**2021/22 õa keemiaolümpiaadi lõppvooru ülesanded**
**9.–10. klass**

## Ülesanne 1. Lahustuvus (7 p)

Nummerdatud katseklaasides on vase, tsinkoksiidi, vask(II)sulfaadi, naatriumkarbonaadi, magneesiumkarbonaadi, kaaliumnitraadi ja liitiumsulfaadi pulbrid. Kõik katseklaasides olevad ained on valged, välja arvatud katseklaasis nr **1**.

**a)** Kirjuta katseklaasis **nr 1** oleva aine valem. (0,5)

Vee lisamisel lahustuvad katseklaasides nr **2–5** olevad ained. Katseklaasis nr **2** moodustub sinine lahus ja katseklaasides nr **3–5** tekivad värvitud lahused.

**b)** Kirjuta katseklaasis **nr 2** oleva aine valem. (0,5)

Kui katseklaasides nr **3–5** moodustunud lahustele lisada $Ba(OH)_2$ lahust, siis ainult katseklaasis nr **3** ei teki sade, kuid teistes sadenevad valget värvi soolad (**reaktsioonid i–ii**). Kui katseklaasides nr **3–5** moodustunud lahustele lisada katseklaasist nr **2** sinist lahust, siis tekib ainult katseklaasis nr **4** rohekas sade (**reaktsioon iii**).

**c)** Kirjuta katseklaasides **nr 3–5** olevate ainete valemid. (1,5)

Kui vees lahustumatutele pulbritele lisada NaOH lahust, siis ainult katseklaasis nr **6** toimub reaktsioon, mille käigus moodustub koordinatsiooniühend (**reaktsioon iv**).

**d)** Kirjuta katseklaasis nr **6** oleva aine valem. (0,5)

**e)** Kirjuta ja tasakaalusta reaktsioonide **i–iv** võrrandid. (4)

## Ülesanne 2. Ruuthape (8 p)

Ruuthape on orgaaniline hape, mis sisaldab ainult süsiniku, vesiniku ja hapniku aatomeid. 1,000 g ruuthappe põletamisel tekib 0,1580 g vett ja 0,8693 $dm^3$ süsihappegaasi 10<u>0</u> kPa ja 25 °C juures. $pV = nRT$, $R = 8{,}314\ m^3 \cdot Pa \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$.

**a)** Määra ruuthappe empiiriline valem ja molekulivalem (summaarne valem), kui on teada, et selle molaarmass on suurem kui äädikhappel, kuid väiksem kui bensoehappel. (2)

**b)** Joonista ruuthappe struktuurivalem, kui on teada, et see ei sisalda COOH-rühma. (1)

**c)** Joonista **neli** võimalikku ruuthappe isomeeri struktuurivalemit. (4)

**d)** Selgita, miks ruuthape on suhteliselt tugev orgaaniline hape ($K_{a1} = 3 \cdot 10^{-2}$). (1)

## Ülesanne 3. Liitiumioonaku (8 p)

Li-ioonakus toimuvad kaks poolreaktsiooni. Esimene poolreaktsioon toimub liitiumioonidega dopeeritud koobalt(IV)oksiidis, mille käigus tekib oksiid **A**, kus koobalti oksüdatsiooniaste on III. Teine poolreaktsioon toimub grafiitelektroodil, mille käigus vabanevad liitiumioonid neutraalsest grafiitkompleksist ($LiC_6$).

Sellised reaktsioonid võimaldavad liitiumioonidel liikuda läbi kahe elektroodi vahelise elektrolüüdi, samal ajal kui elektronid liiguvad läbi välise vooluahela. Levinud elektrolüüt on liitiumisoola lahus. Üks enim kasutatavatest sooladest on **B** (massiprotsent $w_{Li} = 4{,}57\%$), mille anioon koosneb kahest elemendist. See hüdrolüüsub vees kergesti, moodustades liitiumfluoriidi ja happed **B** ning **C**. Hapet **B** kasutatakse laialdaselt pesuaine- ja toiduainetööstuses. Hape **C** on väga söövitav ja mürgine.

**a)** Kirjuta kahe Li-ioon akus toimuva poolreaktsiooni võrrandid. (1)

**b)** Määra arvutuste abil aine **B** valem. (2)

**c)** Kirjuta aine **B** hüdrolüüsi tasakaalustatud reaktsioonivõrrand. (1)

Mobiiltelefon on varustatud 28<u>0</u>0 mA·h liitiumioonakuga ja seda laetakse 1,80 A vooluga.

**d)** Arvuta, kui kaua teoreetiliselt kulub selle aku täielikuks laadimiseks? $F = 96485\ A \cdot s \cdot mol^{-1}$. (1)

**e)** Arvuta **i)** koobalt(IV)oksiid- ja **ii)** grafiitelektroodi minimaalne mass (g). (3)

**Ülesanne 4. Kalorimeetria (9 p)**

Kalorimeetria on meetod erisoojuse ($c$) ja soojusmahtuvuse ($C$) ning erinevate protsesside soojusefekti määramiseks. Kalorimeeter koosneb veega ($c$ = 4,186 $J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$) täidetud anumast, segajast ja termomeetrist. Juku otsustas mõõta molaarset lahustumisentalpiat ehk 1 mooli aine lahustumisel eraldunud või kulunud soojushulka. Kalorimeetri sisemise soojusmahtuvuse määramiseks täitis ta kalorimeetri 100,0 g veega ja lisas 2,000 g $NaNO_3$, mille lahustumisentalpia on +20,50 $kJ \cdot mol^{-1}$. Selle katse käigus langes lahuse temperatuur 1,010 °C võrra.

**a)** Näita arvutustega, et katses kasutatud kalorimeetri soojusmahtuvus võrdub 59,0 ($J \cdot K^{-1}$). (1)

Järgnevalt määras Juku naatriumhüdroksiidi lahustumisentalpia. Selleks pani ta kalorimeetrisse 100,0 g vett ja lisas 2,000 g naatriumhüdroksiidi. Selle katse käigus tõusis lahuse temperatuur 4,660 °C võrra.

**b)** Arvuta naatriumhüdroksiidi lahustumisentalpia ($kJ \cdot mol^{-1}$). (2)

**c)** Ennusta, kas antud ainete lahustumisentalpia vees on väiksem või suurem kui 0 $kJ \cdot mol^{-1}$: **i)** $HNO_3$, **ii)** KOH, **iii)** $O_2$, **iv)** AgCl (2)

Juku kasutas järgmises katses vee asemel 100,0 g 0,500 M HCl lahust ($c \approx$ 4,186 $J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}$). Selles katses tõusis pärast 2,000 g naatriumhüdroksiidi lisamist lahuse temperatuur 10,70 °C võrra.

**d)** Arvuta neutraliseerimisreaktsiooni entalpiamuut ($kJ \cdot mol^{-1}$). (2)

**e)** Ennusta, kas antud ainete neutraliseerimisreaktsiooni entalpiamuut on väiksem, võrdne või suurem NaOH ja HCl neutraliseerimisreaktsiooni entalpiamuudust: **i)** $HNO_3$ + KOH, **ii)** $CH_3COOH$ + KOH, **iii)** HCl + $NH_4OH$, **iv)** TlOH + HI. (2)

**Ülesanne 5. Värvimuutused (9 p)**

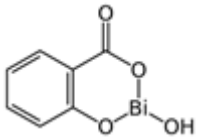
Metalli **X** kõige stabiilsemad ja tuntumad oksiidid on **Y** (massiprotsent $w_X$ = 68,4%) ja **Z** ($w_X$ = 52,0%). Oksiid **Y** on roheline kristalliline aine, mis esineb looduslikult roheka mineraalina. See tekib metalli **X** reageerimisel hapnikuga. Oksiid **Y** ei reageeri veega, kuid reageerib soolhappega, moodustades soola **A** (**reaktsioon 1**) ja kontsentreeritud naatriumhüdroksiidi lahusega, moodustades koordinatsiooniühendi **B** (**reaktsioon 2**). Oksiidi **Y** oksüdeerimisel $KClO_3$-ga $K_2CO_3$ juuresolekul tekib helekollane ühend **C**, värvitu gaas ja valge sool (**reaktsioon 3**). Kui ühendit **C** töödelda lahjendatud väävelhappega, saadakse eredalt oranžikas ühend **D** (**reaktsioon 4**). **D** reageerimisel kontsentreeritud väävelhappega kristalliseerub oksiid **Z** (**reaktsioon 5**).

**a)** Tuvasta arvutuste abil metall **X**. (2)

**b)** Kirjuta ühendite **A–D** valemid. (2)

**c)** Kirjuta ja tasakaalusta reaktsioonide **1–5** võrrandid. (5)

**Ülesanne 6. Pepto-bismol (10 p)**




Pepto-bismol on üks populaarsemaid ravimeid antatsiidide grupis. Antatsiidid vähendavad maos suurenenud happesusest tingitud põletustunnet ja valu. Pepto-bismol tabletid sisaldavad muu hulgas **vismutsubsalitsülaati** (vt joonis), mannitooli, **kaltsiumkarbonaati**, lahustuvat tärklist ja glükoosi. Kogu Pepto-bismoli pakendi sisu (24 tabletti kaaluga 39,600 g) lahustati 155,550 g kontsentreeritud HCl happes. Eraldus gaas **A** (**reaktsioon 1**) ja sadenes hape **B** (**reaktsioon 2**). Saadud sademe ja lahuse mass oli 193,040 g. Elementanalüüs näitas, et **B** sisaldas massi järgi 60,87% süsinikku, 4,38% vesinikku ja 34,75% hapnikku. Ülejäänud lahusele lisati alumiiniumfoolium, mille pinnale tekkis tume sade **C** (**reaktsioon 3**). Nii saadi 7,272 g metallilist pulbrit **C**.

**a)** Arvuta $\mathbf{CaCO_3}$ mass (mg) ühes Pepto-bismoli tabletis. (2)

**b)** Arvuta aine **B** keemiline koostis ja kirjuta ainete **A–C** valemid. (2)

**c)** Kirjuta ja tasakaalusta reaktsioonide **1–3** võrrandid. (3)

**d)** Arvuta ühes Pepto-bismoli tabletis sisalduva **vismutsubsalitsülaadi** mass (mg). (2)

**e)** Arvuta aine **B** mass (g). (1)

**Ülesanne 7. Homöopaatia (10 p)**

Homöopaatilised preparaadid võivad sisaldada mineraale, taimset või loomset materjali. Lisaks võivad homöopaatilised preparaadid sisaldada toksilisi aineid, mis ei ole inimestele ohtlikud, sest neid on mitmekordselt lahjendatud. Näiteks leidub mõnedes ninatilkades binaarset ühendit $\mathbf{AB_2}$ ja suuvees ainet $\mathbf{C_4D_6}$ ($M_C : M_D = 3{,}8 : 1$).

**A** on hõbevalge metall, mille sulamistemperatuur on −39 °C. Element **B** moodustab tahke violetse aine $\mathbf{B_2}$, mille auru kasutatakse õhukese kihi kromatograafias ja sõrmejälgede nähtavaks tegemisel. **C** on hallikas poolmetall ja **D** on kollane mittemetall.

**a)** Kirjuta elementide **A–D** sümbolid. (2)

Mõnedes homöopaatilistes ravimites on märgitud, et selle valmistamisel kasutati ühendi $\mathbf{AB_2}$ vesilahust kontsentratsiooniga 15X.

**b)** Hinda $\mathbf{AB_2}$ mass (g), mida tuleb lisada Peipsi järve ($V$ = 25 km$^3$), et saada homöopaatiline kontsentratsioon 15X, st üks $\mathbf{AB_2}$ molekul $10^{15}$ vee molekuli kohta. (2)

**c)** Hinda $\mathbf{AB_2}$ 15X lahuse ruumala (dm$^3$), mis sisaldab sama palju elementi **A** kui joogiklaas (20<u>0</u> cm$^3$) vett maksimaalse lubatud **A**-ioonide kontsentratsiooniga 1,0 µg·dm$^{-3}$. (3)

Üks homöopaatia aluspõhimõtteid on see, et preparaadis kasutatavate ainete järjestikune lahjendamine suurendab selle tugevust. Seetõttu võib kemikaali tegelik kontsentratsioon homöopaatilises preparaadis olla kuni 200X, st üks molekul $10^{200}$ lahusti molekulide kohta.

**d)** Arvuta $\mathbf{C_4D_6}$ molekulide arv, mille inimene tarbib ühe aasta jooksul, kui ta igapäevaselt joob 1<u>0</u> cm$^3$ 24X $\mathbf{C_4D_6}$ alkoholilahust ($\rho$ = 935 kg·m$^{-3}$, $m(C_2H_5OH) : m(H_2O)$ = 374 g : 1,000 kg). (3)

**Ülesanne 8. Tõene või väär? (10 p)**

Vasta küsimustele ja põhjenda oma valikut esitatud andmetele tuginevate arvutustega (**ühikutes Gt $CO_2$ päevas**). Inimkond toodab aastas umbes 50 Gt $CO_2$. 40 Mt $CO_2$ tekib päeva jooksul tööstuses, 168 Mt $CO_2$ nädala jooksul hoonete energiatarbimises ja 840 Mt $CO_2$ kuu jooksul toiduainetetööstuses. Lennundus tekitab 107 kt $CO_2$ tunnis, laevandus 2,2 Mt $CO_2$ päevas, kaubavedu maismaal 46 Mt $CO_2$ nädalas ja reisitransport 300 Mt $CO_2$ kuus. Lehmi on 1 miljard ja iga lehm tekitab kuni 350 g metaani päevas, mis põhjustab sama palju kliimasoojenemist kui 30 kg $CO_2$. Maailmas on 1 miljard sõiduautot, millest igaüks tekitab keskmiselt 3<u>0</u>00 kg $CO_2$ aastas. Aastas paiskavad kümme vulkaani (sealhulgas Etna) atmosfääri 18,5 Tg $CO_2$, veel 20 vulkaani 20,0 miljardit kg $CO_2$ ja ülejäänud vulkaanid umbes 14,8 Mt $CO_2$. Ilma Antarktikata on maismaa pindala 135 miljonit km$^2$. Sellest umbes 27% on metsad ja 3% sood. Eeldame, et 1 m$^2$ nii metsas kui ka soos neelab aastas keskmiselt umbes 0,5 kg $CO_2$.

**a)** Kas vastab tõele, et lehmade tekitatud metaan põhjustab rohkem kliimasoojenemist kui sõiduautodest õhku paisatud $CO_2$? Põhjenda arvutustega. (2)

**b)** Kas vastab tõele, et peamine inimtekkeline $CO_2$-heitme allikas on lennundus? Põhjenda arvutustega. (2)

**c)** Kas vastab tõele, et Etna vulkaanipurske poolt atmosfääri paisatud $CO_2$ kogus (8000 t) oli suurem kui samal päeval kaubaveo ja reisitranspordi poolt õhku paisatud $CO_2$ kogus? Põhjenda arvutustega. (2)

**d)** Kas vastab tõele, et kõikide vulkaanide poolt aasta jooksul atmosfääri paisatud $CO_2$ kogus on suurem kui kogu transpordis eralduva $CO_2$ kogus, mis paisatakse atmosfääri aasta jooksul? Põhjenda arvutustega. (2)

**e)** Kas vastab tõele, et ainult soode ja metsade (taas)loomisega on võimalik saavutada süsinikuneutraalsus? Põhjenda arvutustega. (2)

**Ülesanne 9. Tasakaal (12 p)**

Pärast $CaC_2O_4 \cdot 2H_2O$ täielikku lagunemist 780 °C juures suletud anumas ($V$ = 2,00 dm$^3$) tekkis $H_2O$, $CO_2$ ja CO vaheline tasakaal ning rõhk tõusis 0-lt 40<u>0</u> kPa-ni. $R$ = 8,314 kJ·mol$^{-1}$·K$^{-1}$.

**a)** Lõpeta reaktsioonivõrrandid: **i)** __CO + __$H_2O$ ⇌ __$CO_2$ + __…… (0,5)

**ii)** $CaC_2O_4 \cdot 2H_2O$ → __CaO + __$CO_2$ + __$H_2O$ + __…… (0,5)

**b)** Arvuta lagunenud $CaC_2O_4 \cdot 2H_2O$ mass (g). (2)

**c)** Arvuta reaktsiooni **i)** entalpiamuut $\Delta_r H°$ (kJ·mol$^{-1}$) ja entroopiamuut $\Delta_r S°$ (J·mol$^{-1}$·K$^{-1}$) temperatuuril 298 K (25 °C). (2)

| | CO(g) | $H_2O$(g) | $CO_2$(g) | $H_2$(g) |
|---|---|---|---|---|
| $\Delta_f H°$ [kJ·mol$^{-1}$] | −110,5 | −241,8 | −393,5 | 0 |
| $S_m°$ [J·mol$^{-1}$·K$^{-1}$] | 197,7 | 188,8 | 213,8 | 130,7 |

**d)** Arvuta reaktsiooni **i)** vabaenergia $\Delta_r G$ (kJ·mol$^{-1}$) temperatuuril 780 °C. (1)

**e)** Arvuta reaktsiooni **i)** tasakaalukonstant ($K$) 780 °C juures, eeldades, et reaktsioonientroopia ja -entalpia ei sõltu temperatuurist. $K = 10^a$, $a = -0{,}434 \cdot \Delta G/(RT)$. (1)

**f)** Arvuta CO, $H_2O$, $CO_2$ ja $H_2$ osarõhud (kPa). Ignoreeri CaO ruumala. Kui Sa ei suutnud arvutada punktis **d)** tasakaalukonstanti, kasuta väärtust $K$ = 0,6. (5)