

Kemialliset sidokset lukion kemian opetuksessa

Linda Gustafsson
Pro gradu -tutkielma
4.9.2007

Kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto
Kemian koulutusohjelma
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Helsingin yliopisto
Ohjaajat: Maija Aksela ja Heikki Saarinen

Tiedekunta/Osasto - Fakultet/Sektion – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos - Institution – Department Kemian laitos	
Tekijä - Författare – Author Linda Gustafsson			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Kemialliset sidokset lukion kemian opetuksessa			
Oppiaine - Läroämne – Subject Kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto			
Työn laji - Arbetets art - Level Pro gradu -tutkielma	Aika - Datum - Month and year 4.9.2007	Sivumäärä - Sidoantal - Number of pages 56+18	
Tiivistelmä - Referat – Abstract Kemiallinen sidos on tärkeä käsite kemiassa ja sen opetuksessa, koska se luo perustan kemian ymmärtämiselle. Lukion opetussuunnitelman perusteissa kemiallinen sidos esiintyy kahden ensimmäisen kemian kurssin kohdalla ja on keskeinen osa lukion toisen kemian kurssin sisältöä. Koska kemialliset sidokset ovat teoreettisia malleja, oppilaiden on usein vaikea ymmärtää niitä. Tästä johtuen oppilailla on niistä paljon virhekäsityksiä. Oppilaiden virhekäsitykset ovat suuri haaste kemian opetukselle ja vain virhekäsitykset tuntemalla ne voidaan muuttaa. Käsityksen muutos on pitkän ajan kuluessa tapahtuva hidas prosessi. Tässä tutkimuksessa kehitettiin oppimateriaalia lukion kemian opetuksen tueksi. Tutkimus toteutettiin kaksiosaisena kehittämistutkimuksena. Ensimmäinen osa on tarpeiden kartoitus, jossa selvitettiin sisällönanalyysillä miten lukio-opetuksessa käsitellään kemiallista sidosta. Tutkimus toteutettiin tarkastelemalla lukion kemian oppikirjojen ja kemian ylioppilaskokeen sisältöjä. Tutkimuksen toisessa osassa kehitettiin oppilaille itsearviointitehtäviä tarveanalyysin ja aikaisemman tutkimustiedon pohjalta. Tutkimuksen tarveanalyysi osoitti, että lukion oppikirjoissa kemiallisia sidoksia käsitellään eri laajuuksilla. Tämä asettaa opettajille suuren haasteen tuntea opetussuunnitelman perusteet hyvin ja päättää, mitä sisältöjä oppikirjasta käsitellään. Kehitystutkimuksessa kehitettiin kemiallisiin sidoksiin liittyviä itsearviointitehtäviä lukioon kemian oppimisen tueksi. Tällainen arviointitehtävä auttaa oppilaita huomaamaan omat virhekäsityksensä ja luopumaan niistä. Virhekäsitystehtävät ovat hyvää materiaalia myös kemian opetukseen. Kemian oppimisen kannalta on tärkeää, että opettaja ottaa virhekäsitykset huomioon opetuksessaan.			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Kemian opetus, kemialliset sidokset, virhekäsitykset, käsityksen muuttaminen			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Kemian laitos			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information Ohjaajat: Maija Aksela ja Heikki Saarinen			

Kemialliset sidokset lukion kemian opetuksessa

Sisällys

Kemialliset sidokset lukion kemian opetuksessa	1
1 Johdanto	1
2 Kemiallinen sidos	2
2.1 Ionisidos	2
2.1.1 Ionien muodostuminen	3
2.1.2 Ionihila	3
2.1.3 Ionien koko	4
2.1.4 Ioniyhdisteiden ominaisuuksia	5
2.2 Kovalenttinen sidos	5
2.2.1 Lewisin kaava	6
2.2.2 Poolinen kovalenttinen sidos	7
2.2.3 Molekyyliorbitaaliteoria	9
2.3.4 Valenssisidosteoria	10
2.3.5 Molekyylin muoto – elektroniparien repulsioteoria	10
2.3.6 Kovalenttisten yhdisteiden ominaisuuksia	11
2.3 Metallisidos	11
2.3.1 Elektronimerimalli	12
2.3.2 Vyöteoria	12
2.4 Heikot vuorovaikutukset	12
2.4.1 Dipoli-dipolisidos	13
2.4.2 Vetysidos	13
2.4.3 Dispersiovoimat	14
2.5 Sidosenergia	14
3 Kemiallisen sidoksen oppiminen ja arviointi	15
3.1 Yleistä oppimisesta ja arvioinnista	15
3.2 Kemiallinen sidos lukion opetussuunnitelman perusteissa ja ylioppilaskokeessa	16
3.3 Oppilaiden käsityksiä kemiallisista sidoksista	18
3.3.1 Kovalenttinen sidos	19
3.3.2 Ionisidos	20
3.3.3 Metallisidos	21
3.3.4 Heikot sidokset	22

3.3.5 Kemiallisten sidosten energia	22
3.4 Kemian oppiminen ja virhe käsitykset.....	23
3.5 Kemian oppiminen ja käsityksen muuttaminen	25
3.6 Oppilaan itsearviointi käsityksen muutoksen tukena	27
4 Tutkimus	29
4.1 Tutkimuskysymykset.....	29
4.2 Tutkimuksen toteutus.....	29
4.2.1 Tarpeiden kartoitus	29
4.2.2 Kehittämistutkimus	30
5 Tulokset	32
5.1 Kemiallinen sidos lukio-opetuksessa.....	32
5.1.1 Kemialliset sidokset oppikirjoissa	32
5.1.2 Kemiallisten sidosten esittäminen oppikirjoissa.....	34
5.1.3 Kemiallinen sidos kemian ainereaalissa.....	37
5.2 Käsityksen muutosta tukevien tehtävien kehittäminen.....	40
5.2.1 Kovalenttinen sidos.....	42
5.2.2 Ionisidos	45
5.2.3 Metallisidos	47
5.2.4 Heikot sidokset	49
6 Johtopäätökset ja pohdintaa	51
Lähteet	54
Liitteet.....	57

1 Johdanto

Kemiallinen sidos on tärkeä asia lukion kemian opetuksessa. Lukion opetussuunnitelman perusteissa kemiallinen sidos esiintyy kahden ensimmäisen kemian kurssin kohdalla ja on keskeinen osa lukion toisen kemian kurssin sisältöä (Anon. 2003).

Kemiallisten sidosten oppimista on tutkittu paljon (mm. Coll & Taylor 2002, Nicoll 2001, Griffitin & Prestonin 1992, Boo 1998, Peterson & Treagust 1989, Birk & Kurtz 1999, Taber 1994, De Posada 1997). Koska kemialliset sidokset ovat teoreettisia malleja, oppilaiden on usein vaikea ymmärtää niitä (Taberin & Collin 2002). Tästä johtuen oppilailla on paljon virhekäsityksiä kemiallisista sidoksista. Näiden muuttaminen on suuri haaste kemian opetukselle ja onnistuu vain mikäli virheelliset käsitykset tunnetaan (Gilbert *et al.* 1982). Omaksutun käsityksen muutos on pitkän ajan kuluessa tapahtuva hidas prosessi. On tavallista, että oppilaat pitävät kiinni tiedosta, joka heillä jo on, huolimatta siitä onko tieto oikeaa vai väärää (Driver *et al.* 1985).

Tässä tutkimuksessa kehitetään oppimateriaalia lukion kemian opetuksen tueksi. Tarkoituksena on tukea oppilaiden virhekäsitysten muuttumista lähemmäs tiedeyhteisön käsitystä. Tutkimus toteutetaan kehittämistutkimuksena, joka on kaksiosainen. Ensimmäinen osa on tarpeiden kartoitus, jossa selvitetään, miten lukion oppikirjoissa käsitellään kemiallisia sidoksia ja miten niihin liittyviä tehtäviä on esiintynyt kemian ylioppilaskokeessa. Oppikirjoja tutkitaan, koska opetus tukeutuu usein oppikirjoihin (Uusikylä & Atjonen 2000). Kemian ylioppilaskoe puolestaan mittaa lukion oppimäärän osaamista valtakunnallisesti. Tutkimuksen toisessa osassa kehitetään oppimisaineisto.

Tutkielma koostuu kuudesta luvusta. Ensimmäinen luku on johdantoluku. Toinen ja kolmas luku muodostavat tutkimuksen teoreettisen viitekehyksen. Toisessa luvussa käsitellään kemiallista sidosta niiltä osin kuin on tarpeellista tutkimusosuuden kannalta. Kolmannessa luvussa käsitellään kemian oppimista, oppilaiden virhekäsityksiä ja niiden muuttamista. Neljännessä luvussa kuvataan tutkimusmenetelmiä. Viidennessä luvussa esitetään tarveanalyysin ja kehittämistutkimuksen tulokset. Kuudennessa luvussa pohditaan tutkimuksen tuloksia ja esitetään ehdotuksia jatkotutkimukselle.

2 Kemiaallinen sidos

Kemiaallinen sidos on eräs malli, jolla kuvataan kemian ilmiöitä. Mallien avulla pyritään selittämään luonnon toimintaa mikroskooppisella tasolla makroskooppisessa maailmassa. Jotta voisi ymmärtää kemiaa, on tunnettava malleja ja tiedettävä, miten niitä käytetään. Mallit pohjautuvat luonnosta saatuihin havaintoihin. Sidoksia kuvaava malli oli tarpeellinen kun huomattiin, että kemiaallisten reaktioiden tapahtuessa atomien ryhmittyminen muuttuu. Reaktioiden ymmärtämiseen on ensin tunnettava voimat, jotka sitovat atomeja yhteen. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)

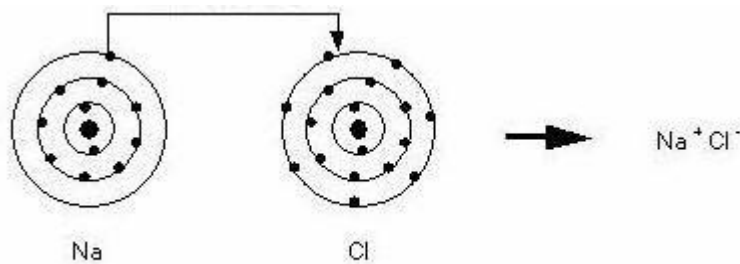
Sidosten mallit ovat mielekkäitä, koska niiden avulla voidaan kuvata ja ymmärtää ilmiöitä. Mallit eivät kuitenkaan aina vastaa todellisuutta. Varsinkin yksinkertaisia malleja käytettäessä on huomattava mallin puutteet ja rajoitukset. Vaikka malli toimisikin suuressa osassa tapauksia, se ei kuitenkaan välttämättä aina toimi. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)

Luonnon prosessit pyrkivät kohti minimienergiaa. Atomit ovat ryhmittyneitä, koska atomijoukon energia on alempi kuin erillisten atomien. Voimia, joiden seurauksena atomit sitoutuvat toisiinsa kutsutaan kemiaalliseksi sidoksiksi. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)

Tässä luvussa tarkastellaan kemiaallisista sidoksista niitä asioita, joita käsitellään lukiossa. Kemiaalliset sidokset voidaan luokitella vahvoihin ja heikkoihin sidoksiin. Tässä työssä käsiteltäviä vahvoja sidoksia ovat kovalenttinen sidos, ionisidos ja metallisidos. Heikkoja sidoksia ovat vetysidos, dipoli-dipolisidos ja dispersiovoimat.

2.1 Ionisidos

Ionisidos syntyy, kun atomi joka menettää elektroneja reagoi toisen atomin kanssa, joka vastaanottaa elektroneja. Tunnetuin ioniyhdiste on ruokasuola, natriumkloridi. Ruokasuolaa muodostuu, kun natriumatomi luovuttaa elektronin klooriatomille (kuva 1).



Kuva 1. Natriumkloridin muodostuminen

Koska anionit ja kationit ovat vastakkaismerkkisesti varautuneita, ne vetävät toisiaan puoleensa. Tätä ionien välistä sähköistä vetovoimaa kutsutaan ionisidokseksi. Ionisidoksellisia aineita kutsutaan ioniyhdisteiksi eli suoloiksi. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)

2.1.1 Ionien muodostuminen

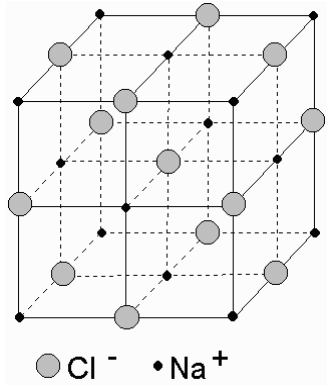
Ioni on atomi tai atomiryhmä, jolla on positiivinen tai negatiivinen varaus. Ioneja muodostuu, kun atomi tai atomiryhmä luovuttaa tai vastaanottaa elektroneja. Ionien muodostuessa atomi saa usein uloimmalle kuorelleen jalokaasurakenteen, oktetin. Oktettisäännön mukaan atomit pyrkivät saamaan uloimmalle elektronikuorelleen kahdeksan elektronia. Kolmannen ja sitä alempien jaksojen epämetalleilla voi olla uloimmalla kuorella myös 10 tai 12 elektronia. Siirtymämetallit taas noudattavat usein 18 ulkoelektronin sääntöä. (mm. Laitinen & Toivonen 1982)

Ioniyhdisteitä muodostuu vain silloin, kun muodostuvan ioniparin energia on alhaisempi kuin lähtöaineiden. Atomin luovuttaessa elektronin, siitä muodostuu positiivinen ioni, kationi. Atomin vastaanottaessa elektronin, siitä muodostuu negatiivinen ioni, anioni. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)

2.1.2 Ionihila

Ionihilan muodostuessa ionit järjestyvät kiinteään tilaan siten, että samanmerkkisten ionien repulsio on mahdollisimman pieni ja erimerkkisten ionien välinen vetovoima

mahdollisimman suuri. Esimerkiksi natriumkloridin hilassa jokainen natriumioni on kuuden kloridi-ionin ympäröimänä. Samoin jokainen kloridi-ioni on kuuden natriumionin ympäröimänä (ks. kuva 2).



Kuva 3. Natriumkloridin ionihila

Ioniyhdisteiden, esimerkiksi ruokasuolan, rakenne voidaan selittää ionien tiiveimmällä pakkauksella. Tyypillisesti suuremmat ionit, yleensä anionit, järjestyvät tiiveimmän pakkauksen järjestykseen ja pienemmät ionit, kationit, sijoittuvat näiden väleihin. Pakkautuminen tapahtuu siten, että samanmerkkisten ionien repulsio on mahdollisimman pieni ja erimerkkisten ionien välinen vetovoima mahdollisimman suuri. Suurempien ionien väliin jääviä aukkoja on kolmen muotoisia; kolmion, tetraedrin ja oktaedrin. Ionihilan muoto riippuu ionien kokoerosta. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)

2.1.3 Ionien koko

Ionien koko on tärkeä, kun määritetään ionihilan rakennetta. Ionien kokoa ei voida määrittää tarkasti. Useimmiten ionien säteet määritetään mittaamalla ionien ytimien välisiä etäisyyksiä. Ongelmaksi muodostuu, miten saatu etäisyys jaetaan kahden ionin kesken. Monet seikat vaikuttavat ionien kokoon. Positiivinen atomi muodostuu siten, että se luovuttaa elektroneja. Kationi on siten pienempi kuin atomi, josta se on muodostunut. Sama pätee anioneihin mutta vastakkaisesti: negatiivinen ioni on suurempi kuin atomi, josta se on muodostunut. Jaksollisessa järjestelmässä ionien koko kasvaa ryhmässä alaspäin mentäessä. Jaksojen kohdalla muutosta on hankalampi säännönmukaistaa, koska ioninmuodostuksessa tapahtuu suuri muutos siirryttäessä metalleista epämetalleihin.

Ionisoituessaan metallit luovuttavat elektroneja, kun taas epämetallit vastaanottavat niitä. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)

Ionien kokoa voi verrata isoelektronisten ionien kesken. Esimerkiksi O^{2-} , F^- , Na^+ , Mg^{2+} ja Al^{3+} omaavat kaikki neonin elektronirakenteen. Ionin kokoa ennustaessa tulee ottaa huomioon kaksi seikkaa: elektronien lukumäärä ja protonien lukumäärä. Kaikilla edellä mainituilla ioneilla on kymmenen elektronia. Protonien lukumäärä vaihtelee kahdeksasta 13:een. Oksidi-ionissa kymmentä elektronia vetää puoleensa kahdeksan protonia, kun alumiini-ionissa kymmentä elektronia vetää puoleensa 13 protonia. Tällöin oksidi-ionissa elektronit kohtaavat pienemmän vetovoiman kuin alumiini-ionissa. Tämä aiheuttaa ionikoon pienenemisen oksidi-ionista alumiiniin päin mentäessä. Yleisesti voidaan sanoa ionikoon kasvavan kun ionivaraus pienenee. (Zumdahl & Zumdahl 2003)

2.1.4 Ioniyhdisteiden ominaisuuksia

Ionisidos on vahva kemiallinen sidos, joten ioniyhdisteillä on korkeat sulamis- ja kiehumispistepisteet. Ioniyhdisteitä sanotaan myös suoloiksi. Suoloja muodostuu useimmiten silloin, kun metalli ja epämetalli reagoivat keskenään. Ne johtavat hyvin sähköä liuoksina ja sulatteina, jolloin ionit pääsevät liikkumaan vapaasti, toisin kuin ionihilassa. Ioniyhdisteet liukenevat poolisiin liuottimiin, mutta eivät liukene orgaanisiin liuottimiin. (Laitinen & Toivonen 1982)

2.2 Kovalenttinen sidos

Täysin kovalenttinen sidos muodostuu, kun kaksi samanlaista atomia reagoi keskenään. Kovalenttisessa sidoksessa atomit eivät täysin luovu elektroneistaan, vaan ottavat elektroneja yhteiskäyttöön. Yksinkertainen kovalenttinen sidos muodostuu, kun kaksi atomia luovuttaa yhden elektronin yhteiskäyttöön. Sidoksen muodostaa näin muodostunut yhteinen elektronipari. Sidoksen muodostuminen edellyttää, että systeemin kokonaisenergia alenee. Muodostuneessa molekyylissä toisiinsa sitoutuneiden atomien ydinten välistä etäisyyttä alimman energian vallitessa sanotaan sidospituudeksi.

Sidosta voi tarkastella myös siihen liittyvien voimien kautta. Kahden atomin välillä on protoni-protonirepulsio sekä elektroni-elektronirepulsio. Vetovoiman aiheuttaa elektronien ja protonien välinen vetovoima. Voima, jolla elektroni vetää puoleensa protonia muodostaa voiman, joka vetää kahta atomia toisiaan kohti. Tietyllä atomien etäisyydellä vetovoima ja repulsiovoimat tasoittuvat. Tätä etäisyyttä kutsutaan sidospituudeksi. Tällöin systeemin energia on alimmillaan ja elektronit ovat atomiytimien yhteisiä. Kovalenttisia sidoksia ovat siten sellaiset sidokset, joissa atomit jakavat sidoselektroninsa. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)

2.2.1 Lewisin kaava

Kovalenttisia sidoksia kuvataan usein Lewisin kaavalla, joka kertoo miten valenssielektronit ovat järjestyneet atomien välillä molekyylissä. Lewisin kaavassa elektroneja merkitään pisteillä, elektroniparia voidaan merkitä myös viivalla. Kaavaa piirrettäessä vain valenssielektronit merkitään alkuaineen kemiallisen merkin ympärille. Pääsääntönä on, että kaikki atomit saavuttavat jalokaasujen elektronirakenteen. Molekyylin Lewisin kaavassa lasketaan ensin kaikkien atomien valenssielektronien määrä. Sitten piirretään elektronipari kaikkien toisiinsa sitoutuneiden atomien välille. Viimeiseksi loput elektronit jaetaan atomien kesken siten, että vedyillä on kaksi elektronia ja toisen jakson atomeilla kahdeksan elektronia. Tarvittaessa voidaan piirtää kaksois- tai kolmoissidoksia atomien välille. Ionien Lewisin kaavoja esittäessä on elektronien lukumäärässä otettava huomioon ionin varaus. Negatiivinen yhdenarvoinen varaus tuo yhden valenssielektronin lisää. Samoin positiivinen varaus vähentää valenssielektronien määrää. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)

Esimerkiksi hiilidioksidin (CO₂) Lewisin kaava piirretään seuraavasti:

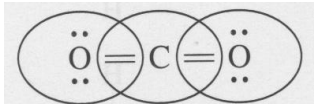
Hiilidioksidissa on yksi hiili ja kaksi happiatomia. Valenssielektroneja on $4+6+6=16$.

Hiili on sitoutunut molempiin happiatomeihin, joten piirretään sidosviivat niiden välille:



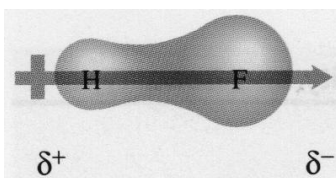
Nyt neljä elektronia on käytetty, käyttämättä on vielä 12 elektronia. Jos elektronit jaetaan tasan atomien kesken, vain hiili saa täyteen kahdeksan elektronia. Happiatomeilla on

kummallakin tällöin vain kuusi valenssielektronia. Piirtämällä kaksoissidokset yksinkertaisten sidosten sijaan saadaan elektronit riittämään siten, että kaikilla atomeilla on jalokaasujen elektronirakenne, oktetti:



2.2.2 Poolinen kovalenttinen sidos

Poolisia kovalenttisia sidoksia muodostuu, kun yhteen liittyvät atomit eivät ole samanlaisia, mutta niiden elektronegatiivisuusero ei ole niin suuri että muodostuisi ionisidos. Tällöin muodostuneessa molekyylissä toinen ydin vetää elektroneja puoleensa vahvemmin kuin toinen. Kun toinen atomeista vetää yhteisiä elektroneja vahvemmin puoleensa, se saa negatiivisen osittaisvarauksen ja toiselle atomille muodostuu positiivinen osittaisvaraus. Tällainen sidos omaa sekä kovalenttisen että ionisen luonteen. Mitä suurempi on atomien elektronegatiivisuusero, sitä suurempi on molekyylin ioniluonne. Esimerkkinä poolisesta kovalenttisesta sidoksesta on vetyfluoridimolekyyli (HF). Vetyfluoridissa fluori on huomattavasti vetyä elektronegatiivisempi, jolloin se vetää voimakkaammin yhteisiä elektroneja puoleensa (kuva 4). (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)



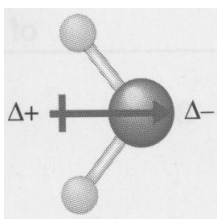
Kuva 5. Vetyfluoridi

Elektronegatiivisuudella tarkoitetaan molekyylissä olevan atomin kykyä vetää elektroneja puoleensa kemiallisessa yhdisteessä. Tunnetuin tapa määrittää elektronegatiivisuusarvoja on Linus Paulingin kehittämä. Elektronegatiivisuusarvot laskevat jaksollisessa järjestelmässä pääsääntöisesti oikealta vasemmalle ja ylhäältä alaspäin. Näin elektronegatiivisin alkuaine on jaksollisessa järjestelmässä oikealla ylhäällä ja elektropositiivisin vasemmalla alhaalla. Elektronegatiivisin alkuaine on fluori (suhteellinen elektronegatiivisuusarvo 4,0) ja vähiten elektronegatiivisin on frankium (0,7).

Elektronegatiivisuuseron ollessa nolla, sidos on puhtaasti kovalenttinen. Toisessa ääripäässä sidos on puhtaasti ioniluonteinen. Välimaastossa ovat pooliset kovalenttiset sidokset. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)

Kun eri atomit jakavat elektroneja muodostaakseen sidoksia, elektronit eivät useimmiten ole tasaisesti jakautuneet atomien välille. Tällöin kyseessä on joko poolinen kovalenttinen sidos tai ionisidos. Ionisidoksen ja poolisen kovalenttisen sidoksen eroa on hankala määrittää. Todennäköisesti puhtaasti ioniluonteisia sidoksia ei erillisten ionien välillä esiinny lainkaan. Tätä väitettä tukee prosentuaalisen ioniluonteen laskentakaava. Prosentuaalinen ioniluonne voidaan laskea vertaamalla kaasufaasissa mitattua dipolimomenttia laskettuun ionien väliseen dipolimomenttiin. Ioniluonne kasvaa, kun atomien elektronegatiivisuusero kasvaa. Mallia ei voida kuitenkaan soveltaa kiinteään aineeseen, jossa ionien välisten vuorovaikutusten määrä kasvaa. Toisena ongelmana on moniatomisten ionien välisten sidosten määrittäminen. Nämä vaikeudet kuitenkin vältetään, kun ioniyhdisteen määritelmänä pidetään: yhdiste, joka johtaa sähköä sulatettuna, on ioniyhdiste. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)

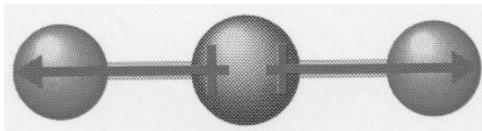
Vetyfluoridimolekyyli on poolinen, sen toinen pää on positiivisesti ja toinen pää negatiivisesti osittaisvarautunut. Tällaisella molekyylillä sanotaan olevan dipolimomentti. Dipolia merkitään nuolella, jonka kärki osoittaa sidoksen elektronegatiivisempaan päähän. Kaikki poolisen sidoksen omaavat kaksiatomiset molekyylit ovat dipoleja. Myös moniatomisilla molekyyleillä voi olla dipoliluonnetta. Esimerkiksi veden happiatomi on elektronegatiivisempi kuin vetyatomit. Tällöin vesimolekyyli käyttäytyy dipolina (kuva 6). Myös ammoniakkimolekyyli on dipoli. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)



Kuva 7. Vesimolekyyli

Kaikki yhdisteet eivät ole dipolisia, vaikka niissä on poolisia sidoksia. Näissä molekyyleissä pooliset sidokset ovat järjestyneet siten, että niiden vaikutukset kumoavat

toisensa. Esimerkiksi hiilidioksidimolekyyli on lineaarinen, jolloin hiilen ja hapen väliset pooliset sidokset kumoavat toistensa vaikutuksen (kuva 8). Neliatomisista molekyyleistä esimerkiksi tasomaisella rikkitrioksidilla symmetria kumoaa poolisuuden, samoin viisiatomisista molekyyleistä esimerkiksi tetraedrisellä metaanilla. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)



Kuva 9. Hiilidioksidimolekyyli

2.2.3 Molekyyliorbitaaliteoria

Kemiallisten sidosten tarkempi tarkastelu johtaa kvanttimekaniikkaan. Systemejä kuvataan aaltofunktioilla, jotka saadaan Schrödingerin yhtälöiden ratkaisuina. Tarkka ratkaisu voidaan johtaa kuitenkin vain yksielektronisille tapauksille. Muille tapauksille on tehtävä systeemiä yksinkertaistavia oletuksia, jotka johtavat yhtälön likimääräiseen ratkaisemiseen. Molekyyliorbitaaliteoria nojaa kvanttimekaniikkaan. Teorian mukaan sidosten muodostuessa syntyvät molekyyliorbitaalit rakentuvat atomiorbitaalien lineaarikombinaatioina. Elektronit täyttävät orbitaalit kasvavan energian mukaisessa järjestyksessä noudattaen Paulin kieltoääntöä ja Hundin sääntöä. Menetelmää kutsutaan LCAO-menetelmäksi (Linear Combination of Atomic Orbitals).

Yksinkertaisimmillaan molekyyliorbitaaliteoria selittää molekyyliorbitaalien muodostumisen yhdistelemällä atomien valenssikuoren orbitaaleja. Tällöin molekyyliorbitaaleja muodostuu yhtä monta kuin atomeilla on valenssiorbitaaleja. Osa muodostuvista orbitaaleista on sitovia ja osa hajottavia. Sitovien orbitaalien elektronitiheys keskittyy sidokseen osallistuvien atomien väliseen tilaan, kun hajottavien orbitaalien elektronit pyrkivät pois atomien välistä. Ainoastaan sellaiset atomit, joiden energiat ovat samaa suuruusluokkaa voivat muodostaa molekyyliorbitaaleja. Toisena ehtona atomien symmetrian sidosakselin suhteen on oltava samansuuntainen.

Kun molekyyliorbitaalia tarkastellaan sidoksen suunnassa, voidaan erottaa kaksi

sidostyyppiä, π -sidos ja σ -sidos. Sidostyyppiin vaikuttaa se, mitkä atomiorbitaalit osallistuvat sidoksen muodostamiseen. σ -sidos voi muodostua kahden s-orbitaalin, s- ja p_z -orbitaalin tai kahden p_z -orbitaalin lineaarikombinaationa. π -sidos voi muodostua kahden p_x -orbitaalin tai kahden p_y -orbitaalin välille. (Laitinen & Toivonen 1982)

2.3.4 Valenssisidosteoria

Valenssisidosteorian ja molekyyliorbitaaliteorian erona on se, että valenssisidosteoriassa tarkastellaan yksittäisiä sidoksia. Teorian mukaan vierekkäisten atomien orbitaalit peittävät toisiaan ja orbitaaleilla olevat elektronit keskittyvät näin muodostuvalle sidosorbitaalille. Elektronit ovat näin lokalisoituneita tiettyyn sidokseen. Tämä malli toimii useimmissa kaksiatomisissa molekyyliissä. Suuremmissa molekyyliissä teoriaa joudutaan laajentamaan hybridiorbitaaleihin.

Atomiorbitaalien hybridisoituessa saman atomin orbitaalien oletetaan sekoittuvan keskenään, jolloin muodostuu kaksi tai useampia samanlaisia hybridiorbitaaleja. Hybridiorbitaaleilla on tarkoin määriteltyt avaruudelliset suunnat. Sidosorbitaalit muodostuvat vierekkäisten atomien hybridiorbitaalien osittaisesta peittymisestä.

Yleensä hybridiorbitaalit muodostuvat atomin uloimman kuoren s-orbitaalin ja p-orbitaalien sekoittuessa. sp-hybridiorbitaali muodostuu yhden s-orbitaalin ja yhden p-orbitaalin sekoittuessa. sp^2 -hybridiorbitaali muodostuu yhden s-orbitaalin ja kahden p-orbitaalin sekoittuessa, kun sp^3 -hybridiorbitaali muodostuu yhden s-orbitaalin ja kolmen p-orbitaalin sekoittuessa. Syntyneillä orbitaaleilla on tarkka avaruudellinen suuntautuminen, joka vaikuttaa siihen mihin suuntaan sidos voi muodostua. Tämän mallin avulla on helppo selittää orgaanisten yhdisteiden muotoja. Esimerkiksi metaanin tetraedrimäinen muoto selittyy hiilen sp^3 -hybridiorbitaalin muodolla. Hybridiorbitaalien muodostumiseen voivat osallistua myös d-orbitaalit. (Laitinen & Toivonen 1982)

2.3.5 Molekyylin muoto – elektroniparien repulsioteoria

Elektroniparien repulsioteorian, VSEPR (Valence-Shell Electron-Pair Repulsion Theory), perusteella voidaan ennustaa molekyylin muoto. Teorian mukaan valenssikuorella olevat elektroniparit sijoittuvat mahdollisimman kauaksi toisistaan. Vapaan elektroniparin vaatima tila on suurempi kuin sidoselektroniparin vaatima. Sidoselektroniparin tila pienenee kun ligandin koko kasvaa. Kaksois- ja kolmoissidoksiin osallistuvat elektroniparit lasketaan yhtenä elektroniparina ja myös yhtenä sidoksena. Molekyylin muotoa selvittäessä ensin piirretään molekyylin Lewisin kaava, josta määritetään atomin valenssielektronien määrä. Elektronien määrästä päätellään sidoselektroniparien ja vapaiden elektroniparien määrä, joiden perusteella molekyylin muoto määritellään. (mm. Laitinen & Toivonen 1982)

2.3.6 Kovalenttisten yhdisteiden ominaisuuksia

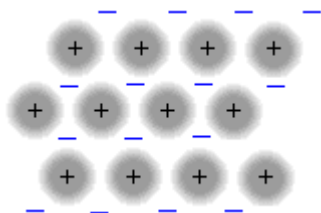
Kovalenttiset yhdisteet koostuvat molekyyleistä, joista useimmat säilyttävät luonteensa myös olomuodon muutoksessa. Molekyylien sisäiset sidokset ovat vahvoja kovalenttisia sidoksia, mutta niiden välillä on vain heikkoja sidoksia, kuten dipoli-dipolisolisidoksia ja dispersiovoimia. Koska molekyylien väliset sidokset ovat heikkoja, ovat molekyyliyhdisteiden sulamis- ja kiehumispisteet alhaisempia kuin ioniyhdisteillä. Jos aineessa tavataan kovalenttisin sidoksin sitoutuneita suuria atomihiloja, ovat sulamis- ja kiehumispisteet korkeita. Esimerkiksi timantti, jossa hiiliatomit ovat sitoutuneet toisiinsa kovalenttisin sidoksin, on tällainen aine. (mm. Laitinen & Toivonen 1982)

2.3 Metallisidos

Metallien fysikaalisten ominaisuuksien perusteella voidaan päätellä metallisidoksen poikkeavan muista sidoksista. Metallisidosta kuvaavan mallin täytyy huomioida metallien tyypilliset ominaisuudet: taottavuus, venyvyys, hyvä sähkön- ja lämmönjohtokyky kaikkiin suuntiin ja kiiltävyys. Vaikka metallin muotoa voi muuttaa suhteellisen helposti, on suuri osa metalleista kestäviä ja niiden sulamispiste on korkea. Tästä johtuen metallisidokset ovat vahvoja ja suuntautumattomia. (mm. Laitinen & Toivonen 1982)

2.3.1 Elektronimerimalli

Yksinkertaisin malli kuvaamaan metallisidosta on elektronimeri-malli. Elektronimerimallissa metallikationit ovat säännöllisessä muodossa muodostaen metallihilan. Metallihilan ajatellaan olevan upotettuna valenssielektroneista koostuvaan ”mereen” (kuva 10). (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)



Kuva 11. Elektronimeri

2.3.2 Vyöteoria

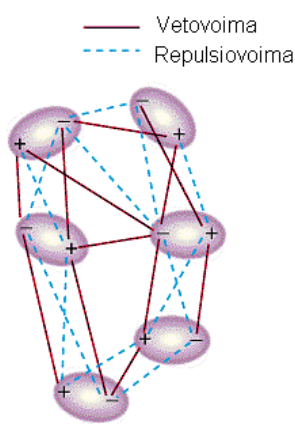
Nykyaikainen malli, joka täyttää metallisidoksen mallille asetetut ehdot on vyöteoria. Vyöteoria perustuu molekyyliorbitaalimalliin. Tässä mallissa elektronit vaeltavat metallikiteen ympäri molekyyliorbitaaleilla, jotka muodostuvat metalliatomien atomiorbitaaleista. Kun monta metalliatomia lähenee toisiaan, suuri määrä molekyyliorbitaaleja lähenee ja lopulta niistä muodostuu jatkumo eli vyö. Valenssielektronit täyttävät nämä vyöt vain osittain. Välissä olevat tyhjät molekyyliorbitaalit mahdollistavat metallikiteen lämmön- ja sähkönjohtokyvyn. Kun kiteeseen johdetaan sähköä, täysillä orbitaaleilla (valenssivyö) olevat elektronit virittyvät ja siirtyvät tyhjille orbitaaleille. Tällaisia johtavuuden mahdollistavia orbitaaleja sanotaan johtavuusvyöiksi. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)

2.4 Heikot vuorovaikutukset

Heikot vuorovaikutukset eli heikot sidokset ovat molekyylien välisiä vuorovaikutuksia. Tässä kappaleessa käsiteltäviä heikkoja vuorovaikutuksia ovat dipoli-dipolisidos, vetysidos ja dispersiovoimat.

2.4.1 Dipoli-dipolisidos

Poolisten molekyylien välille muodostuvia heikkoja vuorovaikutuksia sanotaan dipoli-dipolisidoksiksi (kuva 12). Ne muodostuvat poolisten molekyylien välille, kun elektronegatiivisempi atomi vetää elektroneja voimakkaammin puoleensa. Tällöin elektronegatiivisempi atomi saa negatiivisen osittaisvarauksen ja toinen pää positiivisen. Molekyylien erimerkkisesti varautuneet päät vetävät toisiaan puoleensa ja välille muodostuu heikko vuorovaikutus. Tämä vuorovaikutus on nimeltään dipoli-dipolisidos. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)



Kuva 13. Dipoli-dipolisidos

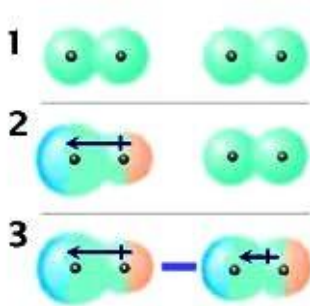
2.4.2 Vetysidos

Erityisen vahva dipoli-dipolisidos muodostuu, kun vety on sitoutunut vahvasti elektronegatiiviseen atomiin esimerkiksi happeen tai fluoriin. Vedyn ja elektronegatiivisen atomin välisessä sidoksessa elektronit eivät jakaudu tasaisesti, vaan elektronegatiivinen atomi vetää elektroneja vahvemmin puoleensa. Tällöin vedylle muodostuu positiivinen osittaisvaraus ja se voi muodostaa sidoksen toiseen elektronegatiiviseen atomiin. Tällaista sidosta nimitetään vetysidokseksi. Sidoksen suuren voimakkuuden aiheuttaa atomien suuri elektronegatiivisuusero ja vedyn pieni koko. Vaikka vetysidos on dipoli-dipolisidokseksi vahva, sen vahvuus on vain 5-10 % kovalenttisen sidoksen vahvuudesta. Vetysidoksia esiintyy esimerkiksi vesimolekyylien, vetyfluoridimolekyylien ja alkoholimolekyylien välillä. Vetysidokset aiheuttavat veden erityisominaisuudet, kuten korkean sulamis- ja

kiehumispisteen verrattaessa samankokoisiin molekyyleihin, joissa ei ole vetysidoksia. (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)

2.4.3 Dispersiovoimat

Myös poolittomien molekyyliden välillä esiintyy heikkoja sidoksia (kuva 14, kohta 1). Sidokset muodostuvat, kun molekyylin elektronit siirtyvät hetkellisesti enemmän molekyylin toiseen päähän. Tällöin molekyyliin syntyy varausjakauma (kohta 2). Hetkellinen varausjakauma vaikuttaa viereiseen molekyyliin ja näin syntyy heikko vetovoima molekyyliden välille (kohta 3). (mm. Zumdahl & Zumdahl 2003)



Kuva 15. Dispersiovoimat

2.5 Sidosenergia

Sidosenergian arvot osoittavat, kuinka lujasti atomit ovat sitoutuneita toisiinsa. Sidosenergia voidaan mitata suoraan vain kaksiatomisille molekyyleille, koska moniatomisissa molekyylissä kaikki sidokset vaikuttavat toisiinsa. Sidosdissosiaatioenergialla tarkoitetaan energiaa, joka tarvitaan sidoksen katkaisemiseen. (mm. Laitinen & Toivonen 1982)

3 Kemiallisen sidoksen oppiminen ja arviointi

Tässä luvussa käsitellään kemiallisen sidoksen oppimista ja arviointia lukion kemian opetuksessa. Ensin käsitellään oppimista ilmiönä, sitten lukion kemian opetukselle asetettuja tavoitteita. Tämän jälkeen käsitellään oppilaiden käsityksiä ja niiden muuttumista, sekä oppilaan itsearviointia käsityksen muuttamisen apuvälineenä.

3.1 Yleistä oppimisesta ja arvioinnista

Konstruktivistinen oppimiskäsitys nousi 1900-luvun lopulla behavioristisen oppimiskäsityksen vastapainoksi. Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan oppiminen on oppijan aktiivista työskentelyä. Oppijaa voi tukea ja haastaa ajattelemaan, mutta oppimisessa oppijan rooli on keskeisessä asemassa. Behavioristisen oppimiskäsityksen mukaan oppiminen on reagointia ulkoapäin tulevaan ärsykkeeseen ja perustuu tiedon vastaanottamiseen. (Lavonen *et al.* 2007, Puolimatka 2002) Konstruktivismilla on ollut viime vuosikymmeninä keskeinen asema opetusta koskevassa keskustelussa (Puolimatka 2002, Uusikylä & Atjonen 2000).

Konstruktivismin keskeinen ajatus on, että ihminen rakentaa itse oman todellisuutensa. Oppimisessa oleellista on aktiivinen toiminta, ei tiedon vastaanottaminen. Oppilas rakentaa itselleen oman tietomallin. (Puolimatka 2002) Oppimista muokkaa käsitysten erilaisuus, joka johtuu erilaisista kokemustaustoista. Käsitysten sisällöllinen eli laadullinen ero johtuu eri henkilöillä olevasta erilaisesta viitetaustasta. Esimerkiksi lukion oppilaan taustatieto kemiallisesta sidoksesta on hyvin erilainen kuin alan tutkijan. Viitetausta toimii perustana sille, miten ihminen ymmärtää jatkossa uuden kokemuksen, esimerkiksi opetuksen. (Syrjälä *et al.* 1994)

Käsite ja käsitys ovat saman asian kaksi puolta. Esimerkiksi kemiallinen sidos on käsite, josta oppilaalla on käsitys. Käsityksensä oppilas on muodostanut omien kokemustensa perusteella. Käsityksen varassa ihminen jäsentää edelleen uutta asiaa. Käsitys ei kuitenkaan ole sama kuin mielipide, vaan se on perusteista rakennettu kuva jostain asiasta. (Syrjälä *et al.* 1994) Käsitys ei myöskään ole sama kuin käsite, koska käsityksen pohjana

ovat oppijan omat kokemukset.

Arvioinnin tehtävänä on selvittää oppimisen laatua ja määrää sekä verrata niitä opetukselle asetettuihin tavoitteisiin. Arviointi kertoo opettajalle, miten hän on opetuksessaan onnistunut ja miten hän on saanut oppilaat opiskelemaan ja oppimaan. Arviointi antaa opettajalle myös palautetta siitä, miten hänen tulisi opetustaan kehittää. Oppilaalle arviointi kertoo, miten hän on päässyt tavoitteisiinsa. Arviointia käytetään myös asettamaan oppilaita paremmuusjärjestykseen, esimerkiksi peruskoulusta lukioon siirryttäessä. (Lavonen *et al.* 2007)

3.2 Kemiaallinen sidos lukion opetussuunnitelman perusteissa ja ylioppilaskokeessa

Kemiaallinen sidos on keskeinen asia lukion kemian opetuksessa. Kemiaallisten sidosten mallit ovat malleja kemiaallisista rakenteista ja ne selittävät kemiaallisia ilmiöitä. Lukion opetussuunnitelman perusteiden (Anon. 2003) johdanto-osassa sanotaan: *kemian opetukselle on luonteenomaista kemiaallisten ilmiöiden tulkitseminen ja selittäminen mallien ja rakenteiden avulla, sekä ilmiöiden kuvaaminen kemian merkkikielellä.* Tavoitteissa mainitaan kemian keskeisimpien peruskäsitteiden tunteminen, joihin kemiaallinen sidos kuuluu.

Lukion opetussuunnitelman perusteiden (Anon. 2003) mukaisesti lukion kemian opetus koostuu viidestä kurssista. Ensimmäinen on kaikille pakollinen kurssi Ihmisen ja elinympäristön kemia (KE1). Pakollisen kurssin lisäksi on neljä valinnaista kurssia: Kemian mikromaailma (KE2), Reaktiot ja energia (KE3), Metallit ja materiaalit (KE4) sekä Reaktiot ja tasapaino (KE5). Kemiaallinen sidos esiintyy Lukion opetussuunnitelmien perusteissa kahden ensimmäisen kurssin kohdalla (Taulukko 1).

Taulukko 1. Kemiaallinen sidos Lukion opetussuunnitelman perusteissa

Kurssi	Tavoitteet	Keskeiset sisällöt
KE1: Ihmisen ja elinympäristön kemia	• syventää aiemmin opittujen kemian perusteiden ymmärtämistä kurssilla käsiteltävien asioiden yhteydessä • osaa orgaanisten yhdisteiden rakenteita, niiden ominaisuuksia ja reaktioita sekä ymmärtää niiden merkityksen ihmiselle ja elinympäristölle	• orgaanisissa yhdisteissä esiintyvät sidokset sekä poolisuus
KE2: Kemian mikromaailma	• tuntee aineen rakenteen ja ominaisuuksien välisiä yhteyksiä • osaa käyttää aineen ominaisuuksien päättelyssä erilaisia kemian malleja, taulukoita ja järjestelmiä	• kemiallinen sidos, sidosenergia ja aineen ominaisuudet • atomiorbitaalien hybridisoituminen ja orgaanisten yhdisteiden sidos- ja avaruusrakenne

Ensimmäisen kurssin tavoitteissa mainitaan epäsuorasti kemiallinen sidos, kun puhutaan aiemmin opituista kemian peruskäsitteistä. Kemiallinen sidos kuuluu kemian peruskäsitteisiin, ja tavoitteena on *syventää aiemmin opittujen kemian perusteiden ymmärtämistä*. Kemiallinen sidos on myös tavoitteissa mainitun orgaanisten yhdisteiden rakenteisiin kuuluva asia. Keskeisissä sisällöissä mainitaankin suoraan *orgaanisissa yhdisteissä esiintyvät sidokset* sekä sidoksiin liittyvänä asiana poolisuus. Tavoitteena on osata *orgaanisten yhdisteiden rakenteita, niiden ominaisuuksia ja reaktioita sekä ymmärtää niiden merkityksen ihmiselle ja elinympäristölle*. (Anon. 2003)

Ensimmäisen kurssin kohdalla mainitun orgaanisten yhdisteiden rakenteiden tuntemisen lisäksi toisen kurssin tavoitteena on tuntea aineen rakenteen ja ominaisuuksien välisiä yhteyksiä ja osata käyttää aineen ominaisuuksien päättelyssä erilaisia kemian malleja, taulukoita ja järjestelmiä. Toisen kurssin keskeisissä sisällöissä mainitaankin suoraan kemiallinen sidos ja sidosenergia sekä atomiorbitaalien hybridisoituminen, joka on sidosten muodostumista. Keskeisiin sisältöihin kuuluu myös orgaanisten yhdisteiden sidos- ja avaruusrakenteet.

Ylioppilaskoe mittaa lukion oppimäärän osaamista valtakunnallisesti. Ylioppilaskoe uudistui keväällä 2006 siten, että kemia kirjoitetaan nyt omana aineenaan, kun aiemmin kaikki reaaliaineet olivat samassa kokeessa. Ylioppilaskokeen tehtävät laaditaan valtakunnallisen opetussuunnitelman perusteiden pakollisten ja valinnaisten kurssien pohjalta. Kemian ainereaalissa on 12 kysymystä, joista kahdeksaan tulee vastata. Tehtävät ovat vaatimustasoltaan eritasoisia. Helpoimmissa tehtävissä vaaditaan vain muistamista, kun vaativimmat tehtävät mittaavat tiedon mallintamista ja soveltamista. Tehtävät ovat muodoltaan selostuksia, kuvailuja, esseitä, ongelmanratkaisua tai laskennallisia. Mukana on tavallisesti myös avoin kokeellinen tehtävä. Tehtävistä 1-4 voi olla oppiainerajat ylittäviä tehtäviä. Tehtävistä 1-2 on eri kurssien tietojen yhdistämistä vaativia jokeritehtäviä, joissa maksimipistemäärä on tavallisten tehtävien kuuden pisteen sijaan yhdeksän pistettä. (Ylioppilastutkintolautakunta 2003)

3.3 Oppilaiden käsityksiä kemiallisista sidoksista

Kemiallisten sidosten oppimista on tutkittu ulkomailla paljon (mm. Coll & Taylor 2002, Nicoll 2001, Griffitin & Prestonin 1992, Boo 1998, Peterson & Treagust 1989, Birk & Kurtz 1999, Taber 1994, De Posada 1997), mutta kotimaassa vähän. Oppilaat käyttävät mieluiten mahdollisimman yksinkertaisia malleja kuvaamaan sidoksia. Jopa jatko-opiskelijat käyttävät yksinkertaisia malleja, kuten elektronimeri-mallia kuvaamaan metallisidosta ja oktettisääntöä kuvaamaan kovalenttista sidosta. (Coll & Taylor 2002)

Oppilailla on ongelmia atomin ja molekyylin käsitteiden erottamisessa. Vaikeuksia tuottaa myös erilaisten mallien yhteensovittaminen. Oppilaat sekoittavat keskenään esimerkiksi oktettisäännön ja valenssielektroniteorian muodostaen näin omia malleja ja sääntöjä, jotka eivät ole toimivia. Oppilaat yhdistelevät myös orbitaaliteoriaa ja Bohrin atomimallia keskenään. Tällaisen yhdistelmäteorian mukaan elektronit kiertävät orbitaalin ydintä radoillaan kuten planeetat aurinkoa. (Nicoll 2001)

Oppilaat antavat usein atomeille ja molekyyille tunteita. Oppilaiden mukaan atomit ja molekyylit voivat mm. haluta elektroneja, etsiä elektroneja ja olla iloisia. Tosin on vaikea

tietää luulevatko oppilaat molekyyleillä todella olevan tunteita vai käyttävätkö he vain opettajan käyttämiä ilmaisuja. (Nicoll 2001)

Oppilaat selittävät kemiallista sidoksen olemassaoloa sillä, että elektronit vetävät toisiaan puoleensa. Joidenkin mielestä taas ydin työntää elektroneja luotaan. Osa oppilaista selittää, etteivät elektronispinit ole todellisia vaan tiedemiesten selittävän teorialla tutkimustuloksia. Oppilaat voivat myös luulla etteivät molekyylit, atomit tai elektronit liiku lainkaan. (Nicoll 2001).

Griffitin ja Prestonin (1992) tutkimuksessa yli puolet kahdennentoista vuosikurssin opiskelijoista eivät käsittäneet, minkä kokoisia molekyylit todellisuudessa ovat. Oppilaat kuvailivat vesimolekyylin olevan esimerkiksi lyijykynän tekemän pisteen tai pölyhiukkasen kokoinen. Oppilaat uskoivat myös pystyvänsä punnitsemaan vesimolekyylin. Heidän oli vaikeaa ymmärtää myös molekyylin muodon pysyvän samana. Yli kolmasosa tutkituista oppilaista uskoi molekyylin muodon muuttuvan lämpötilan muuttuessa.

3.3.1 Kovalenttinen sidos

Kovalenttista sidosta kuvatessa opiskelijat turvautuvat ajatukseen elektronien jakamisesta. Elektronien jakaminen selitetään usein oktettisäännön kautta. Osa opiskelijoista sekoittaa oktettisäännön ja molekyyliorbitaaliteorian keskenään muodostaen omaksi teoriakseen näiden yhdistelmän (Coll & Taylor 2002). Kovalenttisen sidoksen ajatellaan syntyvän silloin, kun atomit jakavat yhden elektronin. Oppilaiden mielestä metallit voivat muodostaa kovalenttisen sidoksen epämetallien kanssa. (Boo 1998).

Vaikka molekyyli on poolinen, oppilas voi ajatella elektroniparin jakautuvan tasaisesti sidokseen osallistuvien atomien välillä. Ajatellaan myös, että pooliton molekyyli voi muodostua vain yhtä elektronegatiivisista atomeista. (Peterson & Treagust 1989, Birk & Kurtz 1999) Osa oppilaista luulee, että ionivaraus osoittaa sidoksen poolisuutta. Uskotaan myös, että molekyyli on poolinen, koska sidos on poolinen. Molekyylin uskotaan rakentuvan tietynlaisista atomeista ja näistä riippumattomista sidoksista. (Birk & Kurtz

1999).

Sidoksen muodon uskotaan olevan pelkästään sidoselektronien aiheuttamaa, mutta toisaalta myös pelkästään vapaiden elektroniparien aiheuttamaa. Myös sidoksen poolisuuden luullaan aiheuttavan molekyylin muodon. (Peterson & Treagust 1989)

Sidoksen muodostavien elektronien liikkeen arvellaan tapahtuvan tarkasti kahden atomin välillä vaikka molekyylissä olisi useampia atomeita. Tämän perusteella voi ajatella, ettei oppilailla ole mitään käsitystä molekyyliorbitaaliteoriasta. Oppilailla voi olla käsitys, että elektronit ovat juuri tietyn etäisyyden päässä ytimeistä. Kahden atomin molekyylissä tämä tarkoittaisi sitä että elektroneilla on kahdeksikon muotoinen rata, joka kulkee atomiytimien ympäri. Oppilaat uskovat myös, että orbitaalit ovat rakentuneet elektronikuorista. Osa heistä ajattelee kuorten ja orbitaalien olevan synonyymejä. Erään oppilaiden käsityksen mukaan orbitaaleilla on jokin keskipiste, jota elektronit kiertävät tietyllä etäisyydellä. (Nicoll 2001).

3.3.2 Ionisidos

Oppilaalla voi olla käsitys, että ionisidos tarkoittaa aina kahden ionin keskinäistä elektrostaattista vuorovaikutusta (Coll & Taylor 2002). He sekoittavat ionisidoksen ja kovalenttisen sidoksen käsitteen siten, että ionisidosten ajatellaan muodostuvan elektronien jakamisesta, kun taas kovalenttisen sidoksen ajatellaan muodostuvan elektronien siirtämisestä. (Boo 1998)

Pyydettyäessä oppilaita piirtämään ionisidosta he sanovat etteivät osaa piirtää sitä. Oppilas saattaa selittää, ettei ionisidos ole oikea sidos kuten kovalenttinen sidos. Osa oppilaista väittää, että kahden ionin muodostaessa ionisidoksen elektrostaattiset vuorovaikutukset kumoavat toisensa ja tuloksena on neutraali molekyyli. Tällaisella molekyylillä on oppilaiden teorian mukaan sidoksia myös ympäröiviin ”molekyyleihin”, mutta ne ovat heikompia kuin ”molekyylien” sisäiset sidokset. (Boo 1998) Erään oppilaiden teorian mukaan ionisidos muodostuu kahden atomin välille ja ympäröiviin ioneihin kohdistuva vuorovaikutus on vain voima. (Taber 1994)

Liouksessa olevien anionien ja kationien välillä uskotaan myös olevan ionisidoksia. Osa oppilaista uskoo, että ionisidokset katkeavat liuotuksen aikana muodostaen neutraaleja atomeja (Boo 1998). Elektronirakenteen luullaan määrävän sen kuinka monta ionisidosta atomi voi muodostaa. Esimerkiksi natrium voi muodostaa yhden ionisidoksen, koska natriumin ionivaraus on yksi. (Taber 1994)

3.3.3 Metallisidos

Metallisidoksen ymmärtäminen on Coll & Taylorin (2002) tutkimuksen mukaan vaikeaa. Kuitenkin on vaikeaa sanoa, minkälaisia virhekäsityksiä opiskelijoilla on. Tutkimuksessa opiskelijoiden vastauksissa toistui useasti ”en tiedä”. Oppilaiden mielestä metallisidos ei ole oikea sidos kuten kovalenttinen sidos (Boo 1998). Oppilaat perustelevat metallisidokäsityksiään makromaailman kokemuksillansa, koska eivät ymmärrä mistä mikromaailmassa on kyse (De Posada 1997). Collin ja Treagustin (2003b) mukaan oppilaat suosivat metallisidoksesta elektronimeren mallia. Kuitenkin oppilaiden selittäessä mallia, he eivät onnistu selittämään sitä oikein.

Myös De Posadan (1997) tutkimuksen oppilaista puolet käyttää elektronimerimallia kuvaamaan metallisidosta. Osa heistä piirtää metallihilaan kationeiden tilalle atomeja. Elektronien siirtoa selitetään sillä, että paristossa negatiivinen ja positiivinen pää törmäävät yhteen ja pariston varaus siirtyy metalliin tai lämpötilaerot siirtävät lämmön. Toisaalta uskotaan myös siihen, että jotkut atomit passiivisina antavat sähkön virrata lävitseen, siirtävät sähkövirtaa atomilta toiselle tai atomit itse siirtyvät siirtäen sähköä. Erään käsityksen mukaan sähkövirta mahtuu liikkumaan elektronimeren lomitse elektroneilta jäävän tyhjän tilan lävitse. Toisaalta taas uskotaan siihen, että elektronit johtavat sähkövirtaa. Oppilaiden omissa malleissa sähkönsiirto on siirretty metallien ominaisuuksista elektronien ominaisuuksiin. Heidän on vaikea ymmärtää elektronien roolia. Joidenkin oppilaiden mielestä sähkövirran voi synnyttää atomien, ionien tai jonkin muiden partikkelien liike. Oppilaille tuottaa vaikeuksia yhdistää sähkönsiirtoisuuden kemiantunneilta tuttu mikroskooppinen ja fysiikan tunneilta tuttu makroskooppinen luonne. (De Posada 1997)

3.3.4 Heikot sidokset

Molekyylien välisten sidosten ymmärtäminen on yleensä ongelmallista oppilaille (De Posada 1997). Heikkojen, molekyylien välisten sidosten luullaan olevan molekyylin sisäisiä sidoksia. Kovalenttisen kiinteän aineen sisällä uskotaan olevan vahvoja molekyylien välisiä sidoksia. (Peterson & Treagust 1989). Jotkut oppilaat taas pitävät molekyylien välisiä sidoksia vahvempina kuin molekyylien sisäisiä sidoksia (Peterson 1989).

Griffitin ja Prestonin (1992) tekemässä tutkimuksessa 12. vuosikurssin opiskelijat eivät hallinneet vetysidosta. Yli kolmannes opiskelijoista väitti, etteivät jäässä olevien vesimolekyylien välillä ole sidoksia. Yli kolmannes luuli myös, että jäässä vesimolekyylit koskettavat toisiaan, eikä niiden välille jää tilaa. Taberin (2002) tutkimuksen mukaan oppilaat kuulivat vetysidoksesta ensimmäisen kerran biologian tunnilla ja ajattelivat vetysidoksen olevan mikä tahansa vedyn (kovalenttinen) sidos, esimerkiksi metaanissa oleva hiilen ja vedyn välinen sidos. Kun oppilaille selvisi vetysidoksen oikea merkitys, he lakkasivat pitämästä vetysidosta oikeana sidoksena.

3.3.5 Kemiallisten sidosten energia

Oppilaiden käsityksiä kemiallisten sidosten energiasta on tutkittu vähän. Tutkimusten mukaan oppilaat eivät ymmärrä, että kemiallinen sidos syntyy vain silloin, kun se alentaa systeemin energiaa. Sen sijaan uskotaan, että kemiallisen sidoksen syntymiseen on syynä monia erilaisia voimia.

Uskotaan että esimerkiksi ympäristöstä absorboitunut lämpö aiheuttaa kemiallisen sidoksen syntymisen, tai että yksi reagoivista aineista on sidoksen synnyttävä voima, tai että aineiden erilaisuus synnyttää sidoksen. Oppilaat luulevat, että sidoksen muodostumiseen tarvitaan aina energiaa ja sen hajoaminen vapauttaa energiaa. Ruuasta tuleva energia syntyy sidosten katketessa, eikä sillä ole mitään tekemistä hapen ja ruuan

reaktion kanssa.

Toisena vaihtoehtona on, että oppilaat ajattelevat sekä sidoksen muodostumisen että sidoksen hajoamisen sitovan energiaa (Boo 1998). Atomin reaktiivisuudesta selitetään seuraavasti: ”mitä kauemmas ytimeä elektroni sijaitsee, sitä vaikeampi sitä on irrottaa atomista” (Nicol 2001).

3.4 Kemian oppiminen ja virhe käsitykset

Kun puhutaan oppilailla olevista tiedeyhteisön näkemyksestä poikkeavista käsityksistä, käytetään monia eri termejä kuvaamaan likimain samaa asiaa. Tällaisia käsitteitä ovat esim. naiivit käsitykset, ennakkokäsitykset, vaihtoehtoiset viitekehukset, lasten tiede, naiivit teorit, naiivit uskomukset, intuitiiviset uskomukset, oppijan tiede ja virhe käsitykset, (Boo 1998). Myös termejä väärä ennakkokäsitys, oppilaan ennakkokäsitys ja vaihtoehtoinen käsitys käytetään (Lavonen *et al.* 2006). Tässä tutkimuksessa kaikista näistä on käytetty termiä virhe käsitys (Boo 1998).

Driver *et al.* (1985) kertoo oppilaiden käsitysten olevan osaksi samanlaisia kuin historialliset tieteen käsitykset. Erona on kuitenkin, että vain osa ajatuksista on samoja. Eroa vahvistaa se, että tieteen historian käsitykset ovat olleet perusteltuja, ajan tieteellisiin tosiasioihin pohjautuvia faktoja, toisin kuin oppilaiden käsitykset.

Virhe käsityksiä syntyy oppilaille monista eri syistä, esimerkiksi kun oppilaat yrittävät selittää itselleen jotain abstraktia asiaa konkreettisin keinoin. Virhe käsityksiä syntyy myös siksi, että oppilaille riittää ensimmäinen selitys, eivätkä he mieti, onko selitys mahdollisesti ristiriidassa jonkun toisen asian kanssa. Virhe käsityksiä syntyy myös, kun jokapäiväisessä puheessa käytetään tieteellisiä sanoja, joiden merkitys on eri arkipäiväisessä puheessa kuin tieteessä. Oppilaille ei ole selvää, että samalla sanalla voi olla kaksi eri merkitystä kontekstista riippuen. (Lavonen *et al.* 2006) Osa virhe käsityksistä johtuu siitä, etteivät oppilaat ymmärrä mikro- ja makromaailman yhteyttä. Heidän on hankalaa harppoa mikro- ja makromaailman välillä. Oppilaat eivät näe, miten mikromaailman teoria tukee tai selittää makromaailman ilmiötä. Siksi on tärkeää, että opetuksessa annetaan selviä linkkejä

siitä, miten mikromailman mallit esiintyvät makromailman ilmiöissä. (Coll & Treagust 2003)

Kemiallinen sidos on keskeinen asia kemiassa. Sen ymmärtämiseksi tarvitaan malleja, joita oppilaiden on usein vaikea ymmärtää. Kemiallinen sidos on myös aihe, josta oppilailla usein on virhekäsityksiä. Taberin ja Collin (2002) mukaan on neljä pääsyitä siihen miksi oppilaat kehittävät omia teorioitaan kemiallisista sidoksista:

- oppilailla on väärä kuva siitä miksi sidoksia muodostuu
- oppilaat kokevat sidoksia olevan vain molekyyleissä eivätkä ymmärrä ionisidoksen ja metallisidoksen luonnetta
- oppilaat uskovat, että sidoksiin liittyy vain elektronien luovuttamista ja vastaanottamista
- oppilaiden on hankala käsittää sidosten välimuotoja, kuten poolista kovalenttista sidosta

Virhekäsityksistä tulee olla tietoinen ja ottaa ne huomioon opetuksessa, jotta ne voidaan muuttaa. On tärkeää saada oppilaat ilmaisemaan ajatuksiaan, jotta virhekäsitykset voidaan huomata ja muuttaa oikeiksi. Oppilaiden virhekäsitykset ovat suuri haaste kemian opetukselle. Myös opettajien käsitykset kemiasta voivat olla lähes mitä tahansa lähestulkoon lapsen tasolta tiedemiehen tasolle. (Gilbert *et al.* 1982)

Oppilaiden virhekäsityksiä voi vahvistaa myös opettaja, jolla ei ole tarpeeksi laajoja tietoja kemiasta, kemian opetuksesta tai kemian oppimisen luonteesta. Myös oppikirjoissa on virheitä ja virhekäsityksiä lisääviä ilmaisuja. Virhekäsityksiä aiheuttaa myös ilmiöiden kuvaaminen tieteen käsitteillä ilman, että käsitteen laajempaa kokonaisuutta hahmotetaan. Oppitunneilla käsitellään usein yhtä ilmiötä kerrallaan, joka johtaa kapea-alaisen käsityksen muodostumiseen. Tällöin oppilaat oppivat tuntemaan paljon käsitteitä, mutteivät käsitteiden välisiä yhteyksiä. (Lavonen *et al.* 2006)

Kun oppilaalla on oma kokemuksen kautta muodostunut käsityksensä, se häiritsee oikean käsitteen oppimista. Oppilas luottaa omaan teoriaansa, vaikka opettaja väittää toisin. Oppilaalle voi oman virheellisen käsityksen rinnalle syntyä toinen, opetuksenmukainen käsitys. Tällöin oppilas saattaa osata tehdä tehtävät kuunneltuaan opettajan esittämän

teorian, muttei osaa soveltaa oppimaansa käytäntöön ja aiempaan tietoon. (Lavonen *et al.* 2006)

3.5 Kemian oppiminen ja käsityksen muuttaminen

Oppilaalla voi ennen kemian opetusta olla oma käsityksensä asiasta, tai hän voi olla täysin tietämätön käsiteltävästä ilmiöstä. Tämä lähtötilanne vaikuttaa siihen, miten oppilas omaksuu uutta tietoa. Myös opettajalla on oma käsityksensä opetettavasta asiasta. Opettajan käsitys saattaa myös olla virheellinen, kuten myös tiedeyhteisön käsityksen kaltainen. Opetuksessa on usein mukana myös oppimateriaalia, jossa saattaa olla virheitä. Opetuksessa oppilas omaksuu jonkin näistä malleista omaksi käsitykseksi. Oppilaan käsitys voi olla myös kaikkien eri käsitysten sekoittuma. Saattaa myös olla, ettei opetus ole muuttanut oppilaan käsitystä mitenkään, vaan hän on pysynyt omassa, mahdollisesti virheellisessä, käsityksessään. Vain tiedostamalla oppilaiden virhekäsitykset ja ottamalla ne huomioon opetuksessa ne voidaan muuttaa oikeiksi. (Gilbert *et al.* 1982)

Driver *et al.* (1985) mukaan käsityksen muutos on pitkän ajan kuluessa tapahtuva hidas prosessi. On tavallista, että oppilaat pitävät kiinni tiedosta, joka heillä jo on, huolimatta siitä onko tieto oikeaa vai väärää. Oppilaat voivat myös käyttää uusia sanoja ymmärtämättä sanojen merkitystä. Käsityksen muutokselle yksittäinen oppitunti on usein liian lyhyt aika. Pidemmän ajan kuluessa käsityksen muutos on kuitenkin mahdollista.

Käsityksen muutoksen malli kuvaa oppimista prosessina, jossa oppija omaksuu uusia käsityksiä, muuttaa vanhoja käsityksiään uusiksi tai omaksuu uusia käsityksiä vanhojen käsitysten tilalle. Jotta muutos voisi tapahtua, oppijan on hyväksyttävä muutos. Ensinnäkin oppilaan on ymmärrettävä uusi käsitys. Toiseksi käsityksen on oltava järkeenkäypä kuvaamaan ilmiötä, ja siten hyväksyttävä. Kolmanneksi käsityksen on oltava käyttökelpoinen ratkaisemaan myös muita ratkaisemattomia ongelmia. (Hewson 1996)

Käsityksen muutoksen tukemiseksi opetuksessa on otettava huomioon oppilaiden virhekäsitykset. Oppilaiden käsitykset on hyvä ottaa huomioon suunniteltaessa oppimistehtäviä. Driver *et al.* (1985) ehdottamia käsityksen muuttamista auttavia ideoita

opetukseen:

- Anna oppilaille tilaisuus esittää omia ideoitaan.
- Esitä pulmia, jotka asettavat oppilaan käsityksen ristiriitaan.
- Kysele oppilailta. Kuullessaan toisten käsityksiä, he huomaavat ehkä omien käsitystensäkin puutteellisuuden.
- Kannusta oppilaita luomaan käsitekarttoja. Rakentaessaan ajatuskokonaisuutta, he joutuvat arvioimaan omia ajatuksiaan.
- Harjoita oppilailla mielipiteiden vaihtoa erilaisissa tilanteissa. Esimerkiksi demonstraatioissa hypoteesin tekeminen ja testaaminen tukee oppilaan käsityksen muodostumista.

Hewsonin (1996) mukaan oppija voi omaksua uuden käsityksen vasta, kun vanha käsitys on osoittautunut epäpäteväksi. Käsitykset voi osoittaa epäpäteviksi asettamalla ne ristiriitaan. Opettajilla on usein harhaluulo, että ristiriidat ovat oppilaille yhtä itsestään selviä kuin heille. Käsitteellinen muutos on kuitenkin oppimisprosessi, joten sitä ei varsinaisesti voi opettaa. Käsityksen muutosprosessissa opetus ja opettaja voivat toimia lähinnä katalyyttinä.

Oppilaat käyttävät usein hyvin yksinkertaisia malleja, esimerkiksi oktettisäännön mallia. Yksinkertaiset mallit eivät aina ole tarpeeksi riittäviä, mutta kaikki opiskelijat eivät näe tarvetta ottaa monimutkaisempaa mallia käyttöön. He eivät näe yksinkertaisten mallien rajoituksia. Opetuksessa on pystyttävä todistamaan yksinkertaisten mallien rajoittuneisuus. Opiskelijat tarvitsevat todisteita uuden mallin hyödyllisyydestä jotta he hyväksyisivät mallin ja voivat oppia ja ymmärtää sen. Jollei vanhaa mallia osoiteta jollain tavoin puutteelliseksi, ei oppilaalla ole mitään syytä hylätä sitä uutta oppiakseen. (Coll & Treagust 2003)

Taberin ja Collin (2002) mukaan oktettimalli rajoittaa oppilaan myöhempiä sidoskäsityksen laajentamista. Oktettisäännön rajoissa oppilaan on vaikeaa ymmärtää, että atomit reagoivat, vaikka niillä jo on oktetti. Oppilailla on usein mielikuva, että atomit *haluavat* oktetin, jonka ne saavuttavat kemiallisten reaktioiden avulla. Oppilaat ajattelevat yhden hiiliatomin ja neljän vetyatomin reagoivan keskenään ja saavuttavan näin oktetin, mutta usein atomeilla on oktetti jo lähtöaineiden puolella. Taberin ja Collin (2002) mukaan

opetuksessa tulisi korostaa seuraavia asioita oktetihämmennyksen välttämiseksi:

- Kemiaalliset sidokset ovat sähköisten voimien aikaansaamia
- Sidokset eivät välttämättä muodosta molekyylejä
- Kaikki kemiaalliset sidokset eivät ole kovalenttisia tai ionisidoksia
- Sidos voi olla kovalenttisen ja ionisidoksen väliltä

Hewsonin (1996) mukaan luokassa on tärkeää tuoda esille myös oppilaiden näkökulmia. Oppilaiden näkemyksiä tulisi kohdella samoin kuin opettajan esille tuomaa näkemystä, vaikka opettajan näkemys usein on näistä kehittynein ja lähimpänä tieteen näkemystä. Ajatuksena on, että oppilaat pystyvät näin valitsemaan oman näkemyksensä sen perusteella mikä on parhaiten perusteltu. Näin oppilaat saadaan myös perustelemaan omia käsityksiään.

Chambren ja Andren (1997) tutkimuksessa tutkittiin käsityksen muutostekstin mallin toimivuutta sähköön oppimisessa. Oppilaiden käsityksiä aktivoitiin ensin tehtävällä, jonka jälkeen heille kerrottiin yleisiä virhekäsityksiä virtapiireihin liittyen samalla todistaen virhekäsitykset vääriksi. Lopuksi oppilaat lukivat perinteisen virtapiiriä koskevan tekstin. Tutkimuksen mukaan käsityksenmuutostekstejä käyttänyt ryhmä ymmärsi kontrolliryhmää paremmin sähköön liittyviä käsitteitä.

3.6 Oppilaan itsearviointi käsityksen muutoksen tukena

Opetuksen keskeisenä tavoitteena on, että oppilas oppisi arvioimaan omaa toimintaansa ja kehittämään sitä. Oppilaan itsearviointitaitoja voidaan kehittää mm. itsearviointilomakkeilla (Lavonen *et al.* 2007). Metakognitiiviset taidot auttavat oppilasta arvioimaan omaa osaamistaan. Metakognitiivisilla taidoilla tarkoitetaan taitoa arvioida omaa oppimista ja käsityksiään sekä kykyä kontrolloida omaa oppimistaan (Baird & White 1996). Käsityksen muutoksen prosessissa oppilas tarvitsee metakognitiivisia taitoja havainnoidakseen omaa oppimistaan ja käsityksiään. Jotta oppilas voi muodostaa uuden, oikean käsityksen, on hänen pystyttävä havaitsemaan vanha käsitys ja sen virheellisyys. Metakognitiivisia taitoja voidaan oppia ja ne edistävät oppimista. Metakognitiivisia taitoja voidaan harjoitella esimerkiksi lukemalla ja kirjoittamalla. Lukiessaan aktiivisesti lukija

vertaa omia ajatuksiaan tekstiin ja kirjoittaessaan hän tarkastelee ajatuksiaan. (Lavonen *et al.* 2001)

4 Tutkimus

Tutkimuksessa etsitään vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin. Tutkimuksen ensimmäisessä osassa selvitetään, mitä kemialliseen sidokseen liittyviä asioita lukio-opetus sisältää. Ensimmäinen osa on kartoitustutkimus toista osaa varten.

Tutkimuksen toisessa osassa kehitetään oppimateriaalia lukion kemian opetuksen tueksi. Materiaalin tarkoituksena on olla opiskelijan omatoimisessa käytössä oleva ”osaatko-testi”. Sen avulla opiskelijan tulisi pystyä kartoittamaan omia virhekäsityksiään kemiallisiin sidoksiin liittyen ja korjaamaan ne tieteen käsityksen mukaisiksi.

4.1 Tutkimuskysymykset

Kehittämistutkimuksessa haettiin vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

1. Miten lukio-opetuksessa käsitellään kemiallisia sidoksia?
 - 1.1. Mitä kemialliseen sidokseen liittyviä asioita käsitellään lukion oppikirjoissa?
 - 1.2. Miten kemiallista sidosta käsitellään ja havainnollistetaan lukion oppikirjoissa?
 - 1.3. Miten kemialliset sidokset ovat esiintyneet ylioppilaskokeiden ainereaalissa?
2. Millainen tehtävä tukee oppilaiden virheellisten käsitysten muuttumista?

4.2 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutetaan kahdessa osassa. Ensimmäinen osa toteutetaan laadullisena sisällönanalyysinä (Tuomi & Sarajärvi 2003) ja toinen osa toteutetaan kehittämistutkimuksena (Edelson 2002).

4.2.1 Tarpeiden kartoitus

Tutkimuksen ensimmäisessä osassa selvitetään miten lukio-opetuksessa käsitellään kemiallisia sidoksia. Tutkimus toteutetaan lukion kemian oppikirjojen ja ylioppilaskokeen kemian ainerealin sisällönanalyysinä. Uusikylän & Atjosen (2000) mukaan opetus tukeutuu usein oppikirjoihin. Oppikirjat eivät kuitenkaan välttämättä enää toteuta valtakunnallisten opetussuunnitelman perusteiden asettamia tavoitteita sen jälkeen, kun oppikirjojen tarkastamisesta luovuttiin.

Lukion oppikirjoista tutkitaan kahden ensimmäisen kemian kurssin kaikki markkinoilla olevat suomenkieliset oppikirjasarjat, yhteensä viisi oppikirjasarjaa. Oppikirjoista kartoitetaan ensin mitä kemiallisiin sidoksiin liittyviä sisältöjä niissä on. Seuraavaksi tutkitaan miten oppikirjat ilmaisevat sisältönsä; millaisia malleja ja kuvia oppikirjoissa on.

Tutkimus toteutetaan sisällönanalyysinä. Siinä tekijä päättää ensin, mikä aineistossa kiinnostaa. Sen jälkeen aineisto käydään läpi ja kiinnostavat asiat erotetaan muusta tekstistä. Lopuksi asiat luokitellaan ja kirjoitetaan yhteenveto. (Tuomi & Sarajarvi 2003) Tutkimuksessa pyritään löytämään eroja ja yhtäläisyyksiä eri oppikirjasarjojen välillä.

Oppikirjojen lisäksi tarkastellaan kemian ylioppilaskokeen kysymyksiä. Ylioppilaskoe mittaa lukion oppimäärän osaamista valtakunnallisesti (ks. luku 3.2) Tutkimuksessa tutkitaan kaikki jo julkaistut ainerealin kysymykset keväältä ja syksyiltä 2006 sekä keväältä 2007.

4.2.2 Kehittämistutkimus

Tutkimuksen toinen osa on kehittämistutkimus, jossa kehitetään tarveanalyysin pohjalta oppimateriaalia lukion kemian opetukseen. Oppimateriaalin tarkoituksena on, että oppilas voi oppimateriaalin avulla itsenäisesti arvioida omaa osaamistaan ja virhekäsityksiään. Tavoitteena on, että oppilas pystyy oppimateriaalin avulla myös muuttamaan käsityksiään tiedeyhteisön käsityksen mukaisiksi.

Kehittämistutkimuksessa pyritään kehittämään parempia menetelmiä opetukseen. Tutkija aloittaa tutkimuksen oletusten ja periaatteiden mukaan. Nämä oletukset ja periaatteet eivät

ole riittävän yksityiskohtaisia ratkaisemaan kaikkia kehitystutkimuksessa muodostuvia ongelmia. Ne kuitenkin ohjaavat tutkimusta eteenpäin. (Edelson 2002) Kehittämistutkimuksen taustalla on tutkimuksen ensimmäisessä osassa tehty tarpeiden kartoitus ja tutkimuksen teoreettinen viitekehys. Kehittämistutkimuksessa on kaksi vaihetta: ensimmäinen on tarpeiden kartoitus ja toinen oppimateriaalin kehittäminen.

5 Tulokset

Tutkimuksen tässä osassa esitetään tutkimustulokset tehtyjen kysymysten mukaisessa järjestyksessä (luku 4.1).

5.1 Kemiallinen sidos lukio-opetuksessa

Tässä luvussa esitetään tulokset kemiallisten sidosten esittämistä lukion oppikirjoissa (Liite 1). Ensin esitellään, mitä sisältöjä oppikirjoissa on. Tämän jälkeen esitetään, miten asiat on kirjoissa esitetty; millaisia malleja kirjat käyttävät ja minkälaisia tehtäviä kirjoissa on. Lopuksi esitetään, mitä kemiallisten sidosten sisältöjä ylioppilaskokeen kemian ainereaalissa on esiintynyt.

5.1.1 Kemialliset sidokset oppikirjoissa

Lukion kemian oppikirjat käsittelevät kemiallisia sidoksia hyvin toisistaan poikkeavalla tavalla. Opetussuunnitelman perusteet (Anon. 2003) on asettanut raamit lukion kemian kurssien sisällöille. Oppikirjoissa sisällöt eivät kuitenkaan jakaudu samalla tavalla (ks. Taulukko 2).

Taulukko 2. Kemiallisten sidosten sisältöjen jako kursseille 1 ja 2 opetussuunnitelman perusteissa (OPS) ja lukion kirjasarjoissa

Käsiteltävä asia	OPS	Sarja A	Sarja B	Sarja C	Sarja D	Sarja E
Kovalenttinen sidos	1	1 & 2	1 & 2	1 & 2	1 & 2	1 & 2
Poolisuus	1	1	1 & 2	1	1	1 & 2
Ionisidos	2	1 & 2	2	2	2	1 & 2
Metallisidos	2	2	2	2	2	2
Vetysidos	2	1 & 2	2	1 & 2	2	1 & 2
Dipoli-dipolisidos	2	1 & 2	2	1 & 2	2	1 & 2
Dispersiovoimat	2	1 & 2	2	1 & 2	2	2
Sidosenergia	2	1	2	2	2	1
Sidokset ja aineen ominaisuudet	2	2	2	2	2	2
Atomiorbitaalien hybridisoituminen	2	2	2	2	2	2
Orgaanisten yhdisteiden sidos- ja avaruusrakenne	2	2	2	2	2	2

Opetussuunnitelman perusteissa (Anon. 2003) lukion ensimmäisen kurssin kohdalla keskeiseksi sisällöksi mainitaan ”orgaanisissa yhdisteissä olevat sidokset ja poolisuus”. Orgaanisissa yhdisteissä olevat sidokset ovat kovalenttisia sidoksia. Näin ollen ensimmäisen kemiankurssin sisältönä tulisi oppikirjoissakin olla kovalenttinen sidos ja poolisuus. Näin kaikissa tarkastelluissa oppikirjoissa on. Lisäksi kaksi tutkituista viidestä kirjasarjasta esittelee ensimmäisellä kurssilla myös ionisidoksen. Kolme sarjaa käsittelee ensimmäisellä kurssilla myös molekyylien välisiä sidoksia; vetysidosta, dipoli-dipolisidosta ja dispersiovoimia. Kaksi sarjoista on siirtänyt sidosenergian käsittelyn toiselta kurssilta ensimmäiselle.

Lukion toisen kurssin kirjoissa on myös paljon eroja, johtuen suurelta osin siitä, että ensimmäisen kurssin kirjat ovat erisisältöisiä. Osassa sarjoista on opetussuunnitelman perusteiden (Anon. 2003) mukaisia sisältöjä käsitelty jo ensimmäisessä kurssissa ja siten nämä sisällöt on jätetty toiselta kurssilta pois, tai esitystä on supistettu pelkäksi kertaukseksi.

Opetussuunnitelman perusteiden (Anon. 2003) mukaan lukion toisen kemian kurssin keskeisenä sisältönä on kemiallinen sidos, sidosenergia ja aineen ominaisuudet sekä atomiorbitaalien hybridisoituminen ja orgaanisten yhdisteiden sidos- ja avaruusrakenne. Sarjoissa A ja E sidosenergiaa on käsitelty vain ensimmäisen kurssin kirjassa. Muissa kolmessa sarjassa sidosenergia on käsitelty toisen kurssin kirjassa. Kaikissa viidessä kirjassa aineen ominaisuudet, atomiorbitaalien hybridisoituminen ja orgaanisten yhdisteiden sidos- ja avaruusrakenne on käsitelty pääosin toisen kurssin oppikirjassa.

Metallisidos on kaikissa sarjoissa käsitelty toisen kurssin kohdalla. Muiden sidosten kohdalla on eroavuuksia sisältöjen jakamisesta ensimmäisen ja toisen kurssin välillä. Kovalenttinen sidos, ionisidos ja molekyylien väliset sidokset ovat sisältöjä, joiden käsittely on jaettu eri tavalla kahden kurssin kesken. Osassa sarjoista nämä sisällöt käsitellään enimmäkseen jo ensimmäisen kurssin oppikirjassa, osassa vasta toisen kurssin kirjassa.

5.1.2 Kemiallisten sidosten esittäminen oppikirjoissa

Kemiallisiin sidoksiin liittyviä asioita käsiteltiin eri kirjasarjoissa eri laajuudella. Jotkut kirjasarjoista käsittelivät sidoksia monien kappaleiden verran ja kertoivat paljon ylimääräistä, opetussuunnitelman perusteiden ulkopuolelta olevaa tietoa, kun taas toiset tiivistivät tiedon hyvin lyhyeksi.

Kirjasarjojen kesken vaihteli, missä järjestyksessä sidokset opetettiin. Kolmessa viidestä kirjasarjasta sidosten opetus aloitettiin ionisidoksella, muissa kahdessa kovalenttisella sidoksella. Kaikissa kirjasarjoissa sidoksen muodostumista perusteltiin alkuaineiden pyrkimisellä lähimpään jalokaasurakenteeseen, oktettiin. Kolmessa kirjasarjassa viidestä perusteltiin sidoksen muodostumista energiaedulla.

5.1.2.1 Kovalenttinen sidos

Kovalenttista sidosta kirjat mallintavat jalokaasurakenteen avulla. Neljä kirjaa viidestä esitteli kovalenttista sidosta ensin vetymolekyylin avulla, sitten kaksoissidosta hapen avulla ja kolmoissidosta typpimolekyyllillä. Ainoastaan A-sarja esitteli kovalenttisen sidoksen kaksois- ja kolmoissidoksineen hiilen avulla.

Poolisuus käsiteltiin kaikissa kirjasarjoissa heti kovalenttisen sidoksen jälkeen. Poolisuuden käsite esiteltiin useissa kirjoissa jonkin vetyhalogeenin tai veden avulla. A-sarja erottui muiden kirjojen joukosta orgaanisemmalla lähestymistavallaan. Esimerkkeinä poolisista yhdisteistä se esitteli muun muassa etanolin, metanolin ja dodekanolin. Kaikki kirjat esittelivät symmetrian kumoavan poolisten sidosten vaikutuksen. Esimerkkinä tästä esitettiin metaani- tai tetrakloorimetaanimolekyyli.

Orgaanisten yhdisteiden sidos- ja avaruusrakenne esitettiin kirjasarjoissa hyvin toisistaan eroavalla tavalla. Kaikissa toisen kurssin kirjoissa muoto oli esillä atomiorbitaalien hybridisoitumisen yhteydessä. D-sarjan kirjassa sidosten vaikutuksesta molekyylin muotoon oli kirjoitettu myös aineiden ominaisuuksien yhteydessä. C-sarjan kirjassa oli erillinen kappale molekyylin kolmiulotteisesta rakenteesta. A-sarja esitteli molekyylien

muotoa omassa kappaleessaan jo ensimmäisellä kurssilla. B-sarja toi esille myös epäorgaanisten yhdisteiden avaruusrakenteen.

Atomiorbitaalien hybridisoituminen esiteltiin kaikissa toisen kurssin kirjoissa melko samaan tapaan. Kaikki kirjat esittelivät hiilen sp - sp^2 ja sp^3 -hybridisaatiot. Vain A-sarjan kirjassa oli esitelty hybridisaatiota hiilen lisäksi muilla atomeilla. A-sarja esitteli myös hapen ja typen sp^3 -hybridisaatiota. Kaikissa kirjasarjoissa etaani, eteeni ja etyyni olivat esimerkkeinä hiilen hybridisaatiosta.

5.1.2.2 Ionisidos

Kirjasarjoissa yleisin malliaine ionisidoksesta oli natriumkloridi. Kaikissa kirjasarjoissa kuvattiin kuinka natrium luovuttaa elektroneja saadakseen oktetin ja kloori vastaanottaa niitä samoin perustein. Näin muodostuneet erimerkkisesti varautuneet ionit vetävät toisiaan puoleensa. Kaikissa kirjasarjoissa puhuttiin sähköisistä vetovoimista. Kolme viidestä sarjasta huomautti ionisidosten muodostuvan epämetallien ja metallien välille. Vaikka kaikki kirjasarjat esittelivät ioniyhdisteen hilarakenteen, vain A-sarjan kirjassa huomautettiin erikseen, ettei yksittäisiä sidoksia muodostu. B-sarjan kirjassa esiteltiin myös ionisaatioenergia.

5.1.2.3 Metallisidos

Metallisidosta käsiteltiin kirjoissa hyvin eri laajuuksina ja eri kohdissa. C-sarja aloittaa toisen kurssin kirjassaan sidosten käsittelyn metallisidoksella, kun taas E-sarjassa metalleja ja metallisidosta käsitellään aineen ominaisuuksien yhteydessä. Muissa kolmessa sarjassa metallisidosta käsitellään kovalenttisen sidoksen ja ionisidoksen jälkeen. Kirjasarjat kertoivat metallisidoksista hyvin erilaisia asioita eri laajuuksissa. Metallisidoksesta esitettiin neljässä kirjassa viidestä metallihilan kuva ja selitettiin elektronien delokalisoitumista elektronipilven (2 sarjaa), -kaasun (1 sarja) tai -meren (3 sarjaa) mallilla. Kaikki oppikirjat käsitelivät metallien ominaisuuksia jossain määrin. Metallisidosten yhteydessä kirjoissa mainittiin muun muassa seuraavat metalleihin ja

metallisidokseen liittyvät käsitteet, ominaisuudet ja ilmiöt: sulamispiste (1 sarja), kationit elektronimeren sisällä (1 sarja), metallikiilto ja taottavuus (4sarjaa), lejeeringit (2 sarjaa), pieni elektronegatiivisuus (1 sarja), vähän ulkoelektroneja (2 sarjaa), delokalisoitunut sidos (1 sarja), sähköiset vetovoimat muodostavat sidoksen (2 sarjaa). Metallien hyvästä sähkönjohtokyvystä kertoivat kaikki kirjasarjat.

5.1.2.4 Heikot sidokset

Heikkoja sidoksia kirjasarjat käsittelivät myös hyvin eri laajuuksissa. Erityisesti vetysidoksen käsittelyn laajuus poikkesi kirjasarjojen välillä. Sarjat A, C ja E olivat omistaneet vedelle ja vetysidokselle kokonaisen kappaleen, kun B ja D esittelivät vetysidosta muiden heikkojen sidosten ohessa. Kaikki kirjasarjat käyttivät esimerkkinä vetysidoksia vedessä ja jäässä. Lisäksi kolme sarjaa yhdistää vetysidokset DNA:n rakenteeseen.

Vetysidoksen lisäksi kaikki kirjasarjat esittelivät dispersiovoimat ja dipoli-dipolisidoksen sekä ioni-dipolisidoksen liukenemisen yhteydessä. Näiden lisäksi sarjat B ja D esittelivät koordinaatiosidoksen. Kaikki kirjasarjat mainitsivat erikseen heikkoja sidoksia olevan molekyyliden välillä, kaksi mainitsi niitä olevan myös molekyyliden ja ionien välillä. Dispersiovoimia selittämään neljä sarjaa viidestä käytti termiä hetkellinen dipoli. Heikkoja sidoksia kuvaamaan kirjasarjat käyttivät kuvia, joissa varausjakaumaa oli mallinnettu δ^- ja δ^+ -merkein tai siten, että kuvioon oli tummentamalla osoitettu elektronegatiivisempi osa molekyylistä.

5.1.2.5 Muuta sidoksiin liittyvää

Sidosenergiaa oli oppikirjoissa käsitelty huomattavan vähän. Vaikka sidosenergia oli opetussuunnitelman perusteissa mainittu lukion toisen kemiankurssin keskeiseksi sisällöksi, siitä oli toisen kurssin oppikirjoissa hyvin vähän tietoa. Kaksi kirjasarjaa oli siirtänyt sidosenergian ensimmäisen kurssin kirjoihin. Sidosenergiasta kerrottiin neljässä kirjasarjassa, että se on sidoksen lujuuden mitta. Kaikki kirjasarjat kertoivat sidosenergian

olevan sidoksen katkaisemiseen tarvittava energia, ja kaksi kirjaa kertoi sidosenergian vaikuttavan sulamis- ja kiehumispisteisiin. Useimmiten sidosenergian kuvailuun oli käytetty kaksi tai kolme lausetta.

Kirjoissa kerrottiin sidosten vaikutuksesta aineiden ominaisuuksiin eri tavoin. A-sarja keskittyi erityisesti selvittämään sidostyyppin vaikutusta aineen sulamis- ja kiehumispisteisiin. Kaksi muutakin sarjaa selvitti tätä vaikutusta, mutta vaatimattomammin. Kolme kirjasarjoista esitteli sidoksien vaikutusta liukenemiseen ja sidosten muodostumista ja katkeamista liukenemisen avulla.

Kirjasarjoista kaksi jakoi kiinteät aineet kiteisiin ja amorfisiin. Kaikissa esiteltiin molekyylihila, ionihila ja atomihila. Atomihilasta kaikki oppikirjat ottivat esimerkiksi timantin atomihilan, ionihilassa suosituin esimerkki oli natriumkloridin ionihila. Hiilestä kaikki esittelivät grafiitin, timantin, fullereenin sekä nanoputken rakenteen. Kolme kirjasarjoista esitteli erikseen aineiden sähkönjohtokykyjen eroavuuksia.

5.1.3 Kemiallinen sidos kemian ainereaalissa

Ylioppilaskokeen uudistettu ainereaalikoe oli ensimmäistä kertaa käytössä keväällä 2006. Tässä kappaleessa on tutkittu kaikki tähän mennessä olleet kemian ainereaalikokeet (kevät 2006, syksy 2006, kevät 2007). Tehtävistä on kuvailtu ne, joissa on kysytty kemiallisista sidoksista, sekä kerrottu millä tiedoilla tehtäviin olisi voinut vastata.

Ensimmäisessä kemian ainereaalissa keväällä 2006 ei kysytty yhtään suoraan kemialliseen sidokseen liittyvää kysymystä. Toisessa kemian ainereaalissa, syksyllä 2006 kemiallisiin sidoksiin liittyviä tehtäviä oli kaksi, tehtävät 1 (kuva 16) ja 7 (kuva 17).

1. Oheisessa taulukossa on esitetty joitakin yhdisteitä ja niihin mahdollisesti liittyviä ominaisuuksia. Kopioi alla oleva taulukko vastauspaperiisi ja vastaa ”kyllä” tai ”ei” taulukon avoimiin kohtiin.

Yhdiste	C_2H_2	C_3H_8	CH_3OH	$HCOOH$	CH_3OCH_3	
Hiilivety						
Tyydyttymätön yhdiste						
Poolinen molekyyli						
Vetysidoksia molekyylien välillä						
Hapan vesiliuos						

Kuva 18: Syksy 2006, tehtävä 1

Ensimmäisessä tehtävässä on taulukoitu joitain orgaanisia yhdisteitä. Taulukkoon tulee täyttää tiedot molekyylin poolisuudesta ja siitä onko molekyylien välillä vetysidoksia. Tehtävään vastatakseen on osattava tunnistaa pooliset aineet ja aineet jotka muodostavat vetysidoksia.

7. Aineen ominaisuudet johtuvat ensisijaisesti aineessa esiintyvistä kemiallisista sidoksista. Selvitä sidosten avulla, miksi
- metallit johtavat sähköä, (2 p.)
 - jalokaasuilla on alhainen kiehumispiste, (2 p.)
 - suolat liukenevat veteen. (2 p.)

Kuva 19: Syksy 2006, tehtävä 7

Seitsemännessä tehtävässä pyydetään selittämään aineen ominaisuuksia sidosten avulla. a-kohdassa pyydetään selittämään miksi metallit johtavat sähköä, b-kohdassa miksi jalokaasuilla on alhainen kiehumispiste ja c-kohdassa miksi suolat liukenevat veteen. Tehtävän ratkaisemiseksi on tunnettava metallisidos, molekyylien välillä vaikuttavat dispersiovoimat sekä ionisidos ja veden poolisuus.

Kevään 2007 kemian ainereaalissa oli kaksi kemiallisiin sidoksiin liittyvää tehtävää, tehtävä 3 (kuva 20) ja tehtävä 4 (kuva 21).

3. a) Selitä, mitä molekyylien tai ionien välisiä sidosvoimia esiintyy seuraavilla yhdisteillä: $\text{NH}_3(\text{l})$, $\text{HI}(\text{l})$, $\text{LiF}(\text{s})$, $\text{I}_2(\text{s})$. (3 p.)
b) Valitse jokin näistä yhdisteistä ja selitä, miten siinä esiintyvät sidokset vaikuttavat sen kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. (3 p.)

Kuva 22: Kevät 2007, tehtävä 3

Kolmannessa tehtävässä a-kohdassa luetellaan aineita ja pyydetään luettelemaan jokaisen aineen kohdalla minkälaisia molekyylien tai ionien välisiä sidosvoimia esiintyy kyseisillä yhdisteillä. a-kohdasta selviytyäkseen on tunnettava dipoli-dipolisidos, ionisidos ja dispersiovoimat. b-kohdassa pyydetään valitsemaan aineista yksi ja selvittämään miten yhdisteessä olevat sidokset vaikuttavat aineen kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. b-kohdassa on tunnettava sidosten vaikutuksia aineen ominaisuuksiin.

4. Esitä kemiallinen perusta seuraaville havainnoille:
a) jää on kevyempää kuin vesi,
b) suolahappo johtaa paremmin sähköä kuin samanväkevyinen etikkahappoliuos,
c) terässiiliöön kiinnitetty magnesiumipala suojaa säiliötä ruostumiselta.

Kuva 23: Kevät 2007, tehtävä 4

Neljännessä tehtävässä on kolme kohtaa joista ensimmäinen koskee kemiallisia sidoksia. Tehtävässä pyydetään esittämään kemiallinen perusta havainnolle; jää on kevyempää kuin vesi. Tehtävän ratkaistakseen on tunnettava vetysidos. Siinä on osattava kertoa, että jäässä vetysidoksia on enemmän, jolloin sama määrä molekyyliä tarvitsee enemmän tilaa.

Kemiallinen sidos on keskeinen osa kemiaa ja lukion vuoden 2003 opetussuunnitelman perusteiden mukaista toisen kurssin sisältöä. Ylioppilaskokeiden kemian ainereaalissa sidoksista kysyttiin tutkituissa kokeissa kuitenkin suhteellisen vähän. Ensimmäisessä kokeessa ei ollut yhtään kysymystä sidoksista, toisessa kokeessa oli kaksi kysymystä samoin kuin kolmannessa kokeessa. Sekä toisen, että kolmannen kokeen tehtävistä yksi oli pelkästään sidoksista ja toisessa tehtävässä sidoksista kysyttiin jonkin muun asian yhteydessä. Kolmen kokeen aikana ei ehditty käydä läpi kaikkia opetussuunnitelman perusteiden mukaisia kemiallisen sidoksen sisältöjä. Taulukkoon 3 on koottu, kuinka monta kertaa mitäkin keskeistä sisältöä on kysytty ainereaalissa. Kokonaan vailla huomiota

jäivät vielä kovalenttinen sidos, sidosennergia, atomiorbitaalien hybridisoituminen sekä orgaanisten yhdisteiden sidos- ja avaruusrakenne. Ylioppilaskokeiden kysymykset on laadittu vuoden 1994 opetussuunnitelman perusteiden pohjalta.

Taulukko 3: Kemialliset sidokset ainereaalissa

Kysytty sisältö	Kevät 2006	Syksy 2006	Kevät 2007
Kovalenttinen sidos	-	-	-
Poolisuus	-	2	-
Ionisidos	-	1	1
Metallisidos	-	1	-
Vetysidos	-	1	-
Dipoli-dipolisidos	-	-	1
Dispersiovoimat	-	1	1
Sidosenergia	-	-	-
Sidokset ja aineen ominaisuudet	-	-	1
Atomiorbitaalien hybridisoituminen	-	-	-
Orgaanisten yhdisteiden sidos- ja avaruusrakenne	-	-	-

5.2 Käsityksen muutosta tukevien tehtävien kehittäminen

Käsitysten muutosta tukevat tehtävät kehitettiin aiemman tutkimustiedon (ks. kpl 3) sekä tarpeiden kartoituksen pohjalta. Kemiallisen sidoksen ymmärtämiseksi tarvitaan malleja, joita oppilaiden on usein vaikea ymmärtää. Kemiallinen sidos on myös aihe, josta oppilailla usein on virhekäsityksiä (Taberin & Coll 2002). Virhekäsitykset ovat oppilailla olevia tiedeyhteisön näkemyksestä poikkeavia käsityksiä. Virhekäsityksiä syntyy oppilaille monista eri syistä, eikä niiden syntyä voi estää (Lavonen *et al.* 2006). Virhekäsityksistä tulee olla tietoinen ja ne tulee ottaa huomioon opetuksessa, jotta ne voidaan muuttaa (Gilbert *et al.* 1982). Käsityksen muutos on pitkän ajan kuluessa tapahtuva hidas prosessi. On tavallista, että oppilaat pitävät kiinni tiedosta, joka heillä jo on, huolimatta siitä onko tieto oikeaa vai väärää. Pidemmän ajan kuluessa käsityksen muutos on kuitenkin mahdollista (Driver *et al.* 1985). Käsityksen muutoksen prosessissa oppilas tarvitsee

metakognitiivisia taitoja havainnoidakseen omaa oppimistaan ja käsityksiään. Jotta oppilas voi muodostaa uuden, oikean käsityksen, on hänen pystyttävä havaitsemaan vanha käsitys ja sen virheellisyys.

Gilbert *et al.* (1982) mukaan on tärkeää saada oppilaat ilmaisemaan ajatuksiaan. Tähän pyritään testin ensimmäisessä osassa, jossa oppilaalle annetaan jokin aiheeseen liittyvä tehtävä. Ensimmäinen kohta herättää myös opiskelijan ajattelemaan omaa käsitystään ja palauttaa mieleen kyseessä olevan kemiallisen sidoksen.

Hewsonin (1996) mukaan oppija voi omaksua uuden käsityksen vasta, kun vanha käsitys on osoittautunut epäpäteväksi. Toisessa kohdassa kerrotaan toisten opiskelijoiden virhe käsityksiä, joita oppilas voi verrata omiin ajatuksiinsa. Tässä opiskelija joutuu huomaamaan omat virheelliset käsityksensä ja huomaa vanhan käsityksen olevan epäpätevä. Tässä kohdassa oppilas joutuu arvioimaan omia ajatuksiaan. Arviointi on Bloomin taksonioiden mukaan korkeamman tason ajattelua ja johtaa hyviin oppimistuloksiin ja kemian ymmärtämiseen.

Kolmannessa kohdassa kerrotaan tieteen näkökanta kyseisestä sidoksesta ja selitetään virhe käsityksiä; mistä ne ovat peräisin ja miksi ne ovat väärin. Tässä kohdassa oppilas saa vastauksia mielessään heränneisiin kysymyksiin. Lopuksi oppilasta kehoitetaan vielä vertaamaan kolmannen kohdan tekstiä toisen kohdan käsityksiin ja oppilaan omaan ensimmäisen kohdan vastaukseen. Tällä pyritään siihen, että oppilas vertaisi vielä oikeaa ja väärää tietoa, sekä omia ajatuksiaan ja löytäisi mahdolliset ristiriidat käsityksissään.

Samankaltaisten tehtävien käyttöä käsityksen muuttamisen tukena ovat tutkineet mm. Chambre & Andre (1997) hyvin tuloksin (ks. kpl 3.6).

Tässä kappaleessa esitetään testien laadinnan prosessi. Testien ensimmäisten kohtien kysymykset ja kolmansien kohtien teorit on laadittu tutkimuksen ensimmäisessä osassa tehdyn tarpeiden kartoituksen perusteella. Ylioppilaskokeen ainereaalissa ei ehditty kolmen kokeen aikana käsitellä kaikkia sidoksiin liittyviä asioita, joten ainereaalien kysymykset otetaan huomioon niissä kohdissa, joita ainereaalissa käsiteltiin. Toisten kohtien virhe käsitykset on kirjattu kappaleessa 3.3 esitettyjen tutkimusten pohjalta. Testejä

laadittiin yhteensä kuusi. Kolme ensimmäistä on laadittu kovalenttisesta sidoksesta. Näiden lisäksi ionisidoksesta ja metallisidoksesta on omat testinsä sekä heikoista sidoksista yksi testi.

5.2.1 Kovalenttinen sidos

Kovalenttiseen sidokseen liittyen oppilailla on paljon virhekäsityksiä. Tämän takia kovalenttiseen sidokseen liittyviä testejä tehdään kolme. Testejä varten virhekäsitykset jaetaan kolmeen luokkaan: i) mallien sekoittamisesta johtuva hämmennys, ii) poolisuus ja iii) muoto. Kovalenttisen sidoksen oppimiseksi kehitetään kolme testiä, yksi kuhunkin luokkaan. Ensimmäisessä testissä (ks. kuva 5) pyritään selvittämään eri mallien aiheuttamaa hämmennystä. Tutkimusten mukaan oppilailla on usein sekoittunut toisiinsa oktettisääntö, Bohrin atomimalli ja orbitaalimalli. Tehtävässä pyritään selvittämään orbitaalimallin tarpeellisuus, jotta oppilaiden olisi mielekästä hyväksyä ja käyttää sitä. Ensimmäisen testin kohdalla pyritään löytämään apua seuraaviin virhekäsityksiin:

- Kovalenttinen sidos syntyy kun atomit jakavat yhden elektronin.
- Kovalenttinen sidos muodostuu elektronien luovuttamisesta ja vastaanottamisesta.
- Elektronit ovat juuri tietyn etäisyyden päässä ytimestä.
- Kahden atomin molekyylissä elektroneilla on kahdeksikon muotoinen rata.
- Orbitaalit ovat rakentuneet elektronikuorista.
- Kuoret ja orbitaalit ovat synonyymejä.
- Orbitaaleilla on keskipiste jota elektronit kiertävät tietyllä etäisyydellä.

Virhekäsitystesti, kovalenttinen sidos 1/3

Vastaa ensimmäisen tehtävän kysymykseen katsomatta vielä toista ja kolmatta kohtaa.

Kun olet vastannut tehtävän kysymykseen, katso toisesta kohdasta minkälaisia virhekäsityksiä toisilla opiskelijoilla on ollut aiheeseen liittyen. Merkitse väitteen viereen, jos se on myös oma käsityksesi asiasta. Huomaa, että kaikki väittämät ovat väärin.

Kolmannessa kohdassa kerrotaan miten asia oikeasti on. Lue teksti ja vertaa siinä kerrottuja asioita omaan vastaukseesi ja virhekäsityksiin.

1. Tehtävä

Miten kovalenttinen sidos muodostuu? Millaisella mallilla sidosta voi kuvata?

2. Virhekäsityksiä – tunnistatko omat ajatuksesi?

- ☐ Kovalenttinen sidos syntyy kun atomit jakavat yhden elektronin.
- ☐ Kovalenttinen sidos muodostuu elektronien luovuttamisesta ja vastaanottamisesta.
- ☐ Elektronit ovat juuri tietyn etäisyyden päässä ytimestä.
- ☐ Kahden atomin molekyyliissä elektroneilla on kahdeksikon muotoinen rata.
- ☐ Orbitaalit ovat rakentuneet elektronikuorista.
- ☐ Kuoret ja orbitaalit ovat synonyymejä.
- ☐ Orbitaaleilla on keskipiste jota elektronit kiertävät tietyllä etäisyydellä.

3. Näin se on!

Kovalenttinen sidos muodostuu, kun kaksi atomia reagoi keskenään. Sidoksen muodostaa atomien välillä yhteisenä oleva elektronipari. Molemmat yhteisen elektroniparin elektronit voivat olla peräisin samalta atomilta, tai molemmat atomit voivat luovuttaa yhden elektronin sidoselektroniparin muodostumiseksi. Bohrin atomimallissa elektronien ajatellaan olevan elektronikuorilla ja kiertävän ydintä. Tällainen malli ei pysty kuvaamaan sidoksia. Sidoksia voi sen sijaan kuvata esimerkiksi orbitaalimallin avulla. Kovalenttisen sidoksen muodostuessa atomien uloimmat atomiorbitaalit yhdistyvät ja muodostuu molekyyliorbitaaleja. Sidoselektronipari eli atomien yhteinen elektronipari sijaitsee muodostuneella molekyyliorbitaalilla. Koska molekyyli pyrkii energiaminiimiin, molekyyliorbitaalit täyttyvät alkaen alimman energian orbitaalista.

Kuva 24. Virhekäsitystesti, kovalenttinen sidos 1/3

Toinen tehtävä (ks. kuva 6) keskittyy poolisuuteen liittyvien virhekäsitysten korjaamiseen. Tutkimusten mukaan poolisuudessa epäselvää on usein elektronien jakautuminen atomien kesken sekä poolisten sidosten vaikutus molekyylin poolisuuteen. Poolisuus esitettiin kaikissa lukion oppikirjoissa jonkin vetyhalogenidin avulla. Tehtäväksi laitetaan vetyhalogenidin piirtäminen elektroneineen, koska sen tulisi olla oppilaille jo tuttu asia. Ylioppilaskokeen ainereaalissa syksyn 2006 tehtävissä täytyi tuntea poolisuuden käsite. Toisessa testissä pyritään korjaamaan seuraavia virhekäsityksiä:

- Elektronipari jakautuu aina tasaisesti kovalenttiseen sidokseen osallistuvien atomien välillä.
- Pooliton molekyyli voi muodostua vain yhtä elektronegatiivisista atomeista.
- Ionivaraus osoittaa sidoksen poolisuuden.
- Molekyyli on poolinen, koska sidos on poolinen.

Virhekäsitystesti, kovalenttinen sidos osa 2/3

Vastaa ensimmäisen tehtävän kysymykseen katsomatta vielä toista ja kolmatta kohtaa.

Kun olet vastannut tehtävän kysymykseen, katso toisesta kohdasta minkälaisia virhekäsityksiä toisilla opiskelijoilla on ollut aiheeseen liittyen. Merkitse väitteen viereen, jos se on myös oma käsityksesi asiasta. Huomaa, että kaikki väittämät ovat väärin.

Kolmannessa kohdassa kerrotaan miten asia oikeasti on. Lue teksti ja vertaa siinä kerrottuja asioita omaan vastaukseesi ja virhekäsityksiin.

1. Tehtävä

Piirrä vetyfluoridimolekyyli siten, että kuvassa näkyy, missä elektronit sijaitsevat.

2. Virhekäsityksiä – tunnistatko omat ajatuksesi?

- ☐ Elektronipari jakautuu aina tasaisesti kovalenttiseen sidokseen osallistuvien atomien välillä.
- ☐ Pooliton molekyyli voi muodostua vain yhtä elektronegatiivisista atomeista.
- ☐ Ionivaraus osoittaa sidoksen poolisuuden.
- ☐ Molekyyli on poolinen, koska sidos on poolinen.

3. Näin se on!

Poolisuus molekyylissä johtuu elektronien epätasaisesta jakautumisesta molekyylissä olevien atomien kesken. Elektronipari ei siis jakaudu tasaisesti silloin, kun molekyyli on poolinen. Pooliton molekyyli muodostuu myös silloin, kun molekyylin symmetria kumoaa atomien elektronegatiivisuuserot. Molekyyli voi siis olla pooliton, vaikka sidos olisi poolinen. Jos aineella on ionivaraus, ei puhuta enää poolisesta molekyylistä, vaan ioneista.

Kuva 25. Virhekäsitystesti, kovalenttinen sidos osa 2/3

Kolmas tehtävä (ks. kuva 7) liittyy orgaanisten yhdisteiden muotoon. Oppilaat eivät usein tiedä kaikkia molekyylin muotoon vaikuttavia tekijöitä. Kaikki oppikirjatkaan eivät mainitse niitä kaikkia. Osassa oppikirjoista avaruusrakenne esitetään orbitaalteorian yhteydessä, joten se saattaa jäädä pienemmälle huomiolle vaikean asian lomassa. Tämän takia muodolle on varattu tässä oma tehtävänsä. Kolmas tehtävä keskittyy korjaamaan seuraavia molekyylin muotoon liittyviä virhekäsityksiä:

- Sidoksen muoto on pelkästään sidoselektronien aiheuttamaa.
- Sidoksen muoto on pelkästään vapaiden elektroniparien aiheuttamaa.
- Sidoksen poolisuus aiheuttaa molekyylin muodon.
- Molekyyli on poolinen, koska sidos on poolinen.

Virhekäsitystesti, kovalenttinen sidos osa 3/3

Vastaa ensimmäisen tehtävän kysymykseen katsomatta vielä toista ja kolmatta kohtaa.

Kun olet vastannut tehtävän kysymykseen, katso toisesta kohdasta minkälaisia virhekäsityksiä toisilla opiskelijoilla on ollut aiheeseen liittyen. Merkitse väitteen viereen, jos se on myös oma käsityksesi asiasta. Huomaa, että kaikki väittämät ovat väärin.

Kolmannessa kohdassa kerrotaan miten asia oikeasti on. Lue teksti ja vertaa siinä kerrottuja asioita omaan vastaukseesi ja virhekäsityksiin.

1. Tehtävä

Piirrä vesimolekyyli (H_2O) ja hiilidioksidimolekyyli (CO_2). Huomioi molekyylien muodot.

2. Virhekäsityksiä – tunnista omat ajatuksesi?

- ☐ Sidoksen muoto on pelkästään sidoselektronien aiheuttamaa.
- ☐ Sidoksen muoto on pelkästään vapaiden elektroniparien aiheuttamaa.
- ☐ Sidoksen poolisuus aiheuttaa molekyylin muodon.
- ☐ Molekyyli on poolinen, koska sidos on poolinen.

3. Näin se on!

Molekyylin muotoon vaikuttavat sekä sidoselektroniparit, että vapaat elektroniparit (katso kuva NH_3).

Molekyylin muotoon vaikuttavat myös mahdolliset kaksois- tai kolmoissidokset (katso kuva C_2H_4).

Sidoksen poolisuus ei vaikuta molekyylin muotoon, mutta molekyylin muoto vaikuttaa poolisuuteen. Jos sidos on poolinen, voi molekyyli olla pooliton. Poolittomaksi molekyylin voi tehdä symmetria.

Symmetria kumoaa poolisuuden esimerkiksi hiilidioksidimolekyylissä.



NH_3 -molekyyli. Vapaa elektronipari sijoittuu kuvassa typpiatomin yläpuolelle. Vapaa elektronipari sekä sidoselektroniparit pyrkivät mahdollisimman kauaksi toisistaan.



C_2H_4 -molekyylissä kaksoissidos vaikuttaa molekyylin muotoon. Kuvan eteenimolekyyli on tasomainen.

Kuva 26. Virhekäsitystesti, kovalenttinen sidos osa 3/3

5.2.2 Ionisidos

Taberin (1994) mukaan opetuksessa tulee keskittyä enemmän ionihilaan kuin ionien

muodostumiseen. Näiden asioiden välille tulee tehdä selvä ero. Jos elektronioktettia käytetään syynä ionien muodostumiselle, tulee huolehtia, ettei se johda harhakuvaan ”ionimolekyylin” syntymisestä. Taberin (1994) mukaan opetuksessa tulee ottaa esille esimerkki ioniyhdisteestä jossa ioninsiirtoa ei tapahdu, esimerkiksi bariumsulfaatti. On myös tärkeää keskustella oppilaiden kanssa valenssielektronien yhteydessä siitä, ettei valenssielektronien määrällä ole mitään tekemistä muodostuvien ionisidosten määrän kanssa.

Ionisidoksissa oppilaiden virhekäsitykset liittyvät pääasiassa ionihilan ymmärtämiseen ja ionien kokoon. Oppilaiden on vaikea ymmärtää, etteivät ionisidokset muodosta molekyyliä, ja että ioni on vuorovaikutuksessa usean ionin kanssa huolimatta sen varauksen voimakkuudesta. Ionien koon kanssa oppilailla on ongelmia hahmottaa, onko positiivinen vai negatiivinen ioni suurempi. Oppikirjoissa yleisin esimerkki ionisidoksesta on natriumkloridin muodostuminen. Testin ensimmäisessä kohdassa onkin tehtävänä piirtää natriumkloridin ionihila. Näin oppilaat joutuvat yhdistämään kaksi asiaa (ionit ja ionihila), joita ei oppikirjoissa aina yhdistetä. Kolmesta tutkitusta ainereaalien kokeesta kahdessa kysyttiin ionisidoksesta. Syksyn 2006 kokeessa täytyi selvittää miksi suolat liukenevat veteen ja kevään 2007 kokeessa kokelaiden tuli tietää missä aineissa on ionisidoksia ja miten ne vaikuttavat aineiden ominaisuuksiin. Testissä (ks. kuva 8) pyritään selvittämään ionisidoksen hilarakennetta ja sen vaikutuksia aineiden ominaisuuksiin. Huomiota kiinnitetään seuraaviin virhekäsityksiin:

- Ionisidos tarkoittaa kahden ionin keskinäistä elektrostaattista vuorovaikutusta.
- Ionisidokset muodostuvat elektronien jakamisesta.
- Ionisidos ei ole oikea sidos, kuten kovalenttinen sidos.
- Kahden ionin muodostaessa ionisidoksen, muodostuu neutraali molekyyli.
- Liuoksessa olevien anionien ja kationien välillä on ionisidoksia.
- Elektronirakenne määrää sen, kuinka monta ionisidosta atomi voi muodostaa (esim. natrium voi muodostaa yhden ionisidoksen koska sillä on yksi elektroni jonka se voi luovuttaa).
- Ionisidos muodostuu kahden atomin välille ja ympäröiviin ioneihin kohdistuva vuorovaikutus on jokin muu voima.

Virhekäsitystesti, ionisidos

Vastaa ensimmäisen tehtävän kysymykseen katsomatta vielä toista ja kolmatta kohtaa.

Kun olet vastannut tehtävän kysymykseen, katso toisesta kohdasta minkälaisia virhekäsityksiä toisilla opiskelijoilla on ollut aiheeseen liittyen. Merkitse väitteen viereen, jos se on myös oma käsityksesi asiasta. Huomaa, että kaikki väittämät ovat väärin.

Kolmannessa kohdassa kerrotaan miten asia oikeasti on. Lue teksti ja vertaa siinä kerrottuja asioita omaan vastaukseesi ja virhekäsityksiin.

1. Tehtävä

Piirrä kuva natriumkloridista.

2. Virhekäsityksiä – tunnista omat ajatuksesi?

- ☐ Ionisidos tarkoittaa kahden ionin keskinäistä elektrostaattista vuorovaikutusta.
- ☐ Ionisidokset muodostuvat elektronien jakamisesta.
- ☐ Ionisidos ei ole oikea sidos, kuten kovalenttinen sidos.
- ☐ Kahden ionin muodostaessa ionisidoksen, muodostuu neutraali molekyyli.
- ☐ Liuoksessa olevien anionien ja kationien välillä on ionisidoksia.
- ☐ Elektronirakenne määrää sen, kuinka monta ionisidosta atomi voi muodostaa (esim. natrium voi muodostaa yhden ionisidoksen koska sillä on yksi elektroni jonka se voi luovuttaa).
- ☐ Ionisidos muodostuu kahden atomin välille ja ympäröiviin ioneihin kohdistuva vuorovaikutus on jokin muu voima.

3. Näin se on!

Ionisidos ei koskaan ole vain kahden ionin välinen sidos. Ionisidoksessa on kysymys ionihilasta, jossa positiivisesti ja negatiivisesti varautuneet ionit vetävät toisiaan puoleensa. Esimerkiksi natriumkloridihilassa jokaista natriumionia vetää puoleensa sitä ympäröivät kuusi kloridi-ionia. Samalla natriumionia hylkivät ympäröivät natriumionit. Ionisidos muodostuu siis ionihilassa olevista vetovoimista ja hylkimisvoimista. Ionihilassa kaikki ympäröiviin ioneihin kohdistuvat voimat ovat yhtä suuria, eikä hilasta voi erottaa erillisiä ionipareja.

Kuva 27. Virhekäsitystesti, ionisidos

5.2.3 Metallisidos

Metallisidoksissa oppilailla on paljon virhekäsityksiä liittyen mikro- ja makromailman yhteyksiin. Oppilaat eivät osaa perustella, miten makromailman ilmiöt, esimerkiksi sähkönjohtavuus, toimivat mikromailman mallissa. Oppikirjojen välillä metallisidoksesta käsiteltiin hyvin erilaisia sisältöjä. Metallisidokseen liittyvässä testissä oppilas pääsee testaamaan oman käsityksensä toimivuutta mikro- ja makromailman välillä. Tehtävässä keskitytään sähkönjohtavuuden ja taottavuuden selittämiseen mikromailman mallilla. Myös syksyn 2006 ainereaalissa pyydettiin selvittämään sidosten avulla *miksi metallit johtavat sähköä*. Mallina käytetään oppikirjoista tuttua elektronimerimallia. Testissä (ks.

kuva 9) oppilaiden huomiota kiinnitetään seuraaviin oppilailla esiintyviin virhekäsityksiin:

- Metallisidos ei ole oikea sidos kuten kovalenttinen sidos on.
- Lämpötilaerot metallissa siirtävät sähköä.
- Metalliatomit passiivisina antavat sähkön virrata lävitseen.
- Metalliatomit siirtävät sähkövirtaa atomilta toiselle.
- Metalliatomit itse siirtyvät siirtäen sähköä.
- Sähkövirta mahtuu liikkumaan elektronimeren lomitse elektroneilta jäävän tyhjän tilan lävitse.
- Elektronit johtavat sähkövirtaa.
- Sähkövirran voi synnyttää atomien, ionien tai jonkin muiden partikkelien liike.

Virhekäsitystesti, metallisidos

Vastaa ensimmäisen tehtävän kysymykseen katsomatta vielä toista ja kolmatta kohtaa.

Kun olet vastannut tehtävän kysymykseen, katso toisesta kohdasta minkälaisia virhekäsityksiä toisilla opiskelijoilla on ollut aiheeseen liittyen. Merkitse väitteen viereen, jos se on myös oma käsityksesi asiasta. Huomaa, että kaikki väittämät ovat väärin.

Kolmannessa kohdassa kerrotaan miten asia oikeasti on. Lue teksti ja vertaa siinä kerrottuja asioita omaan vastaukseesi ja virhekäsityksiin.

1. Tehtävä

Piirrä metallihila. Miten metallihilan malli kuvaa metallin ominaisuuksia?

2. Virhekäsityksiä – tunnista omat ajatuksesi?

☐ Metallisidos ei ole oikea sidos kuten kovalenttinen sidos on.

☐ Lämpötilaerot metallissa siirtävät sähköä.

☐ Metalliatomit passiivisina antavat sähkön virrata lävitseen.

☐ Metalliatomit siirtävät sähkövirtaa atomilta toiselle.

☐ Metalliatomit itse siirtyvät siirtäen sähköä.

☐ Sähkövirta mahtuu liikkumaan elektronimeren lomitse elektroneilta jäävän tyhjän tilan lävitse.

☐ Elektronit johtavat sähkövirtaa.

☐ Sähkövirran voi synnyttää atomien, ionien tai jonkin muiden partikkelien liike.

3. Näin se on!

Metallisidos on sidos siinä missä muutkin sidokset. Metallisidoksen elektronimerimallissa Metalliytimet ovat positiivisina ioneina, kationeina. Kationien ympärillä on elektronien meri. Elektronien yhteenlaskettu varaus on yhtä suuri kuin kationien yhteenlaskettu varaus. Tästä syystä metallit ovat varauksettomia. Elektronimerimallissa elektronit pääsevät kulkemaan vapaasti metallikationien lomitse. Tästä johtuvat metallien havaittavissa olevat ominaisuudet; lämmön- ja sähkönjohtavuus, taottavuus ja venyvyys. Sähkövirta johtuu hyvin metallien läpi koska elektronit pääsevät metallissa liikkumaan vapaasti. Metallien taottavuus ja venyvyys taas johtuvat siitä, että metallisidos on delokalisoitunut sidos; sidoksia ei ole juuri tiettyjen atomien välillä, vaan metallihilaa koossapitävä voima on metallikationien ja elektronien välinen vetovoima.

Kuva 28. Virhekäsitystesti, metallisidos

5.2.4 Heikot sidokset

Tutkimusten mukaan oppilaiden virhekäsitykset heikoista sidoksista koskevat enimmäkseen sidosten vahvuutta ja sitä, missä sidoksia on. Oppikirjoissa ei erikseen keskitytty kuvaamaan heikkojen sidosten vahvuutta ja paikkaa, joten tässä tehtävässä tehdään niin. Ainereaalikokeiden kysymyksissä heikoista sidoksista tuli tuntea vetysidos, dipoli-dipolisidos ja dispersiovoimat. Testissä (ks. kuva 10) oppilaiden huomiota kiinnitetään seuraaviin oppilailla esiintyviin virhekäsityksiin:

- Heikot sidokset ovat molekyylin sisäisiä sidoksia.

- Poolittomassa kiinteässä aineessa on vahvoja molekyylien välisiä sidoksia.
- Molekyylien väliset sidokset ovat vahvempia kuin molekyylien sisäiset sidokset.

Virhekäsitystesti, heikot sidokset

Vastaa ensimmäisen tehtävän kysymykseen katsomatta vielä toista ja kolmatta kohtaa.

Kun olet vastannut tehtävän kysymykseen, katso toisesta kohdasta minkälaisia virhekäsityksiä toisilla opiskelijoilla on ollut aiheeseen liittyen. Merkitse väitteen viereen, jos se on myös oma käsityksesi asiasta. Huomaa, että kaikki väittämät ovat väärin.

Kolmannessa kohdassa kerrotaan miten asia oikeasti on. Lue teksti ja vertaa siinä kerrottuja asioita omaan vastaukseesi ja virhekäsityksiin.

1. Tehtävä

Missä heikkoja sidoksia on?

Kuinka vahvoja ne ovat verrattuna muihin sidoksiin?

2. Virhekäsityksiä – tunnista omat ajatuksesi?

☐ Heikot sidokset ovat molekyylin sisäisiä sidoksia.

☐ Kovalenttisessa kiinteässä aineessa on vahvoja molekyylien välisiä sidoksia.

☐ Molekyylien väliset sidokset ovat vahvempia kuin molekyylien sisäiset sidokset.

3. Näin se on!

Kovalenttiset sidokset pitävät molekyyliä koossa. Molekyylien välillä vaikuttavat heikot sidokset: dipoli-dipolisidokset, vetysidokset ja dispersiovoimat. Nimensä mukaisesti heikot sidokset ovat heikompia kuin molekyylin sisäiset sidokset. Heikoista sidoksista vahvimpia ovat poolisimmat sidokset. Dipoli-dipolisidos muodostuu poolisten molekyylien välille. Erityisen vahva dipoli-dipolisidos on vetysidos. Se aiheuttaa mm. veden erityisominaisuudet. Heikoin molekyylien välinen sidos on dispersiovoima. Dispersiovoimat muodostuvat poolittomien molekyylien hetkellisten dipolien johdosta, siis kun elektronit poolittomassa molekyyliä ovat hetkellisesti kasautuneet toiseen päähän molekyyliä tai atomia. Hetkellisyden takia dispersiovoimat ovatkin heikoimpia molekyylien välisiä voimia.

Kuva 29. Virhekäsitystesti, heikot sidokset

6 Johtopäätökset ja pohdintaa

Tutkimuksen perusteella lukion kemian oppikirjat eivät kemiallisten sidosten osalta vastaa opetussuunnitelman perusteiden asettamia tavoitteita ja sisältöjä. Toisaalta oppikirjat ylittävät sisällöille annetut kehykset ja toisaalta oppikirjat ovat opetussuunnitelman perusteisiin nähden puutteellisia. Joissain kirjasarjoissa sidoksia käsiteltiin ensimmäisen kurssin kirjoissa laajalti, kun sidokset opetussuunnitelman perusteiden mukaan on tarkoitus käsitellä pääasiassa vasta toisella kurssilla. Tämä aiheuttaa ongelmia silloin, kun opiskelija kesken opintoja vaihtaa lukioon, jossa käytetään toista oppikirjaa. Vaarana on, että osa sisällöistä jää käsittelemättä, jos opetus lukioissa perustuu vain valittuun oppikirjaan.

Oppikirjoissa malleja esiteltiin usein hyvin vähän. Esittelyn laadun korvasi usein määrä. Osa lukion oppikirjojen esittelemistä asioista, esimerkiksi ioni-dipolisidos ja koordinaatiosidos, ovat sellaisia, joita ei käsitellä yliopiston yleisen kemian kurssilla käytetyssä oppikirjassa. Tämä asettaa opettajille suuren haasteen tuntea opetussuunnitelman perusteet hyvin ja päättää, mitä sisältöjä oppikirjasta käsitellään. Useiden sidosten pintapuolinen tarkastelu ei välttämättä ole hyvä ratkaisu, kun vaihtoehtoisesti voisi käsitellä pienempää määrää sidoksia syvällisemmin. Tätä pohtivat osaltaan myös Coll ja Treagust (2003b) esittäessään ajatuksen, kannattaako monimutkaisempia malleja edes opettaa kuin vasta yliopiston syventävissä opinnoissa. He pohtivat myös, onko lukioikäisillä vielä kykyä ymmärtää ja käsitellä monimutkaisia abstrakteja malleja.

Oppikirjojen välillä esimerkit olivat hyvin samankaltaisia keskenään. Esimerkiksi ionisidos esitettiin kaikissa oppikirjoissa natriumin ja kloorin reaktion kautta. Tästä johtuen oppikirjojen heikkoudet ovat hyvin samankaltaisia. Esimerkiksi ionisidoksen kohdalla oppilailla usein oleva virhekesitys ionisidoksen muodostumisesta kahden atomin välille voi hyvin johtua edellä mainitusta esimerkistä. Vain yksi tutkituista kirjasarjoista huomautti erikseen, ettei ionisidos muodostu kahden atomin välille vaan ionihilassa ionien välillä on aina useita vuorovaikutuksia. Se voi aiheuttaa oppilaille käsityksen, jonka mukaan ”natriumkloridimolekyyliä” on olemassa. Kaikissa kirjasarjoissa esiteltiin ionihila. On kuitenkin epäselvää kuinka hyvin oppilaat käsittävät, että kyseessä on sama asia. Usein

ionihila oli esitelty eri kohdassa kuin ionien muodostuminen. Kaiken kaikkiaan oppikirjoissa selitettiin käytettyjä malleja hyvin vähän.

Oppikirjoissa selitettiin hyvin vähän myös metallisidoksen mallia, joka olisi tutkimusten (luku 3) mukaan kaivannut enemmän huomiota. Tutkimusten mukaan oppilaille metallisidoksen ymmärtäminen on hankalaa. Oppilaat eivät ymmärrä miten metallisidoksen malli kuvaa metallien makroskooppisessa maailmassa havaittavia ominaisuuksia, kuten taottavuutta ja sähkönjohtokykyä. Oppikirjasarjojen välillä oli suuria eroavuuksia metallisidoksen käsittelyn laajuudessa.

Tutkituissa kemian ylioppilaskokeissa kemiallisista sidoksista oli kysytty suhteellisen vähän. Kolmen kokeen aikana kemiallisista sidoksista kysyttiin yhteensä neljässä tehtävässä. Tehtävät keskittyivät lähinnä poolisuuteen ja molekyylien tai ionien välisiin vuorovaikutuksiin. Yhdessä tutkituista kokeista ei ollut yhtään tehtävää kemiallisista sidoksista. Ylioppilaskokeiden tehtävistä ei voi suoraan vetää johtopäätöksiä, koska tutkittujen kokeiden tehtävät on laadittu vuoden 1994 opetussuunnitelman perusteiden mukaan, eikä niitä siten voi verrata vuoden 2003 opetussuunnitelman perusteiden sisältöön.

Kehitystutkimuksessa kehitettiin kemiallisiin sidoksiin liittyvää oppimateriaalia lukion kemian opetuksen tueksi. Oppimateriaali perustuu tutkimuksiin käsityksen muutoksen prosessista sekä oppilaiden virhekäsityksistä. Oppimateriaalin ensimmäisessä osassa opiskelijoiden ajatuksia kemiallisista sidoksista herätellään tehtävän avulla. Oppimateriaalin toisessa kohdassa oppilaat voivat verrata omaa käsitystään sidoksista toisten opiskelijoiden virhekäsityksiin. Kun oppilaat huomaavat omat virhekäsityksensä, on heidän opiskeltava muuttaakseen käsityksiään. Kolmannessa kohdassa kerrotaan miksi virhekäsitykset ovat vääriä ja miten asia tieteen näkökannalta on.

Tällaisen arviointitehtävän tulisi auttaa oppilaita huomaamaan omat virhekäsityksensä, ja pääsemään niistä eroon. Virhekäsitystehtävät ovat hyvää materiaalia myös opettajalle. Ryhtyessään opettamaan aihetta, opettaja voi testin virhekäsityksiä -osiosta tarkistaa millaisia virhekäsityksiä oppilailla on, ja ottaa ne huomioon opetuksessa. Tämä on tärkeää oppilaiden oppimisen kannalta.

Tutkimuksen molemmat osat ovat kvalitatiivista tutkimusta. Siksi luotettavuuteen vaikuttaa tahattomasti tutkijan oma subjektiivisuus, odotukset ja aikaisemmat tiedot. Tällainen subjektiivisuus on hyvä tiedostaa, jotta voi pyrkiä minimoimaan sen vaikutukset. Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta ei voi tarkistaa tutkimusta uusimalla, koska tutkija itse on tutkimusta tehdessään ”tutkimusmittari”. Tutkija on itse määrittänyt tutkimusongelmat ja asettanut tutkimukselleen teorian ja luokittelumallit. Lukija voi arvioida tutkimuksen luotettavuutta saadessaan riittävän seikkaperäisen selostuksen tutkimusprosessista. (Syrjälä & al. 1994). Kehittämistutkimuksen luotettavuutta voi arvioida teoreettisen viitekehyksen kautta; miten hyvin tutkimustulokset vastaavat sitä teoriaa, mihin ne nojaavat (Edelson 2002).

Aiheesta on tärkeää tehdä lisää tutkimuksia ja selvittää, miten kehitellyt tehtävät toimivat käytännössä. Aiempien tutkimusten mukaan oppilaiden käsityksiä on hankala muuttaa, mutta se ei kuitenkaan ole mahdotonta. Useat tutkimukset osoittavat, että sopivien tehtävien ja tekstien avulla oppilaiden virheellisiä käsityksiä voi muuttaa. Olisi tärkeää kehittää vastaavanlaisia tehtäviä myös muihin kemian ilmiöihin ja käsitteisiin. Myös oppikirjojen sisältöjä pitäisi tutkia laajemmin ja selvittää, kuinka paljon materiaalia opetussuunnitelman perusteiden ulkopuolelta oppikirjoissa on, ja kuinka hyvin kurssijaot vastaavat opetussuunnitelmien perusteita sisältöjen kohdalla. Olisi tärkeää tutkia myös suomalaisten lukiolaisten käsityksiä kemiallisista sidoksista; ovatko virhekäsitykset samanlaisia kuin ulkomaisten tutkimusten perusteella voi päätellä. Mielenkiintoista olisi perehtyä myös ylioppilaskokeisiin tarkemmin, koska tässä tutkimuksessa mukana oli vain kolme kemian ainerealin koetta, joten aineistoa on vähän. Tämän tutkimuksen perusteella sidoksia käsitellään ylioppilaskirjoituksissa hyvin suppeasti. Lisäksi voisi selvittää, ovatko kysymykset monipuolisempia pidemmällä ajanjaksolla.

Lähteet

Anon. 2003. Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003. Helsinki: Opetushallitus.

Baird, J. & White, R. 1996. Metacognitive Strategies in the Classroom. Teoksessa Treagust, D., Duit, R. & Fraser, B.(toim.). Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics. New York: Teachers College Press. s.131-140

Birk, J. & Kurtz, M. 1999. Effect of Experience on Retention and Elimination of Misconceptions about Molecular Structure and Bonding. Journal of Chemical Education vol. 76 No 1 January 1999

Chambers, S. & Andre, T. 1997. Gender, Prior Knowledge, Interest, and Experience in Electricity and Conceptual Change Text Manipulations in Learning about Direct Current. Journal of Research in Science Teaching vol. 34, no. 2, s. 107–123

Coll & Taylor. 2002. Mental Models in Chemistry: Senior Chemistry Students' Mental Models of Chemical Bonding. Chemistry Education vol. 3, no. 2, s. 175-184

Coll & Treagust. 2003. Investigation of Secondary School, Undergraduate, and Graduate Learners' Mental Models of Ionic Bonding. Journal of Research in Science Teaching vol. 40, no. 5, s. 464-486

Coll & Treagust. 2003b. Learners' Mental Models of Metallic Bonding: A Cross Age Study. Science Education vol. 87, s. 685-707.

De Posada. 1997. Conceptions of High School Students Concerning the Internal Structure of Metals and Their Electric Conduction: Structure and Evolution

Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. 1985. Some Features of Children's Ideas and their Implications for Teaching. Teoksessa Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (toim.) Children's Ideas in Science. Milton Keynes: Open University Press, s. 193–201.

Edelson, D. 2002. Design Research: What We Learn When We Engage in Design. *The Journal of the Learning Sciences* vol. 11, s. 105–121.

Gilbert, J., Osborne R. & Fensham P. 1982. Children's Science and Its Consequences for Teaching. *Science Education* vol. 66, no. 4, s. 623-633.

Griffits, A. & Preston K. 1992. Grade-12 Students' Misconceptions Relating to Fundamental Characteristics of Atoms and Molecules. *Journal of Research in Science Teaching* vol. 29, no. 6, s. 611-628.

Hewson, P. 1996. Teaching for Conceptual Change. Teoksessa Treagust, D., Duit, R. & Fraser, B.(toim.). *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*. New York: Teachers College Press. s.131-140

Hong Kwen Boo. 1998. Students' understanding of Chemical Bonds and the energetics of Chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching* vol. 35, no. 5, s. 569-581

Laitinen, R & Toivonen, J. 1982. *Yleinen ja epäorgaaninen kemia*. Otatieto Oy

Lavonen, Meisalo & al. 2007. Arvioinnin monipuolistaminen erityisesti fysiikan ja kemian opetuksessa. Helsinki: Helsingin yliopiston soveltavan kasvatustieteen laitos.
<http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/arviointi/index.htm> (viitattu 7.8.2007)

Lavonen, Meisalo, Niittykangas et al. 2001. *Lukemalla ja kirjoittamalla oppiminen*. Helsinki: Helsingin yliopiston soveltavan kasvatustieteen laitos.
<http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/tieto/lukem/index.htm> (viitattu 7.8.2007)

Lavonen, J. & Meisalo, V. 2006. *Oppilaiden ennakkokäsitykset*. Helsinki: Helsingin yliopiston soveltavan kasvatustieteen laitos.
<http://www.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/ennakko/> (viitattu 17.1.2007)

Nicoll, G. 2001. A report of undergraduates' bonding misconceptions. *International Journal of Science Education* vol. 23, no. 7, s. 707-730

Peterson, R & Treagust D. 1989. Grade-12 Students' Misconceptions of Covalent Bonding and Structure. Journal of Chemical Education vol. 66, no 6, s. 459-460

Puolimatka, T. 2002. Opetuksen teoria: Konstruktivismista realismiin. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Syrjälä & al. 1994. Laadullisen tutkimuksen työtapoja. 1.-3. painos. s. 114-158

Taber, K. 1994. Misunderstanding the ionic bond. Education in Chemistry, July 1994, s. 100-103.

Taber, K. & Coll, R. 2002. Bonding. Teoksessa Gilbert et al.(toim.) Chemical Education: Towards Research-based Practice. Kluwer Academic Publishers. s. 213-234

Taber, K & Treagust, F. 2003. Learners' Mental Models of Metallic Bonding: A Cross-Age Study. Science education vol. 87, s. 685-707

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2003. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

Uusikylä, K. & Atjonen, P. 2000. Didaktiikan perusteet. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.

Ylioppilastutkintolautakunta. 2003. Uudistuva ylioppilastutkinto. Reaalikokeen uudistaminen. <http://www.ylioppilastutkinto.fi/ylioppilastutkinto/uudyot/> viitattu 30.6.07

Zumdahl & Zumdahl. 2003. Chemistry, 6. painos

Liitteet

Liite 1: Tutkitut oppikirjat

A1: Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. 2006. Reaktio 1: Elinympäristön kemia. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

B1: Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. 2006. Neon 1: Elinympäristön kemia. Helsinki: Edita Publishing Oy.

C1: Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. 2005. Mooli 1: Elinympäristön kemia. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

D1: Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. & Vakkilainen, K.-M. 2005. Kemisti 1: Elinympäristön kemia. 1. painos. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.

E1: Kalkku, I., Kalmi, H. & Korvenranta, J. 2005. Kide 1 – Lukion kemia: Kemian mikromailma. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

A2: Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. 2006. Reaktio 2: Kemian mikromailma. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.

B2: Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. 2006. Neon 2: Kemian mikromailma. Helsinki: Edita Publishing Oy.

C2: Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. 2005. Mooli 2: Kemian mikromailma. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

D2: Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. & Vakkilainen, K.-M. 2005. Kemisti 2: Kemian mikromailma. 1. painos. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.

E2: Kalkku, I., Kalmi, H. & Korvenranta, J. 2005. Kide 2 – Lukion kemia: Kemian mikromailma. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

Liite 2. Taulukoissa esitetään analysoitujen oppikirjojen sisällöt aihepiireittäin jaoteltuna.

Taulukko 4. Kovalenttinen sidos lukion kemian oppikirjoissa

Sisältö	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2
Kovalenttinen sidos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
molekyyli	x	x	x		x	x	x	x	x	x
parittomat elektronit	x	x					x			
sidoselektronipari	x	x	x	x			x	x	x	
vahva sidos	x	x		x	x		x	x	x	
suuntautunut sidos									x	
yksöissidos	hiili			vety	vety	x	vety	x	vety	
kaksois	hiili			happi	happi	x	happi	x	happi	
kolmois	hiili			typpi	typpi	x	typpi	x	typpi	
Hiili	x				x		x		x -poolisuus	
yksöissidos	x				x		x			
kaksois	x				x		x			
kolmois	x				x		x			
neljä sidosta	x				x		x			
Poolisuus	x		x	x	x		x		x	x
pooliton	x		x	x	x	x	x	x	x	x
poolinen	x		x	x	x		x		x	x
poolinen=dipoli				x	x		x		x	
elektronegatiivisuus	x	x	x	x	x			x	x	x
suhteellinen elektronegatiivisuusarvo				x						
erotus 1,7	x	x				x				

Taulukko 5 jatkuu. Kovalenttinen sidos lukion kemian oppikirjoissa

Sisältö	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2
kaksi sähköistä napaa	x									
osittaisvaraus	x		x		x		x			
poolinen ryhmä	x						x			
elektronien epätasainen jakautuminen				x	x		x			
jaksollinen järjestelmä tukena				x						
muoto		x	x	x	x		x			x
Kovalenttinen sidos & muoto										
elektroniparit	x	x				x		x		x
vapaat parit & sidosparit		x				x		x		x
hybridisaatio		x		x		x		x		x
pyrkii energiaminimiin	x									
yksin-,kaksin- vai kolminkertainen sidos	x									
lineaarinen						x		x		
tasokolmio						x		x		
tetraedri	x			x		x		x		
109,5°	x			x		x		x		
σ -sidos, π -sidos		x		x		x		x		
Epäorgaanisten muoto				x						
Miksi tarvitaan orbitaalimalli?										
avaruusrakenne		x		x						
sidosrakenne vs. ominaisuudet		x								
Hybridisaatio		x		x		x		x		x
hybridiorbitaali		x		x		x		x		
hiilen sp^3 -hybridisaatio		x		etaani		x		x		x

Taulukko 6 jatkuu. Kovalenttinen sidos lukion kemian oppikirjoissa

Sisältö	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2
sp ³ -hybridisaatio		x								
hapen/muun sp ³ -hybridisaatio		x								
hiilen sp ² -hybridisaatio		x		eteeni		x		x		x
sp ² -hybridisaatio		x								
karbonyyliryhmän rakenne		x								
hiilen sp-hybridisaatio		x		etyyni		x		x		x
sp-hybridisaatio		x								
hiilidioksidin rakenne		x								
bentseeni		x		x		x		x		x
-delokalisoituminen		x		x		x				
sigmasidos ja piisidos		x		x		x		x		x
Miksi sidoksia muodostuu?										
pienempi energia	x	x		x			x	x		
oktettisääntö	x		x	x	x	x	x	x	x	
Elektronien luovuttaminen ja vastaanottaminen vs. yhteiset elektroniparit	x								x	
jaksollinen järjestelmä	x									
elektronegatiivisuus	x									
epämetallit -> kovalenttinen				x					x	

Taulukko 7. Ionisidos lukion kemian oppikirjoissa

Sisältö	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2
Ionisidos	x	x		x		x		x	x	
ei kestä iskua						x		x		
metallit ja epämetallit	x	x						x	x	
metallit luovuttaa e	x	x				x		x	x	
kationi	x	x		x		x				
epämetallit vastaanottaa e	x	x				x		x	x	
anioni		x		x		x				
ioniyhdiste	x	x		x		x		x	x	x
suola				x		x		x	x	
sitoo sähköinen vetovoima	x	x		x		x		x	x	
ionihila		x		x		x		x	x	x
ei yksittäisiä sidoksia		x								
alkeiskoppi		x								
ionisaatioenergia				x						

Taulukko 8. Metallisidos lukion kemian oppikirjoissa

	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2
Metallisidos		x		x		x		x		
metallihila		x		x		x		x		x
Metallien ominaisuuksia										
metallikiilto ja läpinäkyvyyttä										
		x		x		x		x		
taottavuus		x		x		x		x		
sähkönjohtokyky		x		x		x		x		x
tiheys, lujuus, kovuus										x
korkea sulamispiste						x				
elektronimeri		x				x		x		
elektronikaasu								x		
elektronipilvi		x		x						
lejeeringit		x						x		
pieni elektronegatiivisuus				x						
vähän ulkoelektroneja		x						x		
kationi				x				x		
delokaloitunut sidos				x						
sähköiset vetovoimat= sidos				x		x				

Taulukko 9. Heikot sidokset lukion kemian oppikirjoissa

Sisältö	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2
Sidosten vahvuuden vertailu	x	x		x	x	x				
Vetysidos	x	x		x	x	x	x	x	x	x
vesi ja jää		x		x	x	x			x	x
DNA				x	x				x	x
OH tai NH	x			x + fluori	x+fluori					
pintajännitys -dispersiovoimat		x			x	x				
proteiinit				peptidisid.	x					
alkoholi ja vesi							x		x	
Liukeneminen		x		x		x		x	x vesi	
poolittomat	x	x				x		x	x vesi	
pooliset	x	x				x		x	x vesi	
ioniyhdisteet	x	x		x		x		x	x vesi	
hydraatti, hydrataatio, hydratoituminen		x		x		x	x		x	x
solvataatio				x						x
akvakompleksiyhdiste				x						
keskusioni, ligandi				x						
hygroσκοoppinen aine		x		x		x	x			
Dispersio	x	x		x	x	x	x	x		x
hetkellinen dipoli	x	x		x	x					x
Dipoli-dipoli	x	x		x	x	x	x	x	x	x
Koordinaatiosidos				x				x		
kidevesi		x		x		x		x		
Ioni-dipolisidos	x	x		x		x		x	x	
Heikkoja sidoksia on...										

molekyylien välillä	x	x		x	x	x	x		x	
Taulukko 10 jatkuu. Heikot sidokset lukion kemian oppikirjoissa										
Sisältö	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2
molekyylien ja ionien välillä	x	x							x	
Olomuodon muutos=sidosten katkaisu	x									
kiehumisen ja sulaminen	x						x			

Taulukko 11. Sidokset ja aineiden ominaisuudet lukion kemian oppikirjoissa

Sisältö	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2
Pintajännitys										x
Atomihila		x		x		x		x		x
timantti&grafiitti		x		x		x		x	x	x
nanoputket&fullereeni		x		x		x		x	x	
Molekyylihila		x		x		x		x		x
Ionihila		x		x		x		x		x
koordinaatioluku				x						
alkeiskoppi		x		x						
Kiteisen aineen hila		x		x						x
Amorfinen aine		x		x						
Kiehumispiste/sulamispiste		x		x		x				
Liukeneminen	x			x						x
Sähkönjohtokyky -ioni, molekyyli, metalli		x		x				x		
Poolisuus aiheuttaa suurempia vetovoimia				x		x		x		
Elektronegatiivisuudella ennustetaan luonnetta					x	x				
Sidosenergia	x			x		x		x	x	
sidoksen lujuuden mitta	x					x		x	x	
sidoksen katkaisemiseen tarvittava energia	x			x		x		x	x	
vaikuttaa sulamis &kiehumispisteeseen	x					x				

Liite 3. Taulukoissa esitetään analysoitujen oppikirjojen kemiallisiin sidoksiin liittyvät otsikot ja väliotsikot sekä kuvat.

Taulukko 12. Kemialliset sidokset lukion kirjassa A1

Sisältö	Kuvat
Atomeista yhdisteiksi-vahvat sidokset	jäätikkö
Mitä sidokset ovat ja miten ne luokitellaan?	sokeria lusikassa
Vahvat sidokset	suolakiteitä
Miksi vahvoja sidoksia muodostuu?	
Miten eri alkuaineet pääsevät oktettiin ja mikä sidostyyppi syntyy?	taulukko:elektronegatiivisuudet, muodostuvat ionit, ulkoelektronit metalleja
Ionisidos	metallit luovuttavat elektroneja epämetallit vastaanottavat elektroneja kalsiumkloridi, ammoniumkloridi, natriumkloridi voiko kemiallisen sidoksen haistaa? kanelia ja ruokasuolaa
Kovalenttinen sidos	lehtiä ja vesipisaroita vesimolekyyli taulukko: alkuainemolekyylien ja yhdistemolekyylien rakentuminen
Monipuolinen hiili	hiili timantti
Hiilen kovalenttiset sidokset	taulukko: yhteen veto hiilen sitoutumisesta
Hiilirungot	
Avaruusrakenne	
Sidosten piirtäminen	metaani-tetraedrimalli, pallotikkumalli, rakennekaava
Pooliset ja poolittomat kovalenttiset sidokset	taulukko: täysin poolittomia sidoksia metanolin elektronegatiivisuuserot elektronegatiivisuusjana
Pooliset ja poolittomat kovalenttiset molekyylit	vesisuihku kaartuu etanoli, propanoli, dodekanoli
Heikot sidokset	
Sidokset olomuodonmuutoksissa	koski taulukko: vahvat ja heikot sidokset
Poolisten molekyylien väliset sidokset	vesi, vetyfluoridi, vetysidos=katkoviiva vetysidosverkosto vedessä vetysidosverkosto etanolissa ketonien välisiä dipoli-dipoli-sidoksia
Poolittomien molekyylien väliset sidokset eli dispersiovoimat	heliumatomin elektronijakauman hetkellinen vaihtelevuus
Heikot sidokset toiminnassa	laavaa
Kiehumisen ja sulaminen	kiehumispiste vs moolimassa, alkaanit, alkoholit, karboksyylihapot alkoholien ja karboksyylihappojen välisiä vetysidoksia aldehdyiden välisiä dipoli-dipoli-sidoksia vetysidokset amideissa

Taulukko 13 jatkuu. Kemialliset sidokset lukion kirjassa A1

Sisältö	Kuvat
Heikkojen sidosten katkeaminen ja uudelleenmuodostuminen	vetysidoksen katkeaminen vetysidokset DNA:ssa laskettelija Gore-Tex asussa
Liukeneminen-poolittomat aineet	heksaani ja vesi eivät sekoitu freskojen entisöintiä
Liukeneminen-pooliset aineet	teelehtien hauduttaminen on uuttamista sakkaroosimolekyyli
Liukeneminen-ioniyhdisteet	natriumin liukeneminen-dipoli-dipolisidoksia

Taulukko 14. Kemialliset sidokset lukion kirjassa A2

Sisältö	Kuvat
Vahvat sidokset	hämähäkinseitti metallikide kiveä jäätikkö
Mitä sidokset ovat ja miten ne luokitellaan?	
Vahvat sidokset	simpukka elektronegatiivisuus jaksollisessa järjestelmässä
Kovalenttinen sidos	taulukko:elektronegatiivisuudet, muodostuvat ionit, ulkoelektronit taulukko: kloorimolekyylin ja vesimolekyylin muodostuminen taulukko: hiilen sitoutuminen
Miksi tarvitaan parempaa sidosmallia?	sidoskulmat; vesi, etaani, eteeni, etyyni
sp^3 -hybridisaatio	atomiorbitaalit, sp^3 -hybridiorbitaalit, hybridiorbitaalien suuntautuminen sp^3 -hybridisaatio laatikkomallilla
Hiilen sp^3 -hybridisaatio	hiilen sidosten muodostuminen; metaani pyörähdysymmetrinen σ -sidos vedyn ja hiilen sp^3 -hybridiorbitaalit, muodostuneet σ -sidokset, etaanin rakennekaava pyörähdysymmetrinen C-Csidon, etaanin konformaatiot
Happiatomin sp^3 -hybridisaatio	Hapen sp^3 -hybridiorbitaalien elektronimiehitys vedyn ja hapen sp^3 -hybridiorbitaalit, muodostuneet σ -sidokset, veden rakennekaava molekyylien rakennekaavoja happiryhmän vety-yhdisteiden muoto
Typpiä atomin sp^3 -hybridisaatio	sp^3 -hybridiorbitaalien elektronimiehitys ammoniakin muoto tyyppiä sisältävien molekyylien muotoja rakennekaavoin
sp^2 -hybridisaatio	atomiorbitaalit, sp^2 -hybridiorbitaalit, hybridiorbitaalien suuntautuminen
hiiliatomin sp^2 -hybridisaatio	orbitaalien suuntautuminen hiilen ja vetyjen orbitaalit, muodostuneet sidokset, eteenin muoto – rakennekaava Geranioli-rakennekaava
Bentseenin rakenne	bentseenirenkaan rakennekaava bentseenirenkaan molekyyliorbitaalien muodostuminen delokalisoituminen
Karbonyyliryhmän rakenne	molekyyliorbitaalien muodostuminen hiilen ja hapen orbitaalit piin ja hapen orbitaalit

Taulukko 15 jatkuu. Kemialliset sidokset lukion kirjassa A2

Sisältö	Kuvat
sp-hybridisaatio	atomiorbitaalit, sp^2 -hybridiorbitaalit, hybridiorbitaalien suuntautuminen
Hiiliatomin sp-hybridisaatio	hiiliatomin p-orbitaalit ja sp-hybridiorbitaali hiilen ja vetyjen orbitaalit, muodostuneet sidokset, etyyinin muoto –rakennekaava
Hiilidioksidin rakenne	hiilen ja hapen orbitaalit, muodostuneet sidokset, hiilidioksidin muoto –rakennekaava
Kertaus ja yhteenvetoasioita	
Hybridisaatio	taulukko
Sidostyypit ja niiden erot	
Molekyylin muoto	taulukko
Atomihilat	
Hiilen monet kasvot	timantin rakenne englannin kuninkaallisten kruunu grafiitin rakenne piidioksidin rakenne
Allotropia	fullereeni ja nanoputki
Ionisidos	
Ionisidoksen muodostuminen	jaksollinen järjestelmä: metallit ja epämetallit
Ioniyhdisteen rakenne	natriumkloridin ja cesiumkloridin kiderakenne
Metallisidos	kellon koneisto metallihila natriummetallin elektronipilvi metallihila ja vasara = taottavuus terästä
Vahvat sidokset ja aineen ominaisuudet	
Kiteiset ja amorfiset aineet	amorfisen aineen rakennneosat ovat epäjärjestyksessä taulukko: eri hilatyypit
Sulamispiste	
Mekaaniset ominaisuudet	ioniyhdisteen halkeaminen iskun voimasta
Sähkönjohtokyky	sähköjohtoja lasipulloja
Heikot sidokset	lustelija vesikirppu vesimolekyyli voi muodostaa neljä vetysidosta – rakennekaava heikkoja jäitä vety-yhdisteiden kiehumispisteet vs. jaksot
Heikkojen sidosten luokittelu	
Molekyyliyhdisteiden ominaisuuksien selittämiseen tarvittavia käsitteitä	poolisuuden merkitseminen rakennekaavaan miksi etanoli, etanaali ja etaanihappo ovat poolisia? miksi propaanihappo on poolisempi kuin heksaanihappo?
Sidokset poolisia – molekyyli pooliton	hiilidioksidi kloorimetaani
Ioni-dipoli-sidos	natriumkloridin liukeneminen natriumionin hydraattiverho natriumionin ja metanolin ioni-dipoli-sidoksia taulukko: tavallisten liuottimien poolisuus
Liukeneminen ja liukoisuus	tippukiviluola
Mistä tekijöistä liukoisuus riippuu?	glukoosin ja KNO_3 :n liukeneminen veteen
Veden ominaisuudet ja merkitys luonnossa	jään rakenne veden rakenne veden tiheys vs. lämpötila jään kidehila

Taulukko 16. Kemialliset sidokset lukion kirjassa B1

Sisältö	Kuvat
Puhtaat aineet	NaCl on ioniyhdiste Jää on molekyyliyhdiste vesimolekyyli vesi kiinteänä, nesteinä ja kaasuna elektronegatiivisuustaulukko poolisuus, vesi, vety, hiilidioksidi happimolekyyli ja typpimolekyyli

Taulukko 17. Kemialliset sidokset lukion kirjassa B2

Sisältö	Kuvat
Sidokset	
Ionisidos	taulukko: erilaisia suoloja natriumionin muodostuminen kloridi-ionin muodostuminen alkuaineiden ensimmäisiä ionisaatioenergioita natriumkloridin muodostuminen kuollutmeri Taulukko: tavallisia moniatomisia ioneja
Kovalenttinen sidos	vety-molekyyli, happi-molekyyli, typpi-molekyyli kovalenttisen sidoksen merkitseminen rakennekaavaan typpikaasun käyttöä sidospituus butanoli ja dietyylieetteri
Poolisuus	pooliton sidos, poolinen sidos, ionisidos alkuaineiden suhteellinen elektronegatiivisuusero taulukko: elektronegatiivisuuseron vaikuttaminen sidostyyppiin veden ja CCl ₄ :n poolisuus
Metallisidos	metallien elektronipilvi
Molekyylien väliset sidokset	dipoli-dipolisidoksen syntyminen vetysidokset vedessä ja proteiineissa taulukko: molekyylien väliset sidokset taulukko: alkaalien molekyyli-massa ja kiehumispiste kuva: kiehumispiste vs. jakso
Kiinteät aineet	malli kiteisen aineen kidehilasta amorfinen ja kiteinen piidioksidi
Kiteisten aineiden rakenne	
Ionihila	erilaisten suolojen ionihiloja
Kovalenttinen hila	timantin ja grafiitin hilarakenteet
Metallihila	kuutiollinen ja heksagoninen tiivein pakkaus
Molekyylihila	fullereeni
Rakenne ja ominaisuudet	taulukko: hila-tyypit
Sulamminen	volfram ja tina plasma
Liukeneminen	suolan liukeneminen pallomallein
Orgaanisten molekyylien avaruusrakenne	

Taulukko 18 jatkuu. Kemiaalliset sidokset lukion kirjassa B2

Alifaattiset yhdisteet	sp^3 -hybridisoituminen sp^3 -hybridiorbitaali metaanin molekyyliorbitaalien muodostuminen arjen tetraedreja etaanin orbitaalit sp^2 -hybridisoituminen piisidos ja sigmasidos eteenissä eteenimolekyyli pallotikkumalli sp -hybridisoituminen etyyni pallotikkumallein ja orbitaalimallein taulukko: hiiliatomin kovalenttiset sidokset
Bentseeni (delokalisoituminen)	Kekulé'n bentseenirakenne bentseenirenkaan orbitaalit

Taulukko 19. Kemiaalliset sidokset lukion kirjassa C1

Sisältö	Kuvat
Molekyylien muodostuminen atomeista	ulkoelektronien mallintaminen pisteillä vetymolekyylin muodostuminen happimolekyylin muodostuminen typpimolekyylin muodostuminen
Kovalenttinen sidos voi olla poolinen tai pooliton	metaanimolekyylin muodostuminen elektronegatiivisuustaulukko
Poolisiin molekyyliin muodostuu pysyviä dipoleja	vesimolekyylin poolisuus elektronegatiivisuudet metaanimolekyyliin
Molekyylit sitoutuvat toisiinsa heikoilla kemiallisilla sidoksilla	glukoosimolekyyli
Dispersiovoimat	poolittomien molekyylien hetkellinen dipoli hämähäkin seitti
Dipoli-sidokset	dipoli-dipolisidos poolisten molekyylien välillä
Vetysidokset ovat vahvoja dipoli-dipolisidoksia	vetysidokset vesimolekyylien välillä proteiinien rakenne-vetysidokset DNA:n rakenne-vetysidokset emäksien välillä
Kovalenttiset sidokset orgaanisissa molekyyliin ja biomolekyyliin	suo hiilellä on 4 ulkoelektronia yksöis-kaksois-kolmoissidokset, renkaat, ketjut taulukko: hiilen sitoutuminen eri alkuaineisiin taulukko:elektronegatiivisuus-poolisuus
Hiilivedyt ovat poolittomia molekyyliyhdisteitä	
Hiilivetyjen luokittelua	eteeni-kaksoissidos etyyni-kolmoissidos
Hiilivetyjen ominaisuuksia	

Taulukko 20. Kemiaalliset sidokset lukion kirjassa C2

Sisältö	Kuvat
Kemiaalliset sidokset selittävät aineiden ominaisuuksia	
Alkuaineiden muodostuminen atomeista	
Metalleissa atomien välillä on metallisidos	metallin hilarakenne metallin sulaminen –tinakenkä metallin taottavuus
Alkuainemolekyylissä atomien välillä on kovalenttinen sidos	rikkimolekyylit –pallotikkumallit valkoinen fosfori ja punainen fosfori – pallotikkumallit molekyylihila timantin atomihila -pallotikkumalli grafiitin atomihila -pallotikkumalli fullereenimolekyyli –pallotikkumalli nanoputkirakennetta-pallotikkumalli
Alkuaineiden sitoutuminen yhdisteiksi	
Ioniyhdisteissä eli suoloissa on ionisidos	natriumin ja kloorin reaktio –rakennekaava natriumkloridin ionihila puoleensavetävyys-sarjakuvapiirros ionihila hajoaa vasaran vaikutuksesta
Pooliset ja poolittomat molekyylilyhdisteet	molekyylien haarautuminen alentaa kiehumispistettä
Kemiaallisten sidosten vertailua	
Sidostyyppin arviointi ioniluonteen avulla	sidoksen ioniluonne elektronegatiivisuuden funktiona elektronegatiivisuus-ioniluonne-jana
Sidoksen vahvuuden vertailu sidosenergian avulla	taulukko: sidosten vahvuuden vertailua
Kovalenttisen sidoksen pituus	hiili-hiilisidosten pituuksia
Sidokset eri hilarakenteissa	taulukko: hilarakenteiden vertailu sidostasolla
Miten selitetään veden erityisominaisuudet?	
Veden erityisominaisuuksia	pintajännitys jäätymisen voi hajottaa pullon jään tiheys on pienempi kuin veden – pallotikkumalli veden kiehumispiste kiehumispiste vs. molekyylimassa
Vesi liuottimena	sokerin liukeneminen ruokasuolan liukeneminen ammoniakin liukeneminen natriumkloridin liukeneminen jalka ja kylmäpuski eksikattori
Molekyylin kolmiulotteisen rakenteen ennustaminen elektronirakenteen perusteella	Gilbert Lewis hiilitetrakloridi –lewiskaava
Sidosten avaruudellinen suuntautuminen ja molekyylin muoto	kaksiatomisia molekyylejä -pallotikkumalli hiilidioksidi ja vetysyanidi –pallotikkumalli booritrifluoridi –pallotikkumalli metaani –pallotikkumalli taulukko: molekyylien geometria
Vapaiden elektronien vaikutus molekyylin muotoon	vesimolekyyli –pallotikkumalli ammoniakkimolekyyli –pallotikkumalli
Kovalenttisen sidoksen muodostuminen – molekyyliorbitaalimalli	atomiorbitaalien yhteensulautuminen molekyyliorbitaaleiksi

Taulukko 21 jatkuu. Kemialliset sidokset lukion kirjassa C2

Sisältö	Kuvat
Yksinkertaisen sidoksen mallintaminen: σ -sidokset	hiilen elektronit eri atomiorbitaaleilla hiilen elektronien virittynyt tila sp^3 -hybridisaatio metaanimolekyylin tetraedrinen muoto pitkän hiilivetyketjun muoto
Kaksoissidoksen mallintaminen: yksi σ -sidos ja yksi π -sidos	sp^2 -hybridisaatio sp^2 -hybridisaation muoto eteenin orbitaalit eteeni on tasomainen –rakennekaava
Kaksoissidoksen mallintaminen: yksi σ -sidos ja kaksi π -sidos	sp -hybridisaatio orbitaalien yhteensulautuminen etyynimolekyylissä
Bentseenin erikoinen elektronirakenne	Kekulén bentseenirakenne bentseenimolekyylin rakennekaavat bentseenirenkaan orbitaalit

Taulukko 22. Kemialliset sidokset lukion kirjassa D1

Sisältö	Kuvat
Sähköinen vuorovaikutus pitää molekyylin koossa	molekyylien sisäiset ja väliset sidokset
Miksi atomit muodostavat molekyyliä?	Lewis-kaava, ulkoelektronit
Miten yksinkertainen kovalenttinen sidos syntyy?	Vetymolekyylin muodostuminen
Miten kovalenttinen kaksoissidos syntyy?	happimolekyylin muodostuminen
Miten kovalenttinen kolmoissidos syntyy?	typpimolekyylin muodostuminen
Miten hiiliatomi saavuttaa pysyvän elektronirakenteen?	erilaiset sitoutumismahdollisuudet
Mikä molekyyli on?	etikkahappomolekyyli
Miten vahvoja kovalenttiset sidokset ovat?	
Sidoksen poolisuus tarkoittaa sidoselektronien epätasaista jakautumista	kaksi koiraa
Miten poolittomat ja pooliset sidokset syntyvät?	HCl-varausjakauma
Millainen molekyyli on poolinen?	pallotikkumalli & varausjakauma etikkahappomolekyyli-varausjakauma elektronegatiivisuustaulukko

Taulukko 23. Kemialliset sidokset lukion kirjassa D2

Sisältö	Kuvat
Kovalenttisessa sidoksessa atomeilla on yhteisiä orbitaaleja	
Miksi atomien välille syntyy sidoksia?	joidenkin alkuaineiden ulkoelektronit
Miten pooliton ja poolinen kovalenttinen sidos syntyy?	elektronegatiivisuusero
Miten atomihila syntyy?	
Millainen on timantin rakenne ja millaisia ominaisuuksia timantilla on?	raakaatimantteja ja timantin rakennemalli
Millainen on grafiitin rakenne ja millaisia ominaisuuksia grafiitilla on?	grafiittia ja grafiitin rakennemalli
Millainen on fullereeni ja mitä siitä valmistetaan?	
Mitä ovat nanoputket?	nanoputkia ja fullereenin rakennemalli Herätyskello punaista ja mustaa fosforia
Mikä on koordinaatiosidos?	ammoniakin ja veden reaktio suolahapon ja veden reaktio
Molekyylit liittyvät yhteen heikoin sidoksin	jäätä ja jään rakennemalli
Millaisia sidoksia voi olla molekyylien välissä?	
Millaisia ominaisuuksia on molekyyliyhdisteillä?	jodi ja vesi, jodi ja bensiini kaavio-aineen ominaisuudet vs ioniluonne
Ionisidos syntyy erimerkkisten ionien välille	
Millainen sidos on ionisidos?	NaCl-muodostuminen, vuorovaikutus, ionihila
Miten ionihila muodostuu?	jaksollinen järjestelmä-metallisuus elektronimikroskooppikuva ruokasuolakiteistä
Mitä kidevesi on?	kuparisulfaatti
Mitä ominaisuuksia on ioniyhdisteillä?	isku-hylkimisvoima-NaCl-kiteen halkeaminen
Metallisidoksessa sidoselektronit ovat yhteisiä	Uspenskin katedraalin kupolit
Miten metallisidos ja metallihila syntyvät?	
Millaisia ominaisuuksia metalleilla on ja mistä ne johtuvat?	
Mikä aiheuttaa metallikiillon ja läpinäkyvyyden?	
Mitkä tekijät vaikuttavat metallin tiheyteen, lujuuteen ja kovuuteen?	kiteiden rajapintoja messingissä on kuparia ja sinkkiä
Sidosten perustella voidaan ennustaa aineiden ominaisuuksia	avaruussukkula
Mitkä tekijät vaikuttavat sidosenergiaan?	taulukko-sidosenergioita
Miten sidoksen vahvuus vaikuttaa aineen ominaisuuksiin?	nestetyppi ja vesi
Mikä määrää molekyylin muodon?	molekyylin muotoja
Miten vapaat elektroniparit vaikuttavat molekyylin muotoon?	symmetrisiä molekyylejä taulukko-hilarakenteiden vertailu
Sidosten avaruudellinen mallinnus	mansikoita
Molekyyliorbitaalit muodostuvat atomien liittyessä toisiinsa molekyyleiksi	molekyyliorbitaaleja molekyylihallinnuspalikoilla
Mikä on molekyyliorbitaali?	vety-molekyylin muodostuminen
Miten sigma- ja piisidos syntyvät?	sigmasidosten muodostuminen piisidoksen muodostuminen
Sidosten muodostuessa voi tapahtua hybridisaatiota	
Mitä orbitaaleille tapahtuu kovalenttisen sidoksen muodostuessa?	perustilan ja hybridisaation energiatasot metaanimolekyylin tetraedrirakenne
Miten kaksoissidos muodostuu?	eteenimolekyylin rakennemalli
Miten bentseenirengas muodostuu?	bentseenirenkaan rakennemalli
Miten kolmoissidos muodostuu?	etyynimolekyylin rakennemalli hiilen hybridisaation vaikutus sidoksen ominaisuuksiin taulukko-hybridisaatio ja molekyylin rakenne

Taulukko 24. Kemialliset sidokset lukion kirjassa E1

Sisältö	Kuvat
Ionisidos	natriumkloridin muodostuminen vetovoima, hylkimisvoima natriumkloridikide
Atomista molekyyliksi	pääryhmien alkuaineiden uloin elektronikuori vetyfluoridimolekyyli (poolisuus) poolisuus
Kovalenttisen sidoksen tyyppejä	vetymolekyylin muodostuminen happimolekyylin muodostuminen typpimolekyylin muodostuminen vesimolekyylin muodostuminen
Kovalenttisen sidoksen ominaisuuksia	vesimolekyylin pallotikkumalli ja rakennekaava
Molekyylin poolisuus	vetyfluoridimolekyyli poolisuus
Molekyylikaava ja rakennekaava	rakennekaava
Vesi, poikkeuksellinen neste	
Vesi on poolinen aine	eboniittisauva ja vesinoro vesimolekyylin osittaisvaraukset
Veden ominaisuuksia	
Veden kiehumispiste ja vetysidos	kiehumispistetaulukko vetysidos=katkoviiva metanoli ja vesi
Jää ja vesi	jääkide tietokonepiirros jään rakenne kaavio: veden tiheys

Taulukko 25. Kemialliset sidokset lukion kirjassa E2

Sisältö	Kuvat
Kemialliset sidokset ja aineen ominaisuudet	Kultaus on käsityötä
Elektronegatiivisuus ja sidokset	
Elektronegatiivisuusasteikko	Elektronegatiivisuustaulukko
Kovalenttisen sidoksen poolisuus	HCl-osittaisvaraukset
Molekyylien poolisuus	hiilidioksidimolekyyli-pooliton taulukko-3. jakson vety-yhdisteet
Molekyylien väliset sidosvoimat	pooliton-poolinen molekyyli
Poolisten molekyylien väliset sidosvoimat	pooliset molekyylit järjestyvät vety-yhdisteiden kiehumispisteet
Vetysidos	kaaviokuva-vetysidos kaaviokuva-DNA
Poolittomien molekyylien väliset sidosvoimat	vedyn hetkellinen osittaisvaraus
Vahvat ja heikot kemialliset sidokset	tyynyjä ja kangasta
Kaasut ja nesteet	
Kaasujen ominaisuuksia (heikkoja sidosvoimia)	
Pintajännitys	
Nesteiden sekoittuminen	
Nesteestä kaasuksi	
Kiinteät aineet	
Kiteisten aineiden rakenne ja ominaisuudet	
Atomihilainen aine	Timantin atomihila
Molekyylihilainen aine	Rikin molekyylihila
Metallihilainen aine	Metallin rakenne Metallien sähkönjohtokyky Metallien lämmönjohtokyky

Taulukko 26 jatkuu. Kemialliset sidokset lukion kirjassa E2

Sisältö	Kuvat
Ionihilainen aine	postimerkki-NaCl-ionihila
Ionirakenteisten yhdisteiden kaava	magnesiumin palaminen hapessa ja kloorissa taulukko-kiteisten aineiden vertailua
Kiteisten aineiden liukeneminen	solvatoituneita ioneja
Hydratoituminen	
Molekyylin muoto ja isomeria	
Kovalenttinen sidos ja molekyylin muoto	sitruuna
Elektroniparit ja molekyylin muoto	
Sidoselektronipari ja vapaa elektronipari	ilmapalloilla voidaan havainnollistaa... metaani-, vesi- ja vetyfluoridimolekyylit
Ulkokuoren elektroniparit hylkivät toisiaan	metaanimolekyylit ammoniakkimolekyylin muoto vesimolekyylin muoto
Hybridisaatio ja molekyylin muoto	
Hiilen sp^3 -hybridisaatio	perustilaisen hiiliatomin elektronirakenne hiiliatomin virittyneen tilan elektronirakenne hiilen sp^3 -hybridisaatio metaanimolekyylin σ -molekyyliorbitaalit etaanimolekyylin σ -molekyyliorbitaalit etaanimolekyylin pallotikkumalli pentaani
Hiilen sp^2 -hybridisaatio	hiiliatomin virittyneen tilan elektronirakenne hiilen sp^2 -hybridisaatio eteenimolekyylit eteenimolekyylin molekyyliorbitaalien muodostuminen 3-hekseeni
Hiilen sp -hybridisaatio	hiiliatomin virittyneen tilan elektronirakenne hiilen sp -hybridisaatio etyynimolekyylit etyynimolekyylin molekyyliorbitaalien muodostuminen 3-heksyyini
sp^2 -hybridisaatio bentseenimolekyylissä	bentseenimolekyylin rakennekaava bentseenin molekyyliorbitaalien muodostuminen bentsyylialkoholimolekyylit taulukko-hiili-hiili-sidosten pituudet ja sidosenegiat grafiitti johtaa sähköä