

--	--	--	--	--	--	--	--

2023/24. õa keemiaolümpiaadi piirkonnaveer

9. klass

Grand prix: 6. ülesanne

Avatar: Viimane õhualtsutaja (20 p)



Avatari multikamaailmas "taltsutatakse" vett, maad, tuld ja õhku. Teaduslikust vaatepunktist võiksid taltsutajad manipuleerida ainet aatomi tasandil. Termodünaamika alused ütlevad, et aatomite liikumist saab jagada kaootiliseks liikumiseks (soojus) ja suunatud liikumiseks (töö). Suunatud liikumise energia muutub iseeneslike protsesside käigus kaootilise liikumise energiaks, mida kirjeldab entroopia kasv.

a) Vali õige väide energia ja entroopia kohta: (1)

- ☐ Energiat ei saa luua ega hävitada; universumi entroopia suureneb iseeneslike protsesside tõttu.
- ☐ Entroopiat ei saa luua ega hävitada; universumi energia suureneb iseeneslike protsesside tõttu.
- ☐ Energiat ei saa luua ega hävitada; universumi entroopia on konstantne.
- ☐ Entroopiat ei saa luua ega hävitada; universumi energia on konstantne.

Põlemine on protsess, mille käigus kütus reageerib oksüdeerijaga (hapnikuga) ja eraldub palju energiat. Seega eeldab tule taltsutamine kütuse olemasolu õhus. Vaatleme kahte võimalust: (1) looduslikult esinevad põlevad ühendid ja (2) õhu komponentidest toodetud kütus. Eeldame, et tuletalstutaja põletab kõik lenduvad orgaanilised ühendid. Nende peamine komponent on isopreen (C_5H_8), mille alumine süttimispiir on ligikaudu 2 mahuprotsenti. See tähendab, et kui isopreeni kontsentratsioon õhus on 2% või üle selle, võib isopreeni süüdata.

b) Arvuta mitu m^3 õhku (sisaldab $100 \mu g/m^3$ isopreeni) on vaja selleks, et saada piisavalt isopreeni $1 m \times 1 m \times 5 m$ leegi tekitamiseks normaaltingimustes ($V_m = 22,4 \text{ dm}^3/\text{mol}$)? (1,5)

$V(\text{õhk}) = \dots\dots\dots m^3$

Ilmselt lenduvate orgaaniliste ühendite kontsentratsioon ei ole piisav muljetavaldavate leekide tekitamiseks. Samas, õhus on märkimisväärne kogus vett. Toatemperatuuril on vee aururõhk 0,023 atm. Vesiniku alumine süttimispiir on 4 mahuprotsenti. Seega, $5 m^3$ leegi tekitamiseks on vaja vähemalt $9 m^3$ õhus sisalduvat vett, mille tuletalstutaja lagundaks vesinikuks ja süütaks. Ühe vee mooli lagundamiseks vesinikuks ja hapnikuks on tarvis 285,8 kJ. Energiat võib saada näiteks kapsast. Eelda, et ühe kapsapea energiasisaldus on 800 kJ.



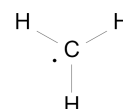
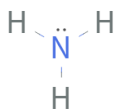
--	--	--	--	--	--	--	--

- c) Arvuta, mitmest kapsapeast on vaja saada energiat selleks, et toota piisavalt vesinikku $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ leegi tekitamiseks toatemperatuuril ja õhurõhul 1 atm (nendes tingimustes $V_m = 24,4 \text{ dm}^3/\text{mol}$)? (1,5)

$N(\text{kapsapea}) = \dots\dots\dots$

Jääb saladuseks, kust tuletalsutajad nii palju energiat saavad. Eriti tugevad tuletalsutajad võivad tekitada isegi sinakasvalgeid leeke, milleks nad peavad veelgi tõstma vesiniku kontsentratsiooni ja puhastama põlevat reaktsioonisegu lisanditest. Vesiniku põlemine on radikaalreaktsioon mis koosneb umbes 50 vahereaktsioonist mitmete radikaalide vahel. Radikaal on keemias aatom, ioon või molekul, millel on üks või mitu paardumata valentselektroni (väliskihielektroni). Näiteks, $\text{H}\cdot$ on monoradikaal ja $\cdot\text{O}\cdot$ on biradikaal. Paardumata elektronid muudavad radikaalid enamasti väga reaktsioonivõimeliseks.

Täppvalemis on märgitud valentskihi iga vaba elektron täpikesega, jagamata elektronipaar kahe täpikesega ja iga jagatud elektronipaar (kovalentne side) kriipsukesega. Aatomid üritavad väliskihi elektronide jagamisega (kovalentsete sidemete moodustamisega) saada väliskihi elektronide arvu, mis vastaks vääriskaasi elektronstruktuurile (2 elektroni vesiniku ja 8 elektroni teise perioodi elementide jaoks) või oleks sellele võimalikult lähedane, kuid ei saa väliskihi võtta üle 8 elektroni. Näiteks molekulide NH_3 ja N_2 ning monoradikaali $\cdot\text{CH}_3$ täppvalemid on järgmised:



- d) Vali nimekirjast radikaalid ja joonista nende täppvalemid: H_2O , H_2O_2 , HO_2 , OH . (1)

--

Vahereaktsioonid jaotakse mitmeks tüübiks:

- (1) initsieerimiseks, milles radikaalid tekivad molekulidest
- (2) hargnemiseks, milles radikaalide arv kasvab
- (3) rekombinatsiooniks, milles radikaalide arv jääb samaks
- (4) lõpetamiseks, milles radikaalide arv väheneb.

- e) Lõpeta tasakaalustatud reaktsioonivõrrandid. Märgi reaktsiooni tüüp. (2)

tüüp	vahereaktsioon	tüüp	vahereaktsioon
	$\text{H}_2 + \text{O}_2 = \text{OH} + \dots\dots\dots$		$\text{OH} + \dots\dots\dots = \text{H}_2\text{O}_2$
	$\text{O} + \text{H}_2 = \text{H} + \dots\dots\dots$		$\text{H} + \dots\dots\dots = \text{H}_2\text{O}$
	$\text{H}_2 + \text{OH} = \text{H} + \dots\dots\dots$		$\text{H} + \text{O}_2 = \text{O} + \dots\dots\dots$
	$\text{H}_2 + \text{O}_2 = \text{H} + \dots\dots\dots$		$\text{HO}_2 + \dots\dots\dots = \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$

--	--	--	--	--	--	--	--

Ilmselt suudavad kõik taltsutajad muuta molekulide juhuslikku liikumist suunatud liikumiseks (tõenäoliselt rikkudes termodünaamika seadusi) ja vastupidi. Õhutamistajad võivad tekitada õhuvoolusid. Taevapiisonid on suured taimetoidulised loomad, kes suudavad õhu taltsutamise abil lennata.

- f) Arvuta, mitu kapsapead peaks 10 000 kg kaaluv taevapiison sööma, et saada piisavalt energiat 10 meetri kõrgusele õhku ($g = 9,8 \text{ N/kg}$) tõusmiseks. (1)

$N(\text{kapsapea}) = \dots\dots\dots$

Tuul tekib erineva õhurõhuga piirkondade vahel (erinevusi õhurõhus võib põhjustada nt õhutemperatuuri kõikumine). Õhutamistaja saab tekitada õhurõhu languse, muutes õhu koostist. Tavaline kuiva õhu koostis mooliprotsentides on 78% N_2 , 21% O_2 ja 1% Ar. Ühe mooli N_2O_4 tekkimine lämmastikust ja hapnikust ($\text{N}_2 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4$) nõuab ainult 9 kJ lisaenergiat ja oleks seega üks kergemaid viise õhu koostist muuta. Iseeneslikult see reaktsioon ei toimu, sest keemilisi sidemeid N_2 ja O_2 molekulides on raske lõhkuda, aga õhutamistaja suudab sidemeid õhu molekulides ümber paigutada.

- g) Suletud anum as on kuiv õhk (algrõhul $P_{\text{alg}} = 1,0 \text{ atm}$), mille komponendid paneb õhutamistaja reageerima dilämmastiktetraoksiidiks. Arvuta, milline on anum as gaasisegu mooliprotsendiline koostis pärast reaktsiooni ja kui suur on õhurõhu langus (Δp) anum as reaktsiooni käigus. Arvesta, et õhurõhk on võrdeline gaasi moolide arvuga ruumalaühikus ja reaktsioon toimub seni, kuni piirava hulga lähteaine saab otsa. (2)

$\Delta p = \dots\dots\dots \text{ atm}$

- h) Joonista molekulide ja ionide täppvalemid, mis võivad veel tekkida õhu taltsutamisel $\text{N}_2 + \text{O}_2$ reaktsioonis: NO, NO_2 , N_2O_5 , NO^+ ja NO_3^- ($\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{NO} + \text{NO}_3^-$) ja N_2O (naerugaas). (3)

--	--	--

NO

 NO_2 N_2O_5

--	--	--

 NO^+ NO_3^-

NNO

--	--	--	--	--	--	--	--

Veetaltsutajad kasutavad vee külmutamist kaitseks ja rünnakuks.

- i) Arvuta, kui palju soojusenergiat eraldub 1000 kg vee külmumisel (ühe jääseina tegemiseks), kui 1 mol vee külmumisel eraldub 6 kJ. Anna vastus energiahulga saamiseks kuluvate kapsapeade arvu kaudu (kapsapea ekvivalentides). (1,5)

$N(\text{kapsapea}) = \dots\dots\dots$

Vee külmumisel eraldub väga palju energiat, aga aurustumisel toatemperatuuril kulub isegi rohkem energiat.

- j) Arvuta võrdluseks, mitu kg veeauru saab toota 400 kapsapea energiaekvivalendiga. Vee soojusmahtuvus on 4,18 kJ/(kg·°C) ning aurustumissoojus (1 kg aurustumiseks kuluv energia) 2260 kJ/kg. (1,5)

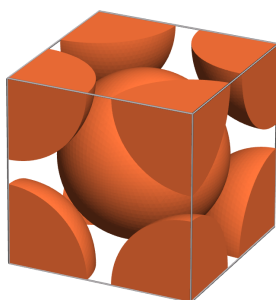
$m(\text{veeaur}) = \dots\dots\dots \text{ kg}$

Taltsutada saab ainult väikese aatommassiga elemente (vesinikust neonini). Seetõttu saavad maataltsutajad töötada ainult kindlate tahkistega. Maakoore mooliprotsendiline koostis väljendatuna oksiidide sisalduse kaudu on järgmine: 20% SiO₂, 10% Al₂O₃, 9% H₂O, 8% Na₂O, 6% CaO, 3% Fe₂O₃ ja 1% MgO. On üsna vähe mineraale, mis ei sisalda väikese aatommassiga elemente.

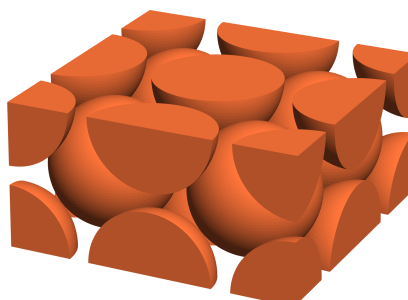
- k) Milliseid mineraale loetelust (Au, FeS₂, CuFeS₂, NiAs, NaCl, Na₃AlF₆, Bi₂S₃, BN, KCl) saab taltsutada? (1)

Üksikud maataltsutajad suudavad taltsutada ka rauda, sest teras ja malm sisaldavad väikeses hulgas süsinikku ja räni (teras sisaldab massi järgi alla 2% süsinikku, malm üle 2%). Nende elementide aatomid võivad paikneda raua kristallstruktuuri "aukudes" metalliaatomite vahel. Näidatud ühikrakus paiknevad augud ühikraku tahkudel. Ühikrakk on "väljalõige" korrapärasest kristallist (väikseim korduv struktuuriüksus, millega on võimalik kirjeldada kogu kristalli ehitust). Raua aatomid paiknevad kuubi keskel ja igas tipus ning raua aatomid tippudes kuuluvad võrdselt naaberühikrakkudele.

üks ühikrakk



neli ühikrakku



--	--	--	--	--	--	--	--

- l)** Arvuta süsiniku massiprotsent struktuuris, mis koosneb neljast raua kristallivõre ühikrakust, mille keskel paikneb üks süsiniku aatom. Kas see sulam on teras või malm? (2)

☐ teras

☐ malm %C) = ...

Kujuta ette, et Sa saaks kontrollida väikese aatommassiga elemente.

- m)** Millise taltsutamise Sa leiutaksid? Kirjuta vähemalt üks keemiline reaktsioon, mis kirjeldab sinu taltsutamistüüpi (mis erineb eespool kirjeldatust)? Põhjenda oma valikut. (1)