

# Hyvän vastauksen piirteet: FI – Kemia

22.3.2024

Alustavat hyvän vastauksen piirteet 22.3.2024

Alustavat hyvän vastauksen piirteet on suuntaa antava kuvaus kokeen tehtäviin odotetuista vastauksista ja tarkoitettu ensisijaisesti tueksi alustavaa arvostelua varten. Alustavat hyvän vastauksen piirteet eivät välttämättä sisällä ja kuvaa tehtävien kaikkia hyväksytyjä vastauksia. Alustavat hyvän vastauksen piirteet eivät ole osa Ylioppilastutkintolautakunnan yleisissä määräyksissä ja ohjeissa tarkoitettua tietoa siitä, miten arvosteluperusteita on sovellettu yksittäisen kokelaan koesuoritukseen. Alustavat hyvän vastauksen piirteet eivät sido Ylioppilastutkintolautakuntaa lopullisen arvostelun perusteiden laadinnassa.

Ylioppilastutkinnon kokeessa selvitetään, ovatko opiskelijat omaksuneet lukion opetussuunnitelman mukaiset tiedot ja taidot sekä saavuttaneet lukiokoulutuksen tavoitteiden mukaisen riittävän kypsyys. Kemian kokeessa arvioinnin kohteina ovat kemiallisen tiedon ymmärtäminen ja soveltaminen. Arvioinnissa otetaan huomioon myös kokeellisen tiedonhankinnan ja -käsittelyn taidot. Näihin kuuluvat esimerkiksi kokeiden suunnittelu, työvälineiden ja reagenssien turvallinen käyttö, tulosten esittäminen ja tulkitseminen sekä johtopäätösten tekeminen ja soveltaminen.

Kemian tehtäviä arvosteltaessa painotetaan oppiaineen luonteen mukaista esitystapaa sekä käsitteiden ja kielenkäytön täsmällisyyttä. Reaktioyhtälöt esitetään ilman hapetuslukuja pienimmin mahdollisin kokonaislukukertoimin ja olomuodoilla varustettuna. Orgaanisissa reaktioyhtälöissä käytetään rakennekaavoja, mutta olomuotoja ei tarvitse mainita. Rakennekaavojen eri esitystavat hyväksytään.

Laskennallisissa tehtävissä suureyhtälöjä ja kaavoja käytetään tavalla, joka osoittaa kokelaan ymmärtäneen tehtävänannon oikein ja soveltaneen ratkaisussaan asianmukaista periaatetta tai lakia. Vastauksesta ilmenee yksiselitteisesti, miten lopputulokseen päädytään, mutta laajoja välivaiheita ei tarvita. CAS-ohjelmia voi hyödyntää tehtävän eri vaiheissa. Merkintätapojen kannalta keskeisiä vaiheita ovat periaatteiden ja lakien sekä lopputuloksen ja johtopäätösten esittäminen. Lopputulokset annetaan lähtöarvojen mukaisella tarkkuudella yksiköineen ja johtopäätökset perustellaan.

Mittaus tuloksia ja niistä piirrettyjä kuvaajia hyödynnetään tiedon analysoinnissa ja johtopäätösten tekemisessä. Mittauspisteisiin sovitetaan asianmukainen suora. Mittauspisteiden välisiä arvoja voi interpoloida kuvaajaan silmämääräisesti lukemalla tai sopivalla ohjelmalla. Kuvaajaan merkitään akselien nimet, yksiköt ja asteikko. Kuvaajaan merkitään johtopäätösten kannalta olennaiset kohdat, kuten titrauskäyrän ekvivalenttikohhta tai hetkellistä nopeutta laskettaessa kyseinen tangentti.

Essee- ja selittämissä vastauksissa tekstiä täydennetään reaktioyhtälöillä, kaavoilla tai piirroksilla. Käsiteltäviä ilmiöitä kuvataan makroskooppisella, mikroskooppisella ja symbolisella tasolla. Vastauksesta ilmenee, että tehtävään liittyvää aineistoa on hyödynnetty, sovellettu, analysoitu ja arvioitu tehtävänannon mukaisesti. Hyvä vastaus on jäsenneilty ja sisällöltään johdonmukainen.

Vastaus arvostellaan tehtäväkohtaisten kriteerien mukaisesti. Lähtökohtana ovat vastauksen ansiot, joista kertyy pisteitä. Jos keskeinen kemiallinen periaate puuttuu tai se on virheellinen, pisteiden kertyminen päättyy. Tällöin virheellisen tuloksen siirtymistä eteenpäin ei hyväksytä (ei-VSE). Tällaiset virheet ovat esimerkiksi stoikiometriavirheet, väärä rajoittava tekijä tai väärä aine reaktioyhtälössä. Muiden puutteiden tai virheiden tapauksessa virheellisen tuloksen siirtyminen eteenpäin hyväksytään (VSE), jolloin pisteiden kertyminen jatkuu puutteen tai virheen jälkeen. Kokeen osan 3 vaativat tehtävät edellyttävät täsmällisempää periaatteiden hallintaa kuin kokeen alkupään perustehtävät. Kemian kannalta epätasällisesta kielenkäytöstä, pienestä laskuvirheestä tai likiarvojen huolimattomasta käytöstä vähennetään 0–3 p. esimerkiksi seuraavasti:

- pyörästys- ja kopiointivirheet, jotka eivät vaikuta lopputulokseen, -0 p.
- kopiointivirheet, pyörästysvirheet ja pienet huolimattomuusvirheet, jotka vaikuttavat lopputulokseen, yksittäinen pieni virhe rakennekaavassa -1 p.
- yksikönmuunnosvirheet, systemaattinen virhe rakennekaavassa tai muut vähäistä suuremmat virheet, jossa ei kuitenkaan ole väärä kemiallinen periaate, -2 p.

# Sisällys

## Osa 1: 20 pisteen tehtävä

1. Monivalintatehtäviä kemian eri osa-alueilta 20 p.

## Osa 2: 15 pisteen tehtävät

2. Vedyn valmistus ja käyttö polttoaineena 15 p.  
3. D<sub>3</sub>-vitamiini 15 p.  
4. Titraus 15 p.  
5. Videoita reaktioista ja reaktioyhtälöiden kirjoittaminen 15 p.  
6. Atomien ja ytimien rakenteet 15 p.  
7. Pakkausmateriaalien kierrätys 15 p.  
8. Hajuveden tuoksuaineen valmistusreaktio 15 p.

## Osa 3: 20 pisteen tehtävät

9. Litiumioniakun ylikuumentuminen 20 p.  
10. Kipulääkkeen arvoitus 20 p.  
11. Infrapunaspektroskopia 20 p.

Koe yhteensä 120 p.

# Osa 1: 20 pisteen tehtävä

## 1. Monivalintatehtäviä kemian eri osa-alueilta 20 p.

Valitse jokaisessa osatehtävässä parhaiten sopiva vaihtoehto. Oikea vastaus 2 p., väärä vastaus 0 p., ei vastausta 0 p.

1.1 Mikä seuraavista aineista on huoneenlämpötilassa olomuodoltaan kaasu? 2 p.

- hiilimonoksidi (2 p.)

1.2 Millä seuraavista aineista on suurin elektronegatiivisuus? 2 p.

- F (2 p.)

1.3 Minkä suolan vesiliuos on hapan? 2 p.

- NH<sub>4</sub>Cl (2 p.)

1.4 Mitä tapahtuu reaktiossa  $2\text{CuSO}_4 + 4\text{KI} \rightarrow 2\text{CuI} + \text{I}_2 + 2\text{K}_2\text{SO}_4$ ? 2 p.

- Jodi hapettuu ja kupari pelkistyy. (2 p.)

1.5 Mitä yhdistettä muodostuu veden lisäksi, kun butanoli ja etaanihappo reagoivat? 2 p.

- butyylietanaattia (2 p.)

1.6 Yhden moolin ideaalikaasunäytteen tilavuus kaksinkertaistuu, kun lämpötila pysyy muuttumattomana. Tällöin sen paine **2 p.**

- puolittuu. (2 p.)

1.7 Millä seuraavista metallipareista saadaan suurin kennojännite? **2 p.**

- Ni ja Mg (2 p.)

1.8 Mikä seuraavista yhdistelmistä voisi toimia puskuriliuoksena? **2 p.**

- $\text{NH}_3(\text{aq})$  ja  $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{aq})$  (2 p.)

1.9 Tislaamalla voidaan erottaa toisiinsa liuenneita aineita. Tislaus perustuu eroihin aineiden **2 p.**

- kiehumispisteessä. (2 p.)

1.10 Typpikaasussa molekyylien välillä on **2 p.**

- dispersiivoimia. (2 p.)

## Osa 2: 15 pisteen tehtävät

### 2. Vedyn valmistus ja käyttö polttoaineena 15 p.

Vetyä voidaan hyödyntää energian varastoinnissa ja siirtämisessä. Se on yksi mahdollinen ratkaisu maaöljypohjaisten polttoaineiden korvaamiseksi.

2.1 Eräässä elektrolyysikokeessa vetyä valmistettiin vedestä. Kokeen aikana reagoi 300,0 g vettä. Syntyneet kaasut kerättiin talteen. Kuinka suuri oli näin syntyneen vetykaasun ja kuinka suuri happikaasun tilavuus? Molempien kaasujen paine oli 101,325 kPa ja lämpötila 293,15 K. **8 p.**

$$n(\text{H}_2\text{O}) = m / M = 300,0 \text{ g} / 18,016 \text{ g/mol} = 16,6519 \text{ mol}$$

(1 p.)

Reaktioyhtälön  $2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$  mukaan

$$n(\text{H}_2) = n(\text{H}_2\text{O}) = 16,6519 \text{ mol}$$

(1 p.)

$$n(\text{O}_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{1}{2} \cdot 16,6519 \text{ mol} = 8,32595 \text{ mol}$$

(2 p.)

$$V(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \cdot RT/p = 16,6519 \text{ mol} \cdot 8,31446 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / (\text{mol} \cdot \text{K}) \cdot 293,15 \text{ K} / (101325 \text{ Pa})$$

$$V(\text{H}_2) = 0,4005624 \text{ m}^3 \approx 0,4006 \text{ m}^3 = 400,6 \text{ l}$$

(2 p.)

$$V(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) \cdot RT/p = 8,32595 \text{ mol} \cdot 8,31446 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / (\text{mol} \cdot \text{K}) \cdot 293,15 \text{ K} / (101325 \text{ Pa})$$

$$V(\text{O}_2) = 0,2002812 \text{ m}^3 \approx 0,2003 \text{ m}^3 = 200,3 \text{ l}$$

(2 p.)

2.2 Kun laboratoriossa valmistetaan vetyä veden elektrolyysillä, käytetään usein puhtaan veden sijaan vettä, johon on liuotettu natriumsulfaattia tai jotain muuta suolaa. Selitä, miksi näin tehdään. **3 p.**

Puhdas vesi johtaa huonosti sähköä, koska siinä on hyvin vähän varauksen kuljettajia. Vesiliuoksessa natriumsulfaatti (tai jokin muu suola) on hajonnut negatiivisen ja positiivisen varauksen omaaviksi



D<sub>3</sub>-vitamiini liukenee siis paremmin poolittomiin yhdisteisiin kuin veteen ja kuuluu siten rasvaliukoisiin vitamiineihin.

(1 p.)

**3.3** Erään tutkimuksen mukaan yhdisteen **2** ja D<sub>3</sub>-vitamiinin (**3**) välisen isomeroitumisreaktion tasapainovakion (*K*) arvo ihmisen ihon lämpötilassa on 11,4. Kun reaktio on saavuttanut tasapainon, on muodostunut seos, jossa on sekä D<sub>3</sub>-vitamiinia (**3**) että yhdistettä **2**. Kuinka monta prosenttia tästä seoksesta on D<sub>3</sub>-vitamiinia (**3**)? **8 p.**

Muodostetaan tasapainovakion lauseke:  $K = [D_3] / [2] = 11,4$ .

(1 p.)

Yhdisteen **2** ja D<sub>3</sub>-vitamiinin kokonaiskonsentraatio iholla:

$$c(\text{kok.}) = c(2) + c(D_3)$$

(1 p.)

Alkutilanteessa D<sub>3</sub>-vitamiinia ei ole vielä muodostunut, jolloin pätee  $c(2, \text{alussa}) = c(\text{kok.})$ .

Muodostetaan tasapainotaulukko:

	Yhdiste 2	D <sub>3</sub>
Alussa	$c(\text{kok.})$	0
Tasapainossa	$c(\text{kok.}) - x$	$x$

(2 p.)

Sijoitetaan tasapainokonsentraatiot tasapainovakion lausekkeeseen:

$$K = [D_3] / [2]$$

$$x / (c(\text{kok.}) - x) = 11,4$$

$$x = 11,4 \cdot c(\text{kok.}) - 11,4 \cdot x$$

$$12,4 \cdot x = 11,4 \cdot c(\text{kok.})$$

$$x = 11,4 \cdot c(\text{kok.}) / 12,4$$

D<sub>3</sub>-vitamiinin osuus kokonaismäärästä:

$$c(D_3) / c(\text{kok.}) = x / c(\text{kok.}) = 11,4 \cdot c(\text{kok.}) / (12,4 \cdot c(\text{kok.})) = 11,4 / 12,4 = 0,91935 \approx 91,9 \%$$

(4 p.)

## 4. Titraus 15 p.

Tehtävänäsi on määrittää etikkahappoliuoksen konsentraatio titraamalla natriumhydroksidiliuoksella, jonka konsentraatio on 0,100 mol/l. Tiedät, että etikkahappoliuoksen konsentraatio on noin 0,1 mol/l.

**4.1** Mitä välineitä tarvitset titraukseen? Selitä vaihe vaiheelta, miten titraus tehdään käytännössä. Miten ekvivalenttipiste havaitaan? **11 p.**

Titraukseen tarvitaan seuraavat välineet:

(1 p./väline, korkeintaan 4 p.)

- Byretti (1 p.), johon laitetaan reagenssi, jonka konsentraatio tunnetaan.
- Dekanterilasi tai vastaava astia (1 p.), jossa on reagenssi, jonka konsentraatio määritetään.
- Statiivi (ja kourat). (1 p.)
- Magneettisekoittaja / lasisauva / muu sekoittamiseen soveltuva väline. (1 p.)

- pH-mittari / pH-elektrodi / indikaattori, jolla titrauksen etenemistä voidaan seurata (tämä voi käydä ilmi myös suorituksen kuvauksesta). (1 p.)

Vastauksessa on kuvattu titrauksen suorittaminen.

(1 p./kohta, korkeintaan 6 p.)

- Alkutilavuus ja kulutus kirjataan työn aikana (tehdään laboratoriapäiväkirja/pöytäkirja).
- Luetaan byretin asteikko: byretissä kaarevan pinnan alimman kohdan tulee olla byretin viivan kohdalla.
- Natriumhydroksidi, jonka konsentraatio tunnetaan, lisätään vähän kerrallaan/tipoittain byretistä
- etikkahappoon, joka on dekantterilasissa.
- Dekantterilasissa olevan liuoksen pH-arvoa seurataan pH-mittarilla / indikaattorin värimuutoksia seurataan.
- Jokaisen NaOH-lisäyksen jälkeen liuos sekoitetaan / magneettisekoittaja pidetään jatkuvasti päällä.
- Kun lähestytään ekvivalenttipistettä, lisätään NaOH-liuosta vain tippa kerrallaan.

Ekvivalenttipisteen havaitseminen on vastauksessa selitetty. (2 p.)

- Selitys indikaattorin avulla: titraus lopetetaan, kun havaitaan pysyvä värimuutos.

TAI

- Selitys pH-mittarin avulla: pH-arvoa mitataan, kunnes ekvivalenttipiste on ohitettu, ja ekvivalenttipiste määritetään titrauskäyrän jyrkimmän nousun keskikohdalta.

**4.2 Onko liuos titrauksen ekvivalenttipisteessä hapan, neutraali vai emäksinen? Kumpi on parempi indikaattori tässä titrauksessa: metyyliipunainen vai fenoliftaleiini? Perustele vastauksesi ilman laskuja. 4 p.**

Ekvivalenttipisteessä liuos on emäksinen (1 p.), koska titrataan heikkoa happoa vahvalla emäksellä / koska ekvivalenttipisteessä liuoksessa on asetaatti-ioni, joka on heikko emäs (1 p.).

Indikaattoriksi soveltuu fenoliftaleiini (1 p.), koska sen värimuutos tapahtuu pH-arvossa 8,3–10,0 / emäksisessä pH-arvossa (1 p.).

## 5. Videoita reaktioista ja reaktioyhtälöiden kirjoittaminen 15 p.

Katso videot 5.A–5.C ja tee osatehtävät.

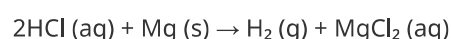
**5.1 Katso video 5.A. Magnesiumnauhan pala lisätään vetykloridihappoliuokseen. Mitä havaintoja teet reaktiosta? Kirjoita reaktioyhtälö. 5 p.**

Havainnot:

Reaktiossa muodostuu kaasukuplia. (1 p.)

Magnesiumnauha syöpyy tai liukenee. (1 p.)

Reaktioyhtälö:



Lähtöaine ja reaktiotuotteet (1 p.), kertoimet (1 p.), olomuodot (1 p.)

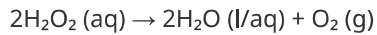
**5.2 Katso video 5.B. Kaliumjodidia lisätään vetyperoksidin vesiliuokseen. Kaliumjodidi katalysoi reaktiota. Mitä havaintoja teet reaktiosta? Kirjoita reaktioyhtälö. Katalyyttiä ei tarvitse merkitä reaktioyhtälöön. 5 p.**

Havainnot:

Reaktiossa muodostuu kaasukuplia. (1 p.)

Liuoksen väri muuttuu (keltaiseksi). (1 p.)

Reaktioyhtälö:



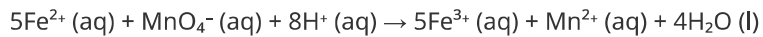
Lähtöaine ja reaktiotuotteet (1 p.), kertoimet (1 p.), olomuodot (1 p.)

**5.3** Katso video 5.C. Kaliumpermanganaattiliuosta lisätään happamaan rauta(II)sulfaattiliuokseen. Mitä havaintoja teet reaktiosta? Kirjoita reaktioyhtälö. **5 p.**

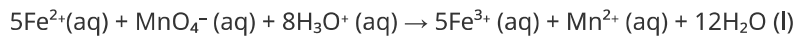
Havainnot:

Kaliumpermanganaattiliuoksen violetti väri häviää. (1 p.)

Reaktioyhtälö:



TAI



Lähtöaineet ja reaktiotuotteet (2 p.), kertoimet (1 p.), olomuodot (1 p.)

## 6. Atomien ja ytimien rakenteet 15 p.

Täytä tyhjät kohdat. Jokaiseen aukkoon tulee yksi sana tai luku.

Jokaisesta oikeasta sanasta tai luvusta 1 p.

**6.1** 1 p.

- 9 (1 p.)

**6.2** 1 p.

- 7 (1 p.)

**6.3** 1 p.

- 1 (1 p.)

**6.4** 1 p.

- neon (1 p.)

**6.5** 1 p.

- pelkistymiseksi (1 p.)

**6.6** 1 p.

- kovalenttisilla (1 p.)

**6.7** 1 p.

- +6 (1 p.)

**6.8** 1 p.

- +6 (1 p.)

6.9 1 p.

- 80 (1 p.)

6.10 1 p.

- +4 (1 p.)

6.11 1 p.

- 92 (1 p.)

6.12 1 p.

- 143 (1 p.)

6.13 1 p.

- plutonium (1 p.)

6.14 1 p.

- 239 (1 p.)

6.15 1 p.

- 94 (1 p.)

Myös muut oikeat ilmaisut hyväksytään.

Tämä tehtävä arvostellaan lautakunnassa keskitetysti, joten opettaja ei tee alustavaa arvostelua. Keskitetysti arvosteltavan vastauksen pisteet päivittyvät arvostelupalveluun lopullisen arvostelun edetessä. Vastauksen kohdalla näkyy arvostelupalvelussa viiva (-), kunnes kyseinen vastaus on arvosteltu.

## 7. Pakkausmateriaalien kierrätys 15 p.

Suuri osa kotitalousjätteestä on pakkausjätettä. Pakkausjätteen kierrätysaste on viime vuosina huomattavasti noussut. Tähän on osaltaan vaikuttanut jätelain uudistus, joka on lisännyt pakkausten tuottajien vastuuta ja edellyttänyt eri jätteiden lajittelua. Paperista tai kartongista valmistettujen kuitupakkausten sekä lasisten ja metallisten pakkausten kierrätysasteet ovat kaikki yli 80 %. Muovipakkausten kierrätysaste on näitä alhaisempi, noin 40 %.

7.1 Virvoitusjuomia ja elintarvikkeita pakataan usein alumiinista valmistettuihin tölkkeihin, jotka ovat kevyitä ja kestävät hyvin korroosiota. Selitä, mihin perustuu alumiinin hyvä korroosionkesto. 2 p.

Kun alumiini reagoi ilman hapen kanssa, sen pintaan muodostuu nopeasti alumiinioksidi-kerros, joka suojaa alumiinia korroosiolta. (2 p.)

7.2 Suuri osa pakkausalumiinista pystytään kierrättämään. Pohdi syitä alumiinin korkealle kierrätysasteelle. 4 p.

Vastauksessa voi pohtia esimerkiksi seuraavia syitä:

- Luonnossa ei esiinny puhdasta alumiinia, kun taas kierrätyksestä saadaan lähes puhdasta alumiinia jatkojalostukseen. (1 p.) Tämä kuluttaa vähemmän energiaa ja on siksi myös taloudellisesti kannattavaa. (1 p.)
- Alumiinin kemiallinen rakenne ei muutu kierrätysprosessissa (1 p.)
- Alumiinia on helppo muotoilla uusiin muotoihin. (1 p.)
- Virvoitusjuomatölkkien panttijärjestelmä kannustaa ihmisiä kierrättämään tölkit. (1 p.)

7.3 Paperista tai kartongista valmistetut kuitupakkaukset ovat Suomen käytetyin pakkausmateriaali. Paperi ja kartonki koostuvat pääasiallisesti selluloosakuidusta. Kuvaile selluloosan kemiallista rakennetta. Mitkä ovat vahvimmat

sidokset selluloosamolekyyliden välillä? 4 p.

Selluloosapolymerin ja -kuidun rakenteen kuvaus sekä vahvin selluloosaketjujen välinen sidos (enintään 3 p.):

- Selluloosa on polymeeri/polysakkaridi. (1 p.)
- Selluloosa koostuu glukoosimonomeereistä. (1 p.)
- Selluloosakuidussa vetysidos on vahvin sidos selluloosaketjujen välillä. (1 p.)

Seuraavista lisäksi enintään 1 p. (yksi huomio riittää):

- Lineaarinen ketju, minkä syynä on glykosidisidosten konformaatio.
- Useita hydroksiryhmiä, joten voi muodostua useita vetysidoksia.
- Glykosidisidos beeta (1→4).

7.4 Muovien keveys, kestävyys ja edullisuus tekevät niistä suosittuja pakkausmateriaaleja. Muovien kierrätysaste vaihtelee suuresti muovilaatujen välillä. Pohdi, mitkä seikat vaikeuttavat muovien kierrätystä. Selitä, miksi toiset muovit soveltuvat paremmin ja toiset huonommin kierrätettäväksi. 5 p.

Seikkoja, jotka vaikeuttavat muovien kierrätystä (enintään 3 p.):

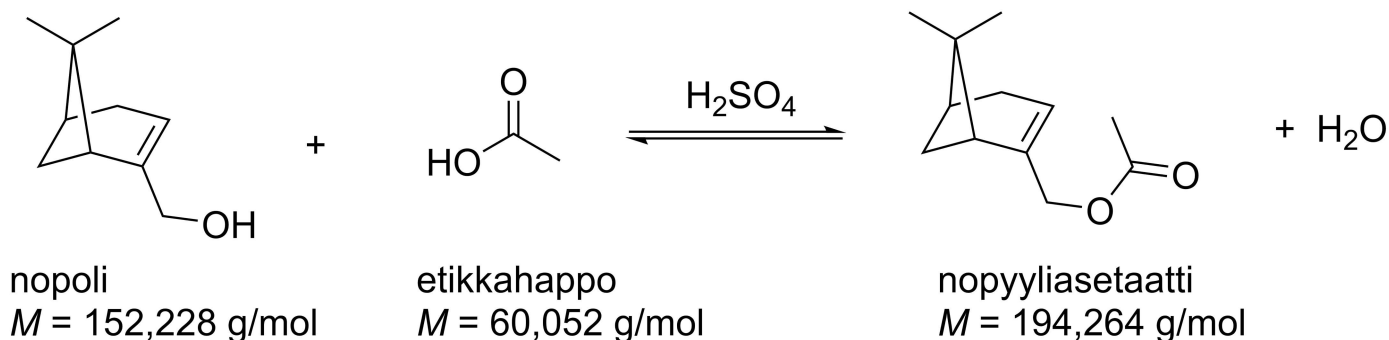
- Muovien valmistus on edullista, joten kierrätys ei ole aina taloudellisesti kannattavaa.
- Useimmat muovit sopivat myös energijätteenä, ja niitä polttamalla voidaan tuottaa energiaa. Tämä ei kuitenkaan ole kierrätystä, joten muovien käyttäminen energiantuotantoon laskee muovin kierrätysastetta.
- Erilaiset muovilajit on hankala erottaa toisistaan.
- Pakkausmateriaalina käytetty muovi on usein likaista, mikä hankaloittaa kierrätystä.

Syitä, miksi toiset muovit soveltuvat paremmin ja toiset huonommin kierrätettäväksi (enintään 2 p.):

- Polypropylenin ja polyetylenitereftalaatin kaltaiset kestumuovit voidaan sulattaa ja muotoilla uudelleen. Tällaisten muovien kierrätys on helpompaa ja kierrätysaste voi olla korkea.
- Kertamuoveja ei voi muotoilla uudelleen hajottamatta niiden polymeerirakennetta, jolloin niitä on vaikeampi kierrättää. Tämä on muovin valmistukseen verrattuna kallis prosessi, joten kierrätyksen saaminen taloudellisesti kannattavaksi on vaikeaa.

## 8. Hajuveden tuoksuaineen valmistusreaktio 15 p.

Nopyyliasettaatti on hajuvessissä käytetty aine, jonka tuoksu on hedelmäinen ja puinen. Nopyyliasettaattia voidaan valmistaa esimerkiksi kuvan esittämällä nopolin ja etikkahapon välisellä esteröintireaktiolla. Kuvassa on myös esitetty lähtöaineiden ja tuotteiden moolimassat. Käytä niitä tehtäväratkaisussa.



Eräessä kokeessa nopyyliasettaattia valmistettiin esteröintireaktiossa liuottamalla nopolia etikkahappoon. Nopolin massa oli 20,0 g ja etikkahapon 15,8 g. Reaktioseokseen lisättiin katalyytiksi rikkihappoa ja seos kuumennettiin 50 °C:n lämpötilaan. Reaktioseoksen kokonaistilavuus oli tällöin 26,4 ml.

8.1 Kun tasapaino oli saavutettu, nopyyliasettaatti eristettiin. Puhtaan ja eristetyn nopyyliasettaatin massa oli 15,1 g. Mikä oli nopyyliasettaatin prosentuaalinen saanto? 7 p.

$$n(\text{nopoli}) = m / M = 20,0 \text{ g} / 152,228 \text{ g/mol} = 0,13138 \text{ mol}$$

(2 p.)

$$n(\text{etikkahappo}) = 15,8 \text{ g} / 60,052 \text{ g/mol} = 0,26311 \text{ mol}$$

(1 p.)

Stoikiometristen kertoimien perusteella nopoli ja etikkahappo reagoivat keskenään ainemääräsuhteessa 1:1. Siten etikkahappoa on ylimäärin, ja nopoli on rajoittava tekijä. (2 p.)

Siten  $n(\text{nopoli}) = n(\text{nopyyliasettaatti})$ .

Nopyyliasettaatin teoreettinen saanto:

$$m(\text{nopyyliasettaatti}) = n(\text{nopyyliasettaatti}) \cdot M(\text{nopyyliasettaatti})$$
$$= 0,13138 \text{ mol} \cdot 194,264 \text{ g/mol} = 25,523 \text{ g}$$

(1 p.)

Prosentuaalinen saanto:  $15,1 \text{ g} / 25,523 \text{ g} = 0,5916 \approx 59,2 \%$ .

(1 p.)

Vastaus: Nopyyliasettaatin prosentuaalinen saanto oli 59,2 %.

8.2 Reaktion tasapainovakio 50 °C:n lämpötilassa on 2,90. Laske kaikkien yhdisteiden tasapainokonsentraatiot. 8 p.

$$c = n / V \text{ ja } n = m / M.$$

Yhdistämällä yhtälöt saadaan:  $c = m / (M \cdot V)$ .

$$c(\text{nopoli}) = m / (M \cdot V) = 20,0 \text{ g} / (152,228 \text{ g/mol} \cdot 0,0264 \text{ dm}^3) = 4,9766 \text{ mol/l}$$

(1 p.)

$$c(\text{etikkahappo}) = m / (M \cdot V) = 15,8 \text{ g} / (60,052 \text{ g/mol} \cdot 0,0264 \text{ dm}^3) = 9,9661 \text{ mol/l}$$

(1 p.)

$$K = \frac{[\text{nopyyliasettaatti}] \cdot [\text{vesi}]}{[\text{nopoli}] \cdot [\text{etikkahappo}]}$$

(1 p.)

Tasapainotarkastelu:

	nopoli	+	etikkahappo	⇌	nopyyliasettaatti	vesi
$c_{\text{alku}} \text{ (mol/l)}$	4,9767		9,9661		0	0
$c_{\text{tasapaino}} \text{ (mol/l)}$	4,9767-x		9,9661-x		x	x

(2 p.)

$$2,90 = x^2 / [(4,9767 - x) \cdot (9,9661 - x)]$$

$$x = 4,0319 \text{ tai } x = 18,7753$$

(1 p.)

Koska konsentraatioiden on oltava positiivisia, valitaan  $x = 4,0319$ .

Tasapainokonsentraatiot: (2 p.)

$$c(\text{nopoli}) = 4,9767 \text{ mol/l} - 4,0320 \text{ mol/l} = 0,9447 \text{ mol/l} \approx 0,945 \text{ mol/l}$$

$$c(\text{etikkahappo}) = 9,9661 \text{ mol/l} - 4,0320 \text{ mol/l} = 5,9341 \text{ mol/l} \approx 5,93 \text{ mol/l}$$

$$c(\text{nopyyliasettaatti}) = c(\text{vesi}) = 4,0320 \text{ mol/l} \approx 4,03 \text{ mol/l}$$

Vastaus:

$$c(\text{nopoli}) = 0,945 \text{ mol/l}$$

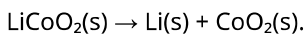
$$c(\text{etikkahappo}) = 5,93 \text{ mol/l}$$

$$c(\text{nopyyliasettaatti}) = c(\text{vesi}) = 4,03 \text{ mol/l}$$

## Osa 3: 20 pisteen tehtävät

### 9. Litiumioniakun ylikuumentuminen 20 p.

Litiumioniakkuja käytetään yleisesti ladattavassa elektroniikassa ja sähköautoissa. Akkuja voidaan valmistaa käyttämällä erilaisia kemiallisia yhdisteitä. Yleisesti anodimateriaalina käytetään litiumkoolttioksidia  $\text{LiCoO}_2$ , katodimateriaalina grafiittia sekä elektrolyyttinä jotakin orgaanista ainetta ja suoloja, jotka mahdollistavat litiumionien liikkeen. Akun lataamisen kokonaisreaktio on



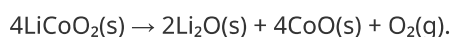
Alkuainemuodossa oleva litium kiinnittyy grafiittielektrodin pinnalle.

#### 9.1 Miksi litiumioniakussa ei voi käyttää vesiliuosta elektrolyyttinä? 3 p.

Alkuainemuodossa oleva litium reagoi veden kanssa ja hapettuu välittömästi.

#### 9.2 Kun litiumkoolttioksidia kuumennetaan, se alkaa hajota ja muodostaa kiinteää litiumoksidia, kiinteää kooltti(II)oksidia ja happea. Kirjoita hajoamisreaktion reaktioyhtälö. Laske $\text{LiCoO}_2$ :n hajoamisreaktion reaktioentalpia käyttäen taulukossa 9.A annettuja muodostumisentalpioita. 6 p.

Reaktioyhtälö on:



(3 p.)

Reaktioentalpia on

$\Delta H_r$ (hajoamisreaktio)

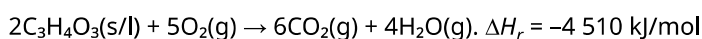
$$= 2 \cdot \Delta H_f(\text{Li}_2\text{O}) + 4 \cdot \Delta H_f(\text{CoO}) + \Delta H_f(\text{O}_2) - 4 \cdot \Delta H_f(\text{LiCoO}_2)$$

$$= 2 \cdot (-595,8 \text{ kJ/mol}) + 4 \cdot (-237,7 \text{ kJ/mol}) + (0 \text{ kJ/mol}) - 4 \cdot (-679,4 \text{ kJ/mol})$$

$$= 575,2 \text{ kJ/mol}.$$

(3 p.)

#### 9.3 $\text{LiCoO}_2$ :n hajoamisreaktiossa vapautunut happi voi reagoida edelleen elektrolyytin orgaanisten aineiden kanssa. Tällainen aine on esimerkiksi etyleenikarbonaatti $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$ . Sen palamisreaktio on



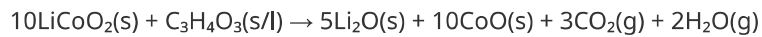
Hyödynnä etyleenikarbonaatin palamisreaktiota sekä osatehtävässä 9.2 kirjoittamaasi  $\text{LiCoO}_2$ :n hajoamisreaktiota ja kirjoita reaktioyhtälö kokonaisreaktiolle  $\text{LiCoO}_2$ :n ja etyleenikarbonaatin välillä. Oletetaan, että lämpötila on niin

korkea, että litiumkoolttioksidi hajoaa osatehtävässä 9.2 kuvatulla tavalla. Reaktioyhtälössä voi käyttää molekyylikaavoja.

Laske lisäksi kokonaisreaktion reaktioentalpia.

6 p.

Kokonaisreaktio:



(3 p.)

Kokonaisreaktion reaktioentalpia on

$$\Delta H_r(\text{kokonaisreaktio}) = (5 \cdot \Delta H_r(\text{hajoamisreaktio}) + \Delta H_r(\text{palamisreaktio}))/2$$

$$= (5 \cdot (575,2 \text{ kJ/mol}) + (-4\,510 \text{ kJ/mol}))/2$$

$$= -817 \text{ kJ/mol.}$$

(3 p.)

**9.4** Vikaantuessaan litiumioniakku voi kuumentua liikaa. Tällainen vika voi syntyä esimerkiksi akun varaustilaa valvovan virtapiirin toimintahäiriöstä. Pohdi, miksi litiumioniakun kuumeneminen voi johtaa hyvin vaaralliseen tilanteeseen. **5 p.**

Kuumentuessaan litiumkoolttioksidi alkaa vapauttaa happea. (2 p.)

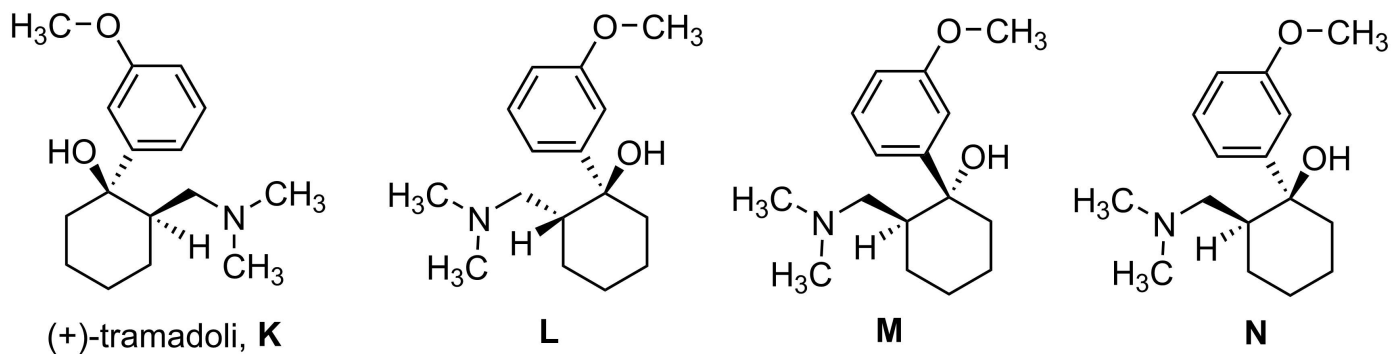
Tästä voi seurata esimerkiksi seuraavia asioita (1–3 p./selitetty seuraus):

- Litiumkoolttioksidin vapauttama happi reagoi elektrolyytin kanssa. Koska kokonaisreaktio on eksotermisen, siinä vapautuu lisää lämpöä, minkä seurauksena lisää litiumkoolttioksidia hajoaa ja reaktio ylläpitää itseään.
- Litiumkoolttioksidin vapauttama happi reagoi katodin pintaan kiinnittyneen litiumin kanssa.
- Palamisreaktioissa muodostuu kaasuja, jotka kasvattavat painetta akun kuoren sisällä, kunnes akku puhkeaa tai räjähtää paineen vaikutuksesta.
- Jos akku puhkeaa, elektrolyytti reagoi ilman hapen kanssa ja riittävän korkeassa lämpötilassa leimahtaa liekkeihin.
- Jos akku puhkeaa, katodin pintaan kiinnittynyt litium reagoi ilman hapen kanssa ja syttyy palamaan.

## 10. Kipulääkkeen arvoitus 20 p.

Tramadoli on 1970-luvulla markkinoille tullut synteettinen kipulääke. Tramadolilla on kuitenkin löydetty myöhemmin myös Kamerunista, Afrikasta, Nauclea-suvun puiden juurista. Kyseessä saattaa olla ensimmäinen tapaus, jossa ihmisen tuottamaa lääkeainetta on löytynyt myös luonnosta. Sittemmin on kuitenkin esitetty todisteita, että tramadoli olisi sittenkin päätyntä puiden juuriin karjan ulosteiden ja virtsan mukana eikä se olisikaan luonnonaine.

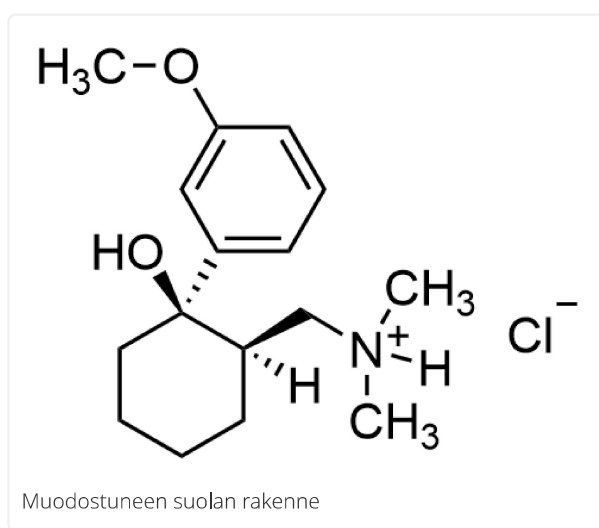
Voit hyödyntää aineistoa 10.A vastatessasi osatehtäviin.



10.1 Tramadoli reagoi happojen kanssa siten, että reaktion tuotteena on suola. Mikä tramadolin funktionaalinen ryhmä tällöin reagoi? Esitä (+)-tramadolol (K) ja vetykloridin (HCl) muodostaman suolan rakennekaava. 4 p.

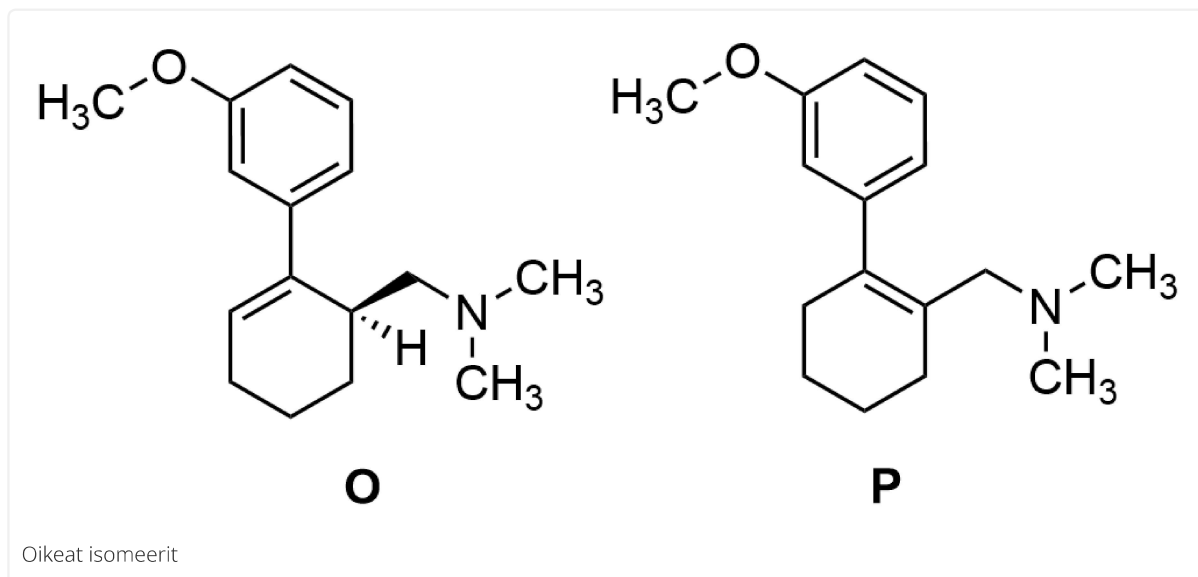
Aminoryhmä reagoi. (1 p.)

Suolan rakennekaava (3 p.)



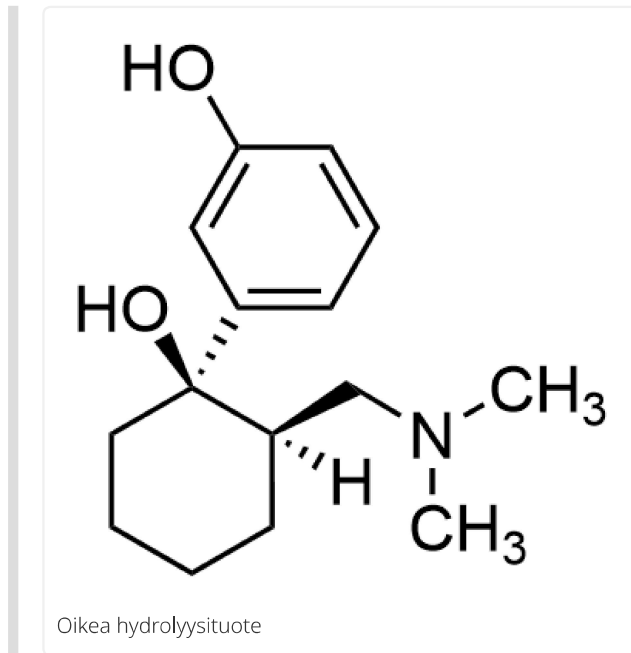
10.2 (+)-Tramadoli (K) voi reagoida eliminaatioreaktiossa, jolloin syntyy kaksi eri isomeeriä. Esitä näiden isomeerien rakennekaavat. 6 p.

3 p./isomeeri



Stereokemian kuvausta ei vaadita rakenteesta O.

- 10.3 (+)-Tramadolin (K) eetteriryhmä hydrolysoituu elimistössä, jolloin syntyy yhdistettä, joka sisältää fenoliryhmän. Tämä yhdiste on jopa sata kertaa alkuperäistä lääkeainetta tehokkaampi kipulääke. Esitä tämän hajoamistuotteen rakennekaava. 4 p.



- 10.4 Tramadolini synteesissä syntyy isomeerien K ((+)-tramadoli), L, M ja N seos. Seoksesta erotetaan pois kaksi isomeeriä, minkä jälkeen jää jäljelle lääkkeen vaikuttava aine, joka on (+)- ja (-)-tramadolini muodostama rasemaatti (raseeminen seos). Selitä, mitä rasemaatti (raseeminen seos) tarkoittaa.

Mikä isomeereistä L, M tai N on (-)-tramadoli? Jos tramadolia syntyisi luonnossa, olisiko todennäköistä, että se esiintyisi rasemaattina?

6 p.

Raseeminen seos sisältää yhtä paljon (1:1, 50:50) molempia enantiomeerejä eli tässä tapauksessa (+)- ja (-)-tramadolia. (2 p.)

Yhdiste N on (+)-tramadolini enantiomeeri. N:n täytyy olla (-)-tramadoli. (2 p.)

Luonnossa yhdisteet syntyvät entsyymien ohjaamana, eivätkä ne yleensä ole rasemaatteja (raseemisiä seoksia). Jos tramadoli olisi luonnonaine, (+)- ja (-)-tramadolini suhde olisi todennäköisesti jotain muuta kuin 50:50, eli luonnonaine ei olisi rasemaatti. (2 p.)

## 11. Infrapunaspektroskopia 20 p.

Infrapuna- eli IR-spektroskopia perustuu IR-säteilyn ja aineen vuorovaikutukseen. IR-säteily absorboituu molekyyliin ja aiheuttaa molekyyliin atomien ytimien välisiä sidosvärähdyksiä. Värähdykseen vaadittava energia riippuu sidokseen osallistuvien ytimien massoista ja sidoksen vahvuudesta. Infrapunaspektreissä värähdysenergia on yleensä kuvattu aaltolukuyksikköinä ( $\text{cm}^{-1}$ ).

- 11.1 Sinulla on näyte, jonka tiedät koostuvan yhdestä puhtaasta yhdisteestä. Lisäksi tiedät, että tämä yhdiste on toinen kahdesta mahdollisesta yhdisteestä. Miten IR-spektroskopian avulla selvitetään, kumpaa yhdistettä näyte sisältää?

IR-spektroskopia ei välttämättä riitä molekyyliin rakenteen yksiselitteiseen määrittämiseen. Nimeä jokin analyysimenetelmä, jolla saat lisätietoa tunnistamista varten. Analyysimenetelmän nimi riittää vastaukseksi.

6 p.

Mitataan tuntemattoman yhdisteen infrapunaspekttri.

Vaihtoehto 1:

Määritetään spektristä absorptiopiikkien aaltoluvut. (1 p.)

Tunnistetaan spektriipiikkejä vastaavat funktionaaliset ryhmät taulukon avulla. (2 p.)

Verrataan kahden mahdollisen yhdisteen rakenteesta löytyviä funktionaalisia ryhmiä spektriipiikkien avulla saatuun tietoon ja pyritään tunnistamaan näyte. (1 p.)

Vaihtoehto 2:

Verrataan yhdisteestä mitattua spektriä vertailuaineen spektriin. (2 p.)

Tunnistetaan yhdiste spektrien vastaavuuden kautta. Spektrien absorptiopiikkien aaltoluvut ja absorptiopiikkien muodot vastaavat toisiaan. (2 p.)

Toisen analyysimenetelmän nimeäminen:

Jos IR-spektroskopia ei riitä yhdisteen tunnistamiseen, voidaan käyttää lisäksi esim. seuraavia analyysimenetelmiä: massaspektrometria, NMR, UV-vis (tai jokin muu soveltuva analyysimenetelmä). (2 p.)

**11.2** Kumman sidoksen värähdysten aaltoluku on suurempi, C–O-sidoksen vai C=O-sidoksen? Perustele. Voit hyödyntää vastauksessasi tekstiä 11.A. **4 p.**

C=O-sidos on vahvempi kuin yksinkertainen C–O-sidos. (2 p.)

Tällöin C=O-sidoksen voimavakio on suurempi. (1 p.)

Siten C=O-sidoksen värähdysten aaltoluku on suurempi. (1 p.)

**11.3** Myös molekyylien välisten sidosten värähdyksiä voidaan tutkia spektroskooppisesti. Ovatko molekyylien välisten sidosten värähtelyjen aaltoluvut pienemmät vai suuremmat kuin molekyylien sisäisten sidosten? Perustele. Voit hyödyntää vastauksessasi tekstiä 11.A. **4 p.**

Molekyylien väliset sidokset ovat heikompia kuin molekyylien sisäiset sidokset (2 p.), joten niihin liittyvien sidosten voimavakiot on pienempiä (1 p.).

Molekyylien välisten sidosten värähtelyjen aaltoluvut ovat pienemmät kuin molekyylien sisäisten sidosten. (1 p.)

**11.4** Vetykloridin (HCl) vety voidaan korvata vedyn raskaammalla isotoopilla, <sup>2</sup>H:lla eli deuteriumilla. Deuteriumia merkitään molekyylikaavoissa myös kirjaimella D. Kaasumaisen HCl:n IR-spektrissä näkyvän absorptioon keskikohdan aaltoluku on  $\nu = 2\,890\text{ cm}^{-1}$ . DCl:n vastaava värähdysten aaltoluku on  $\nu = 2\,090\text{ cm}^{-1}$ .

Hyödynnä tekstiä 11.A ja laske HCl:n ja DCl:n kokeellisten värähdysaaltolukujen suhde  $\left(\frac{\nu_{\text{HCl}}}{\nu_{\text{DCl}}}\right)$ . Laske myös vastaava suhde harmonisen aaltoluvun lausekkeen avulla. Voit olettaa, että vedyn korvaaminen deuteriumilla ei vaikuta sidoksen voimavakioon.

**6 p.**

Kokeellisten aaltolukujen suhde

$$\frac{\nu_{\text{HCl}}}{\nu_{\text{DCl}}} = \frac{2890\text{ cm}^{-1}}{2090\text{ cm}^{-1}} \approx 1,38$$

(1 p.)

Atomien massat missä tahansa järkevissä yksiköissä

$m_{\text{H}}$ : 1,008 u / 1,008 Da / 1,008 g/mol

$m_{\text{D}}$ : 2,014 u / 2,014 Da / 2,014 g/mol

$m_{\text{Cl}}$ : 34,969 u / 34,969 Da / 34,969 g/mol (<sup>35</sup>Cl:n massa, hyväksytään myös 35,45 u eli kloorin keskimääräinen moolimassa)

(1 p.)

Aaltolukujen suhde harmonisen aaltoluvun lausekkeen kautta:

$$\mu_{\text{DCl}} = \frac{m_{\text{D}}m_{\text{Cl}}}{m_{\text{D}}+m_{\text{Cl}}} = \frac{2,014 \text{ u} \cdot 34,969 \text{ u}}{2,014 \text{ u} + 34,969 \text{ u}} = \frac{70,428 \text{ u}}{36,983 \text{ u}}$$

(1 p.)

$$\mu_{\text{HCl}} = \frac{m_{\text{H}}m_{\text{Cl}}}{m_{\text{H}}+m_{\text{Cl}}} = \frac{1,008 \text{ u} \cdot 34,969 \text{ u}}{1,008 \text{ u} + 34,969 \text{ u}} = \frac{35,249 \text{ u}}{35,977 \text{ u}}$$

(1 p.)

$$\frac{\nu_{\text{HCl}}}{\nu_{\text{DCl}}} = \frac{\frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{k_{\text{HCl}}}{\mu_{\text{HCl}}}}}{\frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{k_{\text{DCl}}}{\mu_{\text{DCl}}}}} = \sqrt{\frac{\mu_{\text{DCl}}}{\mu_{\text{HCl}}}}$$

(1 p.)

$$\frac{\nu_{\text{HCl}}}{\nu_{\text{DCl}}} = \sqrt{\frac{\frac{70,428}{36,983} \text{ u}}{\frac{35,249}{35,977} \text{ u}}} = \sqrt{\frac{35,977 \cdot 70,428}{35,249 \cdot 36,983}} \approx 1,39$$

(1 p.)