

2026/27. õa keemiaolümpiaadi lahtise võistluse ülesanded
Noorem rühm (9. ja 10. klass)
2. oktoober 2026

1. Selge nagu lubjavesi

(10 p)

Lihtained **A–E** moodustavad omavahel reageerides mitmesuguseid ühendeid. **A** ja **B** reageerimisel tekib levinud lihtaine **F**, mille ruumala tahkumisel suureneb. Gaasi **B** molaarmass moodustab 80% lihtaine **C** molaarmassist. **C** reageerimisel ainega **F** tekivad ained **G** ja **A**. **G** on vees vähelahustuv ühend. Selle selget vesilahust, millest lahustumata **G** on eemaldatud, kutsutakse lubjaveeks. Lubjavett kasutatakse laboris gaasi **I** tuvastamiseks, sest **G** ja **I** reaktsioonil tekivad **F** ning lahustumatu ühend **M**, mis muudab lubjavee selgest piimjaks. Ühendit **M** leidub looduses mitmete kivimite, sealhulgas marmori ja paekivi koostises.

Gaasi **I** saab valmistada binaarse ühendi **H** reageerimisel lihtainega **B**. Ühendi **I** reageerimisel lihtainega **D** tekib aga ühend **H**. Lihtaine **D** levinuim isotoopi võeti 1961. aastal aatommassiühiku defineerimisel aluseks.

Ainete **J** ja **D** reageerimisel tekivad gaas **H** ja binaarne ühend **K**, mida kasutatakse kahjuritõrjes mullamuttide peletamiseks. Selleks viiakse **K** mulda, kus see reageerib mullas leiduva ainega **F**. Reaktsioonil tekivad aine **G** ja gaasiline aine **L** ($M_L = 26 \text{ g/mol}$).

Lihtainete **B** ja **E** reageerimisel tekib binaarne ühend **N**, mis võib reageerida edasi lihtainega **B**, moodustades ühendi **O** ($w_E = 40,05\%$). Lihtaine **E** on kollane pude aine, mida kasutatakse kasvuhoonetes haigustekitajate hävitamiseks. Selleks põletatakse ainet **E** kevadisel ajal tühjas kasvuhoones, ning kasvuhoone jäetakse mõneks päevaks suletuks. Peale **E** põletamist ei tohi ise kasvuhoonesse minna, sest **E** põlemisel tekib aine **N**, mis on mürgine ja hingamisteid ärritav. Lisaks võib aine **N** reageerida edasi kasvuhoones leiduva ainega **F**, moodustades söövitava toimega ühendi **P**.

a) Tuvasta ained **A–P** ja kirjuta nende valemid. (8)

b) Kirjuta ainete **K**, **L**, **M** ja **P** keemilised nimetused. (2)

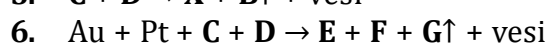
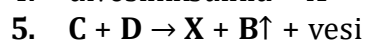
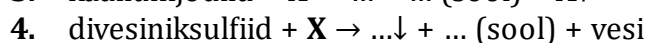
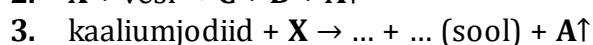
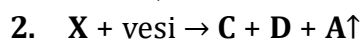
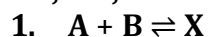
2. Mitmekülgne anorgaaniline keemia

(10 p)

Kolme erineva elemendi aatomitest moolisuhtes 1 : 1 : 1 koosnevat punast vedelikku **X** on võimalik valmistada juhtides värvitut gaasi **A** madalal temperatuuril veeldatud gaasi **B** (**reaktsioon 1**). Gaas **A** on õhust ($M_{\text{õhk}} = 29 \text{ g/mol}$) 1,035 korda raskem. Ühend **X** disproportsioneerub veega reageerimisel hapeteks **C** ja **D** ning gaasiks **A** (**reaktsioon 2**). **X**-i tugevaid oksüdeerivaid omadusi saab demonstreerida mitmete redoksreaktsioonide näitel. Pipeteerides ühendit **X** kaaliumjodiidi vesilahusesse, värvub reaktsioonisegu tumepruuniks (**reaktsioon 3**). Lisades ühendit **X** dietüüleetris (orgaaniline lahusti) lahustatud divesiniksulfiidi lahusesse, moodustub helekollane sade (**reaktsioon 4**). **Reaktsioonides 3** ja **4** tekivad vees lahustuvad soolad, mille dissotsiatsioonil tekkivaid anioone on võimalik tõestada teatud hõbe(I)soola abil. Ühend **X** tekib ka kontsentreeritud hapete **C** ja **D** reageerimisel ruumalavahekorras 1 : 3 (**reaktsioon 5**), mis on suuteline lahustama mitmeid väärismetalle. Kulla ja plaatina sulami lahustamisel vastavas hapete segus moodustab kuld komplekshappe **E** ($w_{\text{kuld}} = 57,97\%$, Au oksüdatsiooniaste = III) ja plaatina komplekshappe **F** ($w_{\text{plaatina}} = 47,61\%$, Pt oksüdatsiooniaste = IV) (**reaktsioon 6**). **Reaktsioonis 6** eraldub punakaspruun gaas **G**.

a) Kirjuta **A**, **C**, **D**, **E**, **F** ning **G** molekulivalemid. (3)

b) Kirjuta ja tasakaalusta **reaktsioonide 1–6** võrrandid. (7)



3. Keskkonnakeemia

(11 p)

Nitraatlämmastikuks (NO_3^- -N) nimetatakse vees ja mullas leiduva nitraatiooni koostises olevat lämmastikku. Sarnaselt nimetatakse ka fosfaatiooni koostises olevat fosforit fosfaatfosforiks (PO_4^{3-} -P). Liigne nitraatlämmastik ja fosfaatfosfor soodustavad veekogudes vetikate vohamist ning eutrofeerumist, millega kaasneb hapnikusisalduse vähenemine vees.

a) Nitraatlämmastiku piirnorm joogivees on 50 mg/dm^3 . Arvuta, mitu nitraatiooni on ühes kuupdetsimeetris vastavas joogivees. (1)

b) Väetiste fosforisisaldust väljendatakse tavaliselt difosforpentaoksiidina. Arvuta fosfori massiprotsent 10,0 kg väetises, mis sisaldab massi järgi 10,0% difosforpentaoksiidi. (1)

looni molaarmassi ja elemendi aatommassi suhet kasutades saab iooni massikontsentratsioonilt üle minna vastava iooni koosseisus oleva elemendi massikontsentratsioonile ja vastupidi. Reoveepuhastist jõkke voolava puhastatud vee vooluhulk on $120 \text{ m}^3/\text{h}$ ja nitraatlämmastiku kontsentratsioon $c = 3,10 \text{ mg/dm}^3$. Jõe vooluhulk on $2200 \text{ m}^3/\text{h}$ ning jõevee nitraatiooni kontsentratsioon $c = 210 \text{ } \mu\text{g/dm}^3$.

c) Arvuta nitraatlämmastiku:

i) massikontsentratsioon ($\mu\text{g/dm}^3$) jõevees; (1)

ii) kogumass (μg) reoveepuhasti vooluhulgas ühe tunni jooksul; (0,5)

iii) kogumass (μg) jõevee vooluhulgas ühe tunni jooksul; (0,5)

iv) massikontsentratsioon ($\mu\text{g/dm}^3$) puhastatud vee ja jõevee segunemise järel. (1)

Lämmastikuringeks nimetatakse lämmastiku ja selle keemiliste ühendite aineringlust ökosüsteemis, mida kirjeldab lihtsustatult kõrvaltoodud skeem. Esmalt muundatakse õhulämmastik elusorganismidele biokättesaadavaks ammooniaagiks (1). Nitrifikatsiooni teel saadakse ammooniaagist nitraati (2), millest toodetakse denitrifikatsiooni teel taas lämmastikku (3).

d) Vali lausesse sobiv mõiste. (1)

i) Nitrifikatsiooni käigus oksüdeeritakse / redutseeritakse lämmastikku.

ii) Denitrifikatsioon käigus oksüdeeritakse / redutseeritakse lämmastikku.

e) Tasakaalusta reaktsioonide i)–iv) võrrandid. (2)

i) $\dots \text{N}_2 + \dots \text{H}^+ + \dots \text{e}^- \rightarrow \dots \text{NH}_3 + \dots \text{H}_2$

ii) $\dots \text{NH}_3 + \dots \text{H}_2\text{O} \rightarrow \dots \text{NH}_2\text{OH} + \dots \text{H}^+ + \dots \text{e}^-$

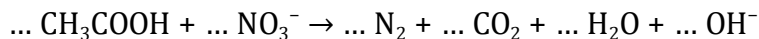
iii) $\dots \text{NH}_4^+ + \dots \text{O}_2 \rightarrow \dots \text{NO}_2^- + \dots \text{H}^+ + \dots \text{H}_2\text{O}$

iv) $\dots \text{NO}_3^- + \dots \text{H}^+ + \dots \text{e}^- \rightarrow \dots \text{N}_2 + \dots \text{H}_2\text{O}$

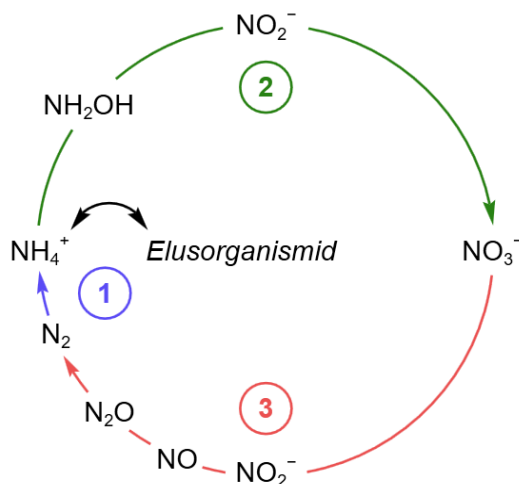
f) Hüdroksüülamiin (NH_2OH) on nõrgalt aluselistel omadustega vaheühend lämmastikuringes. Joonista happelises vesilahuses protoneeritud NH_2OH Lewis'i struktuurivalem. (1)

Denitrifikatsiooni läbiviivad bakterid kasutavad nitraadi redutseerimiseks teatud juhtudel orgaanilist päritolu atsetaati.

g) Tasakaalusta alltoodud reaktsioonivõrrand. (1)



h) Arvuta alapunktis g) antud reaktsioonivõrrandi põhjal, mitu kuupdetsimeetrit CO_2 tekib normaaltingimustes, kui redutseeritakse 10,0 mmol nitraatioone. (1)



4. Karastusjook

(8 p)

Mikk tahtis valmistada magusat jooki. Ta teadis, et 100 ml koolajooki sisaldab 10,6 g suhkrut, seetõttu arvas ta, et ka tema jook võiks olla sama suhkrusisaldusega.

- a) i) Arvuta, mitu teelusikatäit suhkrut peaks Mikk võtma, et valmistada 500 cm³ sellise suhkrusisaldusega jooki? Ühe teelusikatäie suhkrumass on täpselt 4,2 g. (0,5)
ii) Arvuta, mitu g vett peaks Mikk lisama suhkrule, et saada 500 cm³ sellise suhkrusisaldusega jooki? Eelda, et saadud joogi tihedus on 1,04 g/cm³. (1)

Mikk proovis saadud jooki, mis paraku osutus talumatult magusaks. Tegelikult sisaldab koolajook ka fosforhapet, mille happelisus muudab joogi kõrge suhkrusisalduse talutavaks. Mikk määras kooli keemialaboris tiitrimise abil fosforhappe sisalduse koolajoogis, mis oli 7,0 mmol/dm³. Juhtumisi oli keemialaboris ka 85% fosforhappe lahus.

- b) Fosforhappe määramiseks kasutas Mikk fosforhappe reaktsiooni naatriumhüdroksiidiga. Kirjuta ja tasakaalusta naatriumhüdroksiidi ning fosforhappe vahelise reaktsiooni võrrandid, milles...

- i) naatriumhüdroksiidiga reageerib vaid fosforhappe molekuli kõige happelisem vesiniku aatom; (1)
ii) naatriumhüdroksiidiga reageerivad fosforhappe molekuli kõik vesinikuaatomid. (1)

- c) Mitu mg 85% fosforhappe lahust peaks 500 cm³ Miku joogile lisama, et saavutada sama fosforhappe sisaldus nagu koolajoogis? Eelda, et lisatud lahuse ruumala on nii väike, et ei mõjuta joogi ruumala. (1)

Kuigi jook muutus fosforhappe lisamisel paremaks, ei olnud see erinevalt poes müüdavatest karastusjookidest karboniseeritud. Mikk otsustas määrata, kui palju on 500 cm³ koolajoogis CO₂. Selleks kuumutas ta jooki ja juhtis gaasi baariumhüdroksiidi küllastunud lahusesse. Mikk eraldas ja kuivatas tekkinud soola, mille massiks oli pärast kuivatamist 14,1 g.

- d) Kirjuta baariumhüdroksiidi ja süsinikdioksiidi vahelise reaktsiooni (tasakaalustatud) võrrand. (1)

- e) i) Arvuta CO₂ mass koolajoogis eeldusel, et reaktsioon toimus täielikult ja tekkinud sool oli täiesti lahustunud. (1)

- ii) Arvuta CO₂ massiprotsent koolajoogis. (0,5)

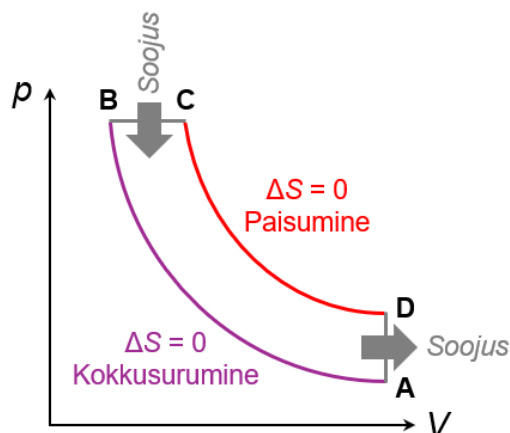
- iii) Kui suur oleks 500 cm³ koolajoogis sisalduva CO₂ ruumala normaaltingimustes? (1)

5. Sädemeta süüde

(10 p)

Diiselmootoris muundatakse kütuses talletunud keemiline energia põlemisel soojuseks ja osaliselt mehaaniliseks tööks. Erinevalt bensiinimootorist ei süüdata diiselmootoris kütust elektrilise sädemega. Selle asemel surutakse silindrisse võetud õhk enne kütuse lisamist tugevalt kokku ning kütus pihustatakse kuuma kokkusurutud õhu hulka.

Diiselmootori tööd saab lihtsustatult kirjeldada **Dieseli tsükliga**. Punktide **A** ja **B** vahel surutakse silindris olevat õhku adiabaatiliselt kokku. Adiabaatilises protsessis ei vaheta gaas ümbritseva keskkonnaga soojust. Punktis **B** algab paisumis- ehk töötakt, mille käigus gaasid teevad kasulikku tööd ja annavad seeläbi mootorile mehaanilist energiat. Vahemikus **B** → **C** pihustatakse silindrisse kütust ning toimub põlemine. Ideaalses Dieseli tsükli käsitletakse seda isobaarse ehk konstantse rõhuga protsessina, mille käigus gaasi ruumala suureneb. Vahemikus **C** → **D** jätkub gaaside adiabaatiline paisumine ilma täiendava soojuse lisamiseta kuni punktini **D**, kus lõpeb töötakt. Tsükli lõpetab lõik **D** → **A**, mida käsitletakse isohoorse ehk konstantse ruumalaga soojuse äraandmisena.



Paljudel sõiduautodel on neljasilindriline mootor, kuid selles ülesandes vaatleme ainult ühe silindri tööprotsessi. Silindri töömaht ehk kolvi liikumisel läbitav ruumala on $V_{\text{töö}} = 0,500 \text{ dm}^3$. Kui kolb on ülemises asendis, jääb silindrisse veel $V_B = 31,25 \text{ cm}^3$ gaasi. Kokkusurumise alguses on õhu temperatuur $T_A = 300 \text{ K}$ ja rõhk $p_A = 1,00 \text{ bar}$. Mootori surveaste leitakse seosest $r = V_A/V_B$, kus V_A on gaasi ruumala kokkusurumise alguses.

a) i) Arvuta ruumala V_A ja **ii)** arvuta mootori surveaste r . (1)

Ideaalse gaasi pööratava adiabaatilise kokkusurumise korral kehtivad seosed $TV^{\gamma-1} = \text{const}$ ja $pV^{\gamma} = \text{const}$.

b) i) Leia õhu temperatuur T_B kokkusurumise lõpus ja **ii)** õhurõhk p_B kokkusurumise lõpus. Kasuta õhu jaoks väärtust $\gamma = 1,40$. (2)

Diislikütus süttib piisavalt kõrgel temperatuuril ka ilma elektrilise sädemeta. Lihtsustatud mudelis eelda, et kasutatav kütus süttib iseenesest temperatuuril vähemalt $T_{\text{sütt}} = 530 \text{ K}$ (isesüttimistemperatuur on madalaim temperatuur, mille juures aine õhus iseeneslikult ilma välise sädemeta või leegita süttib).

c) i) Määra, kas kokkusurutud õhu temperatuur on kütuse isesüttimiseks piisav. Põhjenda vastust arvatud temperatuuriga. (0,5)

ii) Ideaalses mudelis käsitleme $A \rightarrow B$ protsessi pööratava adiabaatilise protsessina. Määra, kas silindris oleva õhu entroopia muutub selle protsessi jooksul. (0,5)

Diislikütus on koostiselt paljude süsivesinike segu (lisaks süsivesinikele sisaldab see ka väga väikeses koguses erinevaid määrdeaineid ja muid lisandeid, mis parandavad kütuse omadusi), kuid lihtsustatult võime eeldada, et see koosneb puhtalt tsetaanist ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$).

d) Eeldame, et mingil ajahetkel pihustatakse silindrisse 34,0 mg tsetaani. (1,5)

i) Tasakaalusta tsetaani täieliku põlemise reaktsioonivõrrand. Kasuta täisarvulisi kordajaid.

ii) Arvuta pihustatud tsetaani ainehulk.

iii) Arvuta tsetaani täielikuks põlemiseks vajalik hapniku ainehulk.

Kontrollime nüüd, kas silindris on tegelikult piisavalt hapnikku. Õhk koosneb ainehulga järgi ligikaudu 21,0% hapnikust ja 79,0% lämmastikust. Ideaalgaaside segu kogurõhk on võrdne segu moodustavate gaaside osarõhkude summaga $p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$. Komponendi osarõhk p_i on seotud selle moolmurruga x_i järgnevalt: $p_i = x_i p$. Ideaalse gaasi jaoks kehtib olekuvõrrand $pV = nRT$, kus $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. $1 \text{ bar} = 1,00 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

e) i) Kasutades alapunkti **b) ii)** kogurõhku p_B , arvuta hapniku osarõhk p_{O_2} punktis **B**. (1)

ii) Kasutades hapniku osarõhku, T_B ja V_B , arvuta ideaalse gaasi võrrandiga silindris oleva hapniku ainehulk. (1,5)

iii) Võrdle saadud tulemust alapunktis **d) iii)** leitud vajaliku hapniku ainehulgaga. Määra, kas kogu pihustatud tsetaani täielikuks põlemiseks on piisavalt hapnikku. (0,5)

Tsetaani molaarne põlemisentalpia on $\Delta_c H = -10,7 \text{ MJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Reaalses mootoris ei muutu kogu põlemisel vabanev energia mehaaniliseks tööks. Oletame, et 40% kütuse põlemisel vabanevast energiast muundub kasulikuks mehaaniliseks tööks.

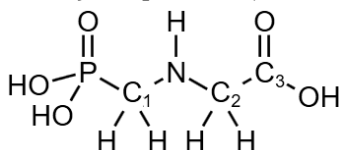
f) i) Arvuta ühe töötsükli jooksul pihustatud tsetaani täielikul põlemisel vabanev energia kilodžaulides (kJ). (1)

ii) Arvuta, kui palju kasulikku mehaanilist tööd saadakse ühe töötsükli jooksul, kui mootori kasutegur (η) on 40%. Anna vastus kilodžaulides. (0,5)

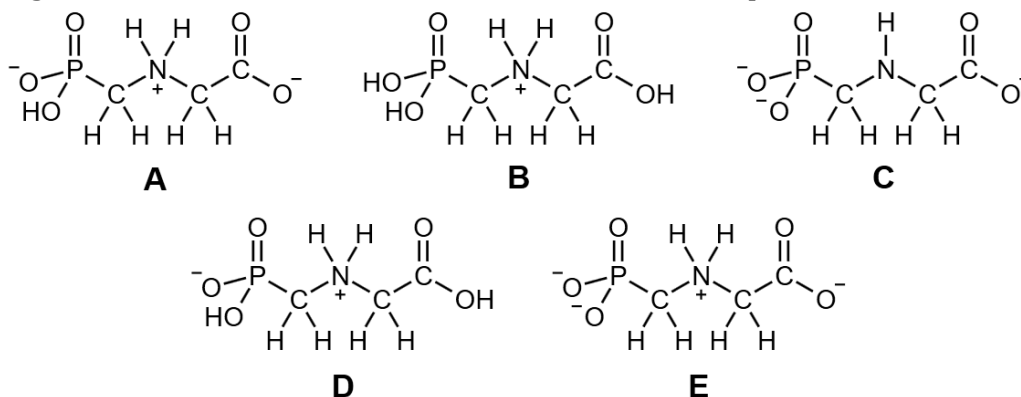
6. Glüfosaadi keemia

(9 p)

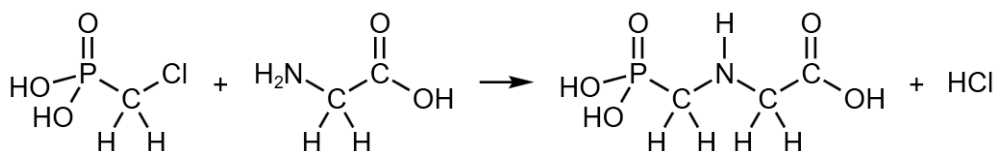
Glüfosaat (vt alltoodud struktuurivalemit) on põllumajanduses levinud umbrohutõrjevahend.



- a) Määra glüfosaadi molekulis numbritega **1–3** tähistatud süsiniku aatomite oksüdatsiooniastmed. (1,5)
- b) Arvuta glüfosaadi molekulis süsiniku massiprotsent (%). (0,5)
- c) Arvuta, mitu süsiniku aatomit on 1,00 mg glüfosaadis. (1)
- Glüfosaadi molekuli võib kujutada kahel viisil: neutraalsena või ioniseerituna. Glüfosaat esineb vesilahuses sõltuvalt keskkonna pH-st erinevate laenguliste vormidena.
- d) Määra, kas **i**) karboksüülrühm ($-\text{COOH}$), **ii**) aminorühm ($-\text{NHR}$, kus R on teatud kõrvalrühm) ja **iii**) fosfoonrühm ($-\text{PO}(\text{OH})_2$) on aluseliste või happeliste omadustega. (1,5)
- e) Järjesta glüfosaadi ioonsed vormid **A–E** vastavalt vesilahuse pH **kasvule**. (2,5)



Glüfosaati on ajalooliselt valmistatud klorometüülfosfoonhappest ning aminohape glütsiinist.



- f) Arvuta, mitu kuupsentimeetrit $0,1500 \text{ mol/dm}^3$ (M) NaOH vesilahust kulub 0,500 kg klorometüülfosfoonhappe täielikul reageerimisel tekkiva gaasilise HCl neutraliseerimiseks normaaltingimustes. (2)

7. Geomeetrilised molekulid

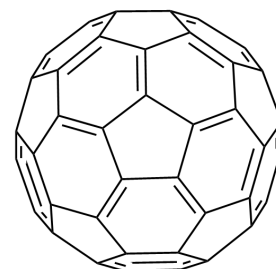
(10 p)

Fullereenid on süsiniku lihtained, mille molekulid kujutavad endast suletud hulktahtukaid. Järgnevalt käsitleme ainult selliseid fullereene, mille pinnal paiknevad viis- ja kuusnurgad. Iga hulktahtuka tipp vastab ühele süsiniku aatomile ning iga serv ühele süsiniku aatomite vahelisele keemilisele sidemele. Igas tipus kohtub täpselt kolm serva. Kumera hulktahtuka korral kehtib Euleri valem, kus V , E ja F tähistavad vastavalt tippude, servade ja tahkude arvu:

$$V - E + F = 2$$

Olgu fullereeni molekulivalem C_n , viisnurkade arv p ning kuusnurkade arv h .

- a) Avalda fullereeni servade arv E süsiniku aatomite arvu n kaudu. Arvuta seose kordajate summa. Vii seos kujule $E = xn + y$ ning esita vastusena $x + y$. (1)
- b) Avalda seos hulktahtuka servade arv E suuruste p ja h kaudu **i**) loetledes hulktahtuka tahkude servi ning **ii**) kasutades Euleri valemit. Arvuta seostes kordajate summad. Vii seosed kujule $E = xp + yh + z$ ning esita vastusena $x + y + z$. (2)

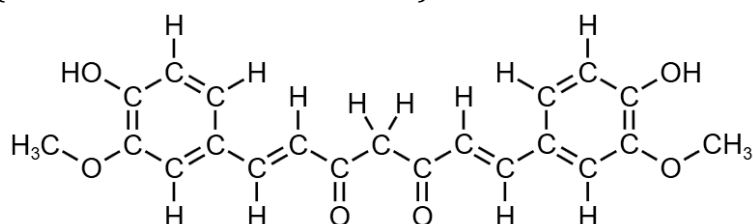


- c) Kasutades eelnevate küsimuste vastuseid, avalda süsiniku aatomite arvu n kaudu **i)** viisnurkade arv p ja **ii)** kuusnurkade arv h . Arvuta seostes kordajate summad. Vii seosed kujule $p = xn + y$ ning $h = xn + y$ ning esita vastusena $x + y$. (2)
- d) Arvuta fullereenide **i)** C_{60} ja **ii)** C_{70} viisnurkade p , kuusnurkade h ning servade E arv. (1)
Fullereenis C_{60} ei ole ühelgi kahel viisnurgal ühist serva. Nimetame viisnurga ja kuusnurga vahelist sidet 5–6 sidemeks ning kahe kuusnurga vahelist sidet 6–6 sidemeks.
- e) Määra molekulis C_{60} olevate **i)** 5–6 sidemete arv N_{5-6} ja **ii)** 6–6 sidemete arv N_{6-6} . (2)
Lihtsustatud keemilises mudelis loetakse kõik 6–6 sidemed kaksiksidemeteks ning kõik 5–6 sidemed üksiksidemeteks. Fullereeni broomimisel (reageerimisel molekulaarse broomiga) liitub igale kaksiksidemele üks Br_2 molekul.
- f) **i)** Kirjuta C_{60} täielikul broomimisel tekkiva produkti molekulivalem ning **ii)** arvuta, mitu grammi broomi saab maksimaalselt liituda 360 mg C_{60} fullereeniga. (2)

8. Punasvalge fotograafia

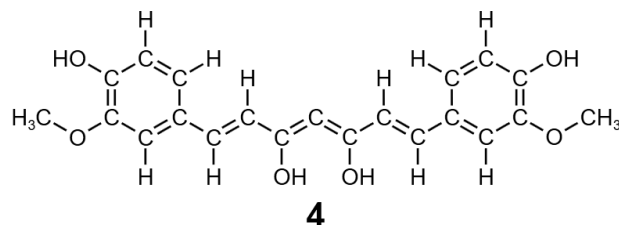
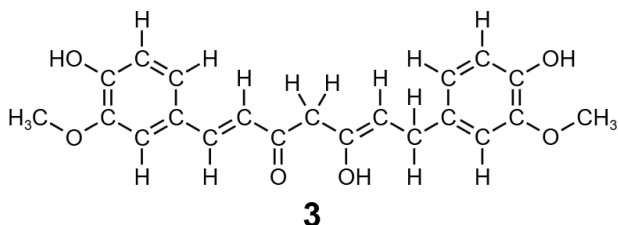
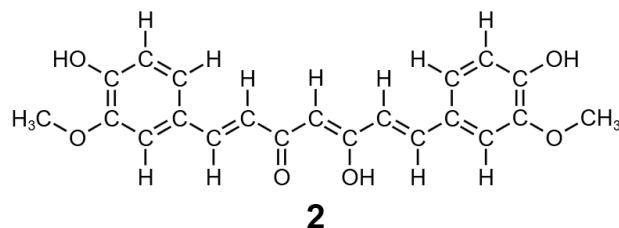
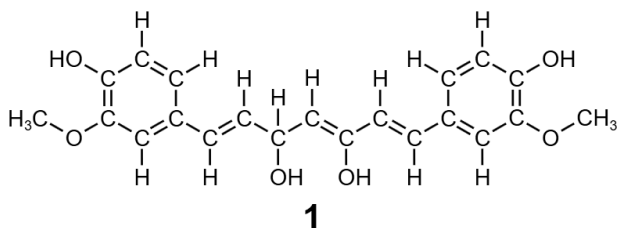
(10 p)

Üheks levinumaks antotüüpia (kreeka keelest άνθος "lill" ja τύπος "trükk") liigiks on kurkumotüüpia, kus fototundlikuks taimpigmentiks on kurkumipulbris sisalduv kollakasoranž pigment kurkumiin (vt alltoodud struktuurivalemit).



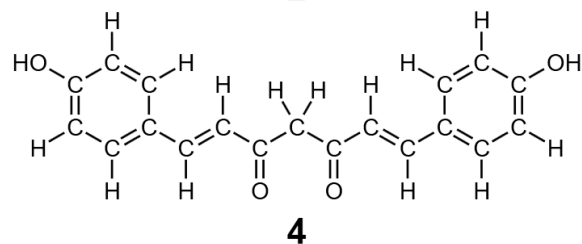
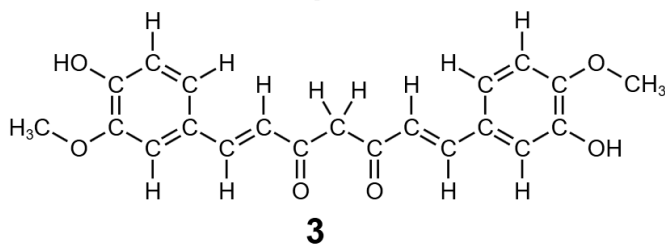
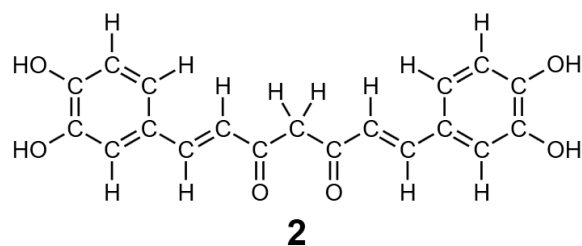
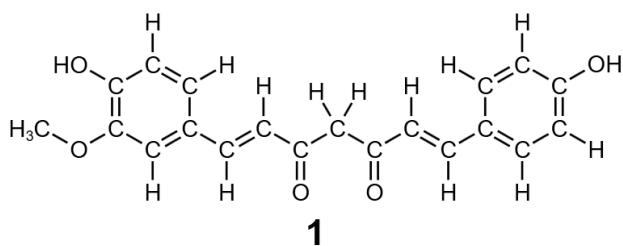
Nagu paljud 1,3-diketoonid, esineb ka kurkumiin looduses keto-enoolse tautomeerina.

- a) Vali, milline alltoodud stuktuuridest **(1–4)** kirjeldab kurkumiini enoolset vormi. Vihje: selle IUPAC-i nimetus on: (1E,4Z,6E)-5-hüdrosü-1,7-bis(4-hüdrosü-3-metoksüfenüül)-hepta-1,4,6-trieen-3-oon. (1)

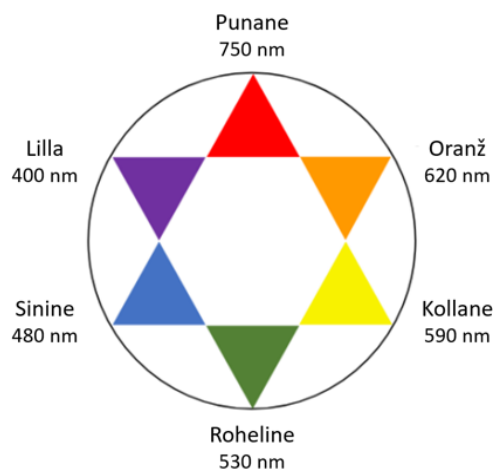
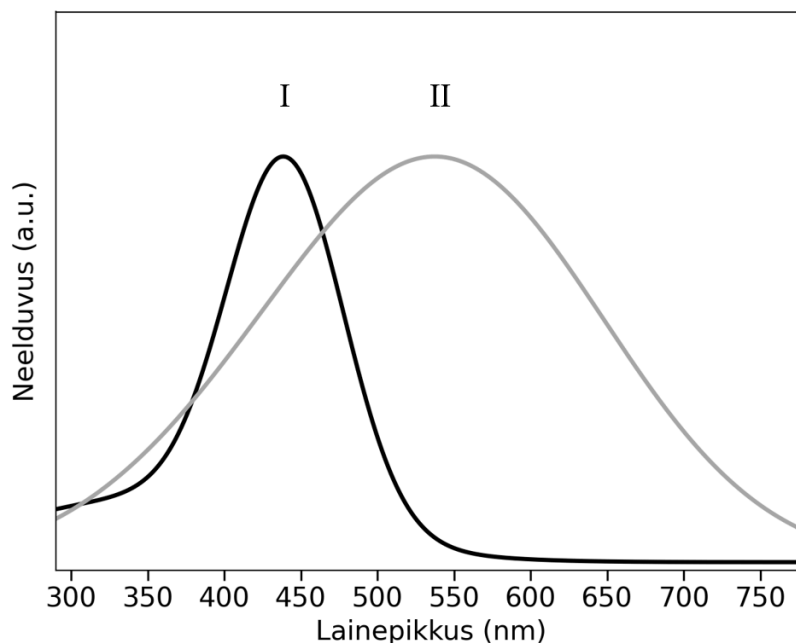


Lisaks kurkumiinile leidub looduslikus kurkumipulbris väiksemas koguses ka desmetoksükurkumiini (brutovalemiga $C_{20}H_{18}O_5$) ja bisdemetoksükurkumiini ($C_{19}H_{16}O_4$).

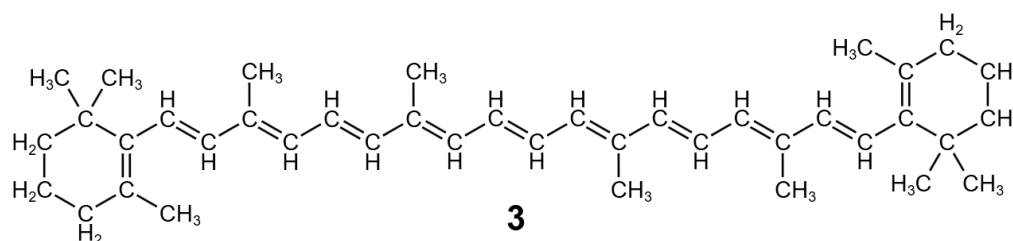
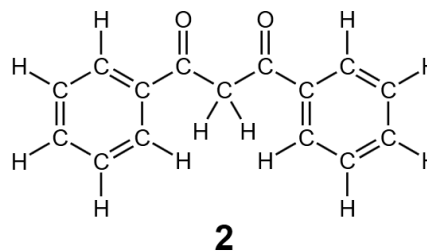
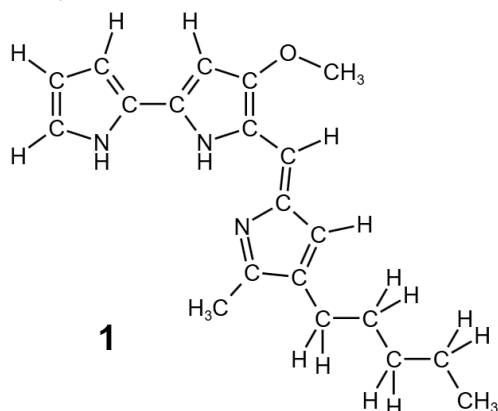
- b) Vali alltoodud struktuuride **(1–4)** seast **i)** desmetoksükurkumiini ja **ii)** bisdemetoksükurkumiini struktuurivalemid. (2)



Antotüüpia protsessi käigus asetatakse taimepigmentidega immutatud paberile valitud objekt (nt puuleht) ning paberit hoitakse valguse käes, kuni objektiga katmata fotopigment laguneb UV-valguse mõjul. Seejärel eemaldatakse objekt ning paberile jääb valitud objekti kujutis. Kurkumotüüpia erinevus teistest antotüüpia liikidest tuleneb ilmuti kasutamisest. Pärast fotopaberi hoidmist valguse käes immutatakse seda booraksi ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, naatriumtetraboraat) lahuses. Lagunemata kurkumiin reageerib lahuses sisalduvate $\text{B}(\text{OH})_4^-$ ionidega, moodustades punakaspruuni kompleksühendi **A** ($\text{C}_{21}\text{H}_{21}\text{BO}_8$), mis ei lagune valguse käes, ning pilt ongi valmis.



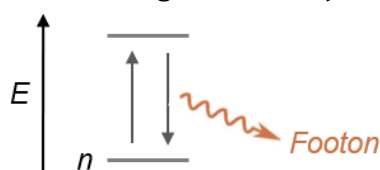
- c) Vali, milline üleval toodud neeldumisspektritest (I või II) vastab **i)** kurkumiinile ja **ii)** kompleksühendile **A**. Kasuta spektrijoonte määramisel nähtava valguse komplementaarsete värvide ratast. (0,5)
- d) Vali, milline on $B(OH)_4^-$ iooni geomeetria (elektronasetus). (0,5)
- ☐ Lineaarne
 - ☐ Tetraeedriline
 - ☐ Oktaeedriline
 - ☐ Tasapinnaline kolmnurkne
- e) Joonista kompleksühendi **A** ($C_{21}H_{21}BO_8$) struktuurivalem. (3)
 Kurkumiini naturaalne kollakasoranž värvus tuleneb selle molekuli konjugeeritud süsinikahela ja aromaatsete fenüülrühmade neelduvusest.
- f) **i)** Määra, milline alltoodud molekulidest (**1–3**) võiks olla naturaalse kurkumiiniga sarnast värvust. (1)
ii) Määra, milline alltoodud molekulidest võiks reageerida booraksiga sarnaselt kurkumiinile. (1)
iii) Määra, millisel alltoodud molekulil esineb looduses ka desmetoksü-analoog. (1)



9. Illuminati (ld valgustatud)

(10 p)

Valgusdiodid (LED-id) muundavad elektrienergiat valguseks pooljuhtide vahendusel. Pooljuhtides ergastatakse elektron madalamalt energiatasemelt n kõrgemale energiatasemele, mis "langeb" seejärel tagasi madalamale energiatasemele ja vabastab footoni.



Pooljuhtmaterjale toodetakse tavaliselt keemilise aursadestuse abil, kus lähteaineteks on lenduvad ühendid, mille reageerimisel tekib tahke saadus. Lenduvateks ühenditeks on tihtipeale trimetüülid (kolme metüülrühmaga ($-CH_3$) ühendid).

- a) Joonista trimetüülgalliumi ($Ga(CH_3)_3$) tasapinnaline struktuurivalem. (1)

Kaks levinud LED-ides kasutatavat pooljuhtmaterjali on nitriidid InN ja GaN, mis annavad vastavalt infrapunast ja ultravioletset valgust. Vahepealsete toonide saamiseks toodetakse materjali $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, mille värvus jääb kuhugi nähtavasse piirkonda, sõltuvalt x -i väärtusest.

b) Kirjuta ja tasakaalusta reaktsioonivõrrand $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ saamiseks, kui $x = 0,2$ ja lähteaineteks on indiumi ja galliumi trimetüülid ning ammoniaak. (1)

c) 1,00 grammi tundmatu indiumi osakaaluga pooljuhtmaterjali valmistamisel eraldus 0,0282 mooli metaani. Määra arvutuste abil pooljuhtmaterjali indiumi osakaal x . (2)

Vabastatava footoni energia ehk värvi määrab aine keelutsooni laius, mis on energiatasemete vaheline kaugus, kus elektron liigub. Eriti keeruline oli toota sinist LED-i, sest selleks on vaja laia keelutsooniga materjali. Energia ja lainepikkuse vahel kehtib seos, kus E on elektroni energia elektronvoltides (eV), Plancki konstant $h = 4,136 \cdot 10^{-15}$ eV·s, valguse kiirus $c = 3 \cdot 10^8$ m·s⁻¹ ning λ lainepikkus:

$$E = hc/\lambda$$

d) Arvuta, mis vahemikku peaks jääma pooljuhi keelutsooni laius, et seda kasutada sinise LED tootmiseks, kui siniseks loetakse valgust lainepikkusega 450–500 nm. Anna vastus elektronvoltides. (2)

Kahe pooljuhtmaterjali segu keelutsooni laiust saab arvutada puhaste materjalide keelutsooni laiuste kaudu järgmise valemi järgi:

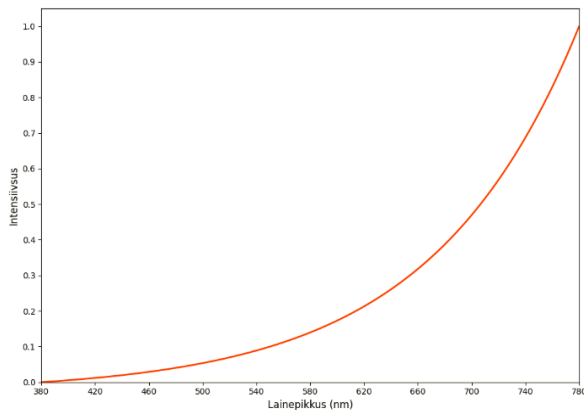
$$E(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}) = x \cdot E(\text{InN}) + (1 - x) \cdot E(\text{GaN})$$

e) Arvuta $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ keelutsooni laius, kui $x = 0,2$. $E(\text{InN}) = 0,69$ eV ja $E(\text{GaN}) = 3,4$ eV. (1)

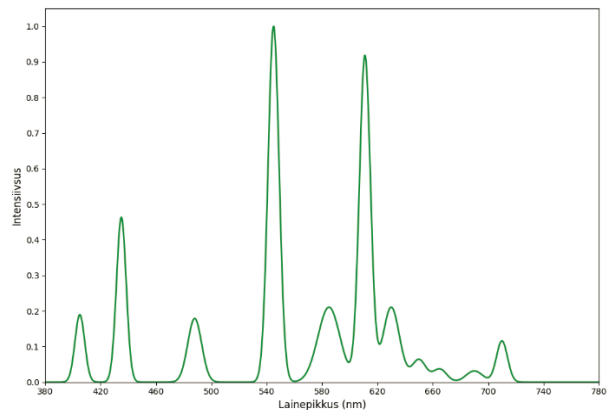
f) Määra, kas eelmise punkti **e)** pooljuhtmaterjal sobiks sinise LED-i valmistamiseks. (1)

Valged LED-id koosnevad sinisest LED-ist, mis on kaetud valgustundliku ainega, mida nimetatakse luminofooriks. Luminofoor muudab osa sinisest valgusest madalama lainepikkusega valguseks ning selle kiiratud valgus on pideva spektriga.

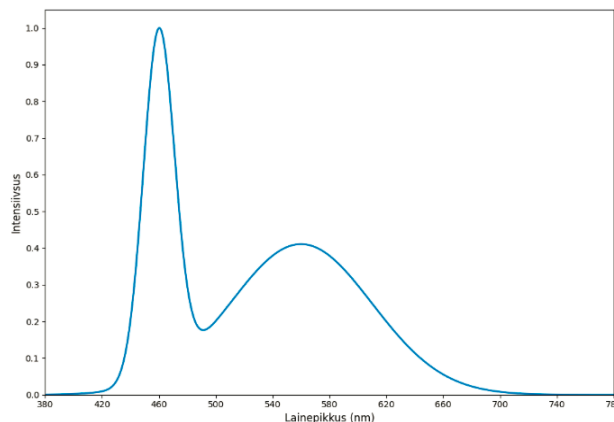
g) Vali spekter (A–C) valgele LED-ile. (1)



A



B



C

Luminofoorina kasutatakse näiteks Ce^{3+} -ga dopeeritud $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$. Dopeeritud materjali kristallivõres on mõned aatomid dopandiga (Ce^{3+}) ära vahetatud.

h) Antud on kristallvõre ionide ning dopandi ioniraadiused (Å). Vali, millise kristallvõreiooni asemele Ce^{3+} kõige tõenäolisemalt läheb. (1)

Ioon	Y^{3+}	Al^{3+}	O^{2-}	Ce^{3+}
Raadius	104 Å	67,5 Å	126 Å	115 Å