hidrogént vesz fel, vagyis a felvett mennyiség és az azonos állapotú ideális gáz mennyiségének hányadosa: $0,10 \text{ g} / 0,027 \text{ g} \approx 3,7$.

A MOF-5 tehát körülbelül 3,7-szer annyi hidrogént tárol, mint amennyi ideális gázként ugyanakkora térfogatban, azonos nyomáson és hőmérsékleten elférne.

A feladatra több helyes megoldás érkezett.

(Nemeskéri Dániel)

H450. a) Mivel létezik egyetlen vágás, amely az A molekulát két azonos félre hasítja, a molekula felírható dimerként: $A = (A')_2$. A szimmetriatengely nem egy atomon, hanem a központi kötés felezőpontján megy át, így A' összegképlete $C_{x/2}H_{y/2}O_{z/2}$. Az indexek csak egész számok lehetnek, ezért x , y és z mindegyike páros.

Minden vágás pontosan egy kötést bont, ezért A-ban a kötések száma 123. A szén négy, az oxigén két, a hidrogén egy vegyértékű, és minden kötésben két atom vesz részt, így a vegyértékek összege:

$$4x + y + 2z = 246.$$

A hidrogén- és oxigénatomok számát a párosság miatt legfeljebb kettőre csökkentve ($y = z = 2$) a szénatomok számára $x = 61$ adódna, ami azonban páratlan. A legközelebbi megengedett érték $x = 60$, tehát a szénatomok száma valóban nem haladhatja meg a 60-at: ha $x > 60$ volna, a párosság miatt $x \geq 62$, és ekkor $4x + y + 2z \geq 248 > 246$ ami ellentmondás. Így $x \leq 60$ igazolható.

Ugyanezt a homológ sorok segítségével is levezethetjük: az alkánok (C_nH_{2n+2}) kötésszáma $3n + 1$, az alkéneké $3n$, az alkineké/diénéké $3n - 1$, míg minden oxigén (telített alkoholban vagy éterben) eggyel növeli a kötések számát. A fokok összege a kötések számának kétszerese, ami szintén a $4x + y + 2z = 246$ egyenlethez vezet.

b) (i) Pontosán két vágással A nem hasítható két azonos félre. A két központi kötés eltávolítása után a két azonos darab összesen $123 - 2 = 121$ kötést tartalmazna, ez azonban páratlan szám, így a két fél között nem osztható el egyenlően. Ugyanezt mutatja, hogy két él törlése után a félgráf élszáma $(123 + 2)/2 = 62,5$ lenne, ami nem egész szám. Tehát ez az eset lehetetlen.

(ii) Pontosán három vágással már lehetséges, ha a molekula közepén egy hármas kötés áll. Ekkor $4x + 2x + 2 - 4 + 2z = 246$, azaz $3x + z = 124$. Például $z = 4$ esetén $x = 40$, így egy lehetséges összegképlet $C_{40}H_{78}O_4$, amely pl. a $HO-(CH_2)_{18}-CH(OH)-C\equiv C-CH(OH)-(CH_2)_{18}-OH$ szerkezettel lehetséges.

c) Az egész atomtömegekkel felírt egyenlet tehát $12x + y + 16z = 594$, így a következő egyenletrendszeret kapjuk:

$$\begin{aligned} 4x + y + 2z &= 246 \\ 12x + y + 16z &= 594 \end{aligned}$$

A z kiküszöbölésével $y = (1374 - 20x) / 7$. Telített szénláncra a hidrogénatomok száma legfeljebb $2x + 2$ lehet ($y \leq 2x + 2$); ezt az előző összefüggésbe írva $x \geq 40$ adódik.

Az x -et z -vel kifejezve $x = (348 - 14z) / 8$, amit ugyanabba az egyenlőtlenségbe helyettesítve $z \leq 2$ következik. Mivel az a) részben láttuk, hogy z páros természetes szám, csak $z = 2$ lehetséges. Innen $x = 40$ és $y = 82$.

Az A molekula összegképlete ezért $C_{40}H_{82}O_2$.

A feladat nehéznek bizonyult, kiemelkedő megoldást küldött be Elek János és Fekete Simon.

(Nemeskéri Dániel)