

GONDOLKODÓ



Feladatok

**Szerkesztő: Borbás Réka, Magyarfalvi Gábor, Varga Szilárd,
Zagyi Péter**

A formai követelményeknek megfelelő dolgozatokat 2018. február 26-ig lehet feltölteni a honlapon. A postán küldött megoldásokat is kérjük a honlapon regisztrálni. A levélcím:

KÖKÉL Feladatmegoldó pontverseny

ELTE Kémiai Intézet

Budapest 112

Pf. 32

1518

A kokel.mke.org.hu honlapon található az online rendszer. Beszkennelt kézírás esetén figyeljete a minőségre és az olvashatóságra (tisztá fehér lapra jól látható tintával írjatok)!

K286. A 19 $m/m\%$ káliumtartalmú oldat beszerzésének nehézsége miatt Vendel szülei más lehetőség után néztek. Olyan vízmentes káliumsót kerestek, amelynek 19 $m/m\%$ -a kálium. A család vegyész barátja szerint a szerves savak (karbonsavak) nagyon sokfélék lehetnek, hátha találni olyat, amelynek káliumsója 19 $m/m\%$ káliumtartalmú.

Keress minél több olyan karbonsavat, amelynek vízmentes káliumsója teljesíti (vagy nagyon közel áll ahhoz, hogy teljesítse) a feltételt! Ha találtál egy megfelelő összegképletet, keress hozzá egy lehetséges szerkezetet is!

(Zagyi Péter)

K287. Rajzold fel egy-egy olyan molekula szerkezeti képletét (jelölve az összes kötő- és nemkötő elektronpárt), amelyben a kötő- és nemkötő elektronpárok számának aránya:

- a) 4:1
- b) 3:1
- c) 2:1
- d) 1:2
- e) 1:3

(Vörös Tamás)

K288. Írj egy-egy példát olyan, standard körülmények közt stabil molekulára vagy ionvegyületre, amelynek 1 móljában a protonok száma összesen:

- a) 4 mol,
- b) 16 mol,
- c) 64 mol!

(Tóth Bence)

K289. Nem mindennapi összetételű az a kétszeresen pozitív töltésű, síknégyszetes geometriájú kation, amelyben a központi atomhoz kapcsolódó minden ligandum azonos, 293 elektront tartalmaz, és Vendel azt mondta róla, hogy „főúri házasság a javából”.

Ugyanezekkel az atomokkal egy lineáris kation 186 elektront tartalmaz.

Határozd meg a két kation képletét!

(Zagyi Péter)

K290. Vendel mostanában kezdett el érdeklődni a szerves kémiai nomenklatúra iránt. Nagyon megtetszett neki, hogy a kilenc szénatomos normál szénláncú alkán neve nonán. Viccesnek találta azokat az elnevezéseket, amelyekben ez valamilyen formában előkerül, úghogy össze is írt néhányat:

nonilnonán, nonil-ciklononán, ciklononil-ciklononán, nonanal, nonanon, nonanonál, nonanol, nonánnonaol, nonilnonanon, nonil-nonanoát, nonenon, nonenán, nonenenenén, nonilnonin, nanenenenán

Csoportosítsd a Vendel által kreált elnevezéseket a következők szerint!

- létező anyag helyes elnevezése;
- létező anyag elnevezése, de a név pontosításra szorul;
- biztosan hibás elnevezés.

Rajzold fel a helyes elnevezésekhez tartozó konstitúciókat! Ahol a név pontosításra szorul, ott adj meg egy pontosított nevet és a hozzá tartozó konstitúciót!

(Zagyi Péter)

K291.* A valamikori Csehszlovákiában kifejlesztett és még ma is gyártott fertőtlenítőszer a SAVO. A hasonló anyagok hatékonyságát aktív (szabad) klórtartalomként szokták megadni. Ennek bevett meghatározási módja, hogy kálium-jodidot adnak feleslegben a mintához, majd a felszabaduló jódot mennyiségét nátrium-tioszulfát oldatával végzett titrálásban meghatározzák.

A boltban kapható SAVO aktívklór-tartalma 22,4 g/liter.

Ez mekkora nátrium-hipoklorit koncentrációnak felel meg?

10,00 cm³ SAVO-t (sűrűsége 1,070 g/cm³) 250 cm³-es mérőlombikba bemérték, majd desztillált vízzel jelre töltöttek, és az oldatot homogenizálták. A kapott oldat 10 cm³-ét titrálólombikban 50 cm³-re hígították, 5 g kálium-jodidot adtak hozzá, amikor is a felszabadult jódot titrálására 10,15 cm³ 0,0503 M tioszulfát-mérőoldat fogyott.

Számítsd ki a SAVO nátrium-hipoklorit tartalmát tömegszázalékban!

(cseh feladat)

H281. Írd fel az összes C₇H₁₄ összegképletű szubsztituált ciklobután izomer szerkezetét a sztereoizomerekkel együtt! Jelöld csillaggal az aszimmetrikus szénatomokat! Mely izomerek nem mutatnak optikai aktivitást? Kapcsold össze az enantiomer párokat!

(cseh feladat)

H282. A vér kémhatását szabályzó rendszerek között a legfontosabb a hidrogénkarbonát puffer. A lényeges összetevők mennyiségét a vesék és a tüdők is szabályozzák.

Naponta kb. 60 mmol sav termelődik az emberi testben és ez bekerül a kb. 6 dm³ térfogatú vérbe. Elsőként tekintsük a vért egy zárt (gázcsere nélküli) hidrogénkarbonát-puffernek, aminek pH-ja 7,4, a szén-dioxid parciális nyomása pedig 5,3 kPa.

Számítsd ki a vér pH-ját 37°C-on, miután a fenti savterhelést compitotta!

Természetesen a vér nem zárt rendszer. A szén-dioxid parciális nyomását a légzés állandó szinten tartja.

Számítsd ki a savterhelés utáni pH-t ezen feltétel mellett! Az élettani tartományon belül marad-e a pH értéke?

Az oldott CO₂ első savi disszociációállandója 37°C-on: pK_s = 6,1.

A CO₂ oldhatóságát ezen a hőmérsékleten jellemző Henry-állandó 2,3·10⁻⁴ mol m⁻³ Pa⁻¹.

(cseh feladat)

H283. Az ioncserélő gyantákat általában apró, porózus gyöngyök formájában alkalmazzák, amelyeknek felületét olyan funkció csoportok borítják, amelyek ionokat képesek megkötni a velük érintkező oldatból. Miközben a felület ionokat köt meg, az oda korábban kapcsolódó ionok felszabadulnak. Pl. tengervízből kationokat megkötve a gyanta felületén levő szulfonsavcsoportok ekvivalens mennyiségű hidrogéniont tesznek szabaddá.

Kationcserélőként gyakran használnak olyan polisztirolt, amelyet a benzolgyűrű para pozíciójában karbonsav (-COOH) vagy szulfonsav (SO₃H) csoport található. Az A jelű kationcserélő polimer hosszú láncában a kétféle csoport szabályosan váltakozva található.

a) Számítsd ki az A gyanta tömegszázalékos kén és széntartalmát! (A láncvégi csoportok hatása elhanyagolható.)

b) Számítsd ki, hogy hány mmol az elméleti ioncsere-kapacitása 1 g száraz gyantának! Állapítsd meg a szulfonsav-csoportok és a karbonsav-csoportok (erős és gyenge kationcserélők) kapacitását külön-külön is!

Az ioncserélő gyanták a vizes oldatokban megduzzadnak, térfogatuk megváltozik, mert az erősen poláris funkciós csoportok vizet kötnek meg.

c) Mi egy duzzasztott gyanta ioncsere-kapacitása mmol/cm³ egységben? Tudjuk, hogy a gyöngyök sűrűsége 1,28 g/cm³, porozitásuk (az üregek térfogatának és a teljes térfogat hányadosa) 0,48, és a gyantában a kötött víz tömegszázaléka 45%.

(cseh feladat)

H284. Egy másik **(B)** ioncserélő gyanta (monomerjei között volt szubsztituálatlan és karbonsav, illetve szulfonsav-csoporttal para helyzetben szubsztituált sztirol) ioncsere-kapacitását a következő módon határozták meg. A duzzasztott gyanta 4 cm³-ét nátrium-klorid feleslegével mosták, hogy minden kationkötő helyhez nátriumionok kapcsolódjanak. A meg nem kötött só t vizes mosással eltávolították. A következő lépésben a gyantát ecetsavoldattal mosták egy oszlopon. Az áthaladó folyadékot mind felfogták egy 1000 cm³-es mérőlombikban és jelre töltötték vízzel (ez lett az 1. oldat). A mosás során H⁺ ionok kapcsolódtak minden gyenge kötőhelyhez és az erős kötőhelyek egy részéhez is. Ezután az oszlopot vízzel mosták, hogy az ecetsav feleslegét eltávolítsák.

A következő lépésben az oszlopot MgSO₄ semleges oldatával mosták, és az átfolyó oldatot egy 500 cm³-es mérőlombikban fogták fel, majd jelre töltötték (ez lett a 2. oldat). Mindeközben Mg²⁺ ionok kapcsolódtak minden erős kötőhelyhez.

Az 1. oldat 100 cm³-ének nátriumion-tartalmát nátriumionra érzékeny ionszelektív elektróddal határozták meg. A mért potenciál -0,2313 V volt.

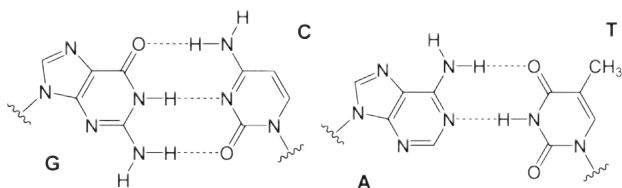
Az ionszelektív elektród potenciálja a Nernst-egyenlethez hasonló módon változik: $E = k + S \lg [\text{Na}^+]$, ahol E az elektród potenciálja, k és S pedig állandók. Az adott elektród potenciálja 10,0 mM és 0,100mM Na⁺-tartalmú oldatban -0,2283 V, illetve -0,3466 V.

A 2. számú oldatban az elektród -0,2534 V potenciált mért. A 2. oldat 100 cm³-jét 0,100 M NaOH-oldattal titrálva 12,50 cm³ fogyott.

Számítsd ki a gyanta karbonsav, illetve szulfonsav-csoportokhoz tartozó ioncserélő kapacitását mmol/cm³ egységben!

(cseh feladat)

H285. A genetikai információt cukor-foszfát lánchoz kapcsolódó szerves bázisok sorrendje tárolja. A DNS-ben adenin, citozin, guanin és timin, az RNS-ben timin helyett uracil található. A bázisoknak nem csupán az ábrán mutatott, leggyakoribb szerkezete lehetséges, hanem vannak más tautomer (hidrogének és kettős kötések pozíciójában eltérő) változataik is.



Rajzold fel a cukorhoz kötött citozin lehetséges tautomerjeinek szerkezetét! Az ikerionos szerkezeteket ne, de a szintén lehetséges cisz-transz izomereket sorold fel!

Az ábrán mutatott hidrogénkötéses bázispárok kialakulása alapvető a genetikai információátadásban. A ritka tautomerek jelenlétében nem csak a standard bázispárok jelenhetnek meg.

Rajzold fel a nem standard T-G*, T*-G, A-C* és A*-C bázispárok hidrogénkötések számát maximalizáló szerkezetét! A csillag nem ikerionos ritka tautomereket jelez.

A Rous-szarkóma vírusa egy retrovírus, örökítőanyaga egyszálas RNS. A vírus reverz transzkriptáz enzime ebből komplementer DNS (cDNS) szálat szintetizál, ami átíródik hírvivő RNS-sé (mRNS). Ez utóbbi a fertőzött sejt riboszómáiban fordítódik le polipeptid lánczá. A vírus RNS-ében a következő 8 nukleotidos részletet azonosították: 5'-CCCCAGGU-3'

Írd fel az oktanukleotidhoz tartozó cDNS és mRNS szekvenciát! Figyeld a láncok irányára, jelöld az 5' és 3' véget!

Hányféle természetes egyszálas RNS oktanukleotid létezik?

(cseh feladat)

Megoldások

K271. a) Szobahőmérsékleten (20 °C) a metán sűrűségét a gázok moláris térfogatából számolhatjuk ki (vagy előkereshetjük a függvénytáblából):

$$\rho_{CH_4} = \frac{M(CH_4)}{V_m} = 0,653 \text{ kg/m}^3$$

Hasonlóan a levegő sűrűsége 1,184 kg/m³. Tehát egy átlagos (~2,5 liter térfogatú) lufival számolva a felhajtóerő:

$$F_{fel} = \rho_{levegő} \cdot g \cdot V = 0,03 \text{ N}$$

A ballonra ható gravitációs erő (a lufi tömegét 2,5 g-nak véve):

$$m_{CH_4} = \rho_{CH_4} \cdot V = 1,6 \text{ g}$$

$$F_{le} = m_{összes} \cdot g = (m_{CH_4} + m_{lufi}) \cdot g = 0,04 \text{ N}$$

Tehát a lufi nem tud lebegni, hasonlóan például a félig leeresztett héliumos lufihoz. Bár nagyobb ballonok esetén a tömeg nem nőne arányosan a gáz térfogatával, és így talán fel lehetne emelkedni metánnal, azonban gyúlékonysága miatt ez esetben sem használják a földgázt.

b) A legmagasabb hőmérsékleti korlát a metán forráspontja, -161 °C (bár a lufi anyaga -70 °C körül elveszti rugalmasságát). A sűrűségeket átszámolva:

$$\rho_{CH_4,2} = \rho_{CH_4} \cdot \frac{T_1}{T_2} = 1,719 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{levegő,2} = \rho_{levegő} \cdot \frac{T_1}{T_2} = 3,117 \text{ kg/m}^3$$

Tehát a felhajtóerő:

$$F_{fel} = \rho_{levegő,2} \cdot g \cdot V = 0,08 \text{ N}$$

A ballonra ható gravitációs erő:

$$F_{le} = m_{összes,2} \cdot g = (m_{CH_4,2} + m_{lufi}) \cdot g = 0,07 \text{ N}$$

Vagyis mintegy 1 grammos súlyt lehetne felemelni a lufival.

A versenyzők többsége sajnos nem gondolta végig a feladatot, egyedül Simon Vivien Klaudia becsülte meg a lufi tömegét és térfogatát, pedig a meg nem adott adatokra bármilyen reális számot elfogadtunk volna.

(Forman Ferenc)

K272. a) A légkör sűrűségét az alábbi képletbe helyettesítve kapjuk:

$$\rho = \frac{\bar{M} p}{R T}$$

Megoldások: HQZ-91 629,6 g/m³; Föld: 1185,2 g/m³; TUL-42 90,0 g/m³; HXC-34 4,19 g/m³; RBR-16 1092,2 g/m³.

A magnézium úrhajó reagál az oxigénnel, a halogénekkal és a széndioxiddal is. A platinaháló katalizálja a hidrogén és oxigén reakcióját. Az úrhajó csak a szénhidrogén légkörű (RBR-16) bolygón tud biztonsággal leszállni.

b) Az új úrhajó bevonatának kiválasztásakor a fluorgáznak való ellenállás a legkritikusabb szempont. Magas hőmérsékleten (~1400 K) csak a tömör NiF₂-dal passzívált nikkel áll ellen az elemi fluornak.

A feladat könnyűnek bizonyult, a beküldők többsége magas pontot ért el. A b) kérdésre érkeztek jó felvetések: habosított anyag használata hőszigetelési célból, fém-fluorid bevonat, ami nem reagál fluorral.

(Berta Máté)

K273. 25 °C-on a telített oldatok tömegszázalékos összetétele (Négyjegyű függvénytáblázatok, összefüggések és adatok, Nemzeti tankönyvkiadó):

$$w\%(KNO_3) = 27,7\%$$

$$w\%(KCl) = 26,22\%$$

$$w\%(K_2SO_4) = 10,7\%$$

a) Vizsgáljuk meg a tömegszázalék esetén a feladat megoldását.

$$m(K) = 0,19 \cdot 19 = 3,61 \text{ g}$$

$$n(K) = \frac{3,61 \text{ g}}{39,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0,092 \text{ mol}$$

Ezek alapján vizsgáljuk meg a különböző káliumsóoldatokat:

KNO_3 -ból nem lehet ilyen oldatot készíteni, mert:

$$n(\text{KNO}_3) = 0,092 \text{ mol}$$

$$m(\text{KNO}_3) = 9,33 \text{ g}$$

$$w\%(\text{KNO}_3) = \frac{9,33 \text{ g}}{19 \text{ g}} \cdot 100 = 49,13\% > 27,7\%$$

KCl -ből nem lehet ilyen oldatot készíteni, mert:

$$n(\text{KCl}) = 0,092 \text{ mol}$$

$$m(\text{KCl}) = 6,90 \text{ g}$$

$$w\%(\text{KCl}) = \frac{6,90 \text{ g}}{19 \text{ g}} \cdot 100 = 36,25\% > 26,22\%$$

K_2SO_4 -ból sem lehet ilyen oldatot készíteni, mert:

$$n(\text{K}_2\text{SO}_4) = \frac{0,092 \text{ mol}}{2} = 0,046 \text{ mol}$$

$$m(\text{K}_2\text{SO}_4) = 8,01 \text{ g}$$

$$w\%(\text{K}_2\text{SO}_4) = \frac{8,01 \text{ g}}{19 \text{ g}} \cdot 100 = 42,17\% > 10,7\%$$

b) Vizsgáljuk meg, hogy atomszázalék esetén lehet-e megfelelő oldatot készíteni.

KNO_3 -ból nem lehet ilyen oldatot készíteni, mert:

19 g tömegű telített oldatban 5,263 g só van, ami 0,052 mol. Ekkor a víz tömege 13,73 g, ami 0,762 mol-nak felel meg.

$$N\%(K) = \frac{0,052}{0,052 \cdot 5 + 0,762 \cdot 3} \cdot 100 = 2,04\% \ll 19\%$$

KCl -ből nem lehet ilyen oldatot készíteni, mert:

19 g tömegű telített oldatban 5,00 g só van, ami 0,067 mol. Ekkor a víz tömege 14,0 g, ami 0,78 mol-nak felel meg.

$$N\%(K) = \frac{0,067}{0,067 \cdot 2 + 0,78 \cdot 3} \cdot 100 = 2,7\% \ll 19\%$$

K_2SO_4 -ból sem lehet ilyen oldatot készíteni, mert:

19 g tömegű telített oldatban 2,03 g só van, ami 0,012 mol. Ekkor a víz tömege 16,97 g, ami 0,94 mol-nak felel meg.

$$N\%(K) = \frac{0,012 \cdot 2}{0,012 \cdot 7 + 0,94 \cdot 3} \cdot 100 = 0,83\% \ll 19\%$$

Vagyis Vendel nem kaphatott ilyen oldatokat születésnapjára.

A feladatot a beküldők közül sokan oldották meg hibátlanul. A leggyakoribb hiba az volt, hogy a 19%-ot nem csak a káliumra tekintették a beküldők, illetve sokan nem vizsgálták meg mind a két esetet. Külön köszönet Ficsor Istvánnak, aki megmutatta, hogy Vendel kaphatott volna a feladat kiírásának megfelelő oldatot a 19-es tömegszámú elemet tartalmazó KF-ből.

(Jantner Anna)

K274. a) Ha létezne 19 m/m%-os káliumtartalmú oldat az előző feladat feltételeinek megfelelően, akkor abban kiszámolható a fém tömege.

$$m(K) = m(\text{oldat}) \cdot w(\text{oldat}, K) = 19 \text{ g} \cdot 0,19 = 3,61 \text{ g}$$

A tiszta kálium fajlagos aktivitása $31 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$, így kiszámolhatjuk az ampullákban lévő oldatok aktivitását.

$$A(K) = m(K) \cdot a(K) = 3,61 \text{ g} \cdot 31 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1} = 112 \text{ Bq}$$

Mivel a radioaktív sugárzás élettani hatása számos paramétértől függ (expozíció ideje, sugárzás típusa stb.), így az aktivitás értéke önmagában nem határozza meg azt; az erre legegyszerűbben használható fizikai mennyiség a dózis. Ha a feladat alapján megpróbálnánk következtetni a dózis értékére, egy nagyon csekély értéket kapnánk (viszonyítva például a háttérsugárzáshoz), mely alapján kijelenthetjük, hogy indokolatlan Vendel félelme.

b) Tudjuk, hogy a tiszta kálium 1 grammjában másodpercenként 31 db radioaktív bomlás történik, így kiszámolhatjuk, hogy egy év alatt hány ^{40}K fog elbomlani.

$$1 \text{ év} = 365,25 \text{ nap} = 3,156 \cdot 10^7 \text{ s}$$

$$N(^{40}\text{K}, \text{elbomló}) = m(K) \cdot a(K) \cdot 3,156 \cdot 10^7 \text{ s} = 3,532 \cdot 10^7$$

A ^{40}K radioaktív bomlása az esetek 10,7%-ában ^{40}Ar izotópot eredményez, így kiszámolható a keletkező argonizotópok száma.

$$N(^{40}\text{Ar}) = N(^{40}\text{K, elbomló}) \cdot 0,107 = 3,779 \cdot 10^8$$

A keletkező argon anyagmennyisége és tömege:

$$n(^{40}\text{Ar}) = N(^{40}\text{Ar})/N_A = 6,276 \cdot 10^{-16} \text{ mol}$$

$$m(^{40}\text{Ar}) = n(^{40}\text{Ar}) \cdot M(^{40}\text{Ar}) = 2,51 \cdot 10^{-14} \text{ g}$$

Tehát 1 év alatt 25,1 fg argon keletkezik.

c) Az általános gáztörvény felhasználásával kiszámolhatjuk a keletkező argon nyomását, ami a nyomásnövekedésért felelős.

$$\begin{aligned} p(^{40}\text{Ar}) &= [n(^{40}\text{Ar}) \cdot R \cdot T] / V = \\ &= 6,276 \cdot 10^{-16} \text{ mol} \cdot 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 298,15 \text{ K} / 10^{-6} \text{ m}^3 = \\ &= 1,56 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \end{aligned}$$

Tehát a nyomás változása az ampullában ($1,56 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}$) elhanyagolható; a légköri nyomáshoz (101325 Pa) hozzáadódva lényegében nem változtatja meg annak értékét.

A feladat a) részénél, ha valaki nem vette figyelembe, hogy az előző feladat alapján nem volt megoldható, az is kaphatott maximális pontszámot, ha a számolása a fiktív oldatokra helyesnek bizonyult. A beküldött megoldások között három hibátlan volt (Simon Vivien Klaudia, Füredi Erik, Garamvölgyi István). A pontvesztéseket általában kisebb elnézések okozták. Az átlagpontszám 7,9 lett.

(Broda Balázs)

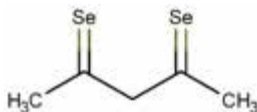
K275. a) Tudjuk, hogy a molekulában öt szénatom és két heteroatom van. Legyen az összegképlete: $\text{C}_5\text{H}_a\text{X}_2$! Ismert a széntartalma a molekulának, melyből ki lehet számítani annak moláris tömegét:

$$\frac{5 \cdot M(\text{C})}{M(\text{C}_5\text{H}_a\text{X}_2)} = 0,2657 \Rightarrow M(\text{C}_5\text{H}_a\text{X}_2) = \frac{5 \cdot M(\text{C})}{0,2657} = 226,0 \text{ g/mol}$$

Ezek után végigpróbálgatjuk az összes valóságos lehetőséget a -ra, és minden esetben kiszámítjuk X moláris tömegét. Heteroatom nélkül egy nyílt láncú ötszénatomos szénhidrogénben legfeljebb 12 hidrogénatom lehet. A szimmetrikusság feltétele, valamint a két heteroatom beiktatása azt jelenti, hogy ebből csak kettesével vehetünk le hidrogéneket. Tehát a lehetséges értékek a -ra: 0, 2, 4, ..., 10, 12. Ha mind a 7 esetre kiszámoljuk $M(X)$ értékét, két alkalommal kapunk olyan moláris tömeget, ami közelítőleg megegyezik egy valódi elemével: $a = 6$ esetben a bróm moláris tömegét, $a = 8$ esetben pedig a

szelén moláris tömegét kapjuk. Mivel a bróm a szerves kémiában egy eléggé megszokott anyag, nem túlságosan különleges, ellentétben a szelénnel, ezért feltételezhető, hogy a szerző a szelénre gondolt (sejtésünket a következő feladatrész is csak megerősíteni fogja). Tehát a molekula összegképlete: $C_5H_8Se_2$.

b) A szerző itt valószínűsíthetően Céline Dion énekesnőre gondolt (ahogy pár beküldő észrevette, van más ötszörös Grammy-díjas kanadai énekesnő is, csak az ő nevükből nem lehet megoldást sejtteni), akinek a neve egybecseng azzal, hogy „szelén dion”, így egyrészt bebizonyosodott sejtésünk a szelénnel kapcsolatban, másrészt a molekula szimmetrikussága miatt teljes biztossággal állapíthatjuk meg annak szerkezetét:



A feladat nem volt nehéz, de sokan nem vizsgálták a további eseteket, miután a szelén kijött eredményként, így tökéletes megoldást csak ketten, Ficsór István Dávid és Garamvölgyi István küldtek be.

(Kis Zoltán Sándor)

K276. a) 1 GPa 10^9 Pa-nak felel meg, tehát a kutatók 10^{11} Pa nyomáson dolgoztak. Ez körülbelül a légköri nyomás $\frac{10^{11}}{10^5} = 10^6$ -szorosa. A Föld középpontjában, azaz 6371 km mélyen a nyomás 365 GPa. Feltételezve hogy a középpont felé haladva a nyomásnövekedés egyenletes, és hogy a légköri nyomás elhanyagolható a Föld középpontjában lévő nyomáshoz képest, a következő egyenlet írható fel, ahol x jelöli azt a mélységet, ahol a nyomás 100 GPa:

$$\frac{10^{11}}{x} = \frac{3,65 \cdot 10^{11}}{6371}$$

Az egyenlet megoldása $x = 1745$ km.

b) Egy elemi cella belsejében 8 db **A** atom található. A **B** atomokból 8 db van a kocka csúcsain, ezek mindegyike 8 elemi cellához tartozik és 6 a lapok középpontjain, ezek 2-2 elemi cellához tartoznak, vagyis egy

elemi cellára $8 \cdot (1/8) + 6 \cdot (1/2) = 4$ **B** atom jut. Így a vegyület tapasztalati képlete **A₂B**.

c) A nemesgázt jelölheti **A** vagy **B**. Ha **A** a nemesgáz, akkor az alábbi egyenletet írhatjuk fel:

$$\frac{2 \cdot M(\mathbf{A})}{2 \cdot M(\mathbf{A}) + M(\mathbf{B})} = 0,080$$

Átrendezve, $M(\mathbf{B}) = 23 \cdot M(\mathbf{A})$. Ez egyetlen nemesgázra sem ad jó megoldást.

Ha **B** a nemesgáz, akkor az egyenlet a következő:

$$\frac{M(\mathbf{B})}{2 \cdot M(\mathbf{A}) + M(\mathbf{B})} = 0,080$$

Átrendezve, $M(\mathbf{A}) = 5,75 \cdot M(\mathbf{B})$. Ha a nemesgáz a hélium, akkor az **A**-ra értelmes megoldást, a nátriumot kapjuk. Egyéb helyes megoldás nincsen. Tehát a vegyület képlete **Na₂He**.

Az átlagpontoszám 6,5 pont lett, hibátlan megoldást küldött be Kis Dávid. A legtöbb probléma annak kitalálásával volt, hogy milyen mélységben uralkodik 100 GPa nyomás, ahol sokan helytelen adattal, vagy egyáltalán nem számoltak.

(Balbisi Mirjam)

K277. Az egyes anyagok képződéshői (a megadotton kívül a négyjegyű függvénytáblázat alapján, de természetesen más forrás is használható):

C₄N₂(f): +500 kJ/mol; C₂H₂(g): +226,9 kJ/mol; C₃H₈(g): -105 kJ/mol;
H₂O(g): -242 kJ/mol; CO₂(g): -394 kJ/mol

Az égések reakcióegyenletei és ez az ezek alapján kiszámolt reakcióhők (égéshők):

C₄N₂(f) + 4 O₂(g) = 4 CO₂(g) + N₂(g) Q₁ = -2076 kJ/mol

C₂H₂(g) + 2,5 O₂(g) = 2 CO₂(g) + H₂O(g) Q₂ = -1256,9 kJ/mol

H₂(g) + 0,5 O₂(g) = H₂O(g) Q₃ = -242 kJ/mol

C₃H₈(g) + 5 O₂(g) = 3 CO₂(g) + 4 H₂O(g) Q₄ = -2045 kJ/mol

Az egyes reakciókban kiszámítjuk az 1 mol elégetett anyagból keletkező égéstermék tömegét:

$$m_1 = 204 \text{ g}; m_2 = 106 \text{ g}; m_3 = 18 \text{ g}; m_2 = 204 \text{ g}$$

Vendel feltételezte, hogy az égésből keletkező hő az égéstermékek felmelegítésére használdik el, vagyis:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \rightarrow \Delta T \sim Q/m$$

Ha feltételezzük, hogy az égéstermékek fajhője közelítően megegyezik, akkor az egyes Q/m hányadosok és az égés hőmérsékletváltozása ($\Delta T = T_{\text{láng}} - T_{\text{szobahőmérséklet}}$) közötti korrelációnak egyenes arányosságnak adódik. Ennek vizsgálatára leginkább egy olyan grafikont érdemes szerkeszteni, amelyen a Q/m hányadosok függvényében a ΔT -t ábrázoljuk. Az eredmények táblázatos formában:

	Q/m (kJ/g)	ΔT (K)
$\text{C}_4\text{N}_2(\text{f})$	10,18	4965
$\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$	11,86	2455
$\text{H}_2(\text{g})$	13,44	3175
$\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$	10,02	2495

Ha megvizsgáljuk a kapott grafikont, jól látszik, hogy nincs egyértelmű összefüggés a két mennyiség között, tehát Vendel gondolatmenete hiányos. További fontos tényezők lehetnek még a fajhők különbsége az egyes reakciókban, illetve azok hőmérsékletfüggése is.

A feladat nem volt könnyű. Többféle gondolatmenetet is elfogadható, ha jól indokolt. A termokémiai egyenlet helyes felírása (halmazállapotokkal együtt!) néhol hiányzott, ami pontlevonással járt, illetve ha nem helyes a reakcióegyenlet felírása (pl. diciano-acetilén égése), valamint a víz folyékony halmazállapotú képződéshőjének használata is további pontlevonásokat okozott némelyeknél.

(Pálffy Gyula)

K278. a) A két molekula szerkezete:



b) $K = [\text{HNC}]/[\text{HCN}] = 1,0 \cdot 10^{-11}$. Ahhoz, hogy 1-nél kisebb számot kapjunk az osztás során, a nevezőben kell nagyobb számnak szerepelni, vagyis $[\text{HCN}] > [\text{HNC}]$.

Tehát 300 K-en a HCN a termodinamikailag stabilabb.

c) A $\text{HCN}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{HNC}(\text{g})$ reakció reakcióhője pozitív, vagyis a HNC keletkezése endoterm folyamat. Ha növeljük a hőmérsékletet, az egyensúly a Le Châtelier-elv alapján az endoterm reakció irányába tolódik el, így nagyobb lesz a HNC koncentrációja, vagyis nagyobb egyensúlyi állandóra számíthatunk magas hőmérsékleten. (A reakcióhőt megbecsülhetjük a kötési energiák felhasználásával is.)

d) A HCN oldat koncentrációja $c = 10^{-3}$ M, $\text{pH} = 6,07$, $V = 1 \text{ dm}^3$, ebből kiszámolható a $[\text{H}^+] = 8,51 \cdot 10^{-7}$ M.

A $\text{HCN} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CN}^-$ egyensúlyi reakció játszódik le, az egyenlet alapján a $[\text{CN}^-] = 8,51 \cdot 10^{-7}$ M. $K_s = [\text{H}^+][\text{CN}^-]/[\text{HCN}] = (8,51 \cdot 10^{-7})^2 / 9,99 \cdot 10^{-4} = 7,25 \cdot 10^{-10}$. A disszociációfok: $8,51 \cdot 10^{-7} / 10^{-3} = 8,51 \cdot 10^{-4}$.

(Pontosabb végeredményt kapunk, ha a számolás során a víz disszociációjából származó hidrogénionokat is figyelembe vesszük. $V = 1 \text{ dm}^3$, $[\text{OH}^-] = 10^{-7,93} = 1,17 \cdot 10^{-8}$ M, ugyanennyi H^+ származik a vízből, vagyis csak $8,51 \cdot 10^{-7} - 1,17 \cdot 10^{-8} = 8,39 \cdot 10^{-7}$ mol HCN molekula disszociált. $K_s = [\text{H}^+][\text{CN}^-]/[\text{HCN}] = (8,51 \cdot 10^{-7}) \cdot (8,39 \cdot 10^{-7}) / 9,99 \cdot 10^{-4} = 7,14 \cdot 10^{-10}$. A disszociációfok: $8,39 \cdot 10^{-4}$.)

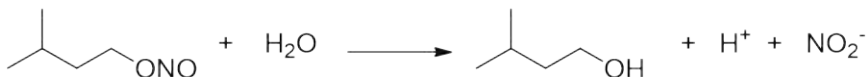
e) Szájon át történő mérgezés esetén:

$$\begin{aligned}n(\text{CN}^-) &= n(\text{NaCN}) = 70 \cdot (7,29 \cdot 10^{-5}) = 5,10 \cdot 10^{-3} \text{ mol}, \\m(\text{NaCN}) &= 49 \cdot (5,10 \cdot 10^{-3}) = 0,250 \text{ g} = 250 \text{ mg}\end{aligned}$$

Intravénás mérgezés esetén:

$$\begin{aligned}m(\text{CN}^-) &= 5 \text{ dm}^3 \cdot 1,1 \text{ mg/dm}^3 = 5,50 \text{ mg}, \\n(\text{CN}^-) &= n(\text{NaCN}) = 5,5/26 = 0,212 \text{ mmol}, \\m(\text{NaCN}) &= 10,37 \text{ mg}.\end{aligned}$$

f)



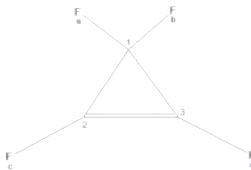
g) 1) Fordított berlini kék reakció: cianidionokat tartalmazó oldathoz enyhén lúgos közegben Fe^{2+} ionokat tartalmazó oldatot öntünk, ezt főzzük, lehűtjük, majd savas közegben Fe^{3+} iont tartalmazó oldatot öntünk hozzá, ekkor kék csapadék keletkezik.



2) A cianidionok diszulfidion-tartalmú oldattal elreagálnak és rodanidionokat képeznek, ez Fe^{3+} ionok jelenlétében vörös színű oldatot eredményez.

(Rutkai Zsófia)

H271. A szénatomok távolságaiból felrajzolható az egyenlő szárú háromszög alakú váz, melyre a szénatomokat négy vegyértékűnek feltételezve felrakhatók a fluoratomok.



A kötéstávolságokat a négy legkisebb atom-atom távolságból kaphatjuk. Továbbá tegyük fel, hogy az sp^2 hibridállapotú szén fog rövidebb kötést létrehozni a fluorral, vagyis $\text{C}_1\text{-F}_{a/b} > \text{C}_{2/3}\text{-F}_{c/d}$!

A következő négy csúcs az egymástól két kötés távolságra lévő atomok közötti távolságot írja le. Itt ismét csak egy feltételezéssel kell élnünk, mégpedig, hogy $\text{F}_c\text{-C}_1 > \text{F}_b\text{-C}_3$ a nagyobb C-C kötéshossz miatt. A háromszögek oldalaiából koszinusztétellel kiszámíthatóak azok belső szögei.

Kötéshossz/ 10^{-10} m	Atomok
1,313	$C_1-F_{a/b}$
1,314	$C_{2/3}-C_1$
1,356	$C_{2/3}-F_{c/d}$
1,468	C_2-C_3

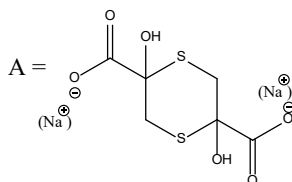
Szög	Szemközi oldal hossza/ 10^{-10} m	Kötésszög
$\angle(F_a-C_1-F_b)$	2,180	$107,0^\circ$
$\angle(F_a-C_1-C_2)$	2,470	$121,9^\circ$
$\angle(F_c-C_2-C_3)$	2,527	$148,6^\circ$
$\angle(F_c-C_2-C_1)$	2,664	$146,6^\circ$

A 10. csúcs az $F_c-C_1-C_2-F_b$ szimmetrikus trapéz hosszabbik alapja, melyet kiszámíthatunk eddigi eredményeinkből. A kapott érték ($3,555 \cdot 10^{-10}$ m) megegyezik a feladatban megadottal, így feltevéseink helyesnek bizonyultak. Megoldásunk ellenőrizhető továbbá azzal, hogy az sp^2 hibridizációjú szén körüli kötésszögek összege 180° , tehát a várt síkháromszög elrendeződés tapasztalható.

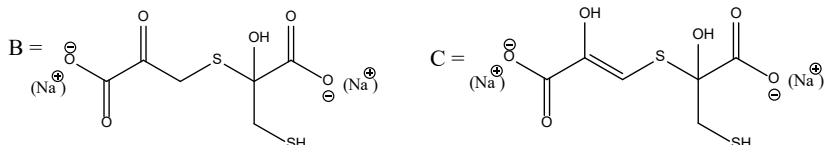
A versenyzők rengetegféleképpen álltak neki a feladatnak, különösen, akik nem tanultak trigonometriát. A pontvesztések a legtöbb helyen csak figyelmetlenségekből adódtak.

(Forman Ferenc)

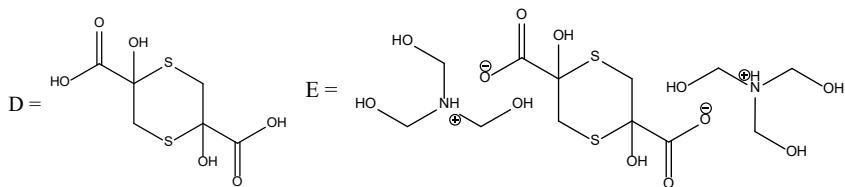
H272. Nukleofil szubsztitúciót és kettős tiolaktól képzést követően alakul ki az első vegyület (A).



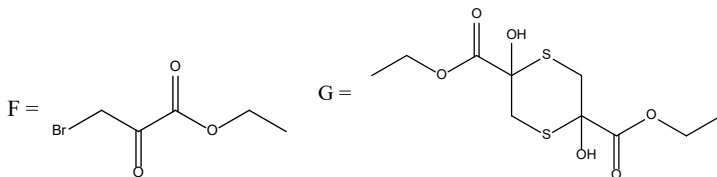
A szervezeten belüli átalakuláskor első lépésként ezen tiolaktól részleteknek egyike nyílik ki (B), majd a merkaptopiruvát képződéséhez a másik is. A köztes termék oxovegyület révén képes az enolizációra (C).



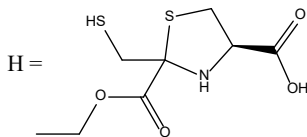
A anyag oldatának savanyításakor – dikarbonsav sójáról lévén szó – a protonált savat kapjuk vissza (D), amelyből bázis hozzáadásával ismét más sót képezhetünk (E), esetünkben a feladat szerint a vízdoldhatóságon is javítva a kation cseréjével.



A kiindulási anyagából etanol és sav hatására a megfelelő észtert kapjuk meg (F), amelyből A-hoz hasonlóan képződik G vegyület NaSH-dal való reagáltatáskor.



Végül G-ből L-cisztein hozzáadásakor képződik a tiazolidin-gyűrűs H vegyület, amely megfelel a feladat adatainak.



Akadnak páran, akik a bonyolult képletek közt elfeledkeztek az alap észterképzési és sav-bázis reakcióról, erre legközelebb figyeljete. A G

anyag A-hoz hasonló reakciójára csak hárman gondoltak: Takács Nóra, Mészárik Márk és Horváth Réka Anna, akié a legjobb megoldás is egyben.

(Szobota András)

H273. A két fém gyakorlatilag egymás után válik le. (Ha az egyik elkezd leválni egy pH-n, kettővel magasabb pH mellett már csak milliomod része van az oldatban, ami a következő fémet nem zavarja.) A végére gyakorlatilag az összes fém leválik.

A fémek kloridjainak és oxidjainak a tömegét ismerve felírhatjuk az alábbi egyenlőséget (tudván, hogy két mol fém(III)-kloridból egy mol fém(III)-oxid lett):

$$\frac{m(\text{klorid})}{m(\text{oxid})} = \frac{2 \cdot M(\text{klorid})}{M(\text{oxid})} = \frac{2 \cdot (M(\text{átlag}) + 3 \cdot 35,45 \text{ g/mol})}{2 \cdot M(\text{átlag}) + 3 \cdot 16 \text{ g/mol}}$$

Ahol $M(\text{átlag})$ a fémek átlagos moláris tömege. A tömegeket behelyettesítve és az egyenletet megoldva $M(\text{átlag}) = 140,50 \text{ g/mol}$ -nak adódik, a fémek összes anyagmennyisége $40,51 \text{ mmol}$.

Az átlagos moláris tömegnél csak a cériumé kisebb. Ha a másik fém nem a praeodímium, akkor a Ce van többségben, és az válik le később. (Ha a praeodímium lenne a másik fém, akkor a moláris tömegekből nagyjából 1:1 tömegarány következne).

A második és harmadik ütemben leváló csapadék tömegéből megállapítható, hogy a cérium anyagmennyisége $39,19 \text{ mmol}$, vagyis a másik fém anyagmennyisége $1,31 \text{ mmol}$, moláris tömege $151,97 \text{ g/mol}$ (európium).

Az oldhatósági szorzatokat a $\text{pH}=6$ és $\text{pH}=10$ oldatokban ragadt fémionok mennyiségéből lehet megállapítani.

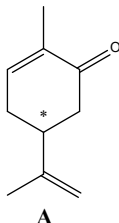
$$L(\text{Eu}(\text{OH})_3) = 9,37 \cdot 10^{-27}$$

$$L(\text{Ce}(\text{OH})_3) = 1,50 \cdot 10^{-15}$$

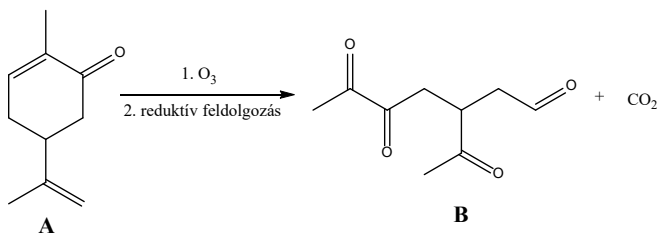
A feladatra sokféle jó megoldás született, az átlagpontszám a probléma nehézségéhez képest magas (6,42) lett. Maximális pontot szerzett Fajsi Bulcsó, Fraknói Ádám és Kozák András. Többen $M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g/mol}$ -al számolva diszpróziiumként azonosították a második fémet.

(Forman Ferenc)

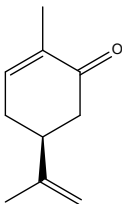
H274. a) A karvon (**A**) konstitúciója meghatározható a feladatban megadott információk alapján. Felhasználva, hogy a vegyület gyűrűs (a természetben megtalálható terpénekben, terpenoidokban legtöbbször hattagú gyűrűk fordulnak elő) monoterpén (2 izoprénegységből álló) származék, valamint a teljes redukciójakor három kiralitáscentrumot tartalmazó alkohol jön létre, továbbá figyelembe véve az ozonolízise során keletkezett termékeket, kizárólag egyetlen szerkezet adódik karvonra:



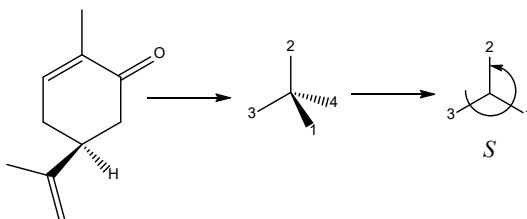
Összegképletéből ($C_{10}H_{14}O$) és szerkezetéből látható, hogy **A** valóban gyűrűs monoterpenoid. Reduktív feldolgozást alkalmazó ozonolízise során 3-acetil-5,6-dioxoheptanal (**B**), illetve szén-dioxid képződik:



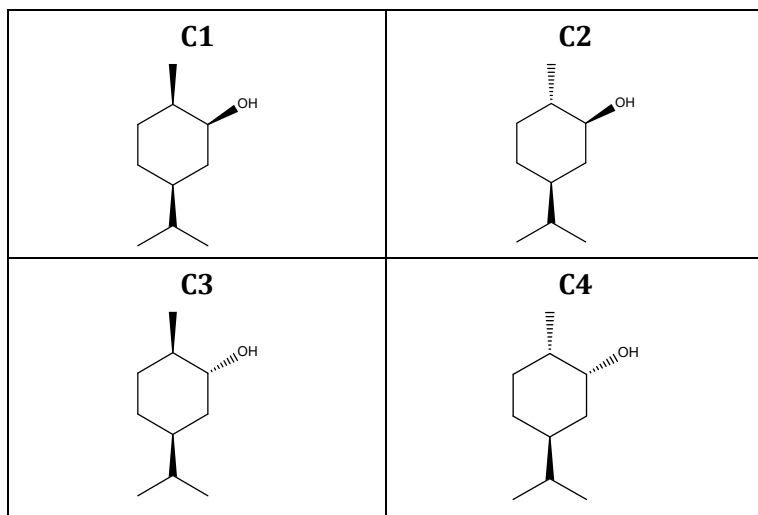
A egyetlen kiralitáscentrummal rendelkezik (ld. fentebb), amelynek *S* az abszolút konfigurációja a keresett vegyületben. Az (*S*)-(+)-karvon szerkezete a térszerkezet jelölésével ennek megfelelően a következő:



Ennek bizonyítéka:



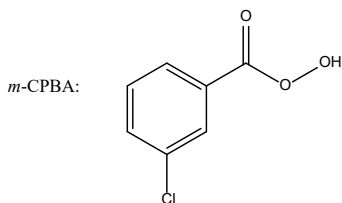
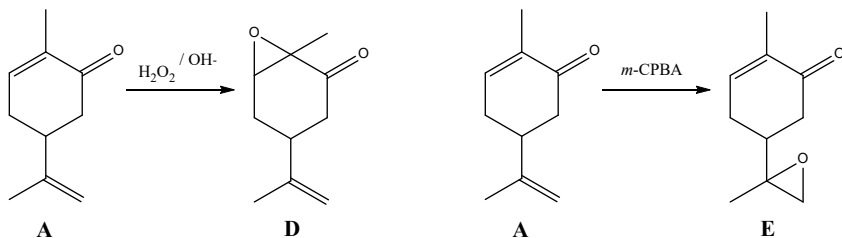
b) Enantiotiszta karvonból (jelen esetben (S)-(+)-karvonból) kiindulva, teljes redukciót követően az alábbi 4 db diasztereomer viszonyban álló gyűrűs alkoholhoz (**C1-4**) jutunk. A teljes redukció folyamán a szén-szén kettős kötések telítődnek, míg az oxocsoport hidroxilcsoporttá alakul.



(A **C1-4** vegyületek sorrendje természetesen tetszőlegesen felcserélhető.)

A fenti 4 szerkezet közül a **C2** esetében képes valamennyi nagyobb térkitöltésű szubsztituens (metil-, hidroxil-, ill. izopropilcsoport) ekvatoriális pozícióban elhelyezkedni, aminek megfelelően ezt az izomert várjuk termodinamikailag a legstabilisabbnak.

c) Karvont bázikus közegben hidrogén-peroxid segítségével (mono)epoxidálva **D**, míg meta-klór-perbenzoesav (m-CPBA) alkalmazásával **E** monoepoxidot kapjuk termékül:



A tekintett (mono)epoxidálási reakció régiószelektivitása két alapvető tényből eredeztethető: egyrészt a reagensek és a kettős kötések eltérő szterikus zsúfoltságából, másrészt azok különböző elektrofil-nukleofil jellegéből.

A gyűrűn kívüli szén-szén kettős kötés szterikusan kevésbé zsúfolt, mint a gyűrűben elhelyezkedő, emiatt az előbbihez könnyebben hozzáfér a nagyobb térkitöltésű reagens, az m-CPBA.

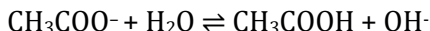
Továbbá, annak is szerepe van a szelektivitásban, hogy a gyűrűben található, oxocsoporttal konjugált helyzetű szén-szén kettős kötés az oxigénatom elektronszívó hatásának köszönhetően elektrofilebb természetű, mint a gyűrűn kívül elhelyezkedő, így bázikus közegben a hidrogén-peroxidból képződő, nukleofil karakterű HO_2^- -ion készségesebben reagál vele, mint az izopropenil-csoportban található nukleofilebb karakterű kettős kötéssel.

A feladat közepesen nehéznek bizonyult, a beküldők többsége megfeledezett a karvon konstitúciójának levezetéséről, illetve annak helyességének bizonyításáról. Néhány esetben további problémát okozott az axiális, valamint az ekvatoriális pozíciók helyes megállapítása és a szelektivitás helyes indoklása. Az egyetlen hibátlan, teljes értékű

megoldást Juhász Benedek küldte be. Kiemelkedő megoldás született még Botlik Bence Béla és Czakó Áron munkájából. Átlagpontszám: 5,92 pont.

(Baglyas Márton)

H275. a) A $0,1 \text{ mol/dm}^3$ koncentrációjú nátrium-acetát-oldatban lúgos hidrolízis megy végbe, hiszen míg a nátrium-hidroxid erős bázis, addig az ecetsav gyenge sav. Így a vonatkozó reakció:



Reagáljon ekkor $x \text{ mol/dm}^3$ acetátió a fenti egyenlet szerint, ekkor ugyanennyi hidroxidion és ecetsavmolekula keletkezik. Ezek segítségével a hidrolízis egyensúlyi állandója a következőképpen alakul:

$$K_h = \frac{[\text{OH}^-][\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} = \frac{x^2}{0,1 - x}$$

A hidrolízis egyensúlyi állandója a vízionszorzat (K_v) és az ecetsav savi disszociációs állandója (K_s) segítségével a következő módon számítható:

$$K_h = \frac{K_v}{K_s} = \frac{10^{-14}}{10^{-4,76}} = 5,754 \cdot 10^{-10}$$

Ezt az előző egyenletbe visszahelyettesítve, abból a keresett ismeretlen kiszámítható, ami éppen az oldat hidroxidion-koncentrációja. Ez nyilván nem lehet negatív, így a kémiaiag értelmes megoldás az egyedüli pozitív gyök:

$$x = 7,586 \cdot 10^{-6}$$

Ennek segítségével:

$$\text{pOH} = -\lg(7,586 \cdot 10^{-6}) = 5,12$$

Így az oldat pH-ja:

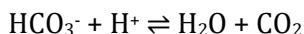
$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 5,12 = 8,88$$

Tehát a $0,1 \text{ mol/dm}^3$ -es nátrium-acetát-oldat pH-ja 8,88, amennyiben azt kiforralt desztillált vízből készítjük.

b) Az oldat pH-ja ennél kisebb lesz, amennyiben sokáig levegőn állott desztillált vízből készítjük. Ennek oka az, hogy a levegő szén-

dioxidjának egy része beoldódik a desztillált vízbe, ahol víz felvételével szénsavat képez, amely az oldat savanyodását okozza.

c) Vegyük úgy, hogy az oldatban szénsavmolekula csak elhanyagolható mértékben van jelen, és a hidrogén-karbonát-ionok protonálódása során gyakorlatilag rögtön szén-dioxid és víz keletkezik (a hidrogén-karbonátionok deprotonálódását pedig elhanyagoljuk):



Így a megadott protonálódási állandó:

$$K_1 = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]} = 10^{6,35} = 2,239 \cdot 10^6$$

Itt $[\text{CO}_2] = 10^{-5} \text{ mol/dm}^3$.

Felírható továbbá a vízionszorzat, az ecetsav savi disszociációs állandója, a töltésmérleg, valamint az acetátionokra és ecetsavmolekulákra vonatkozó anyagmérleg (más formában nem lehet jelen az ecetsav). Ezek (ebben a sorrendben) a következők:

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$$

$$K_s = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = 10^{-4,76}$$

$$[\text{Na}^+] + [\text{H}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CH}_3\text{COO}^-]$$

$$0,1 = [\text{CH}_3\text{COOH}] + [\text{CH}_3\text{COO}^-]$$

Mivel a nátrium-acetát bemérési koncentrációja $0,1 \text{ mol/dm}^3$, és ez a só vízben teljesen disszociál, így $[\text{Na}^+] = 0,1 \text{ mol/dm}^3$. Ahhoz, hogy emellett ne lehessen elhanyagolni a hidrogén- és hidroxidionok koncentrációját, az lenne szükséges, hogy azok ne legyenek legalább 3 nagyságrenddel kisebbek a nátriumionok koncentrációjánál. Mivel a hidroxidionok koncentrációja már kiforralt desztillált víz használata esetén is több mint 3 nagyságrenddel kisebb volt ennél, az oldat pedig esetünkben ennél csak savasabb lett, így a hidroxidionok koncentrációja is még kisebb lett. A hidrogénionok esetén pedig jelentős savasodás (4-es pH alá) kellene ahhoz, hogy ne számolhassunk ezzel a közelítéssel. Később majd látjuk, hogy ez nem is következik be.

Megtéve ezeket az elhanyagolásokat és beírva a nátriumionok koncentrációját, a töltésmérleg a következőképpen egyszerűsödik:

$$0,1 = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CH}_3\text{COO}^-]$$

Ezt kivonva az anyagmérlegből és átrendezve, adódik, hogy:

$$[\text{HCO}_3^-] = [\text{CH}_3\text{COOH}]$$

Jelöljük ezt a két koncentrációt a továbbiakban y -nal! Ekkor az anyagmérleg alapján $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 0,1 - y$. K_1 és K_s szorzatába ezeket behelyettesítve:

$$2,239 \cdot 10^6 \cdot 10^{-4,76} = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]} \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{10^{-5} \cdot (0,1 - y)}{y^2}$$

Innen az y kifejezhető, arra az egyetlen kémiaiag értelmes (pozitív) megoldás: $y = 1,602 \cdot 10^{-4}$

Utóbbi értékét K_1 vagy K_s kifejezésébe visszahelyettesíthetjük, és onnan a hidrogénionkoncentrációt kifejezhetjük, majd annak 10-es alapú logaritmusát véve adódik, hogy a pH ebben az oldatban 7,55-re csökkent.

d) Az eredeti pH-t valamilyen lúgos kémhatást okozó szilárd vagy folyékony anyag adagolásával (esetleg gáznyeletéssel) lehet visszaállítani. A legkézenfekvőbb erre szilárd nátrium-hidroxid vagy nátrium-acetát adagolása, mivel ezek nem visznek be új ionokat a rendszerbe, és használatuk esetén a csekély mértékű térfogatváltozást is elhanyagoljuk. A számítás mindkét esetben hasonlóan alakul, az alábbiakban a nátrium-acetát adagolását részletezzük.

Mivel az oldatban lévő ionok és molekulák az előző esettel azonosak, így ugyanaz az egyenletrendszer írható fel ismét, az eltérő koncentrációkat ezúttal jelöljük vesszővel, a köbdeciméterenként hozzáadandó nátrium-acetát anyagmennyiségét z -vel:

$$K_1 = \frac{[\text{CO}_2]'}{[\text{H}^+]'[\text{HCO}_3^-]'} = 10^{6,35} = 2,239 \cdot 10^6$$

$$[\text{H}^+]'[\text{OH}^-]' = 10^{-14}$$

$$K_s = \frac{[\text{H}^+]'[\text{CH}_3\text{COO}^-]'}{[\text{CH}_3\text{COOH}]'} = 10^{-4,76}$$

$$[\text{Na}^+]' + [\text{H}^+]' = [\text{OH}^-]' + [\text{HCO}_3^-]' + [\text{CH}_3\text{COO}^-]'$$

$$0,1 + z = [\text{CH}_3\text{COOH}]' + [\text{CH}_3\text{COO}^-]'$$

Mivel a gázok vízben való oldódása viszonylag lassú folyamat, feltehető, hogy a nátrium-acetát adagolása közben nem oldódik be nem elhanyagolható mennyiségű szén-dioxid az oldatba. Ekkor a lúgosítás előtt és után a hidrogén-karbonát-ionok és az oldott szén-dioxid koncentrációinak összege azonos:

$$[\text{CO}_2]' + [\text{HCO}_3^-]' = [\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] = 10^{-5} + y$$

Ezúttal a pH, és a hidrogénionok koncentrációja ismert, azonos az a) feladatrészbélivel. A nátriumionok koncentrációja a nátrium-acetát további adagolása miatt $(0,1+z)$ mol/dm³. Az előző feladatrészbelihez hasonlóan megkapható most is (ráadásul most tudjuk, hogy a nátriumionok koncentrációja nagyobb, mint 0,1 mol/dm³, így az első feladatrészben számolt pH és pOH alapján amellet a hidrogén- és hidroxidionok koncentrációja mindenképpen elhanyagolható):

$$[\text{HCO}_3^-]' = [\text{CH}_3\text{COOH}]'$$

A legfelső egyenlet alapján $[\text{CO}_2]'$ kifejezhető $[\text{HCO}_3^-]'$ segítségével, és ez K_1 egyenletébe helyettesíthető, ahonnan $[\text{HCO}_3^-]'$ és így $[\text{CH}_3\text{COOH}]'$ számolható (csak a pozitív gyök értelmes kémiaiilag). Ezt K_s egyenletébe helyettesítve $[\text{CH}_3\text{COO}^-]'$ kiszámítható, majd az anyagmérlegből z meghatározható (közelítések alkalmazhatók: ezen a pH-n a karbonátionok gyakorlatilag már nem protonálódnak, ahogy az acetátionok sem). Az eredmény: $z = 2,14$ mol.

Ez alapján literenként 2,14 mol, azaz 176 gramm nátrium-acetát adagolása szükséges. A nátrium-acetát oldhatósága ezt meg is engedi, bár ilyen tömegű szilárd anyag hozzáadása esetén már csak pontatlanul teljesül a térfogatállandósság. Ezért célszerűbb nátrium-hidroxidot adagolni, melyből hasonló számítások után adódik, hogy literenként 6,8 mg is elegendő.

e) A szemünk érzékenysége folytán jó közelítéssel akkor érzékeli az indikátorok különböző színű formáinak eltérő színeit, ha valamelyik forma legalább 10-szeres feleslegben van jelen a másikhoz képest. A sav-bázis indikátorok általában gyenge savak, melyek protonált és deprotonált formája eltérő színű. Jelöljük a savat HA-val, savmaradékionját A⁻-szal! Az oldat színe akkor fog változni a lúgosítás során, ha a 7,55 és 8,88 közti pH-változás éppen az indikátor átcsapási

tartományába esik. Az indikátor átcsapási tartományában átmeneti szint látunk, ezért:

$$0,1 < \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]} < 10$$

A savi disszociációs állandó alapján:

$$K_s = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \rightarrow \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]} = \frac{[\text{H}^+]}{K_s}$$

Ezt visszaírva a kezdeti relációba, és annak 10-es alapú logaritmusát véve (mivel a 10-es alapú logaritmusfüggvény szigorúan monoton növekvő, így a logaritmusok közt is a megfelelő reláció teljesül):

$$-1 < \lg \frac{[\text{H}^+]}{K_s} < 1$$

A hányados logaritmusára vonatkozó azonosságot, valamint a pH és $\text{p}K_s$ definícióját alkalmazva:

$$-1 < \text{p}K_s - \text{pH} < 1$$

Innen az átcsapási pH-tartomány:

$$\text{p}K_s - 1 < \text{pH} < \text{p}K_s + 1$$

Ebből látható, hogy a metilvörös 4,1-es és 6,1-es pH közt, a fenolvörös 6,9-es és 8,9-es pH közt, míg a timolftalein 8,6-es és 10,6-es pH közt csap át, így a színváltozás fenolvörös indikátor használatával figyelhető meg jól, esetleg kevésbé timolftalein mellett.

A megoldás során végig feltételeztük, hogy a hőmérséklet 25 °C-os volt.

A feladatra beküldött megoldások közül a c) feladatrészen volt a legtöbb hiba. Sokan a szén-dioxid egyensúlyi koncentrációját tévesen úgy értelmezték, hogy az az egyensúlyi hidrogén-karbonát-ionok és szénsavmolekulák koncentrációjának összege. Az első két feladatrészt szinte minden versenyző jól vagy közel jól megoldotta, a feladat átlagpontszáma 5,62 volt. 2 hibátlan megoldás született: ezeket Czákó Áron és Kozák András küldte be.

(Csorba Benjámin)