

GONDOLKODÓ



Feladatok

Szerkesztő: Borbás Réka, Magyarfalvi Gábor, Varga Szilárd, Zagyai Péter

A megoldásokat 2020. március 16-ig lehet a kokel.mke.org.hu honlapon keresztül feltölteni, vagy postára adás után regisztrálni. A formai követelmények figyelmes betartását kérjük. A postacím:

KÖKÉL Gondolkodó

ELTE Kémiai Intézet

Budapest 112

Pf. 32

1518

A K feladatsorra beküldött megoldásokból a legjobb 5 feladatot számítjuk csak be fordulónként. A 11-12. évfolyamos diákok esetében a nehezebb (csillagozott) példák mindenképp bekerülnek az 5 közé.

K355. A kvantumpöttyök olyan félvezetőszemcsék, amelyeknek a mérete a nanométeres tartományba esik. Felhasználják őket a napenergia hasznosításában, tüzelőanyag-cellákban és a gyógyászatban.

Egyfajta kvantumpöttyben két elem fordul elő 1:1 anyagmennyiségarányban. A 4 nm átmérőjű kvantumpötty 1238 atomot, 51996 protont tartalmaz, és tömege $2,058 \cdot 10^{-19}$ gramm. A két elem a periódusos rendszer azonos mezőjében, szomszédos periódusban található.

Mekkora a kvantumpötty sűrűsége és milyen atomok alkotják?

(Borbás Réka)

K356. A homeopátia széles körben ismert, ám erősen vitatott orvoslási módszer. Alaptételeit S. Hahnemann fektette le, elmélete szerint a

betegségek az életerő elhangolódásán alapulnak. A homeopátiás szerek előnyeként kiemeli, hogy a többi gyógyszerhez képest ezeknek nincsenek mellékhatásai. A készítményeket nagymértékű hígítással állítják elő, az ilyen hígítások során pedig elmélete szerint az anyagoknak új, gyógyító tulajdonságai tárulnak fel, sőt, azok minél hígabbak, annál erősebb a szer hatása. Az egyik gyakran alkalmazott hígítás a C- vagy CH-potencia: ilyenkor a hatóanyagot („őstinktúrát”) mindig a százszorosára hígítják és minden egyes hígítási lépésnél tízszer összerázzák (CH200 esetén például a hígítást 200-szor végzik el).

- a) *0,5 g hatóanyagból CH6-os potenciájú terméket készítenek, a hígításhoz laktóz-monohidrátot és szacharózt használnak. Számítsd ki, hogy leghamarabb hány év alatt tudjuk a 0,5 g hatóanyagot bejuttatni a szervezetünkbe? A CH6 potenciálú készítmény adagolási útmutatója szerint 1 adag tömege 1 g, és naponta maximum 3 adagot szedhetünk be.*
- b) *Hányszor több hatóanyag-molekulát juttatunk a szervezetünkbe, ha egy nap beveszünk 1 db Kalmopyrin tablettát, aminek hatóanyaga tablettánként 500 mg acetil-szalicilsav, mint ha beveszünk egy nap 3 adag említett homeopátiás szert? A homeopátiás hatóanyag moláris tömege 225 g/mol.*

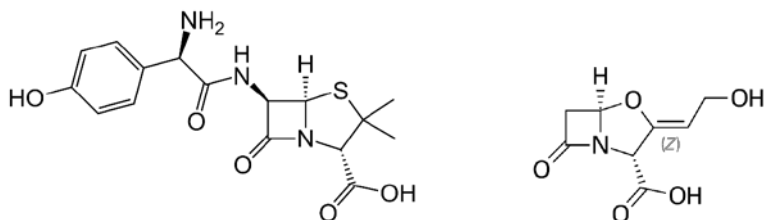
(Bacsó Zsófia Réka)

K357. A légúti bakteriális megbetegedések egyik hatásos ellenszere a mai napig is a penicillin és annak származékai. Egy kombinált gyógyszerben az amoxicillint és a klavulánsavat keverik össze a legjobb hatás elérésére. A gyerekek számára az ajánlott mennyiség egy adagban a fenti két hatóanyagból 25 mg/testtömeg kg és 18 mmol/testtömeg kg (az előző sorrendben). Mindkét anyag biológiai felezési ideje (az az idő, ami ahhoz szükséges, hogy biológiai úton a szervezetben a mennyisége megfeleződjék) 1 óra.

Egy olyan gyógyszert szeretnénk előállítani, amelyből 100 cm³ szuszpenzió készíthető, és egy 20 kg testtömegű gyermeknek egy adagot 5,0 cm³ térfogatú szuszpenzióban lehet beadni.

- a) *Mekkora tömegű amoxicillint és klavulánsavat keverjünk bele a 100 cm³ szuszpenzióhoz előkészített üvegbe?*

- b) Ha a 20 kg tömegű gyermek bevette az előírt anyagot, akkor 4 óra elteltével mekkora lesz a szervezetében az amoxicillin és a klavulánsav mennyisége?



Az amoxicillin és a klavulánsav szerkezete.

(A szakaszok végpontjai szénatomokat jelölnek, amelyhez annyi hidrogénatom kapcsolódik, hogy a szén négy kovalens kötést létesítsen.)

(Borbás Réka)

K358. Egy katangai színes ásvány tapasztalati képlete $\text{MeO}_x(\text{H}_2\text{O})_y$. Ha 1,000 grammját 520°C -ra hevítjük, akkor az ásvány oxigéngázra, vízre és MeO_3 összegképletű fém-oxidra bomlik. A képződő gázokat egy $0,5000\text{ dm}^3$ -es tartályban összegyűjtve $200,0^\circ\text{C}$ -on a tartály nyomása $94,62\text{ kPa}$, $25,00^\circ\text{C}$ -on $9,79\text{ kPa}$. 25°C -on a lecsapódott víz párolgásából származó (parciális) nyomás $3,17\text{ kPa}$.

Mi az ásvány képlete? Milyen oxidációs állapotban van a fém az ásványban?

(Borbás Réka)

K359. Az arany nanorészecskék jól alkalmazhatók a gyógyászatban hipertermiás kezelésre, mivel elnyelik a fényt, felmelegszenek, és ezáltal roncsolódnak azok a sejtek (célszerűen rákos sejtek), amelyek feldúsultak arany nanorészecskékben. Az aranyszemcséket ionjaiból kémiai úton, redukcióval állítják elő a kívánt méretben, majd bevonják, hogy a szemcsék ne tapadjanak össze, aggregálódjanak, és kolloid oldatként hasznosítják. Az arany nanorészecskék mérete átlánában $5\text{--}100\text{ nm}$ között változik, de egységes méretűekre készítik. A kis méretű szemcsék a kék és zöld fényt elnyelik, a vöröset visszaverik, így az 5 nm szemcseátmérőjű aranykolloid vörös színű. Ahogy a szemcseátmérő nő, úgy egyre több fényt nyel el a vörös tartományból, és válik egyre lilásabb színűvé.

Az arany sűrűsége $19,3 \text{ g/cm}^3$. Az 5 nm szemcseátmérőjű aranykolloid koncentrációja $5,47 \cdot 10^{13} \text{ db/cm}^3$.

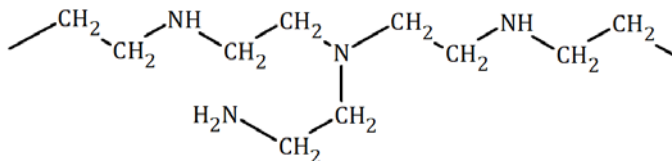
- Számítsd ki, hogy mekkora egy 5 nm átmérőjű arany szemcsét tartalmazó kolloid fajlagos felülete (azaz egy tömegegységre eső felület nagysága)!*
- Mekkora az arany tömegkoncentrációja a kolloid oldatban g/cm^3 egységben kifejezve?*
- Mekkora az arany összfelülete 1 cm^3 oldatban?*
- Hány $2,28 \cdot 10^{-19} \text{ m}^2$ alapterületű molekulával lehetne beborítani egyetlen arany szemcsét? (Ez a terület egy kb. 550 pm átmérőjű szénhidrogén kettős lánc keresztmetszete.)*

A 30 nm szemcseátmérőjű aranykolloid koncentrációja viszont $1,79 \cdot 10^{11} \text{ db/cm}^3$.

- Hogyan változik a fajlagos felület, a tömegkoncentráció és az 1 cm^3 -ben lévő összfelület a nagyobb szemcseméret esetén?*

(Borbás Réka)

K360.* Az arany nanorészecskéket a kemoterápiában és a radioterápiában egyaránt alkalmazzák a rákos megbetegedések kezelésére. Ahhoz, hogy az aranyrészecskék át tudjanak hatolni a sejtmembránon, be kell vonni egy alkalmas anyaggal. Az arany szemcsék egyik lehetséges bevonata a polietilénimin (PEI). Ez egy olyan polimer, amelyet az etán-1,2-diamin ($\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2$) polikondenzációjával nyerhetünk. (A polikondenzáció során két molekula ammóniamolekula kilépése mellett kapcsolódik össze.) A polimer erősen elágazó: a láncban egy nitrogénatomhoz kettő vagy három szénatom kapcsolódhat, ez utóbbi típusú nitrogénatomoknál ágazik el a polimer.



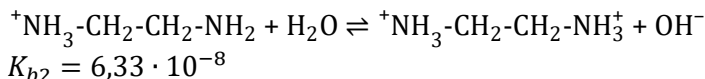
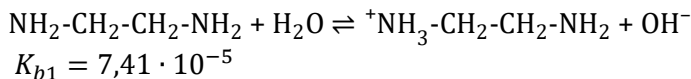
A PEI molekula egy olyan részlete, amelyben mindhárom típusú nitrogénatomra látunk példát

Egy szintetizált PEI polimerben 55,81 $m/m\%$ szén, 11,63 $m/m\%$ hidrogén, és ezen kívül nitrogén van. Kimutatták, hogy a másodrendű szénatomokhoz viszonyítva a másodrendű nitrogénatomok (amelyekhez két szénatom kapcsolódik) aránya 13,64%.

Mi a polimer tapasztalati képlete? A nitrogénatomok mekkora része alkot elágazásokat?

(Borbás Réka)

K361.* Az etán-1,2-diamin egy gyenge, kétértékű bázis. Az egyes lépésekhez tartozó bázisállandók:



A bázisból 0,100 mol/dm³ töménységű oldatot készítünk úgy, hogy az oldat kémhatását (pufferrel) pH = 10-re állítjuk be.

Mi az etán-1,2-diamin két protonált formájának koncentrációaránya az oldatban?

(Borbás Réka)

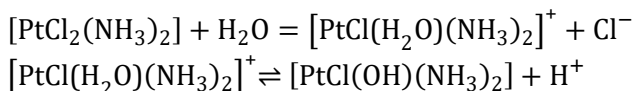
K362.* A ciszplatint 1845-ben állította elő Peyronne, ezért a vegyületet sokáig Peyronne-sónak nevezték. Sikeresen alkalmazható a rákkezelésben, mivel a DNS újraíródását gátolja úgy, hogy a DNS egyik bázisához kapcsolódik. A ciszplatin összegképlete $[\text{PtCl}_2(\text{NH}_3)_2]$.

a) *Mi a központi ion töltése?*

A szervesetlen vegyületek esetében középiskolában ritkán beszélünk izomériáról. A vegyület neve viszont sejtetni engedi, hogy itt a térizomereknek fontos szerepe lehet. Ha van ciszplatin, akkor kell, hogy legyen transzplatin is. A transzplatinban az azonos ligandumok egymással szemben, a ciszplatinban pedig egymás mellett helyezkednek el.

b) *Rajzold fel a két izomer szerkezeti képletét! Milyen a komplex vegyület térszerkezete?*

Az emberi szervezetben 37 °C-on az alábbi folyamatok mennek végbe.



Az első folyamat lényegében egyirányú, a második folyamat egyensúlyi állandója $2,75 \cdot 10^{-7}$. A végtermék kisebb reakciókészségű, mint a közti-termék.

A gyógyászatban a ciszplatin hatásos koncentrációjának maximuma $48 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ körül van. Ez azt jelenti, hogy ekkora koncentráció mellett fejt ki a ciszplatin a legjobban a hatását.

c) Ilyen koncentráció mellett mennyi a $[\text{PtCl}(\text{H}_2\text{O})(\text{NH}_3)_2]^+$ és $[\text{PtCl}(\text{OH})(\text{NH}_3)_2]^+$ koncentrációjának aránya a vérben és a sejtplazmában?

A vér pH-értékét vegyük 7,4-nek, a sejtplazmáét 5,5-nek ($[\text{H}^+] = 3,98 \cdot 10^{-8}$ és $3,16 \cdot 10^{-6} \text{ mol}/\text{dm}^3$).

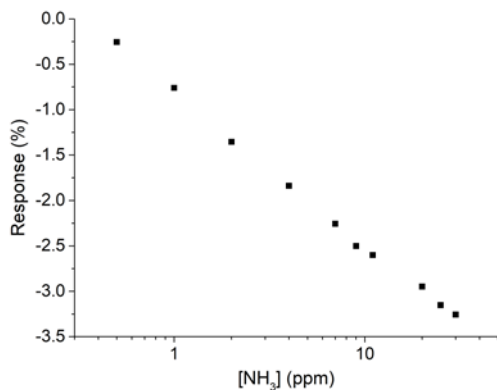
(Borbás Réka)

Szokás szerint a H feladatsor utolsó fordulójába az idei, isztambuli Nemzetközi Kémiai Diákolimpia felkészítő feladatai közül válogattunk.

H326. Az ammóniának fontos szerepe van a szervezet metabolizmusában, és anyagcserezavarok esetében megjelenhet a kilélegzett levegőben. Gyors és érzékeny műszeres kimutatása tehát fontos analitikai feladat.

Egy optikai szálba beépített specifikus porfirin-származék segítségével sikerült egy ilyen érzékelőt alkotni, ugyanis a szál fényátbocsátása ammónia hatására megváltozik. Megfelelő spektrométer segítségével különböző ammóniakoncentrációk mellett vizsgálták a műszerrel kapható eredményt. Az ábra és a táblázat tartalmazza az eredményeket, amelyekre megfelelő formában lineárisan változó ($y = a + bx$) kalibrációs görbét tudtak illeszteni.

Hogy néz ki a kalibrációs görbe egyenlete? Ha egy vesebeteg lélegzete esetén a szenzor válasza $-3,812\%$, akkor mennyi benne az ammónia koncentrációja?



[NH ₃] (ppm)	Szenzor válasz (%)
0,500	-0,2540
1,00	-0,7590
2,00	-1,354
4,00	-1,838
7,00	-2,255
9,00	-2,500
11,0	-2,600
20,0	-2,947
25,0	-3,152
30,0	-3,256

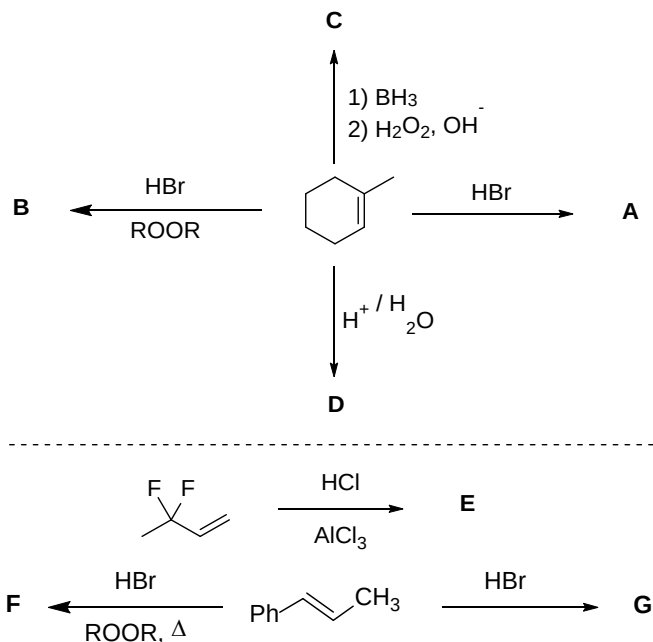
(török feladat)

H327. A 2019-es év nem csupán a periódusos rendszer, hanem a Markovnyikov-szabály 150. évfordulója is volt. Markovnyikov egy nagyon fontos szerves kémiai iskola képviselője volt (Butlerov, Zajcev és Wagner mellett). Az ő felfedezésekhez kapcsolódnak a további kérdések.

A reakciók hátterét röviden bemutatta Kotschy András a 2006/1. KÖ-KÉL-számban.

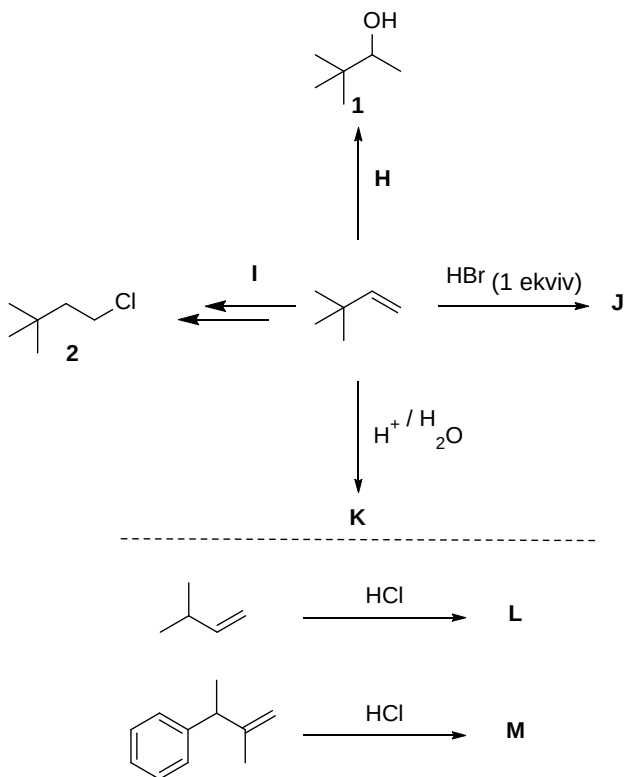
A Markovnyikov-szabály jól ismert jóslataival bizonyos körülmények között épp ellenkező eredmények kaphatóak. Ilyenkor anti-Markovnyikov-addícióról beszélünk, de az eredmények mögött a magyarázat ugyanaz: a reakció irányítását a köztitermékek stabilitása szabja meg. Bizonyos esetekben az elektronszerkezetük mellett az egyes atomok hozzáférhetősége (az úgynevezett szterikus hatás) is befolyásolja a reakció kimenetét.

a) *Rajzold fel az A-G főtermékek szerkezetét a sztereokémiájuk feltüntetésével (az optikai izoméria nem érdekes)!*



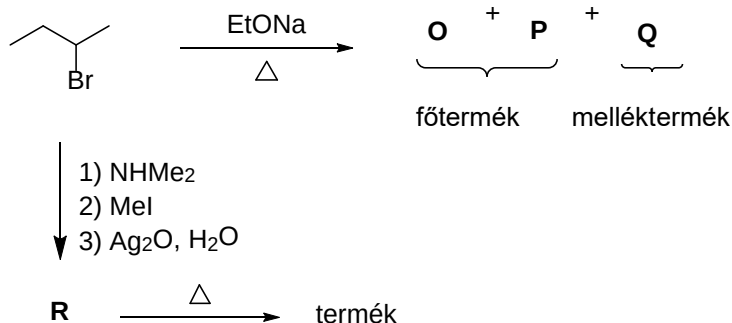
Wagner ugyanabban az időben átrendeződési reakciókat figyelt meg, amelyeket később Meerwein általánosított, és talált rájuk a Markovnyikov-szabálynál leírttal analóg magyarázatot. Ha a reakciók köztiterméke pozitív töltésű szén tartalmazó karbokation, akkor ez a köztitermék hajlamos átrendeződni szomszédos atomok közti csoportvándorlással, az úgynevezett Wagner-Meerwein-átrendeződésben. Természetesen, ha a köztitermék nem kationos jellegű, akkor nem várható átrendeződés.

- b) A köztitermékeket is figyelembe véve rajzold fel a **J-M** főtermékek szerkezetét, valamint a **H** és **I** átalakulásokban használható reagenseket!



Zajcev szintén Butlerovnál doktorálva találta meg az eliminációkban preferált alkének szerkezetére vonatkozó tapasztalati szabályát.

- c) Rajzold fel az **O-Q** eliminációs termékek és az **R** vegyület szerkezetét! Mi lesz az **R** hevítésekor keletkező termék szerkezete?



(török feladat)

H328. Rajzold fel az 1,2,3-trifenilpropán-1,3-diol minden lehetséges sztereoizomerjének szerkezetét! Melyek királisak és melyek akirálisak az izomerek közül? Milyen fizikai tulajdonságaik alapján lehet a királis izomerek közt különbséget tenni?

(török feladat)

H329. A kén Törökországban is fontos elem...

a) Vázold fel az elemi kén molekulájának szerkezetét és állapítsd meg hány tükörsíkot tartalmaz!

A molekuláris ként oxigénnel hevítve az **A** vegyület keletkezik. Ennek további katalitikus oxidációja a **B** vegyületet adja. Ezek vízzel a **C** és **D** vegyületet adják. **D** és **B** savas és maró keverékében jelen van az **E** molekulája is.

b) Vázold fel az **A-F** molekulák térszerkezetét és írd fel a megemlített reakciók egyenleteit!

A kén klórgázzal való reakciójában az **F** vegyület keletkezik, ami klórfelesleggel továbbalakul **G**-vé, amit pl. a gumigyártásban is használnak. **G** és **B** reakciójában **H** és **A** keletkezik. **H** mérgező anyag, amit klórozószerként használnak szerves reakciókban.

Gyakori kéntartalmú ásvány a pirit, amiből sósavval egy színtelen, éghető gáz, **I** keletkezik, ami sok gyógyvízben van jelen, és oxidációjának terméke **A**.

- c) *Vázold fel az **F-I** molekulák szerkezetét és írd fel a megemlített reakciók egyenleteit!*

Egy gyógyvízminta vizsgálatát az alábbi módon végezték: 500 ml vízből nitrogéngázzal kiűzték az illékony **I** komponenst. Zárt rendszerben, 50 ml 0,010 M NaOH oldatban elnyelelték, majd a pH-t 6-ra állítva kálium-jodidos jódoldattal reagáltatták. A hozzáadott 12,5 ml oldat 1,0 g KI-ot tartalmazott, és jódra nézve 0,030 M volt a koncentrációja. 15 perc várakozás után a kapott oldatot keményítő indikátor mellett 0,0500 M tioszulfát-mérőoldattal titrálták. A fogyás 9,56 ml volt.

- d) *Mi volt a gyógyvíz **I** tartalma ppm-ben, ha más szennyező nem zavarta a mérést? Írd fel a releváns egyenleteket is!*

(török feladat)

H330. Konjugált π -elektronrendszerek alapvető jellegzetességeit már egy nagyon durva kvantummechanikai modell is vissza képes adni. Az úgynevezett dobozba zárt elektron közelítés egyszerűen csak annyit tételez fel, hogy a π -elektronok egy dimenzióban szabadon mozognak a a szénváz felett. A rendelkezésükre álló helye hosszát az

$$L = n_c \times 1.40 \text{ \AA}$$

képlettel kaphatjuk, ahol n_c a szénatomok száma.

A Schrödinger-egyenlet megoldása ebben a modellben azt adja, hogy az elektron energiája a következő diszkrét értékeket veheti fel:

$$E_n = - \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$$

Itt m az elektron tömege, h a Planck-állandó, és az n egy pozitív egész szám. Több elektron esetén itt is érvényesül a Pauli-elv. Vizsgáljuk az 1,3,5,7-oktatetraén π -elektronjait!

- a) *Vázold fel az energiaszinteket diagramon, és jelöld a betöltött állapotokat! Számítsd ki az szintek energiáit és az elektronok összenergiáját!*
- b) *Milyen hullámhosszú fény képes a legmagasabb betöltött pályán (HOMO) lévő elektront a legalacsonyabb betöltetlen pályára gerjeszteni?*

(török feladat)

Megoldások

K339. a) Az érc összegképlete felírható U_xO_y alakban, vagyis a moláris tömeg függvényében kell felírni x és y arányát, ez egyértelműen meghatározza az érc képletét.

Berzelius 120 g/mol moláris tömegűnek gondolta az uránt, ezzel 1 molnyi vegyületben $120x$ g urán és $16y$ g oxigén van. Ezt felhasználva és azt, hogy az urántartalom 84,8 tömegszázalék, felírható:

$$0,848 = \frac{120x \text{ g}}{(120x + 16y) \text{ g}} \rightarrow \frac{x}{y} = \frac{13,568}{18,24} \approx \frac{3}{4}$$

Ebből pedig következik, hogy az érc összetétele Berzelius szerint: U_3O_4 . Hasonló gondolatmenet alapján írhatóak fel a másik két esetben is az egyenletek.

Armstrong:

$$0,848 = \frac{180x \text{ g}}{(180x + 16y) \text{ g}} \rightarrow \frac{x}{y} = \frac{13,568}{27,36} \approx \frac{1}{2}$$

Ebből pedig következik, hogy az érc összetétele Armstrong szerint: UO_2 . Mengyelejev:

$$0,848 = \frac{240x \text{ g}}{(240x + 16y) \text{ g}} \rightarrow \frac{x}{y} = \frac{13,568}{36,48} \approx \frac{3}{8}$$

Ebből pedig következik, hogy az érc összetétele Mengyelejev szerint: U_3O_8 .

b) Ma már tudjuk, hogy az urán moláris tömege 238 g/mol az előzőekhez hasonlóan kiszámolható:

$$0,848 = \frac{238x \text{ g}}{(238x + 16y) \text{ g}} \rightarrow \frac{x}{y} = \frac{13,568}{36,176} \approx \frac{3}{8}$$

Vagyis az érc összetétele U_3O_8 . Ez az uránszurokérc, ami egy vegyes oxid. Az oxigén oxidációs száma minden esetben -2 , az uráné pedig $+4$ és $+6$.

A feladat közepesen bizonyult nehéznek. Igazán vegyes megoldásokat és eredményeket kaptunk, de nagyon sokan rájöttek az összegképletre vagy annak egy többszörösére. Ami igazán komoly nehézséget okozott, az az oxidációs szám meghatározása volt.

(Jantner Anna)

K340. A vas(III)-oxid és az alumínium 1:2 arányban reagálnak egymással, ezért a 30 gramm, azaz 0,188 mol vas(III)-oxid feleslegben van a 8,0 gramm, azaz 0,296 mol alumíniumhoz képest, tehát a reakcióban az összes alumínium reagált. A mintában így lehetett vas(III)-oxid, alumínium-oxid és az az elemi vas, ami nem csöpögött ki az edényből.

A fejlődő gáz csak hidrogén lehet, amely a vassal való reakcióban képződik, egy molnyi vasból egy molnyi hidrogéngáz. A $87,5 \text{ cm}^3$ gáz $3,57 \cdot 10^{-3}$ molnak felel meg, tehát ugyanennyi vas volt a mintában, ami 0,20 g elemi vasat jelent.

A feleslegben alkalmazott NaOH az alumíniumionokat komplex formában oldatban tartja, míg a vasionokat kicsapja, szárítás után $\text{FeO}(\text{OH})$ formában számolunk vele. (Természetesen a valóság ennél összetettebb.) A 2,67 g szárított csapadék tehát 0,00301 molnak felel meg, amelynek vasiontartalma 1,67 g, amely eredetileg 2,10 g vas(III)-oxidban volt benne. A maradék tömeg az alumínium-oxidhoz tartozik, tehát a 3,55 grammos mintában 1,25 g Al_2O_3 volt. Így a minta összetétele 59,3 m/m% Fe_2O_3 , 35,1 m/m% Al_2O_3 és 5,6 m/m% Fe.

Sajnos néhány dolgozatban nem vették figyelembe, hogy a reakció hőmérsékletén alumínium semmiképpen sem maradhat elemi formában, különösen, hogy az volt a limitáló reagens. Illetve hibaként fordult még elő, hogy az elemi vasból keletkezett vasionokkal nem számolt a versenyző a csapadék képződésénél.

(Borbás Réka)

K341. Feltehetőleg **Y** egy fém, ezért írható fel elemi formában, ekkor viszont az oxidációs száma szinte biztos, hogy pozitív, ami azt jelenti, hogy az **A**-ban és **YZ**-ben az **X** és **Z** atomok oxidációs számai negatívak. Viszont **B**-ben **X** és **Z** oxidációs számai ellentétes előjelűek, tehát az egyik elem tud redukálódni és oxidálódni is. **B** keletkezésének feltételeinek

tökéletesen megfelel a hidrogén és klór reakciója, és a keletkező sósav oldhatósága valóban megegyezik a megadott adattal. Ez esetben egy olyan fém az **Y**, aminek van hidridje, és nagyon hevesen reagál klórral, oxidációs száma pedig +1. Erre tökéletes példa a Na, hisz az NaH létező vegyület, és az Na Cl₂-ben való égését tényleg sárga láng jellemzi.

Mivel **B** a sósav, ezért **B** és **U** reakciójának termékei UCl_n és H₂. Tudjuk, hogy UCl_n tömegszázalékos **U**-tartalma 44,06%.

Vegyünk a vegyületből 100g-ot, ebben 44,06g **U** és 55,94g Cl van.

$$n(\mathbf{U}) = \frac{m(\mathbf{U})}{M(\mathbf{U})} = \frac{44,06 \text{ g}}{M}$$

$$n(\text{Cl}) = \frac{55,94 \text{ g}}{35,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 1,58 \text{ mol}$$

Tudjuk, hogy

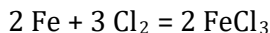
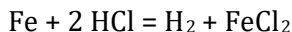
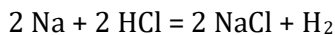
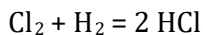
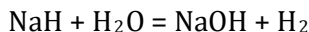
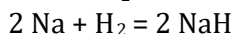
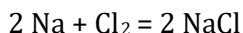
$$\frac{n(\mathbf{U})}{n(\text{Cl})} = \frac{1}{n} = \frac{\frac{44,06 \text{ g}}{M}}{1,58 \text{ mol}}$$

ezt átrendezve megkapjuk, hogy $M = 27,89n$, melyre egyetlen kémiailag értelmes megoldás adódik. Ha $n = 2$, akkor $M = 56 \text{ g/mol}$, azaz vas(II)-ion jelenik meg, melyre tényleg igaz, hogyha klórral reagáltatnánk, akkor nagyobb klórtartalmú vegyületet kaptunk volna. (Szemben a számoknak szintén megfelelő ScF₃-dal, és HgI₂-dal.)

Tehát:

X	Cl	A	NaCl
Y	Na	B	HCl
Z	H	C	FeCl ₂
U	Fe		

A reakciók:



A feladat jól sikerült, jellemző hiba a számolás elhagyása volt. A megoldókulcs Sajósi Benedek megoldása alapján készült.

(Forman Ferenc)

K342. Induljunk ki az oldhatósági adatokból 20 és 10°C-on. 100 g víz 53,8 g ZnSO_4 -ot old, amelyből hűtés után kiválik x mol $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, tehát oldatban marad $100 - 126x$ g vízben 53,8 – 161,3 x g cink-szulfát, amelynek aránya 100:47,2. Innen kapjuk, hogy $x = 0,0648$ mol, azaz 18,62 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ válik ki. A kísérletben 10,08 g kristályvizes só vált ki, tehát az oldhatóságban megadott érték $10,08 / 18,62 = 0,5413$ -szere-sével kell számolnunk. Azaz 20 °C-on 54,13 g vízben oldott 29,12 g cink-szulfát volt. A 20 °C-ra való hűtés során kivált 46,06 g kristályvizes só, amelyben 25,86 g cink-szulfát és 20,20 g víz van, tehát kiinduláskor volt (20,20 + 54,13) gramm, azaz 74,33 g víz és 25,86 + 29,12 = 54,98 g cink-szulfát. Ennyi cink-szulfát 97,93 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -ban volt, tehát 98,17 g szennyezett sóból indultunk ki, amelyet 31,39 g vízben oldottunk fel.

További hűtéssel az első gondolatmenethez hasonlóan az 54,13 g vízből és 29,12 g cink-szulfátból y mol kristályvizes só válik ki, amelyből a következő arányhoz jutunk: $(29,12 - 161,3y) / (54,13 - 126y) = 42,6 / 100$. Innen kapjuk, hogy $y = 0,06063$, tehát további 7,34 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ válik ki, azaz összesen 63,5 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ nyerhető ki. Ez 64,8 %-a a feloldott $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -nak, és 64,7%-a a szennyezett sónak.

Ebben a feladatban is született néhány hibátlan megoldás: Karvaly Krisztián Márk, Lucio Saracco, Nemeskéri Dániel, Szabó Márton, Sajósi Benedek és a Nátrium-hidroxid csapat részéről. A feladat több elszámolási lehetőséget is nyújtott, ez sajnos néhányaknak sikerült is. Nagyobb hiba volt, hogy vagy a feladat egy részében, vagy az egészében nem számoltak azzal, hogy kristályvizes só válik ki. Másik, többször előforduló hiba volt, hogy a 70 °C-os oldatot telítettnek vették, de ezt a feladat szövege nem állította. Persze az átkristályosítást telített, vagy közel telített oldattal érdemes végezni, mivel a hígabb oldat csökkenti a hatékonyságot.

(Borbás Réka)

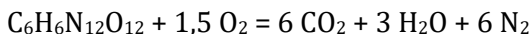
K343. a) A vegyület összegképlete a megadottak alapján $\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_6\text{X}_6$, moláris tömege $M = (162 \text{ g / mol} + 6 \cdot M_X)$. Tökéletes égéséhez molekulánként 1,5 O_2 , azaz 3 O atom szükséges. Az égéskor keletkező 3 vízhez (6 H) és 6 szén-dioxidhoz (6 C) összesen legalább 15 O kell, azaz a

molekulában még legalább 12-nek kell lennie (tehát X csoportonként legalább 2; vagyis $M_X \geq 32$ g / mol).

Az ismert részekben a nitrogén tömege mólonként 84 g. Ekkor a molekula tömege $M = M_{\text{nitrogén, összes}} / 0,3836 \approx 219$ g / mol. Ezek szerint X csoport tömegére mólonként $[(219-162)/6]$ g = 9,5 g jön ki, ami tehát nem lehet.

Ezek szerint X tartalmaz legalább egy nitrogént is. Ekkor a nitrogén tömege mólonként 168 g, a molekuláé ebből és a tömegszázalékos összetételi adatból számolva 438 g. Tehát egy X csoport moláris tömege $[(438-162)/6]$ g/mol = 46 g/mol, ami pontosan megfelel egy nitrogén- és két oxigénatomnak (egy nitrocsoporthoz), tehát találtunk egy megoldást. (Több keresésével kevés eredményre jutunk, a nitrogénszám növelésével egyre több, oxigén nélkül égő tömeggel kellene elszámolnunk.)

X csoport tehát legvalószínűbb, hogy nitrocsoporthoz jelöl, ahogy ez robbanóanyagokban gyakori (és a többi konstitúciós izomer nem is igen létezik.) Tökéletes égésének egyenlete:



b) Az anyag moláris tömege az előzőekből $M = 438$ g / mol, tehát a 2 grammnyi minta 4,566 mmol-nyi anyagmennyiséget képvisel. A levegőt ideális gáznak tekintve a $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$ képlet alapján kiszámíthatjuk a kezdeti levegő mennyiségét, ahol $p = 100000$ Pa, $V = 0,01$ m³, $R = 8,314$ J / (K · mol), $T = 298,15$ K. Ezekből $n = 403,418$ mmol. Ennek ~21 %-a oxigén, ~85 mmol, tehát az egész minta elégetésére elég. A reakció során a minta anyagmennyiségének másfélszerese fogy el oxigénből, helyébe összesen 15-szörös mennyiségű gáz keletkezik, tehát az égetés után a tartályban a gáz mennyisége $13,5 \cdot 4,566$ mmol = 61,641 mmol-lal nő. (410 K magasabb, mint 100 °C, tehát a víz is gáz-halmazállapotban lesz.) Így az égetés után $n = 465,059$ mmol = 0,465059 mol; $T = 410$ K, V változatlan. Az előző képletet használva ezek alapján a nyomás $p \approx 158527$ Pa.

A standard nyomás fogalma néha összezavaró, az 1 atm és 1 bar értéket is elfogadtam. Alapvetően a feladat nem bizonyult nehéznek, 10 maximális pontszámú megoldás is érkezett. Az egyik megoldó a számokból kapható N=S csoport létezését eleve kizárta, érdekességgként megjegyezzük, hogy ez tionitrozo-csoport néven igenis létezik, nem ezért nem jó megoldás.

(Szobota András)

K344*. A feladat szerint $0,70 \text{ g/dm}^3$ koncentrációjú kalciumionot tartalmazó oldatot kell készíteni. Ha ehhez csapvizet használunk, ki kell számítani, hogy a csapvízben mennyi a kalciumion koncentráció. A titrálás során fogyott EDTA oldat térfogata: $V = 2,20 \text{ cm}^3 = 0,0022 \text{ dm}^3$, koncentrációja: $c = 0,01 \text{ mol/dm}^3 = 0,01 \text{ mmol/cm}^3$, anyagmennyisége: $n = c \cdot V = 0,01 \cdot 2,2 = 0,022 \text{ mmol} = n(\text{Ca}^{2+}) + n(\text{Mg}^{2+})$ Tudjuk, hogy a csapvízben $n(\text{Ca}^{2+})/n(\text{Mg}^{2+}) = 2:1$, vagyis 10 cm^3 ($0,01 \text{ dm}^3$) csapvízben $n(\text{Ca}^{2+}) = 0,022/3 \cdot 2 = 0,01466 \text{ mmol}$. Ebből kiszámolhatjuk, hogy $c_n(\text{Ca}^{2+}) = n/V = 0,01466/0,01 = 1,466 \text{ mmol/dm}^3$. Tömegkoncentrációja: $c_m(\text{Ca}^{2+}) = c_n \cdot M(\text{Ca}^{2+}) = 1,466 \cdot 40,1 = 58,8 \text{ mg/dm}^3 = 0,0588 \text{ g/dm}^3$. Vagyis ha nem számolunk a csapvízben lévő kalciumionokkal, ennyivel fogunk hibázni. Az eltérés: $0,0588/0,7 \cdot 100 = 8,4\%$.

b) A kristályvizes sóval oldatba vitt víz tömegét a számolás során elhanyagolhatjuk. 1 dm^3 oldatot véve a $0,7 \text{ g}$ kalciumion ebben az esetben $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ -tól származik. Kiszámolhatjuk a valóban bemért kalciumion mennyiségét:

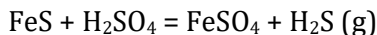
$$m(\text{Ca}^{2+}) = 0,7/M(\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{CaCl}_2) = 0,7/147 \cdot 111 = 0,529 \text{ g.}$$

A hiba = $[1 - (0,529 - 0,7)] \cdot 100 = 24,4\%$.

A javítás során többféle módon számolt hibát is elfogadtunk.

(Bacsó Zsófia Réka)

K345.* A vas(II)-szulfid és kénsav reakciójában



folyamat zajlik. A kénsavoldat tömege 189 g , amely $122,9 \text{ g}$ vizet és $66,15 \text{ g}$ azaz $0,675 \text{ mol}$ kénsavat tartalmaz, tehát ugyanekkora anyagmennyiségű vas(II)-szulfid oldódott fel, és ugyanennyi kén-hidrogén és vas(II)-szulfát képződött. Ez $102,5 \text{ g}$ FeSO_4 -ot jelent. Ha a szilárd fázisban $x \text{ mol}$ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ van, akkor oldatban $102,5 - 151,8x \text{ g}$ vas(II)-szulfát és $122,9 - 126x \text{ g}$ víz, melyeknek aránya az oldhatósági adatokból $28,8:100$. Innen adódik az $x = 0,5809$, tehát $161,4 \text{ gramm}$ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ van szilárd fázisban, a maradék tömeg pedig az oldat, a folyadékfázis, $64,0 \text{ g}$ oldat, tehát a szilárd és folyadék fázis tömegaránya $2,48 : 1$.

Hibátlan megoldást adott be: Csécsi Marcell, Karvaly Krisztián Márk, Lovas Miklós, Lucio Saracco, Nemeskéri Dániel, Papp Marcell Miklós, Polák

Máté, Sajósi Benedek, Szabó Márton, Tóth Nóra. Kisebbségi pontlevonások elszámolási hibákból születtek.

(Borbás Réka)

K346.* Ha a $\text{pH} = 5,2$, akkor a $[\text{H}^+] = 6,31 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$. Az egyensúlyi állandó értékét felhasználva felírható, hogy

$$K_s = 1,75 \cdot 10^{-5} = \frac{(6,31 \cdot 10^{-6})^2}{c_e}$$

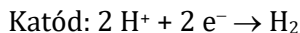
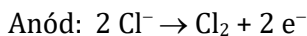
ahol c_e a disszociálatlan ecetsav egyensúlyi koncentrációját jelöli. Az összefüggésből $c_e = 2,27 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$, így a bemérési koncentráció $(6,31 + 2,27) \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3 = 8,59 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$. A 700 kg oldatban $700 \cdot 0,23 \text{ kg} = 161 \text{ kg NaCl}$ és így 539 kg vizes ecetsavoldat van. Ez nagyon híg ecetsavoldatot jelent, amelynek sűrűsége megegyezik a víz sűrűségével, tehát 539 dm^3 ecetsavoldatot készített. Ennyi oldatban $539 \text{ dm}^3 \cdot 8,59 \cdot 10^{-6} \text{ mol/dm}^3 = 4,63 \text{ mmol}$, azaz $0,278 \text{ g}$ ecetsavat jelent. Ez a mennyiség $1,39 \text{ cm}^3$ tömény oldatban van.

A 700 kg oldat $700 \text{ kg} : 1,1 \text{ kg/dm}^3 = 637 \text{ dm}^3$ oldatban van. Így a 161 kg , azaz $2,74 \text{ kmol NaCl}$ -ra nézve ez az oldat $4,32 \text{ mol/dm}^3$ töménységű.

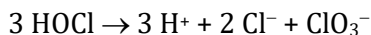
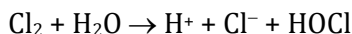
Maximális pontszámot kapott a megoldására Karvaly Krisztián Márk, Lovas Miklós, Polák Máté, Sajósi Benedek, Szabó Márton, Tóth Nóra. Előfordult a megoldásokban, hogy a 20%-os ecetsav sűrűségét a vízével azonosnak tekintették, de ez hibás. A 20% (ún. vegyesszázalék) ebben az esetben azt fejezi ki, hogy 20 gramm ecetsav található az oldat 100 cm^3 -ében.

(Borbás Réka)

H313. A két elektródreakció:



A két diszproporciós reakció:



Az 1 tonna = 1000 kg nátrium-klorát anyagmennyisége:

$10^6 \text{ g} / 106,5 \text{ g mol}^{-1} = 9,4 \cdot 10^3 \text{ mol}$, ehhez $2,8 \cdot 10^4 \text{ mol}$ hipoklórossav és ugyanilyen anyagmennyiségű klór előállítására szükséges. Azaz 1 nap

alatt $2 \cdot 2,8 \cdot 10^4 \text{ mol} \cdot 9,65 \cdot 10^4 \text{ C mol}^{-1} = 5,4 \cdot 10^9 \text{ C}$ töltés áramlása szükséges. 1 nap 86400 s, vagyis a szükséges átlagos áramerősség $5,4 \cdot 10^9 \text{ C} / 86400 \text{ s} = 6,3 \cdot 10^4 \text{ A} = 63 \text{ kA}$. Ekkorra áram fenntartásához szükséges napi elektromos energia 1,9 V elektrolizáló feszültség mellett $E = 1,9 \text{ V} \cdot 31 \text{ kA} \cdot 24 \text{ h} = 2,9 \cdot 10^3 \text{ kWh} = 2,9 \text{ MWh}$.

1. A feladat szövege semmit nem árult el a közeg pH-járól, ezért a katódreakciót $2 \text{ H}_2\text{O} + 2 \text{ e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{ OH}^-$ módon is helyesen lehetett felírni. A diszproporciós reakciókban ugyanígy hipoklórossav helyett hipoklorit-iont is lehetett írni.

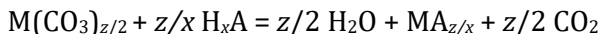
2. Sok megoldó eljutott a helyes megoldásig, de szinte mindenki indokolatlanul sok (akár hat-hét) értékes jeggyel adta meg az áramerősséget és az elektromos energiát is.

3. Egy megoldó – helyesen – megjegyezte, hogy a szükséges áramerősség nagyon nagy. Ez minden, elektrolízisen alapuló ipari folyamat sajátja. Az elektromos áram fenntartásának költsége a felhasznált elektromos energiával arányos: ezért az elektrolizáló cella feszültségének csekély csökkenése is nagy megtakarításokhoz vezethet a gyakorlatban.

4. A valóságban a klorátion keletkezése lényegesen összetettebb módon megy. Ez viszont a feladat végeredményét nem befolyásolja: ha az anódreakciót $\text{Cl}^- + 3 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{ClO}_3^- + 6 \text{ H}^+ + 6 \text{ e}^-$ módon írjuk fel, akkor is ugyanazt az áramerősséget és elektromos energiát kapjuk.

(Lente Gábor)

H317. A termékek (szilárd és gáz) együttes tömege kevesebb, mint a kiindulási anyagoké, így melléktermék képződésével kell számolni, ami ki zárásos alapon a víz (mivel más nem marad a rendszerben). Így belátható, hogy mivel $2+2,5-3,232-0,898 = 0,37 \text{ g}$ víz keletkezését 0,898 g gáz fejlődése kíséri, így egy mol vízre hozzávetőleg 44 g gáz jut. Ez alapján a gáz a CO_2 , ami 1:1 molarányban keletkezik a vízzel szénsav bomlásakor, míg a sav feltehetőleg karbonátsó savas bontásával keletkezett. (Ráadásul a CO_2 szagtalan, ami megfelel a feladat szövegének.) A CO_2 karbonátsókból keletkezésére az alábbi egyenletet írhatjuk fel (ahol M a +z oxidációs számú fémet, H_nA az n értékű savat jelöli):



Ez alapján látható, hogy a fém-karbonát 2,5 grammjából 0,37 g víz keletkezett. A fém különböző oxidációs számaira az alábbi moláris tömegek adódnak a karbonátra:

z	$M(M(\text{CO}_3)_{z/2}) \text{ (g/mol)}$	Opció
1	60,8	-
2	121,6	$\text{NiZn}(\text{CO}_3)_2$
3	182,4	$\text{Nb}_3(\text{CO}_3)_2$ - savakból hidrogént fejleszt
4		Oxidok képződése közben bomlanak

A CuCO_3 majdnem jó a 123,5 g/mol moláris tömeggel. Itt egyesek próbálkoztak más vegyes karbonátokkal, ezzel azonban vigyázni kell, mert közülük nem mindegyik létezik. Az ionok különböző mérete miatt ugyanis még az azonos vegyértékűek sem helyettesíthetik egymást feltétlenül, a sztöchiometriákat éppen a kristályrácsban betöltött különböző pozíciók adják.

Hasonlóképpen járhatunk el a sav moláris tömegének kiszámításánál is.

z	$M(\text{H}_n\text{A}) \text{ (g/mol)}$	Opció
1	48,6	-
2	97,3	$\text{H}_2\text{SO}_4, \text{H}_3\text{PO}_4$
3	146,0	-

Mivel a szulfátok kristályvizesek (legalábbis az eddig felmerült fémek szulfátjai), ezért az **A** vegyület a foszforsav, ami kétértékű savként viselkedik. Tehát a reakcióegyenlet az alábbiak adódik:



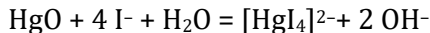
A feladat nem köti ki, hogy a keletkező csapadék kémiaiilag egységes vegyület. Ez alapján azonban a **B** anyagnak nem is kell sztöchiometrikus mennyiségben jelen lennie, hanem lehet feleslegben is. (az **A** anyag nem lehet feleslegben, hiszen elfogy az oldatból.) Tehát minden 30,8 g/mol-nál kisebb kémiai egyenértékű kation megoldása a feladatnak, ha karbonátja és hidrogén-foszfátja kristályvízmentes csapadék. Így **B** vegyület kationja lehet Be^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cr^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} és Ga^{3+} .

Sokféle megoldás érkezett, ami a feladat alulhatározottságát tekintve várható is volt. Érdekes módon ugyanakkor mindegyikben volt valamilyen (jellemzően anyagismereti) hiba, így maximális pontszám nem volt.

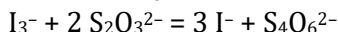
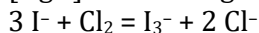
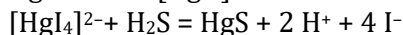
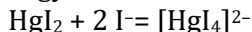
Az eredeti orosz feladat megoldása a kalcium-karbonát és kénsav volt, ami a legközismertebb a lehetőségek közül. Ugyanakkor a vizes oldatban leváló kalcium-szulfát kristályvizes, és így kiderült, hogy a szerzők is vétektenk anyagismereti hibát.

(Forman Ferenc)

H318. A záptojásszagú (kénhidrogén) kísérletből kiderül, hogy a minta kationja az I. vagy II. kationosztályba tartozik. Innen már a rejtőszín (sárgás piros) alapján kitalálható, hogy HgO vagy HgI_2 volt a mérge. A higanyvegyületek kellően mérgezőek, és melegítés hatására hőbomlást szenvednek, ami megmagyarázza a hevítés hatására történő tömegcsökkenést. A nehézfémion magyarázza fehérje denaturálódását is. A higanyt kálium-jodiddal tették vízzoldhatóvá (és segítették a felszívódását), erre a utal a klóros oxidáció, valamint a termék visszaredukciója nátrium-tioszulfáttal. A reakcióegyenletek:



vagy



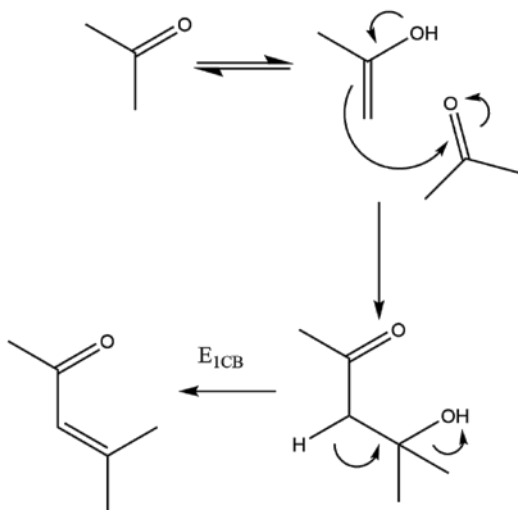
A mintából 0,074 uncia (18,5%) volt a paprika. HgO esetén a 0,0295 uncia HgS 0,055 uncia (13,8%) HgO -nak felel meg a teljes mintában, vagyis a KI tömege teszi ki a maradék 0,271 unciát (67,8%). HgI_2 esetén 0,1154 uncia (28,9%) higanyvegyületből indultunk ki, és a KI tömege jelenti a fennmaradó 0,2106 uncia (52,7%) tömeget.

Következésképpen HgO esetén $100/150 \times 0,043/0,055 \times 0,4 = 0,209$ uncia (5,9 g), míg HgI_2 esetén 0,099 uncia (2,8 g) paprikát kellett elfogyasztani. A higany(II)-jodid termokróom viselkedése miatt Holmes bizonyára meg tudta állapítani, hogy melyik vegyületről van szó, ez azonban nem került említésre a szövegben.

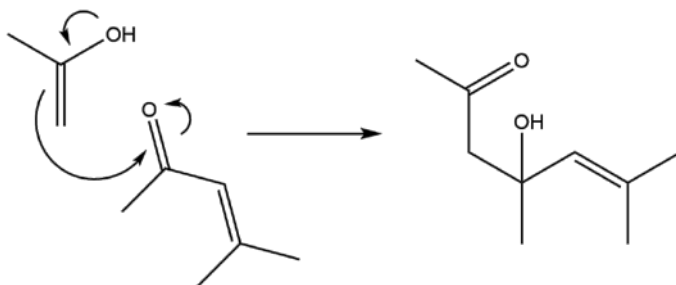
A feladat számos buktatót tartogatott magában, az átlagpontszám 6,2 lett. Sokan megtalálták a két higanyvegyület egyikét, de mindkettőt csak Simon Vivien.

(Forman Ferenc)

H319. a) A reakció az aceton aldol-kondenzációja, minek során a BaO Ba(OH)₂-dá alakul. (Tehát hiába csak katalitikus bázis szükséges a folyamathoz, sztöchiometrikus oxid kell a vízelvonás miatt).



b) A reakció a feltétben (a papírhüvelyben) játszódik le. Az összetett (és elegáns) kísérleti elrendezést az indokolja, hogy a célterméknek van további két savas protonja, és egy elektrofil centruma, így túlreakcióra hajlamos, például az alábbiak szerint:



Mivel azonban a termék forráspontja moláris tömegénél fogva jóval nagyobb, mint az acetoné, így nem jelenik meg gőzfázisban, és a bárium-hidroxiddal sem érintkezik.

Jó volt látni, hogy a versenyzők megbirkóztak a szokatlan feladattípussal, ami a kísérlettervezést illeti, és jól is sikerült. Maximális pontszámot kapott Benkő Dávid, Fajsi Bulcsú és Yokota Adan.

(Forman Ferenc)

H320. a) A különböző kumulatív komplexstabilitási állandók a következőképpen fejezhetők ki az egyes specieszek egyensúlyi koncentrációival:

$$\beta_1 = \frac{[\text{AlF}^{2+}]}{[\text{Al}^{3+}][\text{F}^-]}$$

$$\beta_2 = \frac{[\text{AlF}_2^+]}{[\text{Al}^{3+}][\text{F}^-]^2}$$

$$\beta_3 = \frac{[\text{AlF}_3]}{[\text{Al}^{3+}][\text{F}^-]^3}$$

$$\beta_4 = \frac{[\text{AlF}_4^-]}{[\text{Al}^{3+}][\text{F}^-]^4}$$

$$\beta_5 = \frac{[\text{AlF}_5^{2-}]}{[\text{Al}^{3+}][\text{F}^-]^5}$$

$$\beta_6 = \frac{[\text{AlF}_6^{3-}]}{[\text{Al}^{3+}][\text{F}^-]^6}$$

Ha a nevezőkkel minden eddigi egyenletet megszorozunk, akkor kifejezhetjük a számlálókban lévő specieszek koncentrációit. Ezen specieszek, valamint még a szabad Al^{3+} egyensúlyi koncentrációját összeadva éppen a teljes oldott alumíniumkoncentrációt kapjuk:

$$\begin{aligned} c_{\text{Al}} &= [\text{Al}^{3+}] + \beta_1[\text{Al}^{3+}][\text{F}^-] + \beta_2[\text{Al}^{3+}][\text{F}^-]^2 + \beta_3[\text{Al}^{3+}][\text{F}^-]^3 + \\ &\quad + \beta_4[\text{Al}^{3+}][\text{F}^-]^4 + \beta_5[\text{Al}^{3+}][\text{F}^-]^5 + \beta_6[\text{Al}^{3+}][\text{F}^-]^6 \\ c_{\text{Al}} &= [\text{Al}^{3+}] (1 + \beta_1[\text{F}^-] + \beta_2[\text{F}^-]^2 + \beta_3[\text{F}^-]^3 + \beta_4[\text{F}^-]^4 + \\ &\quad + \beta_5[\text{F}^-]^5 + \beta_6[\text{F}^-]^6) \end{aligned}$$

Innen a szabad $[\text{Al}^{3+}]$ egyensúlyi koncentráció kifejezhető:

$$[Al^{3+}] = \frac{c_{Al}}{1 + \beta_1[F^-] + \beta_2[F^-]^2 + \beta_3[F^-]^3 + \beta_4[F^-]^4 + \beta_5[F^-]^5 + \beta_6[F^-]^6}$$

Az összes oldott fluortartalmat hasonlóan megkaphatjuk, viszont ekkor figyelembe kell venni azt is, hogy az egyes komplexek hány fluoridiont tartalmaznak, és ezzel korrigálni kell az egyenletet:

$$c_F = [F^-] + \beta_1[Al^{3+}][F^-] + 2\beta_2[Al^{3+}][F^-]^2 + 3\beta_3[Al^{3+}][F^-]^3 + 4\beta_4[Al^{3+}][F^-]^4 + 5\beta_5[Al^{3+}][F^-]^5 + 6\beta_6[Al^{3+}][F^-]^6$$

$$c_F = [Al^{3+}] \left(\frac{[F^-]}{[Al^{3+}]} + \beta_1[F^-] + 2\beta_2[F^-]^2 + 3\beta_3[F^-]^3 + 4\beta_4[F^-]^4 + 5\beta_5[F^-]^5 + 6\beta_6[F^-]^6 \right)$$

Figyelembe véve, hogy egy hexafluoro-alumínát sóit oldottunk fel, az összes fluortartalom hatszorosa az összes alumíniumtartalomnak. Ez után az egyes összkoncentrációk helyébe az előzőleg kapott kifejezéseket írva:

$$c_F = 6c_{Al}$$

$$[Al^{3+}] \left(\frac{[F^-]}{[Al^{3+}]} + \beta_1[F^-] + 2\beta_2[F^-]^2 + 3\beta_3[F^-]^3 + 4\beta_4[F^-]^4 + 5\beta_5[F^-]^5 + 6\beta_6[F^-]^6 \right) = 6[Al^{3+}] (1 + \beta_1[F^-] + \beta_2[F^-]^2 + \beta_3[F^-]^3 + \beta_4[F^-]^4 + \beta_5[F^-]^5 + \beta_6[F^-]^6)$$

Egyszerűsítés és $[Al^{3+}]$ korábban kifejezett értékének beírása után:

$$\frac{[F^-]}{\frac{c_{Al}}{1 + \beta_1[F^-] + \beta_2[F^-]^2 + \beta_3[F^-]^3 + \beta_4[F^-]^4 + \beta_5[F^-]^5 + \beta_6[F^-]^6}} + 1 = 6(1 + \beta_1[F^-] + \beta_2[F^-]^2 + \beta_3[F^-]^3 + \beta_4[F^-]^4 + \beta_5[F^-]^5 + \beta_6[F^-]^6)$$

A jobb oldali zárójeles kifejezéssel osztva az egyenletet:

$$\frac{[F^-]}{c_{Al}} + \frac{\beta_1[F^-] + 2\beta_2[F^-]^2 + 3\beta_3[F^-]^3 + 4\beta_4[F^-]^4 + 5\beta_5[F^-]^5 + 6\beta_6[F^-]^6}{1 + \beta_1[F^-] + \beta_2[F^-]^2 + \beta_3[F^-]^3 + \beta_4[F^-]^4 + \beta_5[F^-]^5 + \beta_6[F^-]^6} = 6$$

Ebben a kifejezésben már csak az egyensúlyi fluoridionkoncentráció, a teljes alumíniumkoncentráció és a kumulatív komplexstabilitási állandók szerepelnek.

b) Elsőként úgy tekintjük, hogy csak a kiindulási komplexion és szabad fluorid- és alumíniumion van jelen. Amennyiben a komplex kiindulási 0,1 M koncentrációjából x M koncentrációnyi bomlott el, akkor x M koncentrációban keletkezett a szabad alumíniumion és $6x$ M koncentrációban a szabad fluoridion. Ezeket a komplexstabilitási állandó képletébe helyettesítve:

$$\beta_6 = 10^{19,7} = \frac{0,1 - x}{x(6x)^6}$$

Ezt megoldva x -re $2,375 \cdot 10^{-4}$ adódik (ez az egyetlen kémiai reális megoldás), aminek hatszorosaként adódik az egyensúlyi fluoridionkoncentráció, $1,425 \cdot 10^{-3}$ M.

Most úgy tekintjük, hogy a kiindulási komplexion bomlásának csak a legelső lépése számottevő, a többi lépést elhanyagoljuk. Feltéve, hogy a kiindulási komplexionból y M koncentrációnyi bomlott el, ugyanekkora koncentrációban keletkezett fluoridion és AlF_5^{2-} . Ekkor az 5. és 6. kumulatív komplexstabilitási állandó hányadosaként a következőt kapjuk:

$$\frac{\beta_5}{\beta_6} = \frac{10^{19,4}}{10^{19,7}} = \frac{[\text{F}^-][\text{AlF}_5^{2-}]}{[\text{AlF}_6^{3-}]} = \frac{y \cdot y}{0,1 - y}$$

Megoldva y -ra ezt a másodfokú egyenletet, 0,0854 adódik (ez az egyetlen kémiai reális megoldás), és így egyben 0,0854 M a szabad fluoridionok koncentrációja is.

A második közelítés valószínűleg jobb. Ennek oka, hogy a komplexstabilitási állandók alapján következtetve az egyes specieszek arányára (erre leginkább c_{Al} kifejezésében a zárójeles összegben a tagok összehasonlítása ad lehetőséget) látható, hogy igen pontatlan elhanyagolás az, ha a kiindulási komplex bomlásának csak a legelső lépését vesszük figyelembe. A kiszámított 0,0854 M fluoridkoncentráció esetén például:

$$\frac{[\text{AlF}_4^-]}{[\text{AlF}_5^{2-}]} = \frac{\beta_4[\text{F}^-]^4}{\beta_5[\text{F}^-]^5} = \frac{\beta_4}{\beta_5[\text{F}^-]} = \frac{10^{17,7}}{10^{19,4} \cdot 0,0854} = 0,234$$

Ez azt jelenti, hogy hasonló nagyságrendben keletkezik a két vizsgált komplexion, azaz a bomlás második lépése is számottevően végbemegy, ezáltal további fluoridionokat juttatva az oldatba. Tehát a fluoridionok valós koncentrációja nagyobb, mint amit a második közelítés használatával számoltunk. Mivel az első közelítéssel még a második közelítéssel

kapottnál is kisebb fluoridkoncentrációt kaptunk, így az a valóságtól még messzebb áll. Így tehát a második közelítés a pontosabb, bár talán jobb megfogalmazás ezt inkább kevésbé pontatlannak nevezni, mintsem pontosnak. Mindenesetre azt kijelenthetjük, hogy ez van közelebb a tényleges megoldáshoz.

c) Felírva a kalcium-fluorid (CaF_2) oldhatósági szorzatát:

$$K_{\text{sp}} = 10^{-10,5} = [\text{Ca}^{2+}][\text{F}^-]^2$$

Innen a kalciumionok maximális koncentrációja az oldatban:

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{10^{-10,5}}{[\text{F}^-]^2}$$

Ebbe behelyettesítve az előző feladatrészen kapott egyensúlyi fluorid-ionkoncentrációkat, az első közelítés mellett $1,557 \cdot 10^{-5} \text{ M}$, míg a második közelítés mellett $4,336 \cdot 10^{-9} \text{ M}$ adódik.

A feladat a versenyzők számára igen nehéznek bizonyult, sok volt a hibás megoldás, a legnagyobb gondot az a) feladatrészt okozta. A kapott pontok átlaga mindössze 5,63 volt. Az egyetlen teljes értékű megoldást Sajósi Benedek küldte be.

(Csorba Benjámin)