



Jakso 3 Orgaaniset yhdisteet – Rakenteiden mallintaminen ja rakennetutkimus

- ❖ Jakson tavoitteet, opetusvinkkejä, ajankäyttö
- ❖ Tutki ja kokeile!
 - Työ 10. Orgaanista kemiaa molekyyli mallien avulla
- ❖ Kertaustestejä
- ❖ Kaavioita ja kuvapohjia
- ❖ Oppikirjan laskutehtävien ratkaisut



Jakson tavoitteet, opetusvinkkejä, ajankäyttö

Tässä jaksossa jatketaan orgaanisten yhdisteiden mallintamista erilaisilla rakennekaavoilla sekä opiskellaan rakenneisomeria ja aineen rakennetutkimuksen (erityisesti spektrometria) menetelmiä.

Luvussa 3.1 hyödynnetään aiemmin opittua ainemäärää ja moolimassaa suhdekaavan ja molekyylikaavan ratkaisemiksi. Opiskelijat voivat edetä tehtävissä omaan tahtiinsa (joko itsenäisesti tai pienryhmissä) kirjan esimerkkien avulla.

Luvussa 3.2 esitetään erilaisia tapoja piirtää rakennekaavoja. Tässä yhteydessä on syytä harjoitella paitsi rakennekaavojen piirtämistä, myös erilaisten molekyylimallien tulkintaa (joko muovisten molekyylimallien avulla tai käyttämällä jotakin internetin piirto-ohjelmaa).

OPS:n KE2-kurssin yksi tavoite on käyttää tieto- ja viestintäteknologiaa mallintamisen välineenä. Opiskelijat voivat aloittaa erilaisten piirto-ohjelmien käytön yksinkertaisimmista molekyyleistä. Tieto- ja viestintäteknologian käyttöä mallintamisen välineenä jatketaan jaksossa 4, kun perehdytään stereoisomeriaan ja molekyylien kolmiulotteisen rakenteen mallintamiseen.

Rakenneisomerian eri lajeja (luku 3.3) voi myös opiskella erilaisten rakennekaavojen ja molekyylimallien avulla. Yksi tavoite on ymmärtää ja selittää rakenneisomerien erilaiset ominaisuudet molekyylien poolisuuden / poolittomuuden, molekyylin koon, hiiliketjun haarautuneisuuden jne. avulla.

Aivan uusi OPS:n sisältö on aineen rakennetutkimuksen menetelmät. Luvussa 3.4 esitellään lyhyesti röntgendiffraktio, vaikka sitä ei OPS:ssa mainitakaan. Yksityiskohtaisemmin esitellään seuraavat rakennetutkimuksen menetelmät: IR, MS ja ¹H-NMR. Opiskelijan tulisi ymmärtää, mitä tietoa eri menetelmillä saadaan ja osata tulkita eri menetelmien tuloksia. IR- ja ¹H-NMR spektrejä tulkitaan taulukkokirjan avulla. Mikäli mahdollista, tähän yhteyteen sopii myös vierailu johonkin tutkimuslaitokseen tai yliopistoon, jossa tehdään aineen rakennetutkimusta.

Ajankäyttö: 3 oppituntia (75 min)

4 oppituntia (45 min)



Tutki ja kokeile!

Työ 10. Orgaanista kemiaa molekyylimallien avulla

Työn tavoitteet	Työn toteutus käytännössä ja ajankäyttö	Arviointi	Pisteytys
Mallinnetaan orgaanisia molekyylejä muovisten molekyylimallien avulla.	Työn avulla voidaan lähestyä useita orgaanisen kemian keskeisiä asioita (funktionaaliset ryhmät, nimeäminen, isomeria, erilaiset kaavat jne), siksi työ kannattaa teettää! Opettaja toimii oppimisprosessin ohjaajana!	1. Etaania koskevat tehtävät	4p + 1p + 1p
Opiskellaan orgaanisten yhdisteiden funktionaalisia ryhmiä ja yhdisteiden nimeämistä.	Molekyylimallipakkauksia kannattaa hankkia niin paljon, että opiskelijat voivat työskennellä joko pareittain tai 3 hengen ryhmissä. Näin useampi opiskelija joutuu olemaan aktiivinen ja vuoropuhelua syntyy.	2. Butaania koskevat tehtävät	1p + 2p + 1p
Mallinnetaan isomerian eri lajeja.		3. 2-butanolia koskevat tehtävät	1p + 5p + 2p
Harjoitellaan mallinnettujen molekyyli-rakennekaavojen kirjoittamista eri tavoin.	Työn voi toteuttaa siten, että 1) kaikki tekevät työn kaikki osiot (9 eri kohtaa) 2) eri opiskelijaryhmät tekevät eri osiot ja esittelevät tuloksensa muille	4. Propaanihappoa koskevat tehtävät	1p + 1p + 1p + 4p + 1p + 1p
Opitaan, mitä eroa on suhdekaavalla, molekylikaavalla ja rakennekaavalla.	Ajankäyttö: vähintään 2 oppituntia (tällöin työhön liittyvät tehtävät ennätetään käydä hyvin yhdessä läpi)	5. Amiinia koskevat tehtävät	1p + 2p
		6. 2-penteeniä koskevat tehtävät	1p + 2p + 2p + 2p
		7. 1,2-dikloorisyklobutaania koskevat tehtävät	1p + 2p
		8. Molekylikaavan C ₂ H ₆ O tehtävät	4p + 1p + 2p
		9. Aminohappoa koskevat tehtävät	1p + 2p + 1p



Oikeat vastaukset työssä annettuihin tehtäviin

1. Etaani

Tehtävät:

Mitä rakenneisomerian lajia etaanilla esiintyy? Mallinna näitä isomeerejä.

Vastaus:

konformaatioisomeriaa; etaanin lomittain ja kohdakkain muodot.

Arvioi hiili-vetyssidoksen sidoskulman suuruus.

Vastaus:

noin 109,5 °

Esitä etaanin suhdekaava.

Vastaus:

$(\text{CH}_3)_x$

2. Butaani

Tehtävät:

Kuinka monta runkoisomeeriä butaanilla voi olla?

Vastaus:

kaksi

Nimeä butaanin runkoisomeerit.

Vastaus:

butaani, 2-metyylipropaani

Pyöritä hiiliatomien välisiä sidoksia siten, että saat energian kannalta mahdollisimman suotuisan muodon. Millä nimellä tätä muotoa kutsutaan?

Vastaus:

lomittain-muoto

3. 2-Butanoli (butan-2-oli)

Tehtävät:

Kuinka monta eri rakenneisomeeriä 2-butanolilla voi olla?

Vastaus:

viisi



Nimeä nämä isomeerit.

Vastaus:

1-butanoli, 2-metyyli-1-propanoli, 2-metyyli-2-propanoli, metyylipropyylietteri, dietylietteri

Mitä funktionaalisia ryhmiä näissä isomeereissä on?

Vastaus:

hydroksyyli ryhmä (-OH) ja eetteriryhmä (-O-)

4. Propanihappo

Tehtävät:

Arvioi hiilen ja vedyn välisen sidoskulman suuruus molekyylin hiilivetyosassa.

Vastaus:

noin 109,5 °

Arvioi hiilen ja hapen välisen sidoskulman suuruus karboksyyli ryhmässä.

Vastaus:

noin 120 °

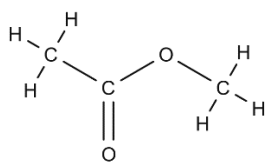
Kuinka monta funktioisomeeriä propanihapolla on?

Vastaus:

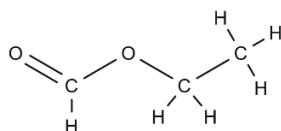
kaksi

Piirrä näiden isomeerien rakennekaavat sidosviivakaavalla ja nimeä eri isomeerit.

Vastaus:



metyylietanaatti (etaanin hapon metyyliesteri)



etyylimetanaatti (metaanin hapon etyyliesteri)



Mikä funktionaalinen ryhmä näissä isomeereissä esiintyy?

Vastaus:

esteriryhmä

Mikä on kaikkien näiden isomeerien suhdekaava?

Vastaus:

(C₃H₆O₂)

5. Neljä hiiliatomia sisältävä primäärinen amiini.

Tehtävät:

Nimeä yhdiste.

Vastaus:

butyyliamiini (1-aminobutaani)

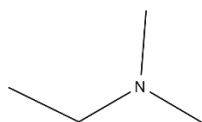
Tutki, saatko mallinnettua samoilla atomeilla myös sekundääristä ja tertiääristä amiinia.

Piirrä mahdollisten sekundääristen ja tertiääristen amiinien rakennekaavat viivakaavalla.

Vastaus:



(metyylipropyliamiini;
sekundäärinen)



(N,N-dimetyylietyyliamiini;
tertiäärinen)



6. 2-Penteeni (pent-2-eeni)

Tehtävät:

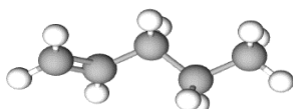
Onko rakentamasi 2-penteeni *cis*- vai *trans*-isomeeri?

Vastaus:

opettaja tarkistaa kumman isomeerin opiskelija on rakentanut

Mallinna yhtä 2-penteenin paikkaisomeeriä ja nimeä se.

Vastaus:



1-penteeni (pent-1-eeni)

Voiko 2-penteenillä esiintyä konformaatioisomeriaa? Perustelee.

Vastaus:

Kyllä voi, sillä molekyyllissä on vapaasti kiertyviä C-C sidoksia (yksinkertaisia, δ -sidoksia), joten näihin hiiliatomeihin liittyneet atomit ja atomiryhmät voivat asettua toistensa suhteen avaruudellisesti eri asentoihin (äärimuodot kohdakkain ja lomittain).

Missä kohdin molekyyliä sidokset suuntautuvat tasokolmion kärkiin? Perustelee.

Vastaus:

Kaksoissidoksen muodostavista hiiliatomeista sidokset lähtevät avaruudellisesti kolmeen suuntaan = suuntautuvat tasokolmion kärkiin. VSEPR-teorian mukaisesti elektroniparit hylkivät toisiaan, joten sidokset suuntautuvat avaruudellisesti mahdollisimman kauas toisistaan.

7. 1,2-dikloorisyklobutaani

Tehtävät:

Mitä stereoisomeriaa tällä yhdisteellä voi esiintyä?

Vastaus:

konfiguraatioisomeriaa / *cis-trans*-isomeriaa ja optista isomeriaa

Kumpi isomeeri rakentamasi molekyyli on?

Vastaus:

opettaja tarkistaa tämän opiskelijan rakentamasta molekyylimallista.

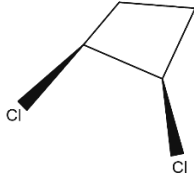


Piirrä toisen isomeerin rakennekaava viivakaavalla.

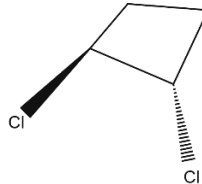
Vastaus:

joko

tai



cis



trans

8. Mallinna kaikkia niitä molekyyliä, joiden molekyylikaava on C₂H₆O.

Tehtävät:

Nimeä kaikki yhdisteet.

Vastaus:

etanoli, dimetyylieetteri

Mistä isomerian lajista on kyse?

Vastaus:

funktioisomeriasta

Voidaanko isomeerit muuttaa toisiksi isomeereiksi vain hiiliatomien välisiä sidoksia kiertämällä tai taivuttamalla?

Vastaus:

Ei voida, vaan sidosten täytyy katketa ja atomien järjestyä uudelleen keskenään eri tavoin, jotta molekyyliin tulee eri funktionaalinen ryhmä.



9. Mallinna pienintä mahdollista optisesti aktiivista aminohappoa.

Tehtävät:

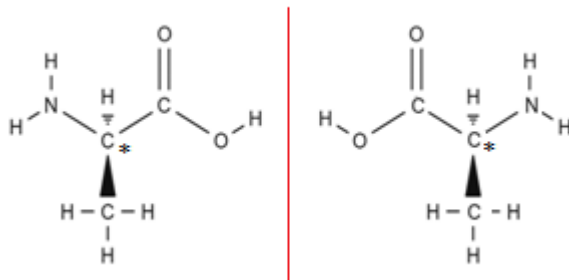
Etsi taulukkokirjasta tämän aminohapon nimi.

Vastaus:

alaniini

Laadi peilikuvaisomeerien rakennekaavat siten, että sidosten avaruudellinen suuntautuminen näkyy ja merkitse rakennekaavaan asymmetrinen hiiliatomi.

Vastaus:



Millä menetelmällä nämä isomeerit voisi tunnistaa?

Vastaus:

Mittaamalla polarimetrillä, mihin suuntaa isomeeri kääntää tasopolarisoidun valon tasoa.

MOOLI



Kertaustestejä

Opitun testausta

Linkki Kahoot-testiin:

<https://play.kahoot.it/#/k/1bbe4975-e434-42cd-8df5-8aed80db187b>



Mooli 2 - Jakso 3. Orgaanisten yhdisteiden mallintaminen ja rakennetutkimus - testi 1

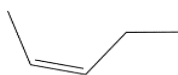
Nimi: _____ Pisteet: ____/13 p

Vastaa tehtäviin 1-8 merkitsemällä, onko väittämä oikein (O) vai väärin (V) tai valitse oikeat vaihtoehdot ympyröimällä ne. Täydennä tehtävät 9-12. Saat käyttää apuna taulukkokirjaa ja laskinta.

1. Yhdisteen C_4H_8 suhdekaava on $(CH_2)_x$. _____

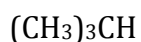
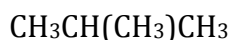
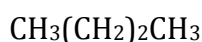
2. Erään hiilivedyn suhdekaava on $(CH_2)_x$ ja $M_r = 112,208$.
Tämän perusteella $x = 8$. _____

3. Oheisen viivakaavan perusteella yhdisteen molekyylikaava on C_5H_{12} . _____

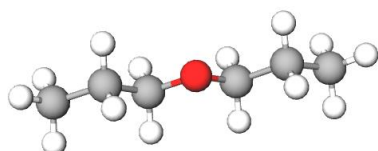


4. Propaanihapolla ja dipropyylieetterillä on sama suhdekaava. _____

5. Kaikilla seuraavilla yhdisteillä on sama suhdekaava _____



6. Oheisen molekyylimallin perusteella



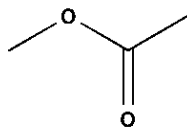
a) yhdisteen suhdekaava on sama kuin molekyylikaava

b) $n(H) > n(C)$

c) yhdisteen moolimassa on sama kuin heksanolin moolimassa.

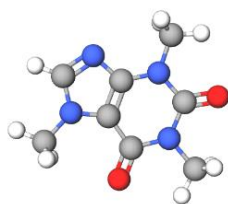


7. Oheisen viivakaavan perusteella



- a) yhdiste on karboksyylihapo
- b) molekyyliin muodostuu pysyvä dipoli
- c) yhdiste on esteri
- d) molekyylissä on 7 vetyatomia.

8. Oheinen molekyylimalli kuvaa kofeiinimolekyyliä.



Mallin perusteella

- a) kofeiini on heterosyklinen yhdiste
- b) molekyylissä on hydroksyyliiryhmä
- c) kofeiinin suhdekaava on $(C_4H_5ON_2)_x$, jossa $x = 2$.

9. Ratkaise yhdisteen M_r , kun tiedetään, että suhdekaava $(C_3H_6O)_x$ ja $x = 3$.

_____.

10. Eräs orgaaninen yhdiste sisältää eri alkuaineita seuraavasti:

$$n(C) = 4,54 \text{ mol}$$

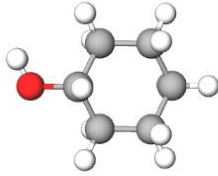
$$n(H) = 9,08 \text{ mol}$$

$$n(O) = 2,27 \text{ mol.}$$

Mikä on yhdisteen suhdekaava? _____.



11. Ratkaise oheisen molekyylimallin perusteella yhdisteen suhdekaava ja molekyylikaava. (2p)



suhdekaava: _____ molekyylikaava: _____

12. Esitä 4-metyyli-pent-2-eenin rakennekaava viivakaavalla.



Mooli 2 - Jakso 3. Orgaanisten yhdisteiden mallintaminen ja rakennetutkimus - testi 1

Oikeat ratkaisut:

1. 0

2. 0

3. V

4. V

5. 0

6. a), b), c)

7. b), c)

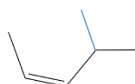
8. a), c)

9. $M_r = 174,234$

10. $(C_2H_4O)_x$

11. suhdekaava $(C_6H_{12}O)_x$, molekyylikaava $C_6H_{12}O$

12.



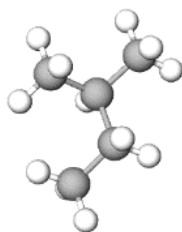


Mooli 2 - Jakso 3. Orgaanisten yhdisteiden mallintaminen ja rakennetutkimus - testi 2

Nimi: _____ Pisteet: ____/15 p

Vastaa tehtäviin 1-8 merkitsemällä, onko väittämä oikein (O) vai väärin(V) tai valitse oikeat vaihtoehdot ympyröimällä ne. Täydennä tehtävät 9-12. Saat käyttää apuna taulukkokirjaa ja laskinta.

1. Rakenneisomerian määritelmän mukaan rakenneisomeereillä on aina eri funktionaalinen ryhmä. _____
2. 2-metyylipentaani ja 2,2-dimetyylibutaani ovat keskenään runkoisomeerejä. _____
3. Butanaali ja 2-butanoni ovat keskenään paikkaisomeerejä. _____
4. Etaanihappo ja metyyylimetanaatti ovat keskenään funktioisomeerejä. _____
5. Tarkastele oheista molekyylimallia.



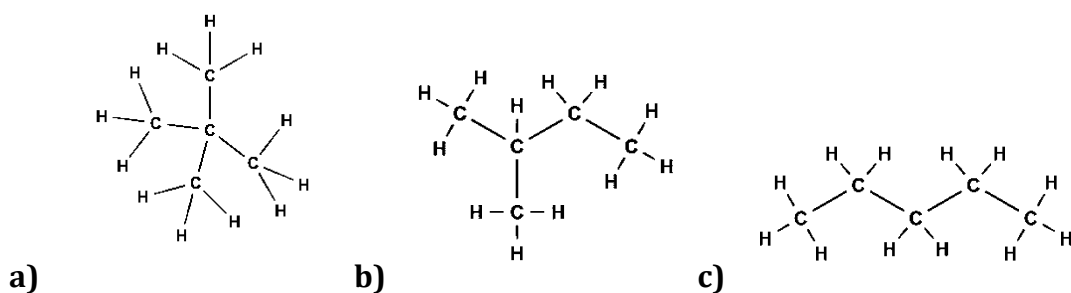
- a) Yhdisteen IUPAC:in mukainen nimi on 3-metyylibutaani.
 - b) Kyseessä on pentaanin isomeeri.
 - c) Yhdisteellä on korkeampi kiehumispiste kuin 2-butanolilla.
 - d) Kyseessä on tyydyttynyt hiilivety.
6. Mitkä seuraavista rakennekaavoista kuvaavat butaania tai sen isomeeriä?
- a) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$
 - b) $\text{CH}_3\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_3$
 - c) $(\text{CH}_3)_3\text{CH}$
 - d)



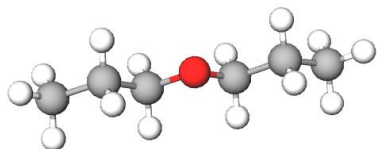
7. Kuinka monta paikkaisomeeriä on hekseenillä?

- a) ei yhtään
- b) 4
- c) 2
- d) 3

8. Millä seuraavista isomeereistä on alhaisin kiehumispiste?



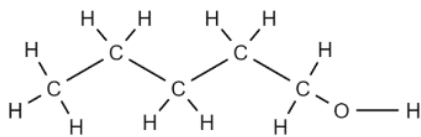
9. Laadi viivakaava yhdelle yhdisteelle, joka on oheisen yhdisteen funktioisomeeri. Nimeä piirtämäsi isomeeri. (2p)



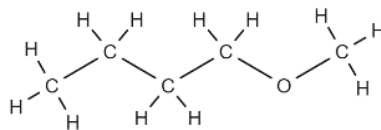
10. Esitä rakennekaava (sidosviivakaavalla) 2-heksanonin paikkaisomeerille ja nimeä tämä yhdiste. (2p)



11. Yhdisteet A ja B (alla) ovat toistensa isomeerejä. Mistä rakenneisomerian lajista on kyse?



A



B

12. Mihin yhdisteryhmään tehtävän 11 yhdisteet voidaan luokitella niiden sisältämän funktionaalisen ryhmän perusteella?(2p)

A: _____ B: _____



Mooli 2 - Jakso 3. Orgaanisten yhdisteiden mallintaminen ja rakennetutkimus - testi 2

Oikeat ratkaisut:

1. V

2. 0

3. V

4. 0

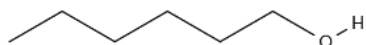
5. b), d)

6. a), c)

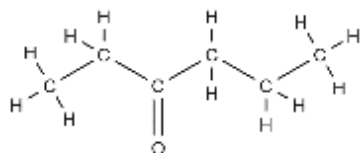
7. d)

8. a)

9. esimerkiksi 1-heksanoli



10.



3-heksanoni (heksan-3-oni)

11. funktioisomeriasta

12. A: alkoholit, B: eetterit



Mooli 2 - Jakso 3. Orgaanisten yhdisteiden mallintaminen ja rakennetutkimus - testi 3

Nimi: _____ Pisteet: ____/12 p

Vastaa tehtäviin merkitsemällä, onko väittämä oikein (O) vai väärin(V). Vastaa sanallisesti tehtävään 11. Saat käyttää apuna taulukkokirjaa ja laskinta.

1. Röntgenkristallografian avulla saadaan tietoa orgaanisen yhdisteen funktionaalisesta ryhmästä. _____

2. Röntgensäteiden aallonpituus on pienimmillään 0,01 nm eli $1 \cdot 10^{-11}$ m. _____

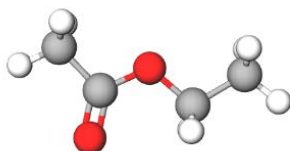
3. Metaanin massaspektrissä nähdään vain yksi piikki. _____

4. IR-spektroskopia perustuu orgaanisen yhdisteen kykyyn emittoida infrapunasäteilyä. _____

5. Erään orgaanisen yhdisteen IR-spektrissä näkyi piikki aaltoluvulla $1\ 700\text{-}1\ 750\text{ cm}^{-1}$. Tutkitussa yhdisteessä voi taten olla karbonyyliryhmä. _____

6. Yhdisteen X suhteellinen molekyyli massa oli MS-analyysin perusteella noin 32. IR-analyysissä havaittiin sidosvenytysvärähtely aaltolukujen $3\ 200\text{ - }3\ 600$ alueella. Yhdiste X voi olla fenoli. _____

7. Oheisen molekyyli mallin mukainen yhdiste tuottaa MS-analyysissä molekyyli-ionin, jonka suhteellinen molekyyli massa on 45. _____



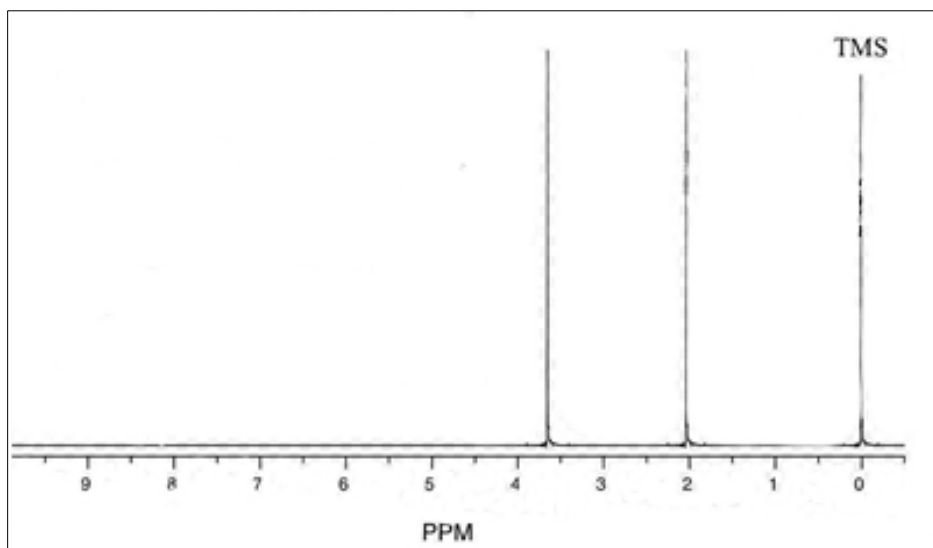
8. Tehtävän 7 yhdisteen $^1\text{H-NMR}$ spektrissä näkyy kaksi erilaista kemiallista siirtymää. _____



9. 1-butanolilla ja 2-butanolilla on täsmälleen samanlaiset IR- ja ^1H -NMR spektrit. _____

10. 2,2-dimetyylipropaani tuottaa vähemmän erilaisia kemiallisia siirtymiä ^1H - NMR analyysissä kuin pentaani. _____

11. Erään yhdisteen molekyylikaavaksi saatiin $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$. Päättele oheisen ^1H -NMR spektrin avulla, oliko kyseessä propaanihappo vai etyylietanaatti. Perustele vastauksesi. (2p)





Mooli 2 - Jakso 3. Orgaanisten yhdisteiden mallintaminen ja rakennetutkimus - testi 3

Oikeat ratkaisut:

1. V
2. 0
3. V
4. V
5. 0
6. V
7. 0
8. V
9. V
10. 0

11. Kyseessä oli etyylietanaatti, sillä spektrin perusteella yhdisteessä on vetyjä vain kahdessa eri "ympäristössä" (ja molemmissa kolme vetyä = piikit yhtä korkeat). Propanihapon spektrissä näkyisi kolme eri piikkiä (lisäksi piikit olisivat erikorkuisia).



Kaavioita ja kuvapohjia

HARJOITELLAAN SUHDEKAAVAN RATKAISEMISTA – ESIMERKKI 1

Opiskelijat määrittivät kokeellisesti alumiinin ja jodin välisessä reaktiossa syntyvän yhdisteen suhdekaavan. Alumiinia punnittiin tarkasti 0,5390 g ja sen annettiin reagoita jodin kanssa. Syntyneen yhdisteen massa oli

Ratkaisu:

$$m(\text{Al}) = 0,5390 \text{ g}$$

$$m(\text{yhdiste}) = 8,1536 \text{ g}$$

$$M(\text{Al}) = 26,98 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{I}) = 126,90 \text{ g/mol}$$

Lasketaan reagoineiden jodiatomien massa:

$$m(\text{I}) = 8,1536 \text{ g} - 0,5390 \text{ g} = 7,6146 \text{ g}$$

Lasketaan alumiiniatomien ja jodiatomien ainemäärät:

$$n(\text{Al}) = \frac{m(\text{Al})}{M(\text{Al})} = \frac{0,5390 \text{ g}}{26,98 \text{ g/mol}} = 0,01999778 \text{ mol}$$

$$n(\text{I}) = \frac{m(\text{I})}{M(\text{I})} = \frac{7,6146 \text{ g}}{126,90 \text{ g/mol}} = 0,0600047 \text{ mol}$$

Kirjoitetaan alumiinin ja jodin ainemäärien suhde

$$n(\text{Al}) : n(\text{I}) = 0,0199778 \text{ mol} : 0,0600047 \text{ mol}.$$

Jaetaan kumpikin ainemäärä pienimmällä ainemäärällä eli 0,0199778 moolilla, jolloin saadaan

$$n(\text{Al}) : n(\text{I}) \approx 1 : 3$$

Merkitään nämä luvut suhdekaavaan alaindekseiksi eli kaava on AlI_3 .

Vastaus: Suhdekaava on AlI_3 . Yhdisteen nimi on alumiinijodidi.



HARJOITTELAAN SUHDEKAAVAN RATKAISEMISTA – ESIMERKKI 2

Eräs orgaaninen yhdiste sisältää 10,06 massaprosenttia hiiltä, 0,84 massaprosenttia vetyä ja 89,10 massaprosenttia klooria. Mikä on yhdisteen suhdekaava?

Ratkaisu:

Kun valitaan näytteen massaksi 100 g, se sisältää hiiltä 10,06 g, vetyä 0,84 g ja klooria 89,10 g. Lasketaan tämän perusteella eri alkuaineatomien ainemäärät:

$$n(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{10,06 \text{ g}}{12,01 \text{ g/mol}} = 0,8376 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{0,84 \text{ g}}{1,008 \text{ g/mol}} = 0,8333 \text{ mol}$$

$$n(\text{Cl}) = \frac{m(\text{Cl})}{M(\text{Cl})} = \frac{89,10 \text{ g}}{35,45 \text{ g/mol}} = 2,513 \text{ mol}$$

Muodostetaan ainemäärien suhde:

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{Cl}) = 0,8376 \text{ mol} : 0,8333 \text{ mol} : 2,513 \text{ mol}$$

Suhdetta sievennetään jakamalla kukin arvo pienimmällä ainemäärällä eli 0,8333 moolilla. Näin saatu suhde pyöristetään lopuksi pienimpien kokonaislukujen suhteeksi:

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{Cl}) = 1,005 : 1,000 : 3,016 \approx 1 : 1 : 3$$

Suhdekaava on siis $(\text{CHCl}_3)_x$, missä x on positiivinen kokonaisluku, joka ilmoittaa, kuinka monta kertaa suhdekaavayksikkö CHCl_3 esiintyy molekyylissä.

Vastaus: Yhdisteen suhdekaava on $(\text{CHCl}_3)_x$.



HARJOITTELAAN SUHDEKAAVAN RATKAISEMISTA – ESIMERKKI 3

Kun 100 milligrammaa erästä orgaanista yhdistettä, joka sisälsi hiiltä, happea ja vetyä, paloi täydellisesti, syntyi 0,228 grammaa hiilidioksidia ja 0,0931 grammaa vettä. Ratkaise yhdisteen suhdekaava.

Ratkaisu:

Lasketaan ensin muodostuneen hiilidioksidin ja veden ainemäärä. Koska yhdessä hiilidioksidimolekyylissä on yksi hiiliatomi, on tutkittavan yhdisteen hiiliatomien ainemäärä sama kuin muodostuvan hiilidioksidin ainemäärä, eli

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = \frac{0,228 \text{ g}}{44,01 \text{ g/mol}} = 0,005181 \text{ mol}$$

Hiilen massa alkuperäisessä näytteessä on

$$m(\text{C}) = n(\text{C}) \cdot M(\text{C}) = 0,005181 \text{ mol} \cdot 12,01 \text{ g/mol} = 0,06222 \text{ g}$$

Vedyn ainemäärä tutkittavassa yhdisteessä saadaan, kun tiedetään, että yhdessä moolissa vettä on aina kaksi moolia vetyatomeja. Tutkittavan yhdisteen vetyatomien ainemäärän ja muodostuneen veden ainemäärän välille voidaan tällöin kirjoittaa verranto

$$\frac{n(\text{H})}{n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{2}{1}, \text{ josta } n(\text{H}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$$

$$n(\text{H}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = 2 \cdot \frac{0,0931 \text{ g}}{18,016 \text{ g/mol}} = 0,01034 \text{ mol}$$

Vedyn massa tutkittavassa yhdisteessä on tällöin

$$m(\text{H}) = 0,01034 \text{ mol} \cdot 1,008 \text{ g/mol} = 0,01042 \text{ g}$$

Hapen massa saadaan, kun vähennetään yhdisteen kokonaismassasta hiilen ja vedyn massat. Hapen massa on

$$m(\text{O}) = 0,100 \text{ g} - (0,06222 + 0,01042) \text{ g} = 0,02736 \text{ g}$$

Lasketaan lopuksi happiatomien ainemäärä

$$n(\text{O}) = \frac{0,02736 \text{ g}}{16,00 \text{ g/mol}} = 0,001710 \text{ mol}$$

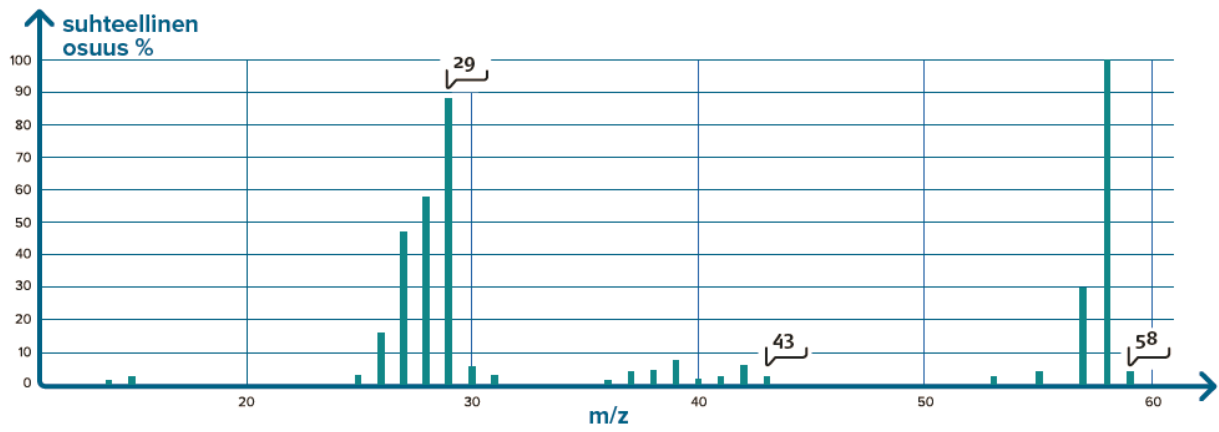
Ainemäärien suhde on

$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 0,005181 \text{ mol} : 0,01034 \text{ mol} : 0,001710 \text{ mol}$, josta saadaan pienimmäksi kokonaislukujen suhteeksi 3:6:1. Suhdekaava on $(\text{C}_3\text{H}_6\text{O})_x$.

Vastaus: Yhdisteen suhdekaava on $(\text{C}_3\text{H}_6\text{O})_x$.

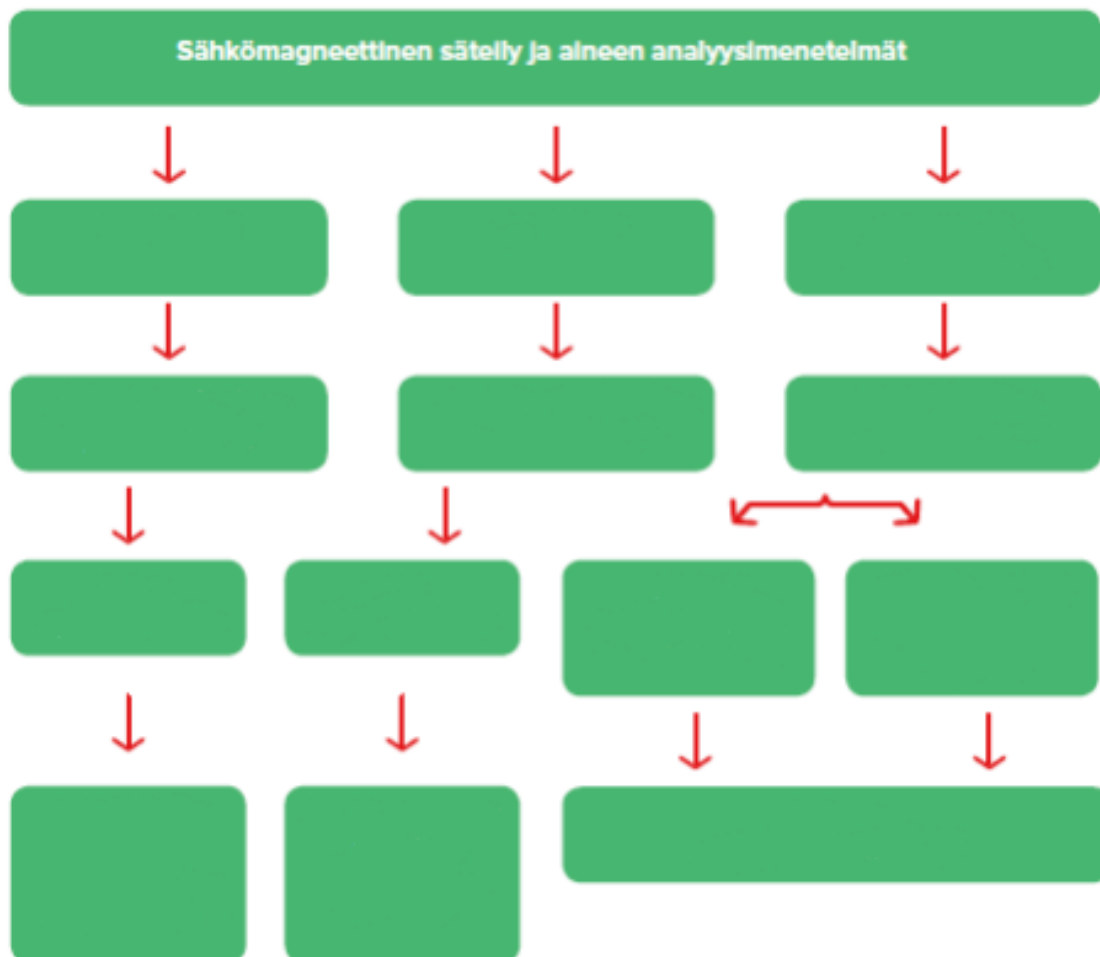


Tulkitse oheista kuvaajaa



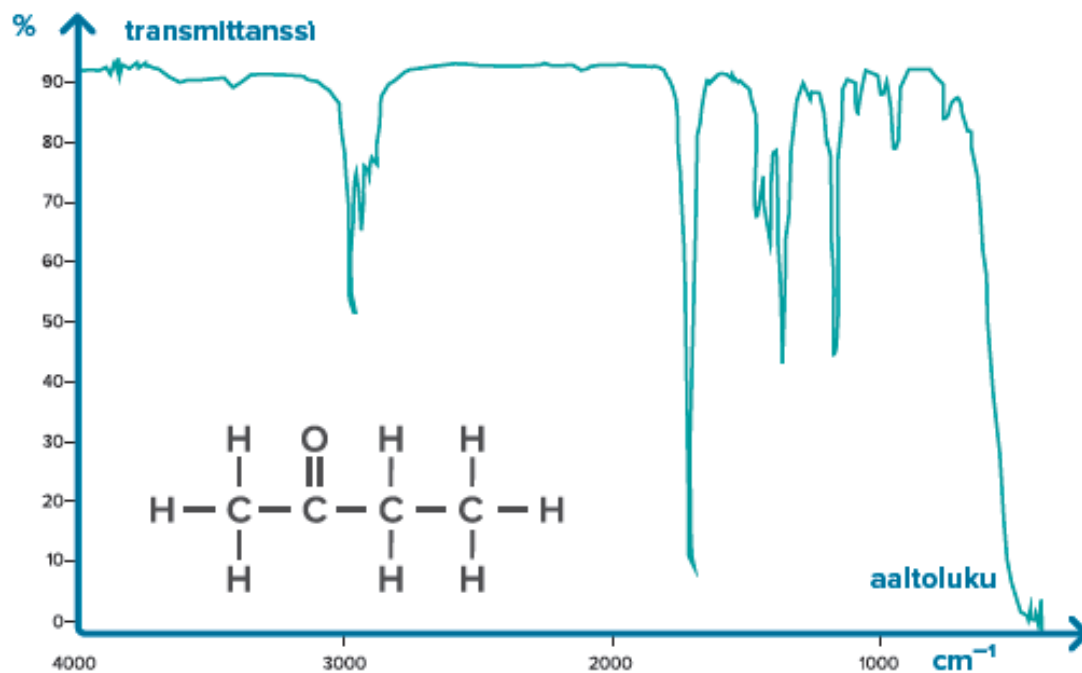


Täydennä oheinen kaavio



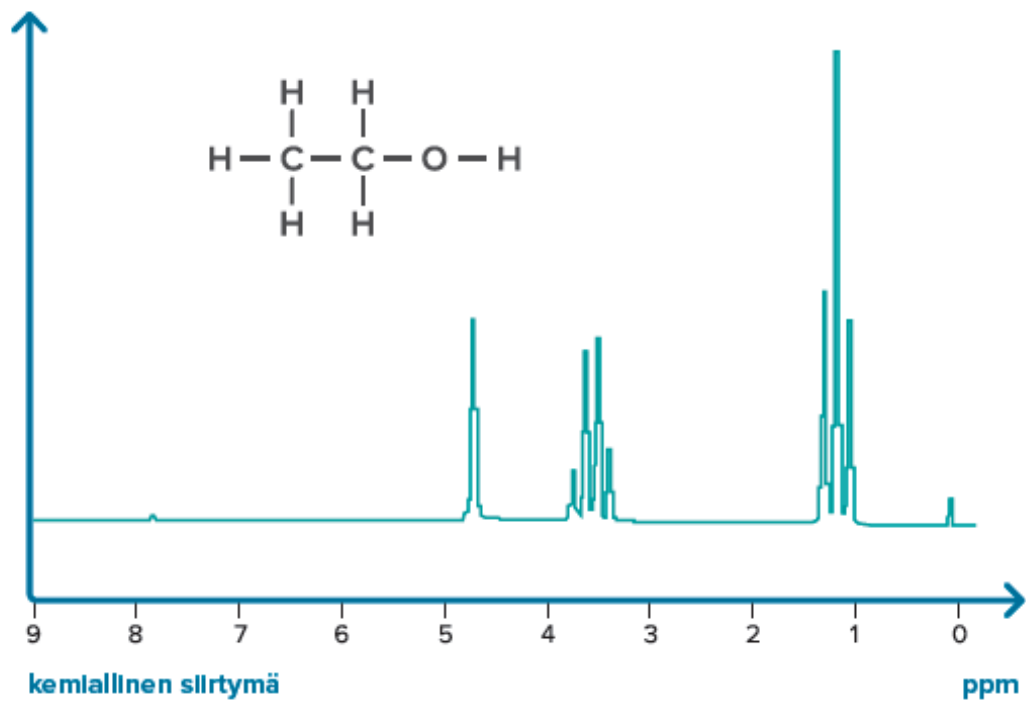


Tulkitse oheista kuvaajaa





Tulkitse oheista kuvaajaa





Jakso 3 Orgaanisten yhdisteiden mallintaminen ja rakennetutkimus - laskutehtävien ratkaisut

3.1 Suhdekaava ja molekyylikaava

3.2

Ratkaisu:

a)

$$n(\text{C}) = 0,0130 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}) = 0,0390 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}) = 0,0065 \text{ mol}$$

Jaetaan kukin ainemäärä pienimmällä ainemäärällä eli tässä tapauksessa hapen ainemäärällä (0,0065 mol):

$$\frac{n(\text{C})}{n(\text{O})} = \frac{0,0130 \text{ mol}}{0,0065 \text{ mol}} = 2,000$$

$$\frac{n(\text{H})}{n(\text{O})} = \frac{0,0390 \text{ mol}}{0,0065 \text{ mol}} = 6,000$$

$$\frac{n(\text{O})}{n(\text{O})} = \frac{0,0065 \text{ mol}}{0,0065 \text{ mol}} = 1,000.$$

Ainemäärien kokonaislukusuhte on: $n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 2 : 6 : 1$.

Suhdekaava on $(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})_x$.



b)

$$m(\text{C}) = 72,06 \text{ g}$$

$$m(\text{H}) = 6,048 \text{ g}$$

$$M(\text{C}) = 12,01 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{H}) = 1,008 \text{ g/mol}$$

Ratkaistaan yhdisteessä olevien hiiliatomien ja vetyatomien ainemäärät:

$$n(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{72,06 \text{ g}}{12,01 \text{ g/mol}} = 6,000 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{6,048 \text{ g}}{1,008 \text{ g/mol}} = 6,000 \text{ mol.}$$

Ainemäärien kokonaislukusuhte on $n(\text{C}) : n(\text{H}) = 1 : 1$.

Suhdekaava on $(\text{CH})_x$.

c)

$$m\text{-}\%(\text{C}) = 40,0 \%$$

$$m\text{-}\%(\text{H}) = 6,7 \%$$

$$m\text{-}\%(\text{O}) = 53,3 \%$$

$$M(\text{C}) = 12,01 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{H}) = 1,008 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{O}) = 16,00 \text{ g/mol}$$

Valitaan näytteen massaksi 100 g. Massaprosenttisten osuuksien perusteella eri alkuaineatomien massat ovat:

$$m(\text{C}) = 40,0 \text{ g}$$

$$m(\text{H}) = 6,7 \text{ g}$$

$$M(\text{O}) = 53,3 \text{ g}$$

MOOLI



Alkuaineatomien ainemäärät ovat:

$$n(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{40,0 \text{ g}}{12,01 \text{ g/mol}} = 3,3306 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{6,7 \text{ g}}{1,008 \text{ g/mol}} = 6,647 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{53,3 \text{ g}}{16,00 \text{ g/mol}} = 3,3313 \text{ mol.}$$

Jaetaan kukin ainemäärä pienimmällä ainemäärällä eli tässä tapauksessa hiilen ainemäärällä (3,3306 mol):

$$\frac{n(\text{C})}{n(\text{C})} = \frac{3,3306 \text{ mol}}{3,3306 \text{ mol}} = 1,0000$$

$$\frac{n(\text{H})}{n(\text{C})} = \frac{6,647 \text{ mol}}{3,3306 \text{ mol}} = 1,996$$

$$\frac{n(\text{O})}{n(\text{C})} = \frac{3,3313 \text{ mol}}{3,3306 \text{ mol}} = 1,0077.$$

Ainemäärien kokonaislukujen suhteeksi saadaan: $n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) \approx 1 : 2 : 1$.

Suhdekaava on $(\text{CH}_2\text{O})_x$



3.3

Ratkaisu:

$$m(\text{C}) = 3,758 \text{ g}$$

$$m(\text{H}) = 0,316 \text{ g}$$

$$m(\text{O}) = 1,251 \text{ g}$$

$$M(\text{C}) = 12,01 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{H}) = 1,008 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{O}) = 16,00 \text{ g/mol}$$

Eri alkuaineatomien ainemäärät ovat:

$$n(\text{C}) = \frac{m(\text{C})}{M(\text{C})} = \frac{3,758 \text{ g}}{12,01 \text{ g/mol}} = 0,312906 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{0,316 \text{ g}}{1,008 \text{ g/mol}} = 0,31349 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{1,251 \text{ g}}{16,00 \text{ g/mol}} = 0,0781875 \text{ mol.}$$

Jaetaan kukin ainemäärä pienimmällä ainemäärällä eli tässä tapauksessa hapen ainemäärällä (0,0781875 mol):

$$\frac{n(\text{C})}{n(\text{H})} = \frac{0,312906 \text{ mol}}{0,0781875 \text{ mol}} = 4,00200$$

$$\frac{n(\text{H})}{n(\text{O})} = \frac{0,31349 \text{ mol}}{0,0781875 \text{ mol}} = 4,0095$$

$$\frac{n(\text{O})}{n(\text{O})} = \frac{0,0781875 \text{ mol}}{0,0781875 \text{ mol}} = 1,00000.$$

Pienimpien kokonaislukujen suhteeksi saadaan: $n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) \approx 4 : 4 : 1$.

Suhdekaava on $(\text{C}_4\text{H}_4\text{O})_x$.



3.4

Ratkaisu:

$$m(\text{yhdiste}) = 0,100 \text{ g}$$

$$m(\text{CO}_2) = 0,228 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0,0931 \text{ g}$$

$$M(\text{CO}_2) = 44,01 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18,016 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{C}) = 12,01 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{H}) = 1,008 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{O}) = 16,00 \text{ g/mol}$$

Yhdisteessä olevien hiili- ja vetyatomien ainemäärä saadaan selville ratkaisemalla palamisreaktioissa muodostuneen hiilidioksidin ja veden ainemäärä. Koska yksi mooli hiilidioksidia CO_2 sisältää yhden moolin hiiliatomeja, on yhdisteen hiiliatomien ainemäärä sama kuin muodostuvan hiilidioksidin ainemäärä eli $n(\text{C}) = n(\text{CO}_2)$:

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = \frac{0,228 \text{ g}}{44,01 \text{ g/mol}} = 0,0051806 \text{ mol.}$$

Yhdisteen vetyatomien ainemäärä puolestaan saadaan ratkaistua muodostuneen veden ainemäärästä, sillä yhdessä moolissa vesimolekyyliä H_2O on kaksi moolia vetyatomeja eli $n(\text{H}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$:

$$n(\text{H}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot \frac{0,0931 \text{ g}}{18,016 \text{ g/mol}} = 0,010335 \text{ mol.}$$

Koska yhdisteen tiedetään sisältävän myös happea, saadaan happiatomien massa vähentämällä yhdisteen kokonaismassasta hiili- ja vetyatomien massat:

$$m(\text{C}) = n(\text{C}) \cdot M(\text{C}) = 0,0051806 \text{ mol} \cdot 12,01 \text{ g/mol} = 0,062219 \text{ g}$$

$$m(\text{H}) = n(\text{H}) \cdot M(\text{H}) = 0,010335 \text{ mol} \cdot 1,008 \text{ g/mol} = 0,010418 \text{ g}$$

$$m(\text{O}) = 0,100 \text{ g} - (0,062219 \text{ g} + 0,010418 \text{ g}) = 0,027363 \text{ g.}$$



Ratkaistaan suhdekaavaa varten happiatomien ainemäärä:

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{0,027363 \text{ g}}{16,00 \text{ g/mol}} = 0,0017102 \text{ mol}.$$

Eri alkuaineatomien ainemäärät ovat:

$$n(\text{C}) = 0,0051806 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}) = 0,010335 \text{ mol}$$

$$n(\text{O}) = 0,0017102 \text{ mol}.$$

Kun kaikki ainemäärät jaetaan pienimmällä (hapen) ainemäärällä, saadaan

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 3,0292 : 6,0432 : 1,000.$$

Muodostetaan ainemääristä pienin kokonaislukujen suhde, jolloin suhdekaavaksi saadaan $(\text{C}_3\text{H}_6\text{O})_x$.

3.5

Ratkaisu:

a)

$$M(\text{yhdiste}) = 78 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{C}) = 12,01 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{H}) = 1,008 \text{ g/mol}$$

Muodostetaan yhtälö suhdekaavaan $(\text{CH})_x$ merkityn x :n ratkaisemiseksi:

$$x \cdot (M(\text{C}) + M(\text{H})) = M(\text{yhdiste}).$$

Sijoitetaan yhtälöön moolimassojen lukuarvot ja ratkaistaan x :

$$x \cdot (12,01 + 1,008) = 78, \text{ josta}$$

$$13,018x = 78$$

$$x = 5,992 \approx 6.$$

Molekyylikaava on C_6H_6 .



b)

$$M_r(\text{yhdiste}) = 116$$

$$A_r(\text{C}) = 12,01$$

$$A_r(\text{H}) = 1,008$$

$$A_r(\text{O}) = 16,00$$

Muodostetaan yhtälö suhdekaavaan $(\text{C}_3\text{H}_6\text{O})_x$ merkityn x :n ratkaisemiseksi:

$$x \cdot (3 \cdot A_r(\text{C}) + 6 \cdot A_r(\text{H}) + A_r(\text{O})) = M_r(\text{yhdiste}).$$

Sijoitetaan yhtälöön suhteellisten atomimassojen ja suhteellisen molekyylimassan lukuarvot ja ratkaistaan x :

$$x \cdot (3 \cdot 12,01 + 6 \cdot 1,008 + 16,00) = 116, \text{ josta}$$

$$58,078x = 116$$

$$x = 1,997 \approx 2.$$

Molekyylikaava on $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$.



3.2 Rakennekaava ja sen mallintaminen

3.6

Ratkaisu:

a)

$$m(\text{näyte}) = 0,1005 \text{ g}$$

$$m(\text{CO}_2) = 0,2829 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0,1159 \text{ g}$$

$$M(\text{CO}_2) = 44,01 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18,016 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{H}) = 1,008 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{C}) = 12,01 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{O}) = 16,00 \text{ g/mol}$$

Lasketaan mentolissa olevien hiiliatomien ainemäärä palamisreaktiossa muodostuneen hiilidioksidin ainemäärän avulla:

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)} = \frac{0,2829 \text{ g}}{44,01 \text{ g/mol}} = 0,00642808 \text{ mol.}$$

Lasketaan mentolissa olevien vetyatomien ainemäärä palamisreaktiossa muodostuneen veden ainemäärän avulla:

$$n(\text{H}) = n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{2 \cdot 0,1159 \text{ g}}{18,016 \text{ g/mol}} = 0,0128663 \text{ mol.}$$

Mentolin sisältämän hapen massa saadaan, kun näytteen massasta vähennetään hiilen ja vedyn massat:

$$\begin{aligned} m(\text{O}) &= m(\text{näyte}) - m(\text{C}) - m(\text{H}) \\ &= m(\text{näyte}) - n(\text{C}) \cdot M(\text{C}) - m(\text{H}) \cdot M(\text{H}) \\ &= 0,1005 \text{ g} - (0,00642808 \text{ mol} \cdot 12,01 \text{ g/mol}) - (0,0128663 \text{ mol} \cdot 1,008 \text{ g/mol}) \\ &= 0,0103295 \text{ g.} \end{aligned}$$



Ratkaistaan mentolissa olevien happiatomien ainemäärä:

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{0,0103295 \text{ g}}{16,00 \text{ g/mol}} = 6,45594 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Merkitään eri alkuaineiden ainemäärien suhde:

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 0,00642808 \text{ mol} : 0,0128663 \text{ mol} : 6,45594 \cdot 10^{-4} \text{ mol.}$$

Kun kukin ainemäärä jaetaan pienimmällä ainemäärällä eli hapen ainemäärällä ($6,45594 \cdot 10^{-4}$ mol),

saadaan: $n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 9,95685 \text{ mol} : 19,9294 \text{ mol} : 1,00000 \text{ mol}$, josta

kokonaislukusuhte on

$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) \approx 10 : 20 : 1.$$

Mentolin suhdekaava on $(\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O})_x$.

b)

$$M(\text{mentoli}) = 156 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{C}) = 12,01 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{H}) = 1,008 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{O}) = 16,00 \text{ g/mol}$$

Ratkaistaan kerroin x yhtälöstä

$$x \cdot (10 \cdot M(\text{C}) + 20 \cdot M(\text{H}) + M(\text{O})) \text{ g/mol} = M(\text{mentoli}).$$

Sijoitetaan yhtälöön moolimassat:

$$x \cdot (10 \cdot 12,01 + 20 \cdot 1,008 + 16,00) \text{ g/mol} = 156 \text{ g/mol},$$

josta ratkaisuna $x = 0,9983 \approx 1$.

Molekyylikaava on $\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$.



3.10

Ratkaisu:

a)

Pääte -oni viittaa testosteronin rakenteessa olevaan karbonyyliryhmään (ketoryhmään).

Yhdisteet, joissa on funktionaalisenä ryhmänä ketoryhmä saavat nimeensä päätteen -oni.

b)

$$m(\text{testosteroni}) = 8,0 \text{ mg} = 0,0080 \text{ g}$$

$$V(\text{veri}) = 4,5 \text{ l}$$

$$M(\text{testosteroni}, \text{C}_{19}\text{H}_{28}\text{O}_2) = 288,414 \text{ g/mol}$$

$$c(\text{testosteroni}) = ?$$

Ratkaistaan testosteronin ainemäärä suureyhtälöstä $n = \frac{m}{M}$:

$$n(\text{testosteroni}) = \frac{0,0080 \text{ g}}{288,414 \text{ g/mol}} = 2,774 \cdot 10^{-5} \text{ mol.}$$

Ratkaistaan testosteronin konsentraatio suureyhtälöstä $c = \frac{n}{V}$:

$$c(\text{testosteroni}) = \frac{2,774 \cdot 10^{-5} \text{ mol}}{4,5 \text{ l}} = 6,164 \cdot 10^{-6} \text{ mol/l} \approx 6,2 \cdot 10^{-6} \text{ mol/l.}$$



Jakso 3 Harjoittele lisää!

Ylioppilastehtäviä

2.

Ratkaisu:

$$m(\text{yhdiste}) = 0,240 \text{ g}$$

$$m(\text{CO}_2) = 0,352 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0,144 \text{ g}$$

$$M(\text{CO}_2) = 44,01 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18,016 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{H}) = 1,008 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{C}) = 12,01 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{O}) = 16,00 \text{ g/mol}$$

Ratkaistaan ensin palamisreaktiossa muodostuneen hiilidioksidin ainemäärä. Koska yhdessä moolissa hiilidioksidimolekyylejä on yksi mooli hiiliatomeja, on yhdisteen hiiliatomien ainemäärä $n(\text{C})$ sama kuin palamisreaktiossa muodostuneen hiilidioksidin ainemäärä $n(\text{CO}_2)$:

$$n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = \frac{0,352 \text{ g}}{44,01 \text{ g/mol}} = 0,0079982 \text{ mol}.$$

Hiiliatomien ainemäärästä saadaan ratkaistua hiilen massa alkuperäisessä näytteessä:

$$m(\text{C}) = n(\text{C}) \cdot M(\text{C}) = 0,0079982 \text{ mol} \cdot 12,01 \text{ g/mol} = 0,096058 \text{ g}.$$

Yhdisteen vetyatomien ainemäärä saadaan ratkaistua palamisreaktiossa muodostuneen veden ainemäärän avulla. Yhdessä moolissa vesimolekyylejä on kaksi moolia vetyatomeja. Yhdisteen vetyatomien ainemäärän ja muodostuneen veden ainemäärän välille voidaan tällöin kirjoittaa verranto:

$$\frac{n(\text{H})}{n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{2}{1}, \text{ josta } n(\text{H}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O}).$$



Ratkaistaan vetyatomien ainemäärä veden ainemäärän avulla:

$$n(\text{H}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = 2 \cdot \frac{0,144 \text{ g}}{18,016 \text{ g/mol}} = 0,015986 \text{ mol}.$$

Ratkaistaan yhdisteen vetyatomien massa seuraavasti:

$$m(\text{H}) = n(\text{H}) \cdot M(\text{H}) = 0,015986 \text{ mol} \cdot 1,008 \text{ g/mol} = 0,016114 \text{ g}.$$

Koska yhdisteen tiedetään sisältävän myös happea, saadaan happiatomien massa vähentämällä yhdisteen massasta edellä ratkaistut hiili- ja vetyatomien massat:

$$m(\text{O}) = m(\text{yhdiste}) - (m(\text{C}) + m(\text{H})) = 0,240 \text{ g} - (0,096058 + 0,016114) \text{ g} = 0,12783 \text{ g}.$$

Ratkaistaan happiatomien ainemäärä:

$$n(\text{O}) = \frac{m(\text{O})}{M(\text{O})} = \frac{0,12783 \text{ g}}{16,00 \text{ g/mol}} = 0,0079894 \text{ mol}.$$

Jaetaan kukin ainemäärä pienimmällä ainemäärällä (happi), jolloin saadaan:

$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 1,0011 \text{ mol} : 2,0001 \text{ mol} : 1,0000 \text{ mol}$, joka voidaan pyöristää kokonaislukusuhteeksi 1:2:1.

Suhdekaava on $(\text{CH}_2\text{O})_x$.



b)

$$M_r(\text{yhdiste}) = 60$$

Ratkaistaan suhdekaavaan merkitty x yhtälöstä

$$x \cdot (A_r(\text{C}) + 2 \cdot A_r(\text{H}) + A_r(\text{O})) = M_r(\text{yhdiste}) :$$

$$x \cdot (12,01 + 2 \cdot 1,008 + 16,00) = 60, \text{ josta saadaan}$$

$$30,026x = 60, \text{ ja ratkaisuna } x \approx 2.$$

Molekyylikaava on $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$.

c)

Koska yhdiste reagoi etanolin kanssa, kyseessä on karboksyylihappo (karboksyylihappo ja alkoholi muodostavat esterin). Molekyylikaavan $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ perusteella yhdiste on etaanihappo.

Kysytty reaktioyhtälö on

