

**HISTORIAALLINEN JA FILOSOFINEN LÄHESTYMISTAPA  
KEMIAN LUONTEEN OPETTAMISEKSI:  
ESIMERKKINÄ ATOMIMALLIT**

Mikko Rajakylä

Pro gradu -tutkielma

15.8.2011

Kemian opettajankoulutusyksikkö

Kemian laitos

Helsingin yliopisto

Ohjaajat: Maija Aksela ja Markku Sundberg

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos – Institution – Department	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Kemian laitos	
Tekijä – Författare – Author			
Mikko Rajakylä			
Työn nimi – Arbetets titel – Title			
Historiallinen ja filosofinen lähestymistapa kemian luonteen opettamiseksi: esimerkkinä atomimallit			
Oppiaine – Läroämne – Subject			
Kemia (kemian opetus)			
Työn laji – Arbetets art – Level	Aika – Datum – Month and year	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages	
Pro gradu-tutkielma	15.8.2011	51 + 20	
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p>Tiede ei ole vain kokoelma faktoja, teorioita tai lakeja. Siihen kuuluvat oleellisena osana myös ne prosessit, miten tietoa on tuotettu ja miten tietoa käytetään. Perinteisesti kemian opetuksessa on keskitytty käsitteiden omaksumiseen. Kemian ja kemiallisen tiedon luonteeseen kuuluvien asioiden pohtimiseen on kiinnitetty vain vähän huomiota. Mikäli halutaan oppilaiden saavan paremman kuvan kemiasta tieteenä, olisi opetuksessa tuotava esille sitä, miten oppikirjoissa esitetty tieto on tuotettu ja miksi se on merkityksellistä. Lisäksi opetuksessa olisi tuotava esille, mikä on kemian suhde muihin tieteesiin sekä mikä on mallien, lakien ja teorioiden merkitys ilmiöiden selittämisessä ja kemian tutkimuksessa.</p> <p>Tämän tutkielman tavoitteena oli esittää, kuinka historiallista ja filosofista lähestymistapaa voidaan käyttää kemian ja kemiallisen tiedon luonteen opettamiseksi. Viitekehyksenä historialliselle ja filosofiselle lähestymistavalle käytettiin atomimalleja.</p> <p>Historian ja filosofian käyttämiseksi opetuksessa on selvítettävä, mitä ja millä tasolla kemian malleja on opetuksessa käsiteltävä sekä miten niitä oppikirjoissa käsitellään. Nämä asiat muotoiltiin kolmeksi tutkimuskysymykseksi, jotka ohjasivat tutkimusta: 1) Miten mallin käsite esitetään valtakunnallisissa peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmien perusteissa? 2) Miten mallin käsite esitetään peruskoulun ja lukion oppikirjoissa? 3) Miten historiallisia malleja käytetään peruskoulun ja lukion oppikirjoissa? Historiallisilla malleilla tarkoitetaan tässä tutkielmassa atomimalleja, jotka on luotu tiettyssä historiallisessa kontekstissa (antiikin kreikkalainen atomimalli, Daltonin, Thomsonin, Rutherfordin, Bohrin ja kvanttimekaaninen atomimalli).</p> <p>Tutkimuksessa analysoitiin nykyisin käytössä olevia valtakunnallisia peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmien perusteita sekä neljää peruskoulun ja kolmea lukion oppikirjasarjaa. Sisällönanalyysi perustui teoreettiseen viitekehykseen. Oppikirjoissa esiintyvien historiallisten atomimallien luokittelu ja analyysi perustui Lakatoksen tutkimusohjelman käsitteeseen.</p> <p>Tämä tutkimus osoittaa, että kemian mallien luonteeseen kuuluvia asioita ei eksplisiittisesti käsitellä valtakunnallisissa opetussuunnitelmien perusteissa. Oppikirjoissakin aiheeseen kiinnitetään vain vähän huomiota. Historiallisia malleja käsitellään kirjoissa hyvin pinnallisesti. Lisäksi niitä käsitellään usein osioissa, joiden tarkoituksena on syventää tietoa. Niiden tarkoituksena on tällöin enemmänkin inhimillistää tiedettä ja tehdä siitä mielenkiintoisempaa, kuin käyttää niitä kemian luonteen ymmärtämiseen. Lisäksi kirjoissa käytetään paljon erilaisia hybridimalleja, joiden käyttäminen voi estää oppilaita ymmärtämästä mallien merkitystä kemialle. Hybridimallit estävät myös tieteen historian ja filosofian tehokkaan käyttämisen kemian opetuksessa, sillä niiden perusteella ei voida tuoda esille tiedon luonteeseen kuuluvia asioita.</p> <p>Tieteen historia ja filosofia tarjoaa työkalut oppimateriaalin arvioimiseen sekä opetuksen suunnitteluun siten, että oppilaille välitetyn tiedon rakenne säilyy riippumatta siitä, millä tasolla käsitteitä opetetaan. Lisäksi se mahdollistaa tieteen luonteeseen liittyvien asioiden käsitellyn opetuksessa luontevalla tavalla.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
Atomimallit, historiallinen ja filosofinen lähestymistapa, kemian opetus			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Kemian laitos			

## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO .....	1
2	TIETEEN HISTORIA JA FILOSOFIA KEMIAN OPETUKSESSA.....	3
2.1	Kemian opetuksen tavoitteet.....	3
2.2	Tieteen historiaan ja filosofiaan perustuvan lähestymistavan merkitys kemian opetuksessa.....	5
2.2.1	Opetussuunnitelman tavoitteiden näkökulma.....	6
2.2.2	Oppilaan näkökulma.....	7
2.2.3	Opettajan näkökulma.....	9
2.3	Haasteita tieteen historian ja filosofian sisällyttämiseksi opetukseen .....	9
2.4	Tieteen historian ja filosofian integrointi kemian opetukseen.....	10
2.4.1	Lakatoksen tutkimusohjelma.....	11
2.4.2	Tieteen historia ja filosofia mallien opetuksessa.....	13
3	KEMIAN LUONNE JA MALLIT.....	15
3.1	Tieteen ja tieteellisen tiedon luonne .....	15
3.2	Kemian luonne .....	17
3.3	Lait ja teoriat kemiassa .....	19
3.4	Mallit kemiassa .....	21
3.4.1	Mallien luokittelu .....	23
3.4.2	Mallien yhteys selittämiseen .....	24
3.5	Mallit kemian opetuksessa.....	25
3.5.1	Opetusmallit .....	28
3.5.2	Hybridimallit .....	29
3.5.3	Mallien ymmärtämisen tasot .....	29
4	TUTKIMUS .....	31
4.1	Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset .....	31
4.2	Tutkimuksen toteutus.....	31

4.2.1	Mallin käsite opetussuunnitelmien perusteissa sekä oppikirjoissa.....	32
4.2.2	Historiallisten mallien luokittelu .....	32
5	TULOKSET .....	37
5.1	Mallin käsite peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmien perusteissa.....	37
5.1.1	Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet.....	37
5.1.2	Lukion opetussuunnitelman perusteet .....	38
5.2	Mallin käsite peruskoulun ja lukion oppikirjoissa.....	39
5.3	Historialliset mallit peruskoulun ja lukion oppikirjoissa .....	40
5.3.1	Hybridimallit .....	45
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	47
6.1	Tutkimuksen tulokset.....	47
6.1.1	Mallin käsite opetussuunnitelmien perusteissa .....	47
6.1.2	Mallin käsite peruskoulun ja lukion oppikirjoissa.....	48
6.1.3	Historialliset mallit oppikirjoissa .....	48
6.1.4	Hybridimallit .....	49
6.2	Yhteenvedo ja tutkimuksen merkittävyys .....	49
6.2.1	Kemian opetuksen näkökulma.....	49
6.2.2	Kemian opettajankoulutuksen näkökulma .....	50
	LÄHTEET .....	52
	LIITTEET.....	58

# 1 JOHDANTO

Tiede ei ole vain kokoelma faktoja, teorioita tai lakeja, vaan tieteeseen kuuluvat oleellisena osana ne prosessit, miten tietoa on tuotettu ja miten tietoa käytetään (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994, s. 107–108). Kemian opetuksessa on perinteisesti keskitytty käsitteiden omaksumiseen. Sen sijaan niiden prosessien pohtiminen, millä tietoa on tuotettu, on jäänyt vähemmälle huomiolle. On esitetty, että opettajat näkevät itsensä pelkästään tiedon välittäjinä. Myös menetelmät, joilla tieto on tuotettu, nähdään ongelmattomina, eivätkä käsitteet näin ollen vaadi perusteluja. (Justi 2000; Rudge & Howe 2006) Tieteellisen tiedon luonteeseen kuuluvien asioiden esille tuomiseksi opetuksessa, on ehdotettu tieteen historian ja filosofian sisällyttämistä opetukseen. Tavoitteena on, että oppilaat saavat näin paremman kokonaiskuvan tieteestä. (Esim. Matthews 1994)

Tämän tutkimuksen tavoitteena on esittää, miten historiallista ja filosofista lähestymistapaa voidaan käyttää opetuksessa parantamaan oppilaiden käsitystä kemian ja kemiallisen tiedon luonteesta. Peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmien perusteiden mukaan (Opetushallitus 2003; 2004) kemian opetuksessa pitäisi tuoda esille sisältöjen lisäksi myös kemian luonteeseen kuuluvia asioita. Opetuksen tulisi lisäksi tukea luonnontieteellisen ajattelun ja maailmankuvan kehittymistä. Kuitenkin näiden asioiden opettamiseen opettajalla täytyy olla ymmärrys siitä, mikä on kemian asema tieteen kentässä, millainen on kemiallisen tiedon luonne ja millainen on (kemian tuottamien) tulosten (lait, teoriat ja mallit) merkitys kemian tutkimuksessa (esim. Matthews 1994; Monk & Osborne 1997). Tieteelliseen ajatteluun kuuluvat oleellisena osana epistemologiset kysymykset. Maailmankuvan kehittymiseen tarvitaan ymmärrystä tieteen ja yhteiskunnan vuorovaikutuksesta.

Tieteen historia ja filosofia voivat myös auttaa oppilaita vaikeiden käsitteiden oppimisessa (esim. Wandersee & Baudoin Griffard 2002; Monk & Osborne 1997) ja motivoida oppilaita (esim. Matthews 1994). Opettaja voi käyttää tieteen historiaa ja filosofiaa kurssien suunnittelussa sekä oppikirjojen arvioimisessa. Perehtymällä tieteen historiaan ja filosofiaan, opettaja voi ymmärtää paremmin oppilaiden vaikeuksia käsitteiden ymmärtämisessä (Matthews 1994). Se voi tarjota opettajalle loogisemman perustan opetuksen suunnitteluun (Justi & Gilbert 1999a) sekä oppimateriaalin arvioimiseen (Justi ja Gilbert 1999a; 2001; Rodríguez & Niaz 2002).

Kemian ja kemian opetuksen peruskäsitteisiin kuuluu atomi. Se mahdollistaa kemisteille aineen rakenteen ja muutosten kuvaamisen. (Caldin 2002) Aineen rakennetta kuvaavat mallit ovatkin keskeisessä asemassa kemiallisten ilmiöiden kuvaamisessa. Niillä on niin keskeinen rooli aineen fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien kuvaamisessa, että kemistejä voidaan pitää aineen rakenteen mallintajina (Justi & Gilbert 2002a; Erduran 2001).

Tässä tutkielmassa esitetään, miten atomimalleja voidaan käyttää perustana tieteen historian ja filosofian sisällyttämiseksi opetukseen. Tutkielmassa käytetään Lakatoksen tutkimusohjelman käsitettä oppikirjoissa esiintyvien historiallisten mallien tunnistamiseen, analysoimiseen sekä perustana niiden opetukseen. Lisäksi tutkimuksessa analysoidaan mallin käsitettä peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmien perusteista ja oppikirjoista.

Luvussa 2 käsitellään tieteen historiaa ja filosofiaa kemian opetuksessa. Luvun alussa käsitellään tieteen historian ja filosofian merkitystä opetuksessa opetussuunnitelman, oppilaan sekä opettajan näkökulmasta. Luvun loppuosa käsittelee kemian historian ja filosofian käyttämistä opetuksessa. Kolmannessa luvussa käsitellään kemian luonnetta sekä malleja. Luvun alussa kuvataan yleisesti tieteen ja kemian luonnetta sekä lakien, teorioiden ja mallien merkitystä kemiassa. Luvun lopussa käsitellään malleja kemian opetuksessa. Luvussa 4 kuvataan tutkimuskysymykset sekä tutkimuksen suorittaminen, ja luvussa 5 esitellään tutkimuksen tulokset. Oppikirja-analyysin tuloksia pohditaan teoreettisen viitekehyksen sekä aikaisemman tutkimustulosten valossa kuudennessa luvussa.

## 2 TIETEEN HISTORIA JA FILOSOFIA KEMIAN OPETUKSESSA

### 2.1 Kemian opetuksen tavoitteet

Suomessa opetuksen perustana ovat kansalliset opetussuunnitelman perusteet, joiden pohjalta laadittuja koulukohtaisia opetussuunnitelmia opettajat ovat velvollisia noudattamaan (Opetushallitus 2004). Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden (2004) mukaan kemian opetuksen tehtävänä vuosiluokilla 7-9

*”on laajentaa oppilaan tietämystä kemiasta ja kemiallisen tiedon luonteesta sekä ohjata luonnontieteille ominaiseen ajatteluun, tiedonhankintaan ja tietojen käyttämiseen elämän eri tilanteissa. Opetus antaa oppilaalle persoonallisuuden kehittymisen ja nykyaikaisen maailmankuvan muodostamisen kannalta välttämättömiä aineksia ja se auttaa ymmärtämään kemian ja teknologian merkityksen jokapäiväisessä elämässä, elinympäristössä ja yhteiskunnassa.”*

Lukion opetussuunnitelman perusteiden (2003) mukaan kemian opetuksen tarkoituksena on

*”tukea opiskelijan luonnontieteellisen ajattelun ja nykyaikaisen maailmankuvan kehittymistä osana monipuolista yleissivistystä. Opetus välittää kuvaa kemiasta yhtenä keskeisenä perusluonnontieteenä, joka tutkii ja kehittää materiaaleja, tuotteita, menetelmiä ja prosesseja kestävän kehityksen edistämiseksi.”*

Kemian opetuksen tehtävänä on opettaa kemian sisältöjen ohella myös jotakin kemiasta tieteenä. Opetuksen tavoitteena on, että oppilaat ymmärtävät, mitä kemiassa tutkitaan ja minkälaisilla menetelmillä tietoa tutkimuksen kohteena olevasta ilmiöstä tai oliosta saadaan. Tärkeää on ymmärtää myös se, miten saatua tietoa käytetään ja sovelletaan. (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994, s. 107–108) Justin ja Gilbertin (2002b) mukaan kemian opetuksen päämääränä on siis opettaa kemian käsitteitä, kemiaa tieteenä sekä sitä, miten kemistit tekevät tutkimusta.

Kemiallisen tiedon luonteeseen kuuluvat tietoon liittyvät epistemologiset eli tietoteoreettiset kysymykset tiedon varmuudesta sekä siitä, mihin tieto perustuu. Näihin liittyy oleellisesti myös se, mikä rooli kemisteillä ja yhteiskunnalla on tiedon muodostamisessa. Samaten tiedon

luonteeseen kuuluu se, mikä on tieteen tulosten (lait, teorit ja mallit) merkitys ilmiöiden selittämisessä sekä tutkimuksessa. (McComas et.al 1998a)

Kemian, kemiallisen tiedon luonteen sekä luonnontieteellisen ajattelun opettamiseksi tarvitaan koko joukko erilaisia filosofisia käsitteitä, kuten laki, teoria, malli, hypoteesi, havainto ja idealisaatio jne. Näiden käsitteiden oppimisen kannalta on oleellista tietää, mitä ne merkitsevät ja miten niitä käytetään oikein.

Peruskoulun opetussuunnitelman perusteiden (2004) mukaan kemian opetuksen lähtökohtana on kokeellinen lähestymistapa, mistä ”*edetään ilmiöiden tulkitsemiseen, selittämiseen ja kuvaamiseen sekä aineen rakenteen ja kemiallisten reaktioiden mallintamiseen kemian merkkielellä*”.

Lukion opetussuunnitelman perusteiden (2003) mukaan kemian opetukselle ”*on luonteenomaista kemiallisten ilmiöiden ja aineiden ominaisuuksien havaitseminen ja tutkiminen kokeellisesti, ilmiöiden tulkitseminen ja selittäminen mallien ja rakenteiden avulla, ilmiöiden kuvaaminen kemian merkkielellä sekä ilmiöiden mallintaminen ja matemaattinen käsittely*”.

Ilmiöiden selittämisen tai aineen rakenteen mallintamisen edellytyksenä on ymmärrys siitä, mitä ylipäätään tieteellisellä mallilla tarkoitetaan. Mallintaminen on niin keskeisessä asemassa kemiassa, että Justin ja Gilbertin (2002a) mukaan kemian oppimisen edellytyksenä on:

- Tutustua niihin tieteellisiin malleihin, joita on historian saatossa kehitetty.
- Oppia, mitkä ovat näiden mallien ulottuvuudet ja rajoitukset.
- Ymmärtää mallien merkitys kemian ilmiöiden selittämisessä ja tutkimisessä.
- Ymmärtää, miten malleja rakennetaan, kehitetään ja testataan.

Peruskoulun sekä lukion opetussuunnitelman perusteissa (Opetushallitus 2003; 2004) opetuksen yhtenä yleisenä päämääränä on oppilaan inhimillisen kasvun tukeminen, oman kulttuuri-identiteetin sekä teknologian ja yhteiskunnan välisen suhteen ymmärtäminen. Tieteen historian ja filosofian avulla näitä teemoja on helppoa ja luontevaa sisällyttää osaksi kemian opetusta.



Kemian ja yleensä luonnontieteiden opetuksen merkitystä perustellaan myös sillä, että jokainen tarvitsee jonkinlaista tietämystä tieteestä ja tieteen toimintavoista. Sjøberg (1996) esittää tälle neljä argumenttia. Ensimmäinen argumentti on se, että moderni, teknologiaa hyödyntävä yhteiskunta tarvitsee luonnontieteiden osaajia. Toisen argumentin mukaan tiede on paras keino luonnon ja ympäristön ymmärtämiseksi. Perustieto tieteestä ja sen toimintavoista auttaa ihmistä toimimaan paremmin. Kolmannen argumentin mukaan vastuullisten päätösten tekemiseksi ja arvioimiseksi kansalaiset tarvitsevat tietoa ja työkaluja. Viimeisen argumentin mukaan luonnontieteet ovat eräs ihmiskunnan tärkeimpiä kulttuurisia saavutuksia ja arvokkaita sellaisenaan. Luonnontieteillä on ollut keskeinen merkitys maailmankuvan luomisessa, joten sen ymmärtämiseksi tarvitaan tietoa luonnontieteistä.

## **2.2 Tieteen historiaan ja filosofiaan perustuvan lähestymistavan merkitys kemian opetuksessa**

Matthewsin (1994, s. xii-xiv) mukaan luonnontieteiden opettaja tarvitsee kolmenlaista osaamista. Ensimmäiseksi opettajan täytyy tunkea oma tieteenalansa sekä ymmärtää, kuinka tiede toimii. Toiseksi opettajalla täytyy olla jonkinlainen ymmärrys tieteen historiasta ja filosofiasista, jotta hän voi opettaa kunnolla oppiainettaan sekä arvioida opetussuunnitelmaa koskevaa keskustelua. Kolmanneksi opettajalla on oltava jonkinlainen pedagoginen teoria tai näkemys siitä, mitä opetusmenetelmiä hän käyttää ja miksi.

Erduran ja Scerri (2002) esittävät, että käsitteiden opettamiseen tulisi sisällyttää myös sitä, kuinka kemiassa muodostetaan, arvioidaan sekä uudistetaan tietoa. Tällainen pohdiskelu todennäköisesti auttaisi keskeisten käsitteiden oppimista.

Opetussuunnitelmassa (Opetushallitus 2003; 2004) asetettuja kemian opetuksen tavoitteita ei voida saavuttaa, mikäli opetuksessa ohitetaan käsitteisiin liittyvä historiallinen ja filosofinen näkökulma. Tämän näkökulman sekä historiallisen ja sosiaalisen kontekstin huomioiminen tuottaa oppilaille paremman kokonaiskuvan tieteestä sekä voi lisätä kiinnostusta kemiaa kohtaan (Justi 2000). Opetus, jossa käsitteitä selitetään ja perustellaan, helpottaa niiden oppimista ja lisää motivaatiota opiskeluun, koska samalla selviää, miksi kemiaa opiskellaan. (Monk & Osborne 1997) Tämä voi myös lisätä oppilaiden motivaatiota opiskeluun, koska samalla tulee myös perusteltua miksi kemiaa opiskellaan (Justi 2000).

Historiallinen ja filosofinen perspektiivi tieteen kehitykseen on perusta sen ymmärtämiseksi, mitä inhimillinen tieto on. Ilman ymmärrystä tieteestä ja sen toimintatavoista ei voida myöskään ymmärtää, kuinka tieto on kehittynyt ja kuinka varmaa tieto on. (Matthews 1994, s. 8)

### **2.2.1 Opetussuunnitelman tavoitteiden näkökulma**

Opetussuunnitelman perusteiden (Opetushallitus 2004) mukaan kemian opetuksen tehtävänä on laajentaa oppilaiden käsitystä kemian ja kemiallisen tiedon luonteesta. Kemian tieteen ja kemiallisen tiedon luonnetta käsitellään tarkemmin kolmannessa luvussa. Kemian opetuksen näkökulmasta tämä tarkoittaa sitä, että opetuksessa tulisi tuoda esille, mitä tiede on, kuinka tiede toimii, miten tieteentekijät toimivat tiedeyhteisössä, kuinka yhteiskunta vaikuttaa tieteelliseen tutkimukseen ja mikä merkitys tieteellä on yhteiskunnalle. (McComas et.al. 1998b)

Thomas Kuhnin (1996, s. 1-9) mukaan tiede ja nykyinen tietämyksemme ei ole muodostunut kokoelmasta yksittäisiä keksintöjä ja löytöjä. Uuden teorian hyväksyminen tiedeyhteisössä vaatii aina aikaisemman teorian uudistamista sekä aiempien tulosten uudelleen arviointia. Aikaisemmat teorit eivät ole vähemmän tieteellisiä tai enemmän inhimillisen toiminnan tuloksia siksi, että ne ovat hylättyjä. Tästä syystä tieteen historia voi tarjota monipuolisemman kuvan tieteen toimintatavoista ja muuttaa oppilaiden käsitystä tieteestä.

Selityksissä ja tutkimuksessa teorioilla, laeilla ja malleilla on erilainen merkitys eri tieteissä. Kemian ja kemian luonteen opettamiseksi tämä pitäisi huomioida. Esimerkiksi kemian opetuksessa tulisi tuoda esille sitä, millaisia lakeja kemiassa on ja miten ne eroavat vaikkapa fyysiikan laeista. (Erduran & Scerri 2002)

Kysymykset siitä, mitä ja miten tiedämme, ovat keskeisiä kaikille tieteille. Jälkimmäinen kysymys ei koske vain niitä menetelmiä, joilla tieto on saatu, vaan myös sitä, mikä tekee tietystä menetelmästä hedelmällisen tiedon tuottamisessa. Monk ja Osborne (1997) esittävätkin tieteellisen tiedon epistemologian keskeiseksi argumentiksi tieteen historian ja filosofian liittämisen opetukseen. Tieteelliseen tietoon kuuluu heidän mukaansa metodologisen osan lisäksi myös tiedon tulkintaa. Metodologinen osa on se, mikä tekee tiedosta luotettavaa ja merkityksellistä. Ajan puutteen vuoksi kouluopetuksessa usein keskitytään vain yhteen mahdolliseen tulkintaan tuloksista. Tällöin opetuksesta jää puuttumaan tieteelliselle tiedolle ominaiset ky-

symykset: Kuinka tiedämme? Kuinka varmaa saatu tieto on? Millä perusteella tieteen tekijät ovat päätyneet tiettyihin tuloksiin?

Tiedeyhteisöllä ja yhteiskunnalla on merkittävä rooli tiedon arvioimisessa sekä tutkimuksen ohjaajana (Niiniluoto 2002 s. 13–15; Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994 s.108). Samoin kemialla on ja on ollut suuri merkitys yhteiskunnalle uusien aineiden ja materiaalien kehityksen myötä (Sjöström 2007). Kemian historian ja filosofian avulla voidaan luontevasti tuoda esille yhteiskunnan ja tiedeyhteisön roolia kemiallisen tiedon muodostamisessa. Historiallinen perspektiivi on myös hedelmällinen sen opettamiseksi, mikä on kemian merkitys yhteiskunnan kehityksen kannalta sekä miten teknologian kehittyminen on vaikuttanut tieteen kehittämiseen. Monkin ja Osbornen (1997) mukaan ilman tieteen historiaa ja filosofiaa, luonnontieteiden opetus suorastaan epäonnistuu tämän tärkeän seikan esille tuomisessa. Tieteellisen tiedon merkitystä ja luonteen ymmärtämistä voidaan vain parantaa ymmärtämällä jotakin siitä historiallisesta kontekstista, missä se on muodostunut.

Myös muut tieteenalat ovat vaikuttaneet kemian kehitykseen. Kemian tutkimus vaikuttaa myös muiden tieteenalojen kehitykseen. Matthews (1994, s. 53) mukaan historia luonnontieteiden opetuksessa paljastaa oppilaille kemian suhteen muihin tieteenaloihin. Tämä myös edistää niiden inhimillisten ponnistelujen arvostusta, joita tieteen tekijät tekevät tieteen, tiedon sekä tiedon sovellusten kartuttamiseksi. Tieteen historia ja filosofia mahdollistavat luontevasti oppiaineiden välisten yhteyksien luomisen, jolloin oppilailla on mahdollisuus yhtenäisemmän kokonaissivistyksen saavuttamiseksi (Justi & Gilbert 1999a).

### **2.2.2 Oppilaan näkökulma**

Kemian historia ja filosofia voivat parantaa oppilaiden oppimista. Ensinnäkin ne voivat helpottaa käsitteiden muistamista sekä vaikeiden tai abstraktien käsitteiden ymmärtämistä. Toiseksi niiden avulla voidaan motivoida oppilaita kemian tai yleensäkin luonnontieteiden pariin.

Oppiminen edellyttää tietorakenteiden luomista siten, että uudet käsitteet liitetään jo muistissa oleviin käsitteisiin. Uuden tiedon omaksuminen sekä tiedon soveltaminen edellyttää jo olemassa olevia tietorakenteita, joihin tieto liitetään tai mistä sitä haetaan. Mikäli opetuksessa ei tätä huomioida, uudet käsitteet eivät jää oppilaiden mieliin tai ne tallentuvat muistiin irrallisina ”faktoina”. (Johnstone 1997) Wandersee ja Baudoin Griffard (2002) puhuvat mielekkästä

oppimisesta, mikä tarkoittaa sitä, että opitut käsitteet ovat siirrettävissä uusiin tilanteisiin, jolloin niitä voidaan soveltaa ja käyttää uusien käsitteiden omaksumisessa.

Kemian käsitteiden tarkasteleminen erilaisista näkökulmista voi auttaa oppilaita luomaan paremmin käsitteiden välisiä yhteyksiä sekä soveltamaan oppimaansa. Historiallinen ja filosofinen lähestymistapa opetuksessa voi auttaa opettajia kehittämään sekä käyttämään opetusstrategioita ja -menetelmiä, jotka tukevat tällaisten tietorakenteiden muodostumista ja sitä kautta oppilaiden oppimista. (Wandersee & Baudoin Griffard 2002)

Gilbert (2006) esittää, että erilaisten kontekstien käyttäminen opetuksessa parantaa oppilaiden oppimista. Kontekstin avulla opiskeltava asia muuttuu oppilaiden kannalta mielekkääksi, sillä he voivat nähdä, miten opiskeltava asia liittyy heidän elämäänsä. Lisäksi kontekstin käyttäminen mahdollistaa yhtenäisten tietorakenteiden kehittämisen.

Tieteellisten käsitteiden opiskelu historiallisessa kontekstissa voi parantaa niiden oppimista. Oppilaiden ennakkokäsitykset vastaavat usein historiallisia näkemyksiä. Nykyään hyväksytyihin tieteellisiin käsitteisiin liittynyt vastustus on aikoinaan ollut samanlaista kuin oppilaiden esittämät näkemykset. Ennakkokäsityksien ymmärtäminen puhtaasti historiallisiksi voi pakottaa oppilaat kiinnittämään huomiota omien käsitystensä puutteisiin ja pohtimaan tarkemmin moderneja tieteellisiä ideoita. Hyvän oppimisen edellytyksenä on se, että oppilaille on aikaa käsitellä ja pohtia omia käsitteellisiä rakenteita ennen uusien käsitteiden oppimista. (Monk & Osborne 1997) Myös Rudge ja Howe (2009) painottavat tieteen historian ja filosofian merkitystä oppilaiden ennakkokäsitysten arvioimiseksi ja muuttamiseksi.

McComas et.al (1998a) esittävät, että luonnontieteellisen tiedon luonteen ymmärtäminen auttaa myös käsitteiden oppimista. He puhuvat staattisesta ja dynaamisesta näkemyksestä tieteesestä. Staattisen näkemyksen mukaan tiede on joukko faktoja, jotka täytyy opetella ulkoa. Dynaamisen näkemyksen mukaan tieteellinen tieto on alustavaa. Paras tapa ymmärtää tällaista tietoa on ymmärtää, mitä tieteelliset ideat tarkoittavat ja miten ne ovat suhteessa toisiinsa.

Tutkiminen tieteentekijöitä henkilöinä ja tiedettä sosiaalisessa kontekstissa, voi tehdä luonnontieteiden opiskelusta vähemmän abstraktia. Lisäksi erilaisten sosiaalisten, eettisten, poliittisten ja kulttuuristen kysymysten huomioiminen luonnontieteiden opetuksessa voi tehdä luonnontieteistä kiinnostavampaa. Parempi käsitteellinen ymmärtäminen, tieteen inhimillis-

täminen ja tieteellisen ajattelutavan omaksuminen voi motivoida oppilaita luonnontieteiden pariin. Tällöin luonnontieteiden opetus muuttuu faktojen opettelemisesta uusien ajattelutapojen omaksumiseen. (Matthews 1994)

### **2.2.3 Opettajan näkökulma**

Historiallinen perspektiivi mahdollistaa oppilaiden kognitiivisten taitojen sekä käsitteiden oppimiseen liittyvien vaikeuksien huomioimisen kurssin suunnittelussa. Perehtymällä tieteen historiaan ja filosofiaan, opettaja voi ymmärtää paremmin oppilaiden vaikeuksia käsitteiden ymmärtämisessä. Sen tiedostaminen, millaisia vaikeuksia aiemmilla tieteentekijöillä on ollut käsitteiden muodostamisessa, voi auttaa opettajaa suunnittelemaan ja organisoimaan opetustaan paremmin. (Matthews 1994)

Justi ja Gilbert (1999a) esittävät, että tieteen historia ja filosofia voivat tarjota opettajalle ja oppilaalle tukevamman ja loogisemman perustan opetussuunnitelman toteuttamiselle. Nykyisten oppikirjojen sisällöt voivat tuntua oppilaista sekavilta ja niissä esitettyjen käsitteiden välille on hankala luoda mielekkäitä yhteyksiä. Oppikirjat voivat jopa antaa väärän kuvan siitä, kuinka kemiassa tietoa muodostetaan ja hankitaan (Rodriguez & Niaz 2002).

## **2.3 Haasteita tieteen historian ja filosofian sisällyttämiseksi opetukseen**

Eräs keskeinen tekijä sille, miksi kemian (tieteen) historialla ja filosofialla on tähän asti ollut varsin marginaalinen rooli opetuksessa, on se, että se nähdään varsin toisarvoisena asiana, mihin ei haluta käyttää aikaa. Sen pelätään vievän aikaa niiden käsitteiden perusteelliselta käsittelemiseltä, joita halutaan opettaa. (Wandersee & Baudoin Griffard 2002) Tämä voi johtua siitä, että opettajilla on varsin vajavainen käsitys tieteellisen tiedon luonteesta. He näkevät tehtävänänsä tieteen tulosten esittelemisen. Heille tieteellinen menetelmä on ongelmaton, eivätkä saavutetut tulokset siksi vaadi sen kummallisempia perusteluja. (Monk & Osborne 1997)

Erduran ja Scerri (2002) esittävät, että tieteen historian ja filosofian sisällyttämiseksi opetussuunnitelmaan on epäonnistuttu siitä syystä, että opetussuunnitelman laatijoilla on ollut virheellinen käsitys siitä, miten tiede yleensä määritellään. Kemian opettajat ovat opettaneet tiedettä yleisesti, eivätkä he ole huomioineet riittävästi kunkin tieteenalan ominaispiirteitä.

Toinen tekijä on se, että vaikka opettajalla olisikin hyvä näkemys tieteellisen tiedon luonteesta, se ei välttämättä näy käytännön työssä. Luokkatilanteet sekä määrätyt sisällöt määrittelevät sen, mitä ja miten opetetaan. (Monk & Osborne 1997)

Kolmas tekijä on sopivien materiaalien vaikea saatavuus (Wandersee & Baudoin Griffard 2002). Oppikirja on keskeisessä osassa kouluopetuksessa (Esim: Englund 1999; Törnroos 2008) ja mikäli oppikirjojen laatijat keskittyvät pelkästään tieteen saavutusten esittelemiseen, kattava historian ja filosofian sisällyttäminen opetussuunnitelmaan on erittäin vaikea toteuttaa (Monk & Osborne 1997).

## **2.4 Tieteen historian ja filosofian integrointi kemian opetukseen**

Rudgen ja Howen (2009) mukaan tieteen historiaa on parasta käyttää apuna sisältöjen ja tieteen luonteen opettamiseksi. Heidän mukaansa opetettavan tieteellisen näkemyksen tulisi aina perustua siihen, mitkä tekijät ovat siihen johtaneet. Tavoitteena (tälle) on luoda oppilaille näkemys modernista tieteellisestä tulkinnasta, tarkasteltavasta ilmiöstä sekä siitä, mitkä ovat tämän tulkinnan vahvuudet ja rajoitukset.

Rudgen ja Howen (2009) mukaan tieteen luonnetta tulisi tuoda esille eksplisiittisesti ja reflektiivisesti. Eksplisiittinen tarkoittaa sitä, että tieteen luonteeseen kuuluvia kysymyksiä tulisi jatkuvasti tuoda esille opetustilanteissa, esimerkiksi keskusteluissa ja kokeellisessa työskentelyssä. Reflektiivinen tarkoittaa sitä, että opetuksen tuloksena oppilaille muodostuu syvempi kuva tieteen luonteesta oman toimintansa seurauksena sekä sitä, että oppilaat ymmärtävät, mikä merkitys käsitellyillä esimerkeillä on heidän kokonaiskuvaansa tieteestä.

Matthewsin (1994, s. 61–62) mukaan oppilaille tulisi muodostua seuraavanlainen kuva tieteestä ja tieteentekijöistä:

- Mitkä ovat hypoteesien, tieteen periaatteiden ja teorioiden merkitykset tutkimuksessa ja miten ne liittyvät toisiinsa?
- Mitkä ovat kokeiden sekä ideoiden merkitykset tieteellisessä tutkimuksessa ja kuinka ne vuorovaikuttavat toisiinsa?
- Uudet havainnot johtavat uusiin hypoteeseihin sekä kokeisiin.

- Luonnon ilmiöiden selittäminen perustuu yleisesti hyväksytyihin lakeihin ja periaatteisiin.
- Tieteen kehittyminen riippuu, ainakin osittain, teknologiasta sekä muista tieteestä riippumattomista tekijöistä.
- Tieteen tekijät ovat persoonia, joten heidän ominaisuuksillansa sekä tiedeyhteisöllä on merkittävä rooli tieteen kehittymiselle.

Justi ja Gilbert (1999) esittävät, että menestyksellinen tieteen historian ja filosofian käyttäminen edellyttää kolmen ehdon täyttymistä. Ensinnäkin sillä täytyy olla epistemologinen perusta. Sen on perustuttava johonkin hyväksytyyn tieteenfilosofiseen malliin tieteen kehittymisestä, mitä sovelletaan johdonmukaisesti. Toiseksi sillä täytyy olla ontologinen perusta eli analyysin tulee keskittyä johonkin olioiden tai ilmiöiden joukkoon. Kolmanneksi sillä täytyy olla sisällöllinen perusta eli analyysin tulee kohdistua keskeisiin opetussuunnitelman alueisiin.

#### **2.4.1 Lakatoksen tutkimusohjelma**

Justi ja Gilbert (1999; 2000) ehdottavat, että Lakatoksen tutkimusohjelman (*Scientific program*) käsite soveltuu hyvin epistemologiseksi perustaksi mallien opetukseen. Niazin (2008, s. 38) mukaan tämä näkökulma auttaa oppilaita ymmärtämään sen, että tieteellisen tiedon kehittymiseen liittyy aina kilpailevien näkökulmien yksityiskohtainen tarkastelu ja arviointi uuden tiedon valossa.

Lakatoksen lähtökohtana on se, että kaikki tieteen muodostavat lait ja peruseriaatteet eivät ole samanarvoisia. Jotkin ovat niin perustavanlaatuisia, että niitä voidaan pitää jopa tiedettä määrittelevinä. Näitä peruseriaatteita ei voida syyttää ongelmatilanteissa, vaan syitä on etsittävä vähemmän perustavanlaatuisista tekijöistä. Lakatoksen mukaan tiede kehittyy ohjelmallisesti tiettyjen peruseriaatteiden seurauksena ja tieteentekijät muokkaavat tämän tutkimusohjelman vähemmän perustavanlaatuisia tekijöitä. Mikäli he onnistuvat, tutkimusohjelma kehittyy. (Chalmers 2010, s. 131) Lakatoksen tutkimusohjelma koostuu samaa kohdetta tai ongelma-alueita koskevista teorioista ja heuristisista periaatteista, jotka kertovat, miten tutkimusohjelmalla voidaan näitä ongelmia ratkaista. (Kiikeri & Ylikoski 2004, s. 71)

Lakatos kutsuu em. peruseriaatteita tutkimusohjelman kovaksi ytimeksi (*hard core*), joka määrittelee tutkimusohjelman ja jota ei missään vaiheessa kyseenalaisteta. Se koostuu yleisis-

tä hypoteeseista, jotka muodostavat perustan sille, kuinka tutkimusohjelma kehittyy. Kovan ytimen muokkaaminen johtaa tutkimusohjelman hylkäämiseen. Esimerkiksi Kopernikaanisen tutkimusohjelman kova ydin koostui oletuksista, että Maa ja planeetat kiertävät paikallaan pysyvää Aurinkoa ja Maa pyörähtää akselinsa ympäri kerran päivässä. Näistä perusoletuksista luopuminen merkitsisi koko tutkimusohjelman hylkäämistä. (Chalmers 2010, s. 131; Kiikeri & Ylikoski 2004, s.71–72)

Tutkimusohjelman kovaa ydintä täydentää joukko enemmän muutokselle alttiina olevia lisäoletuksia, joiden avulla voidaan tehdä yksikäsitteisiä ennustuksia. Nämä lisäoletukset määrittelevät myös sen, mihin tutkimusohjelmaa voidaan soveltaa. Ne sisältävät myös teoriat, joiden perusteella tehdään havaintoja ja raportoidaan tuloksia. (Chalmers 2010, s. 132)

Kopernikaaniseen tutkimusohjelmaan kuuluivat lisäoletuksina planeettojen kulun epäsäännöllisyyksiä kuvaavat episyklit sekä oletukset paljain silmin tehtyjen havaintojen tarkkuudesta. Episyklit korvattiin myöhemmin ellipsiradoilla ja paljain silmin tehdyt havainnot kaukoputkella tehtyihin havaintoihin. (Kiikeri & Ylikoski 2004, s. 72.)

Edellinen esimerkki pyrkii kuvaamaan sitä, että mahdolliset ristiriidat tutkimusohjelman ja tehtyjen havaintojen välillä liittyvät lisäoletuksiin, eivätkä itse kovaan ytimeen. Lakatos kutsuu näitä lisäoletuksia suojavyöhykkeeksi (*protective belt*), joka korostaa niiden tehtävää kovan ytimen suojaamiseksi falsifioinnilta. Tutkimusohjelmassa työskentelevät tutkijat pyrkivät parantamaan ja laajentamaan suojavyöhykettä, jotta kova ydin vastaisi paremmin tehtyjä havaintoja. Tämä tapahtuu tekemällä sekä muokkaamalla erilaisia hypoteeseja. Suojavyöhykettä voidaan muokata ja parantaa, kunhan lisäoletuksia ei tehdä *ad hoc*. Lisäksi niiden täytyy olla riippumattomasti testattavia. (Chalmers 2010, s. 132; s. 136)

Tutkimusohjelmaan liittyvien ongelmien ratkaisua ohjaavat metodologiset säännöt, joita Lakatos kutsuu negatiiviseksi ja positiiviseksi heuristiikaksi. Negatiivinen heuristiikka sisältää ohjeet siitä, mitä tutkijan ei kannata tehdä. Tutkija ei esimerkiksi saa muokata ohjelman kovaa ydintä. Mikäli tutkija muokkaa ohjelman kovaa ydintä, hän joutuu jättämään koko tutkimusohjelman. Positiivinen heuristiikka sisältää säännöt, kuinka kovaa ydintä täydennetään ja suojavyöhykettä muokataan, jotta tutkimusohjelmaa voidaan käyttää ilmiöiden selittämiseen sekä ennustusten tekemiseen. Positiivinen heuristiikka sisältää myös erilaiset koe- ja laskentatekniikat sekä niihin liittyvät oletukset. Tutkimusohjelman kehittämiseen liittyy siis apuhypo-



teesien, tutkimusmenetelmien ja matemaattisten apuvälineiden kehittäminen. Esimerkiksi Kopernikaanisen tutkimusohjelman positiiviseen heuristiikkaan kuului planeettamalleihin liittyvät matemaattiset mallit sekä havaintotekniikoiden parantuminen (esim. kaukoputkien kehittyminen). (Chalmers 2010, s. 132–133; Kiikeri & Ylikoski 2004, s. 72–73).

Tutkimusohjelman hyvyyden mittari on se, kuinka hyvin sen avulla voidaan tehdä uusia, kokeellisesti vahvistettavia ennustuksia. Lakatos kutsuu edistyväksi (*progressive*) tutkimusohjelmaksi sellaista ohjelmaa, joka säilyy yhtenäisenä ja sen avulla voidaan tehdä uusia kokeellisesti vahvistettavia ennustuksia. Tutkimusohjelma on taantuva (*degenerative*), mikäli sen yhdenmukaisuus ei säily ja sitä ei enää voi käyttää ennustusten tekoon. (Chalmers 2010, s. 135–136)

Lakatoksen mukaan tiede kehittyy, kun taantuva tutkimusohjelma korvautuu edistävällä tutkimusohjelmalla. (Chalmers 2010, s. 136) Kuitenkaan teoriaa ei hylätä vain sillä perusteella, että teoria ei sovi yhteen tehtyjen havaintojen kanssa. Kilpaileva tutkimusohjelma kumoaa teorian vain siinä tapauksessa, että se selittää samat asiat kuin vanha tutkimusohjelma ja lisäksi se täydentää tutkimusohjelman selitysvoimaa paremmalla heuristiikalla. (Niaz 2008, s. 7)

#### **2.4.2 Tieteen historia ja filosofia mallien opetuksessa**

Justin ja Gilbertin (1999; 2000) mukaan mallit sopivat ontologiseksi perustaksi tieteen historian ja filosofian sisällyttämiseksi osaksi opetusta. He ovat käyttäneet Lakatoksen tutkimusohjelmaa historiallisten mallien tunnistamiseksi ja luokittelemiseksi. Samaa lähestymistapaa käytetään myös tässä tutkielmassa.

Justin (2000) mukaan historiallisten mallien kova ydin koostuu kahdesta elementistä. Ensimmäinen on teoreettinen perusta, eli yleiset tieteelliset ja filosofiset ideat, joihin malli perustuu. Teoreettiseen perustaan sisältyvät myös analyttiset työkalut, joita on käytetty mallin rakentamiseksi. Toisena elementtinä ovat mallin ensisijaiset ominaisuudet (*main attributes*) eli mallin kuvaaman ilmiön perustavanlaatuiset ominaisuudet.

Mallien suojavyöhykkeeseen kuuluvat mallien toissijaiset ominaisuudet (*secondary attributes*), jotka täydentävät mallien ensisijaisia ominaisuuksia mahdollistaen mallin karakterisoin-

nin. Jokaista näitä ominaisuutta voidaan käsitellä itsenäisesti, mutta ne ovat suoraan yhteydessä mallin ensisijaisiin ominaisuuksiin. (Justi 2000)

Mallin edistyvyys tai taantuminen riippuu siitä kontekstista, missä mallia käytetään. Malli on rakennettu vastaamaan tiettyihin kysymyksiin ja se, onko malli edistynyt vai taantunut, riippuu siitä, kuinka hyvin ko. malli pystyy näihin kysymyksiin vastaamaan. Sitä, onko malli edistynyt vai ei tietyssä kontekstissa, voidaan pohtia seuraavien kysymysten avulla:

- 1 Mitä aikaisemman tai kilpailevan mallin piirteitä on muokattu ja sisällytetty käsiteltävään malliin?
- 2 Kuinka ko. malli selvitti aikaisempaan tai kilpailevaan malliin liittyvät puutteet?
- 3 Mitä odottamattomia etuja tai hyötyä ko. mallilla oli?
- 4 Mitä puutteita tai rajoitteita mallilla on? (Justi & Gilbert 1999; 2000)

Lakatoksen tutkimusohjelman käsite mallien opetuksessa tarkoittaa sitä, että käytettäessä jotakin historiallista mallia on esitettävä (Justi 2000)

- 1 eksplisiittisesti se historiallinen konteksti, missä malli on luotu,
- 2 ominaisuudet, jotka ovat tunnusomaisia ko. historialliselle mallille,
- 3 kriteerit, joilla malli saavutti konsensusstatuksen tiedeyhteisössä ja
- 4 kriteerit, joiden avulla tutkitaan mikä tekee ko. tutkimusohjelmasta progressiivisen verrattuna aikaisempaan taantuvaan tutkimusohjelmaan.

Edellä kuvattu viitekehys mahdollistaa keskustelun opetustilanteissa, joissa huomioidaan teoreettisten ideoiden lisäksi myös prosessi, joka on johtanut niiden kehittymiseen.

### 3 KEMIAN LUONNE JA MALLIT

#### 3.1 Tieteen ja tieteellisen tiedon luonne

Tieteellä tarkoitetaan luontoa, ihmistä ja yhteiskuntaa koskevien tietojen kokonaisuutta ja tällaisten tietojen tarkoituksenmukaista tavoittelua (Niiniluoto 2002, s.13). Tieteeseen kuuluvat siis tutkimuksen kohde, tutkimusmenetelmä sekä tieto, joka tutkimuksen avulla kohteesta saadaan. Tieteeseen kuuluvat myös se, miten tietoa käytetään ja tiedon sovellukset. Olennaista tieteen ja tieteenalojen määrittelyssä on myös se, että tiede on sidottu sekä tutkijaan että tiedeyhteisöön, joka tutkii ja vastaanottaa tiedon ja arvioi sen pätevyyden. (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994, s. 107–108)

Tieteellisen tiedon peruspiirteitä ovat tiedon rakenteellisuus ja edistyvyys. Rakenteellisuus merkitsee pyrkimystä yhtenäisen kokonaiskuvan muodostamiseen. Tämän pohjalta yksittäiset tiedot jäsenyvät hallittavaksi ja ymmärrettäväksi kokonaisuudeksi. Tieteen tietorakenteessa on olennaista tiedon hierarkkisuus. Edistyvyys tarkoittaa sitä, että tieteellinen tieto lisääntyy, täsmentyy ja uudistuu. Tämä tarkoittaa sitä, että tieteen edistyessä olennaista on juuri tietorakenteen kehittäminen eli käsitteenmuodostus, joka etenee yleisempiin, laaja-alaisempiin ja abstrakteimpiin käsitteisiin (kvalitatiiviset käsitteet, kvantitatiivinen tieto ja esitys sekä kvantitatiivinen selitys). (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994, s. 112–113, s. 159)

Rajanveto sille, mikä on ja mikä ei ole tieteellistä tietoa, on ongelmallista. Kysymystä voidaan lähestyä kahdella tavalla. Ensimmäinen lähestymistapa on normatiivinen. Tällöin keskitytään siihen, mikä on todella tiedettä tai mitkä ovat tieteen tuntomerkit. Toinen lähestymistapa on deskriptiivinen, jossa havainnoidaan, miten eri toimijat vetävät rajan tieteen ja ei-tieteen välille. (Kiikeri & Ylikoski 2004 s. 88–101) Normatiivista lähestymistapaa edustaa esimerkiksi Kurki-Suonioiden (1994 s. 114–115) esittämä lähestymistapa. Heidän mukaansa yleensä tieteellisen tiedon määrittely keskittyy tutkimuksen metodille asetettaviin vaatimuksiin eli metodi on tieteellisyyden laatuvaatimus. Heidän mukaansa tieteellisyyden vaatimuksiin kuuluvat objektiivisuus, kriittisyys, autonomisuus, rakenne ja edistyminen.

Objektiivisuus tarkoittaa sitä, että tiedon on oltava riippumatonta tutkijan mielipiteistä, asenteista ja toiveista. Kriittisyys puolestaan tarkoittaa tiedon ja siihen liittyvien perusteluiden jatkuvaa tarkkailua, arvostelua ja arviointia. Sekä objektiivisuuteen että kriittisyyteen liittyy

esitettyjen väitteiden julkisuus, mikä tarkoittaa sitä, että tutkimustulokset ja perustelut täytyy asettaa julkisen keskustelun ja kritiikin alaiseksi. Kriittisyyteen liittyy myös autonomisuus eli vain tieteellinen yhteisö on pätevä arvioimaan tietoa. Tietoon kohdistuvan kritiikin on lisäksi oltava tieteellistä ja perustuttava tieteelliseen tietoon. Tiedon uudistuminen on seurausta objektiivisuudesta ja kriittisyydestä. Tiedettä sanotaan usein itseään korjaavaksi, sillä tiedeyhteisön ajatellaan korjaavan perusteissaan ilmenevät puutteet.

Tieteen ja tieteellisen tiedon määrittelyyn liittyy paljon kysymyksiä: Kenellä on loppujen lopuksi oikeus määrittellä se, mikä on tiedettä? Minkälainen tieto on tieteellistä tietoa? (Niiniluoto 2002 s. 13–15; Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994 s.108)

Ympäröivä yhteiskunta asettaa myös omia tavoitteitaan tieteelliselle tutkimukselle, jotka ovat usein erilaisia kuin tutkijan tai tiedeyhteisön piiristä nousevat tavoitteet. Yhteiskunta usein määrääkin sen, mitä halutaan, saadaan tai voidaan tutkia. Se mitä tutkitaan, vaikuttaa myös tieteen sisältöihin ja sitä kautta siihen, mitä pidetään tieteenä. (Niiniluoto 2002 s. 13–15; Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994 s.108)

Lisäksi tieteen määrittelyä vaikeuttaa vielä se, että sanalla *tiede* voi olla erilaisia merkityksiä. Esimerkiksi suomen kielen sana *tiede* viittaa moniin tieteenaloihin, kuten taloustiede tai oikeustiede, mutta englannin sana *science* lähinnä vain luonnontieteisiin. Suomen kielessäkin termi *tiede* voi saada erilaisia merkityksiä. Kiikeri ja Ylikoski (2004 s. 16) esittävät termille kuusi selkeästi erilaista merkitystä:

- tieteen jo saavuttamat tulokset (eli mitä tällä hetkellä pidetään totena tietona)
- tieteen ideaaliset, sen tulevaisuudessa saavuttamat tulokset
- menetelmät, joita tieteessä käytetään
- menetelmät, joita tieteessä pitäisi käyttää
- tiedeyhteisö
- instituutiot, joissa tiedettä harjoitetaan (esim. yliopistot)

Tieteen määritelmällä on myös ajallinen ulottuvuus, sillä tieteen määritelmän perustekijät ovat olleet erilaisia eri aikoina ja muuttuvat jatkuvasti. Samoin tieteen tekijän ja tiedeyhteisön näkemys tieteestä on aina sidoksissa aikansa kulttuuriin, yhteiskuntaan sekä vallitseviin arvoihin. (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994, s. 108) Esimerkiksi keskiajalla, 1800-luvulla ja

nykyaikana käsitys tieteestä on ollut erilainen, eikä ole mitään syytä olettaa, että nykyinen käsitys tieteestä olisi pysyvä.

### 3.2 Kemian luonne

Edellisen luvun perusteella kemia voidaan luokitella luonnontieteeksi, sillä sen tutkimuskohteenä ovat luonto ja luonnonilmiöt. Kemia määritellään usein tieteeksi, joka tutkii aineiden koostumusta, ominaisuuksia sekä niiden muuttumista toisiksi aineiksi. Kemiaa voidaan luonnehtia fysikaaliseksi tieteeksi, sillä se tutkii elotonta materiaalia ja sen keskeinen tiedonhankinnan keino on kvantitatiivinen tutkimus. Tämän perusteella kemia on myös kokeellinen tiede, sillä ilmiöitä kuvaavat lait, teoriat sekä mallit perustuvat kvantitatiivisiin mittauksiin ja ilmiöistä tehtyihin havaintoihin. (Caldin 2002)

Erduranin ja Scerrin (2002) mukaan kemiassa käsitteen muodostuminen perustuu ilmiön tai olion kvalitatiivisiin ominaisuuksiin eikä niinkään matemaattiseen kuvaamiseen, kuten esimerkiksi fysiikassa. Kemiassa kvantitatiivisiin käsitteisiin liittyy myös kuvailevia ja luokittelevia piirteitä (esim. happo, suola ja alkuaine), kuten esimerkiksi biologiassa. Näiden käsitteiluokkien avulla kemistit voivat yksiselitteisesti kuvata ilmiöitä tai olioita sekä välttää tekemästä liiallisia yksinkertaistuksia. Systemaattisesti tehty luokittelu mahdollistaa ilmiöön tai tutkittavaan kohteeseen liittyvien ennusteiden tekemisen. (Schrummer 1998)

Vesterinen (2011) on koonnut tutkimuskirjallisuudesta keskeisiä kemian luonnetta kuvaavia ominaisuuksia:

- *Tieto on alustavaa:* Tutkimustiedon lisääntyessä tieteen tulokset (teoriat, mallit ja lait) voivat muuttua tai tarkentua. Kemian kehitykseen ei liity vain tieteen tulosten tarkentuminen tai muuttuminen, mutta myös uusien aineiden sekä analyysilaitteiden kehitys. (Vesterinen 2011)
- *Tieto on empiiristä:* Tieteen tuottamat tulokset perustuvat usein mutta eivät aina havaintoihin kyseessä olevasta ilmiöstä. Keskeisessä osassa on se kuinka tieteessä hankitaan tietoa sekä kuinka saatuja tuloksia arvioidaan tehtyjen kokeiden perusteella. (Vesterinen 2011)

- *Tieto perustuu päättelyyn:* Tieteessä havainnoilla ja niistä tehdyillä päätelmillä on selvä ero. Havainnot ovat kuvailevia väittämiä ilmiöstä, jotka voidaan suoraan aistein havaita. Päättelyä tai tulkintaa tarvitaan sellaisten ilmiöiden kuvaamiseen, jotka ovat suoran havaintokyvyn ulkopuolella. Tieteessä ilmiöitä koskevien selitysten ja mallien muodostaminen vaatii usein tieteentekijöiltä paljon luovuutta joten ne ovat aina myös subjektiivisia. (Lederman 2004)
- *Ilmiöiden selittäminen perustuu malleihin:* Mallintaminen ja selittäminen mallien avulla on keskeisessä roolissa kemian tutkimuksessa (Justi & Gilbert 2002b). Malli on aina idealisoitu kuvaus ilmiöstä ja luotu tiettyä tarkoitusta varten, joten sen käyttöön liittyy aina rajoituksia. Tutkimustiedon karttuessa myös ilmiöitä kuvaavia malleja joudutaan tarkentamaan ja muuttamaan. (Ks. luku 3.4)
- *Uusia materiaaleja ja aineita luova tiede:* Kemian tutkimus ei pelkästään keskity aineen ominaisuuksien tutkimukseen vaan sen päämääränä on myös uusien aineiden ja aineiden valmistusprosessien kehittäminen. Uudet aineet eivät ole pelkästään kemian tutkimuksen tuote, vaan ne ovat myös kemian tutkimuksen kohde. (Vesterinen 2011) Uudet aineet ja materiaalit ovat aina olleet keskeisessä asemassa kemiassa ja niiden merkitys ihmiskunnalle on ollut suuri (Sjöström 2007).
- *Instrumentaatio:* Teknologialla on erittäin merkittävä rooli kemian tutkimuksessa, koska sen kehittyminen mahdollistaa myös tutkimuksen etenemisen. (Vesterinen 2011) Tarkempien analyysilaitteiden ja tietotekniikan kehittyminen synnyttää uusia mahdollisuuksia sekä kysymyksiä. Analyysimenetelmät sekä -laitteistot ovat myös keskeisessä roolissa käytännön kemian tutkimuksessa.

### 3.3 Lait ja teorit kemiassa

Tieteellisen tutkimuksen avulla pyritään saamaan tietoa, jota voidaan käyttää erilaisten ilmiöiden käyttäytymisen ennustamiseen ja niiden kontrollointiin teknologian avulla. Tieteen päämääränä on myös selittää ja ymmärtää luontoa, ihmistä sekä yhteiskuntaa koskevia tosiasioita. (Niiniluoto 2002, s. 192) Keskeisessä asemassa tieteen päämäärän saavuttamiseksi ovat tieteen tulokset: lait, teorit ja mallit.

Fysiikassa lait ovat ilmiöiden kvantitatiivisia vasteita, jotka kuvaavat suureiden (ominaisuuksien kvantitatiivisia vastineita) välisiä relaatioita. Muuttujien sanotaan olevan relaatiossa, mikäli ne esiintyvät aina yhdessä, sillä toisen muuttaminen muuttaa myös toista. Lait ovat suureiden välisten riippuvuuksien matemaattinen esitys, jonka avulla voidaan tehdä ilmiöitä koskevia kvantitatiivisia ennustuksia. On kuitenkin huomattava, että fysiikassa myös suureiden määrittely perustuu lakeihin. (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1994 s.118, s. 164)

Scerrin ja McIntyren (1997) mukaan kemian lait ovat luonteeltaan erilaisia kuin fysiikan lait. Esimerkkinä tällaisesta laista on jaksollisuuden laki (*periodic law*), joka mahdollistaa ennusteiden tekemisen, mutta sitä ei voi esittää matemaattisessa muodossa, kuten fysiikan lakeja. Tämä ei tee siitä huonompaa lakia, vaan lakien luonne voi vaihdella eri tieteiden, esimerkiksi fysiikan ja kemian välillä (Scerri 2000).

Caldinin (2002) mukaan kemiassa on paljon nk. empiirisiä lakeja (*empirical laws*), jotka kuvaavat muuttujien välisiä relaatioita tai joihin sisältyy kokeellisesti mitattavia kvantitatiivisia käsitteitä (Niiniluoto 2002, s. 199). Empiiriset lait eivät kuitenkaan välttämättä edellytä suureiden välisten riippuvuuksien matemaattista esitystä. Caldinin (2002) mukaan kemiassa on kahdenlaisia empiirisiä lakeja. Ensiksikin on lakeja, jotka kuvaavat systeemin muuttujien välisiä funktionaalisia relaatioita (esim. paine ja lämpötila vakiotilavuudessa tai reaktiotasapainon lämpötilariippuvuus). Jotkin näistä relaatioista määrittelevät puhtaiden aineiden ominaisuuksia ja jotkin relaatiot liittyvät kemiallisen tai fysikaalisen systeemin muutoksen nopeuteen tai tasapainoon. Lisäksi on lakeja, joiden mukaan on olemassa aineita, joilla on toistettavat ominaisuudet ja jotka voidaan erottaa toisistaan (esimerkiksi vety, rikkihappo tai natriumkloridi).

Edellä esitetyt lait sisältävät luonnollisesti paljon epävarmuutta ja ne ovat jatkuvasti muuttuvia. Esimerkiksi veden sulamispiste ei ole aina 0 °C, vaan sulamispiste riippuu paineesta. Toisena esimerkkinä on vety. Sen ajateltiin olevan puhdas aine, kunnes havaittiin sen sisältävän aina hieman deuteriumia, jolla on erilaiset fysikaaliset ominaisuudet ja joka on eristettävissä. Empiirisiä lakeja parannellaan, tarkennetaan ja täsmennetään jatkuvasti, kun lakeja testataan erilaisissa olosuhteissa. Empiirisessä tutkimuksessa kemistit yleensä muuttavat yhtä muuttujaa kerrallaan, mutta nojaavat ennen kaikkea arvaukseen siitä, mitkä muuttujat ovat oleellisia. (Caldin, 2002)

Myös toisen asteen empiirisillä yleistyksillä (*second-order generalizations*) on paikkansa kemian tutkimuksessa. Tällaisia yleistyksiä ovat esimerkiksi halogeenien toisiaan muistuttavat ominaisuudet ja ominaisuuksien muutos ryhmän sisällä. Samoin vastaavien tilojen periaate on esimerkki tällaisesta yleistyksestä. Nämä yleistyksiset muuttuvat luonnollisesti enemmän kuin suoraan empiirisistä tuloksista johdetut lait, mutta teorian muodostuksessa niiden rooli on ollut erittäin merkittävä. Esimerkiksi alkuaineiden elektronirakenteen selvittämisessä jaksollisesta järjestelmästä on ollut suuri hyöty. (Caldin, 2002)

Tieteen tuottamien käytännön sovellusten lisääntyessä tieteellisen tutkimuksen tulokset ovat formuloitu abstrakteina ja usein arkikokemuksen ylittävinä teorioina. Niiniluodon (2002, s. 193) mukaan teorioilla on keskeinen sija tieteen päämäärien saavuttamiseksi. Teoriat mahdollistavat ilmiöiden selittämisen, ymmärtämisen, ennustamisen ja manipuloimisen.

Pierre Duhemin mukaan fysikaalinen teoria ei ole selitys, vaan matemaattisten propositionien systeemi ja deduktio pienestä joukosta peruseriaatteita, joiden tarkoituksena on kuvata empiirisiä lakeja mahdollisimman yksinkertaisesti, täydellisesti ja tarkasti (Caldin, 2002). Kurki-Suonioiden (1994, s. 166) mukaan teorian määrittelevät systeemin perusmalli ja perusmallien käyttäytymistä ohjaavat peruslait. Perusmallia rajoittamalla voidaan muodostaa erityisiä malleja, jotka vastaavat erilaisia ilmiöitä ja systeemejä eri olosuhteissa, jolloin peruslaeista seuraa tutkittavaa ilmiötä koskevia lakiennusteita. Heidän mukaansa tämän mallintamiskapasiteettinsa perusteella teoriasta muodostuu erilaisten kokeellisten lakien ymmärtämisen ja selittämisen perusta. Teoriat sisältävät myös usein matemaattisia idealisointeja, termejä ja oletuksia sellaisiin olioihin, joita ei voida havaita (esim. alkeishiukkanen, energiakvantti) (Niiniluoto 2002, s. 192).



Kemiassa teoria on usein rakennelma eikä deduktio tietyistä peruseriaatteista. Esimerkiksi Daltonin muodostaessa atomiteoriaa, hän ei johtanut teoriaansa tunnetuista kemian laeista, vaan hän keksi teorian käyttäen mielikuvitustaan ja muokkasi teoriaansa havaintoihinsa sopiviksi. Kuten esimerkistä voidaan havaita, kemiassa teoria ei vain esittele ja yhdistä lakeja, vaan teoriaa käytetään lakien tulkitsemiseen. Kemiassa monet teoriat eivät siis pelkästään kuvaa ilmiöitä, vaan ne on rakennettu helpottamaan ilmiöiden ymmärtämistä (esim. atomimallit). (Caldin, 2002)

Usein kemistejä ei vaivaa teoriaan liittyvät puutteellisuudet niin kauan kuin teoria on käyttökelpoinen ilmiöitä selittävien ja ilmiötä koskevien ennusteiden tekemiseen. Usein teoria, joka on johdettu fysikaalisesta mallista loogisesti tai matemaattisesti, on puutteellinen, ellei siihen liitetä kokeellisesti hankittua tietoa tai *ad hoc* -oletuksia (vrt. lukuun 2.4.1). Esimerkiksi Kekulé korjasi bentseenin rakennetta kuvaavaa teoriaa, jotta se sopisi paremmin erityisesti disubstituoituun bentseeniin liittyviin empiirisiin havaintoihin. (Berson 2008)

### 3.4 Mallit kemiassa

Malleilla on kemiassa niin keskeinen rooli, että kemistien voidaankin ajatella olevan aineen rakenteen ja aineessa tapahtuvien muutoksen mallintajia (Justi & Gilbert 2002a). Kemistit käyttävät erilaisia aineen fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia kuvaavia malleja tarkoituksenaan kuvata aineen käyttäytymistä sekä sen rakennetta (Erduran 2001).

Yleisesti mallilla tarkoitetaan tiettyä tarkoitusta varten luotua, idealisoitua kuvausta jostakin ilmiöstä. Tällä tarkoitetaan sitä, että mallista voidaan jättää pois sellaisia ilmiön ominaispiirteitä, jotka ovat epäolennaisia sen kannalta, mitä mallilla halutaan kuvata. (DelRe, 2000) Niiniluodon (2002, s. 205–207) mukaan malli on rakenteeltaan teorian kaltainen, mutta sen status ja päämäärät ovat hieman vaatimattomammat kuin teoriolla. Mallin lauseet tiedetään yleensä epätosiksi, epätarkoiksi ja rajoitetusti sovellettaviksi. Ero teorian ja teoreettisen mallin välillä on se, että mallit eivät yleensä kuvaa todellisuutta sellaisenaan. Ne kuvaavat sitä, millainen todellisuus olisi, mikäli ainoastaan teoriaan mukaan luetut tekijät olisivat vaikuttavia.

Tieto ja abstrakti ajattelu perustuvat pitkälti mallien avulla muodostettuihin analogioihin. Tällaiset tarkoitusta varten muodostetut mallit ovat erittäin tärkeitä työkaluja tieteellisessä ajattelussa. Erityisesti malleja käytetään sellaisten ilmiöiden ja rakenteiden kuvaamisessa, joita ei

voida suoraan havaita. (DelRe 2000) Malleja käytetään myös ennustamiseen, kun jotakin ilmiötä kuvaavaa täsmällisempää teoriaa ei tunneta tai hallita. Systemin käyttäytymistä voidaan myös simuloida matemaattisen mallin avulla. (Niiniluoto 2002, s. 207)

Mallit koostuvat usein konkreettisista olioista eli objekteista, jotka esiintyvät erillisinä (esim. pyörä) tai systeemin osana (esim. auton pyörä). Malli voi olla myös idea, eli malli muodostuu abstrakteista olioista, joita käsitellään kuten objekteja (esim. voimat, energia). Malli voi olla olioiden joukko (esimerkiksi massa vaikuttavat voimat) tai malli voi kuvata prosessia, jossa eri tapahtumien kautta päädytään tiettyyn lopputulokseen. Malli voi olla myös ajatuskoe. (Gilbert et. al., 2000c)

Kemistit mallintavat usein sekä havaittavaa ilmiötä että ideaa, jolla he yrittävät selittää tutkittavaa ilmiötä. Tällaiset mallit voidaan esittää eri tavoin (ks. luku 3.4.1) ja ne voivat kuvata saman ilmiön eri ominaisuuksia. Kemiassa käytetäänkin lukuisia erilaisia malleja ilmiöiden kuvaamiseen, selittämiseen sekä tutkijoiden keskinäiseen kommunikaatioon. Tällaiset mallit kehittyvät ja muuttuvat jatkuvasti tutkimustiedon karttuessa. (Justi & Gilbert 2002a)

Bailer-Jones (2002) haastatteli eri aloilla toimivia tutkijoita heidän käsityksistään tieteellisistä malleista. Haastattelun perusteella hän tiivistää tutkijoiden ajatuksia malleista ja mallinnuksesta seuraavanlaiseksi listaksi:

- Mallinnus on keskeisessä osassa tieteellisessä tutkimuksessa. Viimeaikoina on ollut havaittavissa, että ilmiöiden selittämisessä malleilla on yhä keskeisempi rooli teorioiden sijaan.
- Tieteellisille malleille löytyy monenlaisia määritelmiä ja malleja voi olla hyvinkin erilaisia.
- Malleja luonnehtii yksinkertaistus ja epäoleellisten yksityiskohtien poisjättäminen tarkoituksena vangita kuvattavan ilmiön ydin tai sen perusolemus.
- Mallien avulla saadaan käsitys mallinnettavasta asiasta, mutta ne eivät välttämättä perustu täysin mittaustuloksiin.
- Malleja testataan kokeellisesti ja tämän tuloksena ne voivat muuttua.

### 3.4.1 Mallien luokittelu

Tieteessä käytetyt mallit voidaan luokitella monella tapaa. Del Ren (2000) mukaan mallit voidaan luokitella fyysisiin malleihin, jotka ovat kuvailevan ajattelun työkaluja ja matemaattisiin malleihin, jotka ovat argumentoivan ajattelun työkaluja. Gilbert et. al. (2000a) luokittelevat malleja esitystavan mukaan (*modes of representation*) seuraavalla tavalla:

- *Konkreettinen esitystapa*, esimerkiksi muovinen pallo-tikkumalli.
- *Verbaali esitystapa*, missä puheessa käytetään erilaisia analogioita ja kielikuvia.
- *Matemaattinen esitystapa*.
- *Visuaalinen esitystapa*, missä käytetään erilaisia kaavioita ja kuvaajia.
- *Symbolinen malli* pitää sisällään visuaalisen, verbaalisen ja matemaattisen esitystavan.
- *Eleisiin ja ilmeisiin* (gesturaalinen) perustuva esitystapa.

Mallit voidaan luokitella myös niiden ontologisen luonteensa mukaan (Gilbert et. al., 2000a):

- *Mentaalimalli* on yksilön oma kognitiivinen representaatio. Mentaalimalli on yksilön oma tulkinta jostakin ilmiöstä, eikä sitä ole tarkoitettu muiden ymmärrettäväksi (Gilbert et. al. 1998).
- *Ilmaistu malli* on yksilön tai ryhmän julkaisema malli, jollakin edellä kuvatulla esitystavalla. Malli on tarkoitettu esimerkiksi tiedeyhteisön arvioitavaksi. Ilmaistu malli voi olla myös oppikirjassa esitetty malli, jolloin oppikirjan tekijöiden haasteena on se, että lukijat muodostaisivat mallista mahdollisimman yhtenäisen mentaalimallin (Gilbert et. al. 1998).
- *Konsensusmalli* on ilmaistu malli, joka on hyväksytty käyttökelpoiseksi jonkin yhteisön (esim. tiedeyhteisön) toimesta. Ilmaistua mallia, joka on hyväksytty tiedeyhteisössä ja se on havaittu esim. empiirisesti toimivaksi, kutsutaan usein myös *tieteelliseksi malliksi*. Tällainen malli on siten keskeisessä asemassa tieteellisessä tutkimuksessa.
- *Historiallinen malli* on konsensusmalli (tai tieteellinen malli), joka on tuotettu jossakin historiallisessa kontekstissa ja se on korvautunut uudella mallilla, esimerkiksi tutkimustiedon karttuessa. Kontekstilla tarkoitetaan tässä niitä filosofisia, tieteellisiä, teknologi-

sia ja sosiaalisia käsityksiä, jotka ovat vallinneet silloin, kun malli on muodostettu (Justi 2000).

- *Hybridimalli* muodostuu erilaisten mallien (esim. tieteellinen malli, historiallinen malli tai opetussuunnitelmamalli) osista. Hybridimalleja käytetään usein opetuksessa ja mallia käytetään ikään kuin se olisi yhdenmukainen.
- *Opetussuunnitelmamalli* on opetussuunnitelmaa varten muodostettu ja usein yksinkertaistettu versio tieteellisistä tai historiallisista malleista.
- *Opetusmalli* on opettaja tai oppilaan muodostama malli, jonka tarkoitus on helpottaa tieteellisten tai historiallisten mallien ymmärtämistä. Harrison ja Treagust (2000) luokittelevat opetusmallit vielä analogisiin malleihin sekä yksilön muodostamiin henkilökohtaisiin malleihin teoriasta, todellisuudesta tai prosessista.

### 3.4.2 Mallien yhteys selittämiseen

Ilmiöiden ymmärtäminen ja niiden selittäminen on luonnontieteellisen tutkimuksen päämäärä. Gilbert et. al (1998; 2000a) jakavat luonnontieteelliset selitykset viiteen luokkaan sen mukaan, mihin kysymykseen ne vastaavat.

- *Intentionaalinen selitys* vastaa kysymykseen: Miksi tämä ilmiö on selittämisen arvoisen? Selitys myös sisältää ilmiön esiintymiseen ja laajuuteen liittyviä kysymyksiä.
- *Kuvaileva selitys* vastaa kysymykseen ”mitkä ovat ilmiön ominaisuudet?”. Kuvaileva selitys on yhteenveto tehdyistä mittauksista.
- *Tulkitseva selitys* vastaa kysymykseen ”mistä ilmiö rakentuu?”. Selityksessä nimetään ilmiöön liittyvät oliot sekä olioiden avaruudellinen ja ajallinen sijainti toistensa suhteen. Usein tulkitseva selitys postuloi sellaisten olioiden olemassaolon, jotka ovat suoran havainnoinnin ulkopuolella. Kemiassa selitykset lähtevät usein tältä tasolta (Vesterinen 2007).

- *Kausaalinen selitys* vastaa kysymykseen ”miksi ilmiö käyttäytyy juuri tietyllä tavalla?”. Selityksessä kuvataan ilmiön muodostavien olioiden käyttäytymiseen liittyvät syy-seuraussuhteet.
- *Ennustava selitys* vastaa kysymykseen ”miten ilmiö käyttäytyy tietynlaisissa olosuhteissa?”. Tämän selityksen voidaan ajatella olevan kuvailevan selityksen alalaji, eikä sitä usein pidetä erillisenä selityksenä, sillä se yleensä johdetaan tulkitsevasta ja kausaalisesta selityksestä.

Kaikissa selityksissä malleilla on keskeinen rooli, koska mallin avulla voidaan muodostaa yksinkertaistettu kuvaus jostakin ilmiön ominaisuudesta, jota halutaan selittää. Selittämisessä käytettävä malli (luku 3.4.1) riippuu siitä, mitä halutaan selittää. Esimerkiksi konkreettiset mallit ovat hyödyllisiä kuvailevien selitysten kanssa. (Gilbert et. al. 2000a)

### 3.5 Mallit kemian opetuksessa

Mallintaminen on niin keskeisessä asemassa kemiassa, että Justin ja Gilbertin (2002a) mukaan kemian oppimisen edellytyksenä on tutustua niihin tieteellisiin malleihin, joita on historian saatossa kehitetty ja siihen, mitkä ovat näiden mallien ulottuvuudet sekä rajoitukset. Lisäksi tulee ymmärtää mallien merkitys kemian ilmiöiden selittämisessä ja tutkimisessa sekä se, miten malleja rakennetaan, kehitetään ja testataan.

- tutustua niihin tieteellisiin malleihin, joita on historian saatossa kehitetty sekä mitkä ovat näiden mallien ulottuvuudet sekä rajoitukset,
- ymmärtää mallien merkitys kemian ilmiöiden selittämisessä ja tutkimisessa, sekä
- miten malleja rakennetaan, kehitetään sekä testataan

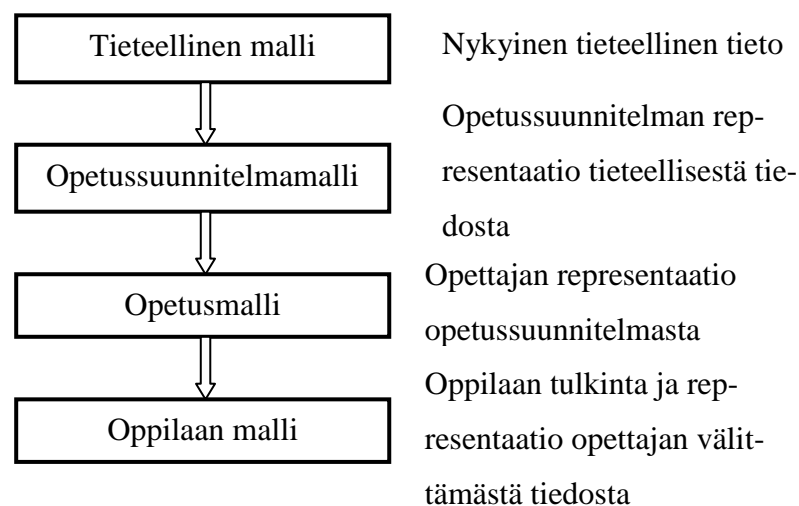
Lisäksi Justin ja Gilbertin (2002a) mukaan mallien käyttämiseksi opetuksessa opettajan on oltava selvillä siitä:

- Mikä on ko. mallien luonne?
- Kuinka oppilaat muodostavat mentaalimalleja ja kuinka niistä muodostuvia ilmaistuja malleja voidaan käyttää opetuksessa?

- Miten esittää luokassa konsensusmalleja?
- Kuinka muodostetaan hyviä opetusmalleja eli malleja, joiden avulla helpotetaan oppilaiden ymmärrystä konsensusmalleista?
- Kuinka mallintamista käytetään opetuksessa?

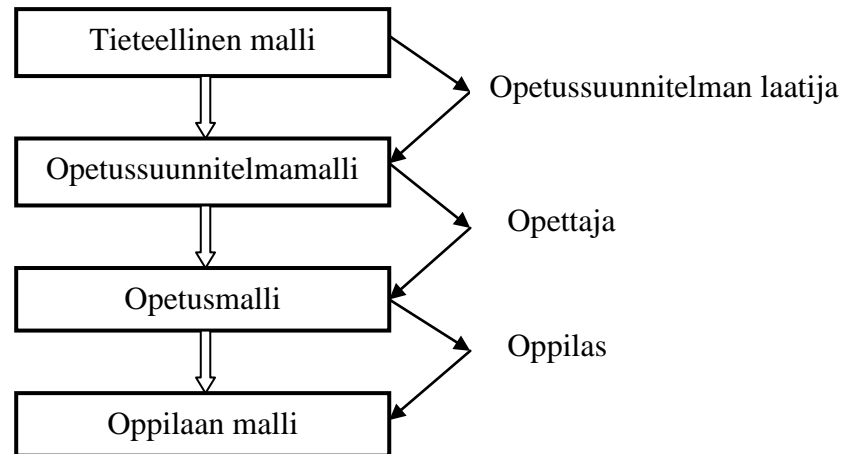
Taber (2006) esittää, että tieteellisten käsitteiden oppiminen muodostuu erillisistä askeleista, joissa tietoa välitetään erilaisten representaatioiden (ts. mallien) avulla. Kuvassa 1 on esitetty Taberin esittämä malli, kuinka tieto muuttuu erilaisten representaatioiden kautta ennen kuin oppilas sen oppii. Kaavion kaikki mallit ovat erilaisia ilmaistuja malleja samasta ilmiöstä tai oliosta ja ne voivat saada erilaisia esitystapoja (luku 3.4.1).

Tieteellinen malli on tiedeyhteisön hyväksymä ja muodostama malli, joka kuvaa tai selittää jotakin ilmiötä tai oliota. Opetussuunnitelmamalli pitää sisällään ne ko. ilmiöön tai olioon kuuluvat ideat, jotka opetussuunnitelman laatijoiden mielestä tietyllä luokka-asteella olevan oppilaan tulisi siitä tietää. Opetussuunnitelmamalli on yleensä yksinkertaistettu versio tieteellisestä mallista, mutta sen kuitenkin pitäisi vastata tieteellistä mallia. Opetusmalli on opettajan tulkinta opetussuunnitelmassa esitetyistä ilmiöön tai olioon kuuluvista ideoista, jolla hän välittää opetussuunnitelmassa esitetyt asiat oppilaille. Oppilaan malli on oppilaan luoma malli, joka perustuu hänen tulkintaansa opettajan välittämästä tiedosta. Oppilaan malli ilmenee esimerkiksi oppilaan vastauksista opettajan esittämiin kysymyksiin, kirjan tehtäviin tai koekysymyksiin. (Taber 2006)



Kuva 1. Tieteellisen tiedon muuttuminen erilaisten mallien kautta.

Taberin (2006) mukaan edellä esitetystä kaaviosta on oleellista huomata, että nuolet eivät kerro, kuinka tieto välittyy tasojen välillä. Eri tasolla oleva ilmaistu malli ei suoraan välity tasolta toiselle, vaan mallin esittäjän täytyy ensin muodostaa siitä mentaalimalli ennen sen uudelleen esittämistä. Tämä on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Tieteellisen tiedon välittyminen oppilaalle opetussuunnitelman ja opettajan kautta.

Kuvassa 2 nuoli ilmaistusta mallista mentaalimalliin merkitsee sitä, että mallin esittäjän täytyy muodostaa siitä ensin oma tulkintansa. Nuoli mallin esittäjän mentaalimallista ilmaistuksi malliksi merkitsee sitä, että hän muodostaa omaan tulkintaansa perustuvan representaation ilmaistusta mallista, jonka hän välittää eteenpäin. Tämä siis tarkoittaa sitä, että tiedon esittäminen perustuu aina sen välittäjän omaan tulkintaan ko. asiasta.

Kuvan 2 prosessi tiedon välittämisestä sisältää kaksi oleellista puolta (Taber 2006):

- 1 Opetussuunnitelman ja opettajan tietoinen pyrkimys yksinkertaistaa ja muokata tieteellistä tietoa siten, että se soveltuu käytettäväksi oppilasryhmälle.
- 2 Väistämätön ja tarkoitukseton tiedon vääristyminen, joka liittyy kaikkeen tiedon välittämiseen.

Tiedon välittyminen voi johtaa tiedon vääristymiseen eri tasoilla. Oppilas voi epäonnistua muodostaessaan omaa malliaan opettajan välittämästä mallista. Opettaja voi myös käyttää opetusmallia, joka ei välitä opetussuunnitelmassa esitettyjä asioita riittävän tehokkaasti. Nämä ongelmat nousevat opetustilanteista ja niitä voidaan pitää opetuksen epäonnistumisena. Ope-

tussuunnitelma voi myös olla virheellinen, jolloin hyvänkin opettajan ja oppilaan luoma malli voi olla vääristynyt. (Taber 2006)

Tästä syystä opetuksessa käytettäviin malleihin olisikin syytä kiinnittää huomiota. Opetuksessa käytettävät opetusmallit (ja opetussuunnitelmamallit) tulisi muodostaa siten, että ne johtavat nykyisin käytettyihin konsensusmalleihin. (Taber 2003; Gilbert et. al., 2000a) Opetusmallin (ja opetussuunnitelmamallin) käsitteellisen rakenteen tulisi siis vastata opetettavaa konsensusmallia. Sen tulisi myös tarjota oppilaille eväitä rakentaa omaa ymmärtämystään kemiasta sekä siitä, kuinka kemiassa käytetään ja kehitetään malleja. (Justi & Gilbert 1999b)

### 3.5.1 Opetusmallit

Sitä, kuinka kemian oppikirjoissa tai opetuksessa käsitellään malleja ja mallintamista, voidaan pohtia kahdesta näkökulmasta: kuinka kemialliset mallit esitellään oppikirjoissa sekä minkälaisia opetusmalleja oppikirjoissa käytetään (Justi & Gilbert 2002a). Myös Erduran (2001) painottaa mallien käytön arviointia kemian oppikirjoissa. Hän on löytänyt oppikirjoista viisi trendiä, jotka hänen mielestään estävät oppilaita ymmärtämästä mallien ja mallintamisen luonnetta ja merkitystä kemiassa:

- 1 Mallit esitetään lopullisina ja täydellisinä versioina aineen rakenteesta. Mallien alustavaa ja approksimatiivista luonnetta ei yleensä huomioida, eikä myöskään mallin luomiseen, arviointiin ja uudistamiseen liittyviä kysymyksiä käsitellä. Opetuksessa sen sijaan käytetään malleja käsitteiden erottamiseksi toisistaan.
- 2 Mallien eroja ei tuoda opetuksessa esille, vaan opetuksessa käytetään konsensus- tai historiallisten mallien sijaan erilaisia hybridimalleja.
- 3 Mallit samaistetaan usein konkreettisiin pallo-tikku -malleihin, joita käytetään visualisoinnin apuna. Tätä perustellaan usein sillä, että erityisesti nuoret oppilaat tarvitsevat konkreettisia malleja aineen rakenteen ymmärtämiseen. Nämä konkreettiset mallit kuitenkin sisältävät käsitteellistä tietoa ja niiden koko olemassaolo perustuu käsitteelliseen ajatukseen aineen rakenteesta. Pelkkien fyysisten mallien käyttö ei myöskään tuo riittävästi kemiallisten mallien moninaisuutta eikä luonnetta. Lisäksi oletus siitä, että erityisesti nuoret oppilaat tarvitsevat fyysisiä malleja on heikko argumentti, sillä myös kemis-



tit käyttävät fyysisiä malleja. Tämä myös aliarvioi oppilaiden kyvyt oppia.

- 4 Teoreettista käsittelyä painotetaan liikaa mallien sijaan ja liian aikaisin. Myös oppikirjat liioittelevat kvanttimekaniikan merkitystä kemian ongelmien ratkaisemiseksi. Tämä esittää myös kvanttikemian mallien approksimatiivisen luonteen ymmärtämisen.
- 5 Kokeellisuuden merkitystä mallien luomisessa, arvioimisessa ja uudistamisessa ei tuoda esille.

### **3.5.2 Hybridimallit**

Hybridimallit ovat malleja, jotka sisältävät osia muista malleista (esim. tieteellinen malli, historiallinen malli tai opetussuunnitelmamalli) osista (Gilbert et. al., 2000a). Justin ja Gilbertin (1999b) mukaan hybridimallit estävät tieteen historian ja filosofian käyttämisen opetuksessa, sillä ne antavat ymmärtää, että tieteellinen tieto muodostuu lineaarisesti ja on kontekstista riippumaton. Tällaisten mallien käyttö opetuksessa ilmeisesti johtuu ajatuksesta, että halutaan esittää malli, joka on samalla yksinkertainen ja kattava. Samoin historialliset mallit saatetaan nähdä saman asian eri esitysmuotoina tai ilmaisutapoina, jolloin niiden yhdistäminen on ongelmatonta.

Oppilaiden tasosta riippuen, käsitteiden oppiminen vaatii yksinkertaistusten tekemistä. Justin ja Gilbertin (1999b) mukaan tieteellisten ideoiden yksinkertaistaminen ei kuitenkaan saisi tarkoittaa sitä, että yhdistellään ajatuksia, joilla on erilainen tausta ja esitetään niitä yhtenäisenä kokonaisuutena. Justin (2000) mukaan se johtaa oppilaiden vaihtoehtoihin käsityksiin ja virheisiin heidän käsitteestä muodostamiin mentaalimalleihin. Lisäksi heidän voi olla vaikeata ymmärtää kaikkia ilmiöön liittyvien tekijöiden keskinäisiä suhteita.

### **3.5.3 Mallien ymmärtämisen tasot**

Haastattelututkimuksessaan Grosslight et.al. (1991) tunnistivat kolme tasoa siinä, kuinka oppilaat ymmärtävät mallien luonnetta. Nämä ymmärtämisen tasot eroavat toisistaan siinä, kuinka mallien ja todellisuuden suhde ymmärretään sekä mikä on tutkijan idean rooli mallien muodostamisessa.

Ensimmäisellä ymmärtämisen tasolla mallien ajatellaan olevan leluja tai yksinkertaisia kopioita todellisuudesta. Mallien hyöty nähdään siinä, että ne kuvaavat todellisia olioita tai tapahtumia. Mikäli tällä tasolla oleva oppilas ymmärtää, että mallista voidaan jättää joitakin todellisen olion piirteitä pois, syynä sille on tarve tai mallintajan halu tehdä niin.

Toisella ymmärtämisen tasolla oppilas ymmärtää, että mallin rakentamista ohjaa tarkoin määrätty ja selkeä tarkoitus. Tällä tasolla ymmärretään myös mallintajan rooli mallin muodostamisessa. Mallin ei enää tarvitse olla kopio todellisuudesta ja mallin avulla voidaan kuvata jotakin ilmiön tiettyä puolta tai ominaisuutta esimerkiksi tekemällä yksinkertaistuksia. Kuitenkin tällä tasolla keskeisessä asemassa on se, miten malli kuvaa todellisuutta. Mallien testaamisen lähtökohtana ajatellaan olevan mallin toimivuus ilmiön kuvaamiseksi, eivätkä mallin taustalla olevat ideat.

Kolmatta ymmärtämisen tasoa kuvaa kolme tekijää. Ensimmäiseksi tällä tasolla ajatellaan, että mallin merkitys on ideoiden kehittäminen sekä testaaminen. Toiseksi mallintajalla on aktiivinen rooli mallin muodostamisessa, sillä hän määrittelee ne mallin piirteet, jotka palvelevat mallin tarkoitusta. Kolmanneksi malleja voidaan manipuloida ja testata tiedon hankkimiseksi.

## 4 TUTKIMUS

### 4.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Tieteen historian ja filosofian sisällyttämiseksi atomimallien opettamiseen on ensiksi selvitettävä opetussuunnitelmien perusteista, miten ja millä tasolla malleja on opetuksessa käsiteltävä. Seuraava vaihe on selvittää, miten käytettävissä oppikirjoissa mallin käsitettä ja malleja käsitellään. Nämä on muotoiltu kolmeksi tutkimuskysymykseksi:

- 1 Miten mallin käsite esitetään peruskoulun ja lukion kemian opetussuunnitelmien perusteissa?
- 2 Miten mallin käsite esitetään peruskoulun ja lukion kemian oppikirjoissa?
- 3 Miten historiallisia malleja käytetään peruskoulun ja lukion oppikirjoissa?

### 4.2 Tutkimuksen toteutus

Tutkielma toteutetaan sisällönanalyysinä (Tuomi ja Sarajärvi 2002) ja sen tarkoituksena on selvittää, miten opetussuunnitelmien perusteissa ja oppikirjoissa käsitellään mallin käsitettä sekä mitä ja miten niissä käsitellään historiallisia malleja. Tieteen filosofiaa (luvut 2 ja 3) käytetään perustana oppikirjojen sisältöjen luokittelussa sekä analysoimisessa.

Tutkimuskysymyksiin etsitään vastauksia tutkimalla nykyisin käytössä olevia perusopetuksen ja lukion opetussuunnitelmien perusteita sekä peruskoulun (7-9 luokan) (4 kpl) ja lukion (3 kpl) oppikirjoja (liite 1). Ensimmäiseen ja toiseen tutkimuskysymykseen pyritään vastaamaan tutkimalla, miten mallin käsitettä käsitellään opetussuunnitelmien perusteissa sekä oppikirjoissa. Kolmanteen tutkimuskysymykseen pyritään vastaamaan tutkimalla oppikirjoista, mitä historiallisia malleja niissä käytetään sekä mitä niihin kuuluvia keskeisiä ideoita tuodaan esille. Lisäksi tutkitaan, missä kohdin tekstissä historiallisia malleja käsitellään.

Sisällönanalyysi koostuu kolmesta vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa aineistosta kerätään aiheeseen liittyvät kuvat, kuvatestit ja tekstinpätkät. Seuraavassa vaiheessa aineisto luokitellaan teoreettisen viitekehyksen (luvut 2 ja 3) pohjalta sisältöluokkiin. Viimeisessä vaiheessa aineistosta tehdään yhteenveto ja johtopäätelmät. Tutkimuksen luotettavuutta on pyritty parantamaan keräämällä tekstistä vain suorat lausumat. (Tuomi ja Sarajärvi 2002, s. 110-115)

Sisällönanalyysin kohteena ovat opetussuunnitelmien perusteet sekä oppikirjat. Opetussuunnitelmien perusteet ohjaavat Suomessa opetusta (Opetushallitus 2004) sekä oppikirjoilla on opetuksessa keskeinen rooli (Esim: Englund 1999; Törnroos 2008). Englund (1999) esittää oppikirjan keskeiselle asemalle erilaisia syitä Ruotsissa tehtyjen oppimateriaalitutkimusten pohjalta. Ensinnäkin opettajat ajattelevat, että oppikirjat vastaavat opetussuunnitelmassa asetettuja tavoitteita ja takaavat sen, että tavoitteet tulevat saavutetuksi. Toiseksi oppikirjat ovat opetusta koossapitäviä eli ne tuovat opettajalle ja oppilaille yhteisen toiminnan tarkoituksen. Kolmanneksi ne helpottavat oppilasarviointia eli niiden avulla on helppoa määrittää se, mitä oppilaiden tulisi osata ja miten nämä tavoitteet on saavutettu. Neljänneksi ne helpottavat opettajan työtä, esimerkiksi helpottamalla oppituntien suunnittelua ja arviointia. Myös oppilaiden kannalta oppikirja on käytännöllinen: sen voi viedä kotiin ja tieto löytyy kätevästi yhdestä paikasta.

#### **4.2.1 Mallin käsite opetussuunnitelmien perusteissa sekä oppikirjoissa**

Tutkimuksen ensimmäisessä ja toisessa osassa tutkitaan oppikirjoista ja opetussuunnitelmien perusteista, kuinka niissä tuodaan esille mallin käsitettä. Luvun 3.4 perusteella on nostettu keskeisiä mallin luonteeseen kuuluvia seikkoja ja aineistosta tutkitaan, löytyykö näistä mainintoja. Keskeisiä mallin luonteeseen kuuluvia seikkoja ovat:

- malli on muodostettu tiettyä tarkoitusta varten
- mallilla on aina tietyt rajat
- mallien alustavuus
- empiirisen tutkimuksen merkitys mallien muodostamisessa

#### **4.2.2 Historiallisten mallien luokittelu**

Tutkimuksessa käytetään Justin ja Gilbertin (2001) käyttämää luokittelua historiallisille atomimalleille, joka perustuu Lakatoksen tutkimusohjelmaan. Mallit pyritään tunnistamaan oppikirjoista käyttämällä perustana ko. mallin kovaan ytimeen liittyviä ideoita. Lisäksi tutkitaan, mitä mallin eri piirteitä kirjoissa tuodaan esille sekä missä kohdin oppikirjaa mallia kuvataan.

Justi ja Gilbert (2001) ovat tunnistaneet kuusi oppikirjoissa yleisesti käytettävää historiallista atomimallia. Nämä mallit ovat: antiikin kreikkalainen atomimalli, Daltonin, Thomsonin, Rutherfordin, Bohrin sekä kvanttimekaaninen atomimalli.

#### *Antiikin kreikkalainen atomimalli*

Idea aineen muodostavista jakamattomista hiukkasista, atomeista, on peräisin kreikkalaiselta filosofilta Leukippokselta (400 luvun puoliväli eKr.) ja tämän oppilaalta Demokritokselta (n. 460–370 eKr.) (Sarton 1993, s. 250–251). Heidän esittämänsä mallin kova ydin koostuu kahdesta ideasta: aine (*plêres*) koostuu jakamattomista hiukkasista (atomit) ja aineen muodostavat atomit ovat erilaisia kooltaan ja muodoltaan. Mallin positiivinen heuristiikka sisältää oletukset atomien liikkeestä (aine on olemassa niin kauan kuin sen muodostamat atomit ovat liittyneenä toisiinsa) ja voimista, jotka vaikuttavat niiden käyttäytymiseen (”viha” ja ”rakkaus”). (Justi & Gilbert 2001; Sarton 1993, s. 253–254).

Antiikin kreikkalaisella mallilla oli voimakas vaikutus 1600- ja 1700-luvun tiedemiehiin (mm. Newton ja Boyle) ja heidän käsityksiinsä aineen rakenteesta. He hyväksyivät molemmat tai ainakin toisen kreikkalaisten keskeisistä ideoista. (Justi & Gilbert 2001)

#### *Daltonin atomimalli*

Kreikkalaisen mallin heikkoutena oli se, että se ei tarjoa perustaa eri atomien (ts. alkuaineiden) erottamiseen toisistaan. John Daltonin (1766–1844) vuonna 1808 esittämä malli tarjoaa perustan tähän. Mallin perustana on kuitenkin kreikkalaisilta omaksuttu atomin käsite. (Justi & Gilbert 2001)

Daltonin mallin kova ydin on se, että kaikki aineet koostuvat suuresta määrästä lopullisia hiukkasia eli atomeja ja tietyn homogeenisen aineen muodostavat atomit ovat keskenään samanlaisia painoltaan ja muodoltaan. (Dalton 2010, s. 141–143)

Daltonin malli teki mahdolliseksi alkuaineiden suhteellisten painojen laskemisen sekä sen, kuinka erilaiset atomit (alkuaineet) yhdistyivät muodostaen yhdisteitä. Tämän seurauksena kemiasta tuli kvantitatiivinen tiede, joka muutti koko tieteen olemusta radikaalisti. Laskelmi-

en tekemiseksi Daltonin täytyi tehdä lisäoletuksia malliinsa siitä, kuinka atomit yhdistyivät muodostaen yhdisteitä (*compound particle*). (Justi & Gilbert 2001; Dalton 2010, s. 213)

Daltonin teoria oli 1800-luvun lopulla monien tutkijoiden tiedossa, mutta atomien olemassaoloa ei yleisesti hyväksytty. Erityisesti fyysikot pitivät atomiteoriaa kelvollisena mallina monien ilmiöiden selittämiseen mutta pitivät atomeita tarpeettomina fysiikan kannalta. Kemisteille atomiteoria oli kuitenkin erityisen käyttökelpoinen orgaanisen kemian kehittyessä. (Hudson 1995, s. 240)

### *Thomsonin atomimalli*

Tutkiessaan katodisäteitä J.J. Thomson havaitsi, että ne muodostuivat negatiivisesti varatuista hiukkasista. Tutkimuksissaan hän havaitsi, että katodisäteissä negatiivisen varauksen kuljettajia olivat hiukkaset, joiden massa oli pienempi kuin minkään tunnetun atomin. Hiukkaset olivat samanlaisia riippumatta siitä, mikä niiden alkuperä oli. Thomson vetää tästä johtopäätöksen, että atomi ei ole aineen pienin rakenneosanen, vaan atomikin rakentui alkeishiukkasista, joita hän kutsui *korpuskuleiksi*. (Thomson 1906) Myöhemmin Thomsonin *korpuskuleille* vaikiintui nimitys *elektroni*.

Thomsonin löytö vaati uudenlaisen atomimallin rakentamisen, sillä atomin tiedettiin olevan varaukseton: atomissa täytyi olla yhtä paljon negatiivista ja positiivista varausta. Thomson ehdotti mallia, missä atomi oli tasaisesti positiivisesta varauksesta muodostunut pallo, jonka sisällä elektronit olivat. Elektronit (*korpuskulit*) olivat jakautuneet atomissa siten, että positiivisen varauksen aiheuttama vetovoima (joka on kohti atomin keskipistettä) ja elektronien toisiinsa kohdistama repulsio ovat tasapainossa. (Thomson 1907, s. 103–104)

### *Rutherfordin atomimalli*

Thomsonin malli kuitenkin koki pian kolauksen, kun Ernest Rutherfordin työtoveri Hans Geiger ja oppilas Ernest Marsden suorittivat alfahiukkasten sirontaa koskevia kokeita. He pommittivat ohutta kultakalvoa ja havaitsivat yllätyksekseen, että pieni osa hiukkasista sirosi levystä jopa yli 90° kulmassa. Rutherfordin mukaan todennäköisyys sille, että suuret sirontakulmat olisivat seurausta monista pienemmistä, oli tilastollisesti erittäin epätodennäköistä ja

ainoa vaihtoehto oli, että suuri sirontakulma oli seurausta yhdestä törmäyksestä atomiin. (Weinberg 1983, s. 124; Rutherford 1911)

Tulostensa perusteella hän esitti oman atomimallinsa. Mallin kova ydin koostuu kahdesta ideasta (Justi & Gilbert 2001). Ensinnäkin atomin keskellä on tiheä, positiivisesti varautunut ydin, jonka halkaisija on huomattavasti pienempi kuin atomin koko halkaisija. Atomin ydintä kiertävät elektronit omilla radoillaan, kuten planeetat kiertävät Aurinkoa. Toiseksi ydintä kiertävät elektronit pysyvät radoillaan sähköisen vuorovaikutuksen ansiosta. Atomin ulkoinen varaus on nolla, joten atomissa olevien elektronien lukumäärä on yhtä suuri kuin ytimen varaus ja atomin varaus on sama kuin sen järjestysluku. (Rutherford 1911; Bohr 1913)

### *Bohrin atomimalli*

Rutherfordin malli perustuu klassiseen elektrodynamiikkaan ja pian kävi selväksi, että se ei toimi, kun sitä sovelletaan atomin rakenteeseen. Mikäli elektroni liikkui ympyrärataa, se oli jatkuvassa kiihtyvässä liikkeessä, koska sen suunta muuttui jatkuvasti. Tällöin klassisen teorian mukaan elektronin kineettinen energia kasvaa jatkuvasti ja koko systeemi menettää energiaa säteilemällä. Elektronin radan säde pienenee kunnes se lopulta putoaa atomin ytimeen. (Bohr 1913)

Bohrin (1913) mukaan klassisen elektrodynamiikan ennustama käyttäytyminen atomille eroaa selvästi havaitusta käyttäytymisestä. Ensinnäkin klassisen teorian mukainen säteilevän energian määrä olisi paljon suurempi kuin mitä havaituissa prosesseissa. Lisäksi tasapainotilassa olevien atomien dimensiot ja taajuudet ovat stabiileja. Viimeiseksi, mikäli atomi emittoi tietyn määrän energiaa, se näytti aina palautuvan tiettyyn tasapainotilaan.

Näiden Rutherfordin mallin puutteiden korjaamiseksi Bohr sovelsi Planckin ideaa atomiin, missä emissio ei tapahdu jatkuvana vaan selvästi erillisinä emissioina (Bohr 1913). Tämän perusteella hän esitti tutkimusohjelman, jonka kova ydin oli Lakatoksen mukaan seuraavainen (Justi & Gilbert 2001):

1. Atomin emittoima tai absorboima energia ei tapahdu jatkuvana vaan tiettyjen stationaaristen tilojen välillä.

2. Stationaaristen tilojen dynaamista tasapainoa luonnehtii klassinen mekaniikka, mutta nämä lait eivät päde siirtymissä tilojen välillä.

3. Emittoituvan energian määrä siirtymien välillä määräytyy yhtälöstä:

$$E_2 - E_1 = h\nu$$

missä  $E_n$  kuvaa elektronin energiaa ko. energiatasolla,  $h$  on Planckin vakio ja  $\nu$  on säteilyn taajuus.

4. Eri stationaariset tilat määräytyvät sellaisen ehdon mukaan, että emittoituvan energian sekä elektronin taajuuden suhde on  $1/2h$  moninkerta. Mikäli elektronin rata oletetaan ympyräksi, niin elektronin liikemäärä on  $h/2\pi$  moninkerta.

5. Atomin perustila eli se tila, missä emittoituva energia on suurimmillaan, määräytyy sen ehdon mukaisesti, että ympyräradalla liikkuvan elektronin liikemäärä on  $h/2\pi$ .

Bohrin malli oli selvä parannus atomin sisäistä rakennetta kuvaavaan malliin ja lisäksi se mahdollisti alkuaineiden spektrien tulkinnan (Justi & Gilbert 2001).

### *Kvanttimekaaninen atomimalli*

Bohrin malli kuitenkin piti sisällään epä johdonmukaisuuksia, jotka lopulta johtivat tutkimusohjelman hylkäämiseen. Kvanttimekaaniikan kehittyminen, erityisesti Schrödingerin yhtälö ja Heisenbergin epätarkkuusperiaate, johtivat kvanttimekaanisen atomimallin kehittämiseen. (Justi & Gilbert 2001)

Kvanttimekaanisen mallin mukaan jokainen elektroni on erotettavissa ja sen paikkaa kuvaa todennäköisyysfunktio. Todennäköisyysfunktion avulla voidaan kuitenkin arvioida, millä etäisyydellä ytimestä elektroni todennäköisimmin löytyy. Tämän perusteella voidaan määritellä alue, jota kutsutaan orbitaaliksi. Sen koko on usein määritelty pintana, joka sulkee sisäänsä etäisyyden ytimestä, missä elektroni sijaitsee 90 % todennäköisyydellä. (Justi & Gilbert 2001)



## 5 TULOKSET

Tässä luvussa esitetään tutkimuksen tulokset. Sisällönanalyysillä etsittiin vastauksia esitettyihin tutkimuskysymyksiin, jotka olivat:

- 1 Miten mallin käsite esitetään peruskoulun ja lukion kemian opetussuunnitelmien perusteissa?
- 2 Miten mallin käsite esitetään peruskoulun ja lukion kemian oppikirjoissa?
- 3 Miten historiallisia malleja käytetään peruskoulun ja lukion oppikirjoissa?

Tutkitusta aineistosta kerättiin malleja sekä historiallisia malleja koskevat tekstinpätkät. Näistä teksteistä pyrittiin löytämään yhtäläisyyksiä niiden luokittelua varten. Luokittelu tehtiin teorian perusteella ja samantyyppiset malleja koskevat selitykset on koottu eri sisältöluokkiin. Oppikirjoista muodostetut sisältöluokat sekä aineistosta kootut lausumat on esitetty liitteissä 2 ja 3. Aineistosta on myös analysoitu kuvat sekä kuvatekstit. Tulokset ensimmäisen tutkimuskysymyksen on esitetty luvussa 5.1, toiseen luvussa 5.2 ja kolmanteen luvussa 5.3.

Oppikirja-analyysissä tutkittiin neljä peruskoulun ja kolme lukion oppikirjasarjaa. Peruskoulun oppikirjasarjat on merkitty P-kirjaimella ja järjestysnumerolla. Lukion oppikirjasarjat on merkitty L-kirjaimella sekä järjestysnumerolla. Saman kirjasarjan eri kurssien oppikirjat on erotettu pisteellä (esim. lukion oppikirjasarjan kirjat L1.1 ja L1.2, missä ensimmäinen numero viittaa kirjasarjan järjestysnumeroon ja toinen kurssin numeroon).

### 5.1 Mallin käsite peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmien perusteissa

#### 5.1.1 Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (2004) kemian opetuksen tavoitteissa tuodaan esille mallin tarkoituksellisuus:

*”oppilas oppii tuntemaan aineen rakennetta ja kemiallisia sidoksia kuvaavia käsitteitä ja malleja”*

Myös kemian opetuksen keskeisissä sisällöissä mallien tarkoituksellisuus tuodaan esille:

*”alkuaineiden ja yhdisteiden ominaisuuksien ja rakenteiden selittäminen atomimallin tai jaksollisen järjestelmän avulla”*

*”osaa kuvata atomia, kemiallisia sidoksia ja yhdisteitä asianmukaisia malleja käyttäen”*

Muita mallien luonteeseen kuuluvia asioita ei tuoda esille.

### **5.1.2 Lukion opetussuunnitelman perusteet**

Myös lukion opetussuunnitelmien perusteissa tuodaan esille mallin tarkoituksellisuus

*”osaa käyttää aineen ominaisuuksien päättelyssä erilaisia kemian malleja, taulukoita ja järjestelmiä”*

*”osaa tutkia kokeellisesti ja erilaisia malleja käyttäen aineiden rakenteeseen, ominaisuuksiin ja reaktioihin liittyviä ilmiöitä”*

Muita mallien luonteeseen kuuluvia asioita ei tuoda esille.

## 5.2 Mallin käsite peruskoulun ja lukion oppikirjoissa

Kaikissa tutkituissa oppikirjoissa käytetään paljon malleja kuvaamaan atomia sekä sen sisäistä rakennetta. Oppikirjoista kerättiin mallin luonnetta (ks. luku 4.2.2) kuvaavat lausumat (liite 2) ja tulokset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Mallien luonne tutkituissa oppikirjoissa. 0 = ei mainintaa, + = maininta.

Mallin luonne	Oppikirjat											
	P1	P2	P3	P4	P5.1	P5.2	L1.1	L1.2	L2.1	L2.2	L3.1	L3.2
Tarkoituksellisuus	+	+	0	0	0	0	+	0	0	0	0	+
Mallin rajat	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mallin alustavuus	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+
Empiirisen tutkimuksen merkitys	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Mallien käsittely tutkituissa oppikirjoissa on varsin vaihtelevaa. Oppikirjoissa P4, P5.1, P5.2, L1.2, L2.2 ja L3.1 ei ole tuotu esille sitä, mikä merkitys malleilla on kemiassa. Kuitenkin malleja käytetään kaikissa näissä oppikirjoissa.

Oppikirjoissa P1, P2, L1.1 ja L3.2 tuodaan esille se seikka, että malli on aina tiettyä tarkoitusta varten muodostettu. Esimerkiksi oppikirjassa P2 malleista sanotaan seuraavaa:

*”Mallit kuvaavat aineen rakennetta, ja niiden avulla selitetään aineiden ominaisuuksia ja käyttäytymistä reaktioissa. Tutkimusten tulokset ja teoria esitetään mallien avulla. Mallien pohjalta voidaan tehdä uusia ennusteita ja suunnitella uusia tutkimuksia... Atomit ovat niin pieniä, että niitä on mahdoton nähdä. Koska atomia ei nähdä, siitä on kehitetty erilaisia malleja. Atomimallien avulla pystytään ymmärtämään paremmin aineen rakennetta ja sitä, miten se yhdistyy muiden aineiden kanssa.” (s. 22–23)*

Vain yhdessä oppikirjassa (P2) mainitaan, että mallilla on jonkinlaiset rajat ja samalla mallilla ei voida selittää kaikkia aineen ominaisuuksia. Tosin kaikissa lukion oppikirjoissa tuodaan

esille Bohrin mallin rajoitukset johdantona kvanttimekaanisen mallin käsittelylle (ks. luku 5.2).

*”--Aineen ominaisuuksia ja rakennetta ei voida selittää pallomallilla, joten tarvitaan tarkempi malli. Tällöin atomin sisäisestä rakenteesta piirretään malli, jossa pallon keskellä on ydin--  
Atomin sisäisen rakenteen mallin tarkoituksena on havainnollistaa ja yksinkertaistaa atomin rakennetta”.* (s. 23)

Vain kahdessa oppikirjassa (P1 ja P3.2) on tuotu esille sitä, että mallit voivat muuttua esimerkiksi tutkimustiedon karttuessa:

*”Nykyajan atomimallit perustuvat nykyiseen tietämykseen, joten nyt hyväksi koettuihin malleihin saattaa tulevaisuudessa tulla lisäyksiä tai ne voivat jopa muuttua kokonaan.”* (s. 37)

*”Tiedon lisääntyessä mallit paranevat: mitä parempi malli on, sitä paremmin se kuvaa tutkittavaa ilmiötä.”* (s. 10–11)

Ainoastaan yhdessä oppikirjassa (P3) mainitaan, että atomimallit perustuvat tutkimukseen:

*”... Aineen tarkkaa rakennetta ei kuitenkaan pysty näkemään edes parhaimmilla mikroskoopeilla, koska aineen rakenneosat ovat erittäin pieniä. Aineen rakennetta voidaan kuitenkin tutkia, ja tutkimustulosten perusteella atomeja on päädytty kuvaamaan atomimalleilla. Atomimallissa aineen rakenneosat eli atomit koostuvat ytimeistä...”* (s. 23)

### **5.3 Historialliset mallit peruskoulun ja lukion oppikirjoissa**

Historiallisten mallien tunnistamiseen käytettiin Justin ja Gilbertin (2000) Lakatoksen tutkimusohjelmaan perustuvaa luokittelua (ks. luku 4.2.2). Oppikirjoista oli tunnistettavissa kuusi erilaista historiallista mallia: antiikin kreikkalainen atomimalli, Daltonin malli, Thomsonin malli, Rutherfordin malli, Bohrin malli sekä kvanttimekaaninen malli (taulukko 2). Eräässä peruskoulun oppikirjassa (P5.2) viitataan myös hiukkasfysiikan standardimalliin (tietoa syventävässä osassa), mutta sitä ei tässä ole huomioitu.

Aineisto luokiteltiin sisältöluokkiin sen mukaisesti, kuinka oppikirjoissa eri historiallisia malleja on käsitelty. Sisältöluokat sekä niihin kuuluvat alkiot on kuvattu liitteessä 3. Luokat eivät kuvaa millään tavalla kirjojen paremmuutta, niiden tarkoitus on vain kuvata, miten historiallisia malleja kirjoissa käsitellään. Sisältöluokkia löydettiin kaiken kaikkiaan viisi kappaletta:

- 0 Tähän luokkaan kuuluvat ne oppikirjat, joissa ko. mallia ei ole käsitelty lainkaan.
- 1 Tähän luokkaan kuuluvat ne oppikirjat, joissa ko. mallia käytetään, mutta sitä ei erikseen nimetä. Mikäli kirjassa on esitetty antiikin kreikkalaiseen malliin kuuluva ajatus aineen koostuvan atomeista, se on luokiteltu tähän luokkaan. Samoin Daltonin pallomallit ja Rutherfordin mallin mukainen ajatus atomin sisäisestä rakenteesta, missä atomin keskellä on ydin ja sitä kiertävät elektronit, on luokiteltu tähän luokkaan. Ne oppikirjat, joissa atomin rakennetta kuvataan nk. kuorimallilla (l. Bohrin atomimalli) on luokiteltu tähän luokkaan kuuluviksi.
- 2 Tähän luokkaan kuuluvat ne oppikirjat, joissa ko. malli on nimetty ja/tai se on kuvattu pääpiirteissään.
- 3 Tähän luokkaan kuuluvat ne oppikirjat, joissa ko. malli on nimetty, sen pääpiirteet, malliin kehittymiseen liittyvät empiiriset kokeet tai muu toiminta on kuvattu.
- 4 Tähän luokkaan kuuluvat ne oppikirjat, joissa kohdan 3 lisäksi on huomioitu ko. mallin rajat tai pätevyysalue.

Taulukko 2. Historialliset mallit ja niiden käsittely tutkituissa oppikirjoissa. Luokat: 0 = ei ole käsitelty, 1 = käytetty, mutta ei nimetty, 2 = nimetty ja pääpiirteet kuvattu, 3 = luokan 2 lisäksi kuvattu myös ko. malliin liittyvät empiiriset kokeet, 4 = luokan 3 lisäksi huomioitu ko. mallin rajat.

Historialliset mallit	Oppikirjat											
	P1	P2	P3	P4	P5.1	P5.2	L1.1	L1.2	L2.1	L2.2	L3.1	L3.2
Antiikin malli	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1
Daltonin malli	2	1	1	2	2	1	1	3	4	2	2	1
Thomsonin malli	2	0	0	3	0	0	0	3	0	3	2	0
Rutherfordin malli	2	1	1	2	0	1	1	3	0	3	2	0
Bohrin malli	2	1	1	2	0	1	1	4	0	4	2	4
Kvanttimekaaninen malli	0	0	0	0	0	1	0	3	0	2	2	2

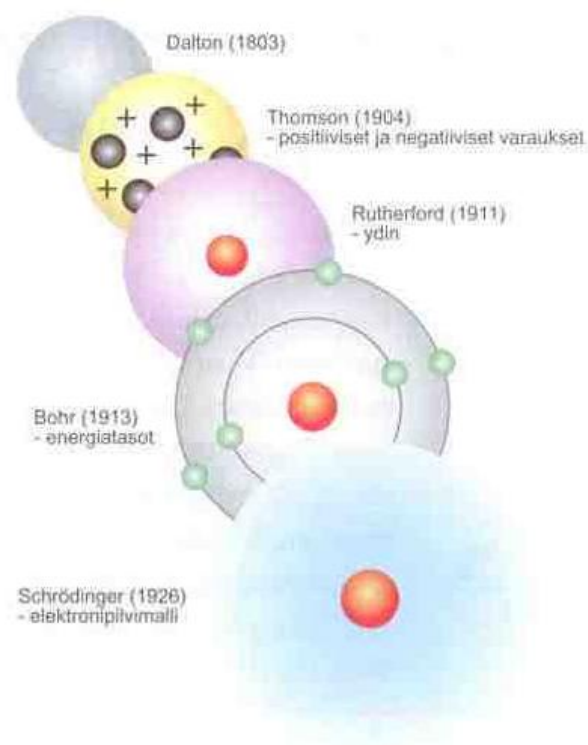
Peruskoulun oppikirjoissa historiallisten mallien käsittely jää lähinnä mallien nimeämiseen tai pääpiirteiden esittelyyn (kirjat P1, P4 ja P5.1). Kolmessa oppikirjassa historiallisia malleja käytetään, mutta niitä ei mitenkään nimetä tai edes käsitellä millään tavalla (kirjat P2, P3, P5.2). Oppikirjoissa, joissa historialliset mallit on esitelty, tämä on tehty pääasiallisesti lisätiedoissa, jotka on tarkoitettu syventämään opittua asiaa (ks. taulukko 3). Kuitenkin oppikirjassa P4, historiallisia malleja tuodaan esille leipätekstissä taustoittamaan opittavaa asiaa. Esimerkiksi kirjassa käsitellään Rutherfordin mallia seuraavalla tavalla:

*”Atomi on enimmäkseen tyhjää tilaa, mutta sillä on tiivis, positiivisesti varautunut ydin. Tämän totesi Ernest Rutherford vuonna 1911 pommittaessaan kulta-atomeja raskailla hiukkasilla.” (s. 109)*

Peruskoulun oppikirjat näyttäisivät painottavan hieman eri asioita. Ne oppikirjat, joissa ei historiallisia malleja käsitellä, näyttäisivät painottavan tutkivan oppimisen tai STS-opetuksen näkökulmaa (*Science, Technology and Society*).

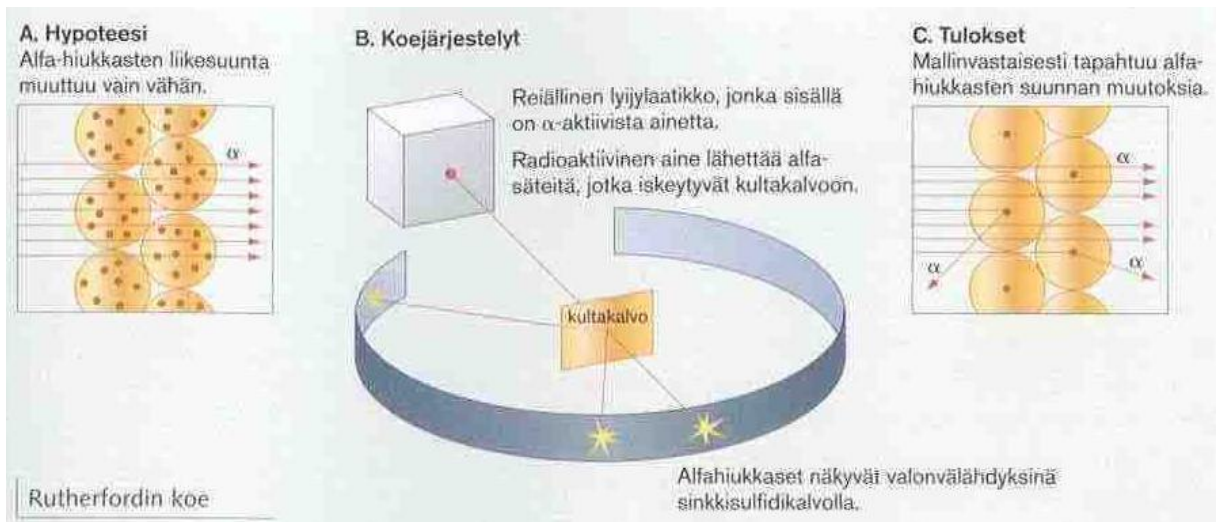
Kaikissa lukion oppikirjasarjoissa käytetyt historialliset mallit nimetään ja joissakin osaa näitä malleja käsitellään varsin syvällisesti (ts. tuodaan esille mallien rajoitukset). Lukion en-

simmäisen kurssin tarkoitus on syventää peruskoulussa opittuja kemian perustietoja ja kurssin oppikirjoissa käsitellään lähinnä antiikin kreikkalaista sekä Daltonin mallia (L1.1 ja L2.1). Lukion oppikirjassa L3.1 on atomin rakennetta kuvaavassa luvussa kuva, missä on kuvattuna sekä nimettynä Daltonin, Thomsonin, Rutherfordin, Bohrin että kvanttimekaaninen atomimalli. Tämän tarkoituksena on kuvata atomimallin muuttumista. (Kuva 3)



Kuva 3. Atomimallien kehitys (L3.1, s. 23)

Lukion toinen kurssi käsittelee aineen rakennetta syvällisemmin. Näissä kirjoissa myös historiallisten mallien käsittely on syvällisempää. Oppikirjassa L1.2 on kirjan alussa johdantoluku, jossa esitellään historiallisia malleja sekä tuodaan esille myös mallien taustalla olevaa empiiristä toimintaa (Rutherfordin koe on mm. kuvattu (ks. kuva 4)). Oppikirjassa L2.2 historialliset mallit on esitetty syventäväksi tiedoksi tarkoitettussa osiossa, sekä siinä on myös kuvattu malleihin liittyvää empiiristä tutkimusta sekä niitä seikkoja, jotka ovat vaikuttaneet mallin korvautumiseen toisella. (Ks. taulukko 3)



Kuva 4. Rutherfordin koe (L1.2, s. 7)

Kaikissa tutkituissa lukion oppikirjasarjoissa tuodaan esille Bohrin mallin rajoitukset johdantona kvanttimekaanista atomimallia käsittelevään kappaleeseen. Esimerkiksi oppikirjassa L2.2 Bohrin mallista sanotaan seuraavaa:

*”Atomin elektronipilven rakenteesta on esitetty erilaisia malleja. Parhaiten tunnettu on tanskalaisen fyysikon Niels Bohrin vuonna 1913 esittämä malli. Bohrin atomimallissa elektronit kiertävät atomin ydintä ympyränmuotoisilla radoilla, joita kutsutaan elektronikuoriksi.”*

*”Koska Bohrin malli kuvaa melko luotettavasti vain yhden elektronin sisältämää vetyatomia, ei mallia siten voida pitää yleispätevänä. Bohrin atomimallin pohjalta laadittua yksinkertaista kuorimallia on kuitenkin pitkään käytetty kuvaamaan atomien elektronirakenteita.” (s. 16)*



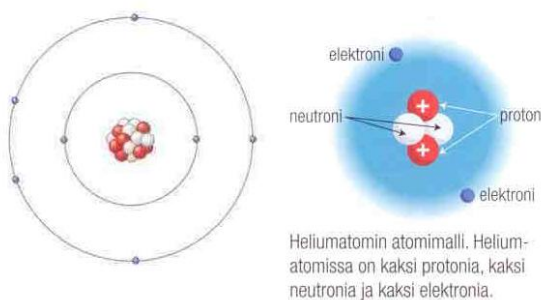
Taulukko 3. Mallien käsittely oppikirjoissa. Luokat: 0 = ei ole käsitelty tai käytetty, mutta ei nimetty, E = lisätietoa, LT = leipäteksti, KT = kuva ja kuvateksti

Historialliset mallit	Oppikirjat											
	P1	P2	P3	P4	P5.1	P5.2	L1.1	L1.2	L2.1	L2.2	L3.1	L3.2
Antiikin malli	E	0	0	LT	E	0	E	0	0	E	0	0
Daltonin malli	E	0	0	S	E	0	0	E/ LT	LT/ KT	E	E	0
Thomsonin malli	E	0	0	LT	0	0	0	S	0	E	KT	0
Rutherfordin malli	E	0	0	LT	0	0	0	S	0	E	KT	0
Bohrin malli	E	0	0	LT	0	0	0	E/LT	0	E/L T	KT	LT
Kvanttime- kaaninen malli	0	0	0	0	0	0	0	E/LT	0	E/L T	KT	LT

### 5.3.1 Hybridimallit

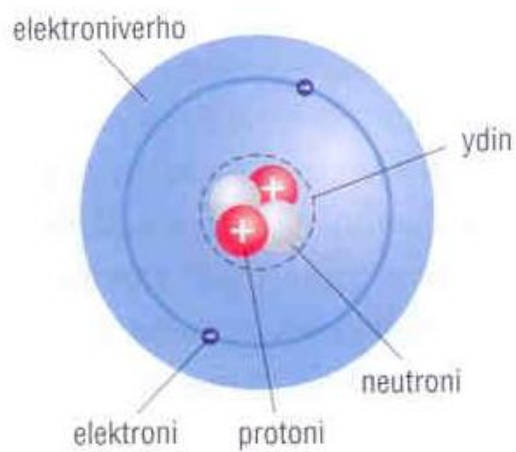
Hybridimallit ovat malleja, jotka koostuvat erilaisten mallien osista ja malli esitetään ikään kuin se olisi yhtenäinen kokonaisuus (Gilbert et. al., 2000a). Hybridimalleja käytetään lähes kaikissa tutkituissa oppikirjoissa.

Tyypillisiä hybridimalleja ovat kuvassa 5 esitety atomin sisäistä rakennetta kuvaava mallit, jossa on elementtejä Rutherfordin ja Bohr malleista. Malliin on myös lisätty neutronit ja protonit.



Kuva 5. Hybridimalleja, missä elementtejä Rutherfordin ja Bohr malleista. (L2.1, s.1; P3, s. 73)

Lisäksi oppikirjoista löytyy malleja (kuva 6), joissa on myös elementtejä kvanttimekaanisesta atomimallista (elektroniverho).



Kuva 6. Hybridimalli, missä on elementtejä Rutherfordin, Bohrin sekä kvanttimekaanisesta mallista (P.2, S. 24)

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän tutkielman tavoitteena oli esittää, kuinka historiallista ja filosofista lähestymistapaa voidaan käyttää opetuksessa parantamaan oppilaiden käsitystä kemian ja kemiallisen tiedon luonteesta. Lakatoksen tutkimussuunnitelman käsitettä käytettiin tutkimuksessa historiallisten mallien tunnistamiseen sekä niiden analysoimiseen. Samoin sitä käytettiin tunnistamaan oppikirjoista hybridimalleja.

Tämä lähestymistapa sopii hyvin tieteen luonteen opettamiseksi, sillä sen avulla on mahdollista muodostaa yhtenäinen viitekehys, jolle opetus voidaan perustaa. Se tarjoaa työkalut, joilla voidaan arvioida opetussuunnitelman perusteita sekä oppikirjoja. Opetussuunnitelman perusteet muodostavat opetukselle lähtökohdan, sillä siitä ilmenee mitä ja millä tasolla tieteellisiä käsitteitä oppilaille pitää opettaa. Tämä muodostaa luonnollisesti perustan opettajan oman työn suunnittelulle. Kuitenkin keskeisessä roolissa opetuksessa ovat oppikirjat, sillä käytännössä ne määrittelevät sisällöt, mitä opetetaan sekä miten ne opetetaan (esim. Englund 1999). Kuten luvussa 5 esitettiin, Lakatoksen tutkimusohjelman avulla voidaan oppikirjoista tunnistaa ne historialliset mallit, joita ko. luokka-asteen kirjoissa opetetaan. Sen avulla voidaan myös löytää oppikirjoista erilaiset hybridimallit ja välttää niiden käyttöä opetuksessa.

### 6.1 Tutkimuksen tulokset

#### 6.1.1 Mallin käsite opetussuunnitelmien perusteissa

Luvussa 4 esitettiin teoreettisen viitekehysten perusteella nostettuja mallin luonteeseen kuuluvia asioita, jotka olivat:

- malli on muodostettu tiettyä tarkoitusta varten
- mallilla on aina tietyt rajat
- mallien alustavuus
- empiirisen tutkimuksen merkitys mallien muodostamisessa

Oikeastaan mitään näistä mallin luonteeseen kuuluvia asioita ei tuotu esille perusopetuksen tai lukion opetussuunnitelmien perusteiden esittämissä keskeisissä sisällöissä. Ainoastaan tode-

taan, että malleilla on jokin tarkoitus ilmiöiden kuvaamisessa ja selittämisessä (ks. luku 5). Myöskään sitä, minkälaisia malleja tulisi käyttää, ei kuvata lainkaan.

Opetuksen tarkoituksena on laajentaa oppilaan tietämystä kemiasta ja kemiallisen tiedon luonteesta (Opetushallitus 2003, 2004). Kuitenkaan mallien luonteesta ja merkityksestä kemian ilmiöiden selittämisessä ja tutkimuksessa ei mainita eksplisiittisesti opetuksen sisällöissä (ks. Vesterinen et.al. 2009).

### **6.1.2 Mallin käsite peruskoulun ja lukion oppikirjoissa**

Mallien käsittely oppikirjoissa jää suhteellisen pinnalliseksi ja seitsemässä tutkituista oppikirjoista niitä ei käsitellä lainkaan (ks. luku 5.2). Niissä oppikirjoissa, joissa mallin luonteeseen kuuluvia asioita tuodaan esille, on erillinen kappale, jossa tämä tehdään. Tällöin malleista saattaa jäädä kuva lopullisina ja täydellisinä kuvauksina aineen rakenteesta (Erduran 2001).

Kurki-Suoniot (1994, s. 170) esittävät varsin painokkaasti, että pelkkien käsitteiden määrittäminen ei riitä, vaan niiden käyttöä on harjoiteltava. Heidän mukaansa käsitteiden merkitys sisäistetään vasta, kun niitä käsitellään erilaisissa yhteyksissä. Oppilaille saattaa näin ollen jäädä malleista epämääräinen kuva, jos ne määritellään vain jossakin vaiheessa kurssia tai vain kerran opintojen aikana. Mallien luonteen ja merkityksen ymmärtämiseksi on niitä tuotava opinnoissa jatkuvasti esille.

Esimerkiksi Taber (2010) esittää, että jo ”biljardipallomallin” käyttäminen saattaa aiheuttaa vaikeuksia kemian käsitteiden oppimisessa, mikäli sen luonnetta ei tuoda riittävästi esille. Vaikka se on erittäin hyödyllinen monien ilmiöiden selittämiseksi, siihen liittyvä hiukkasen käsite on varsin erilainen kuin oppilaiden käsitys hiukkasesta.

### **6.1.3 Historialliset mallit oppikirjoissa**

Oppikirjoissa esiintyy paljon erilaisia historiallisia malleja (Luku 5). Historialliset mallit esitetään kuitenkin oppikirjoissa yleensä syventäväksi tiedoksi tarkoitetuissa osioissa tai mainitaan tekstissä tai kuvatekstissä kuriositeettina (esim. mallin keksijän nimi mainitaan). Tällöin niiden tarkoituksena on enemmänkin inhimillistä tiedettä ja tehdä siitä kiinnostavampaa, kuin käyttää sitä tieteen luonteen ymmärtämiseen (esim. Monk & Osborne 2007).

## 6.1.4 Hybridimallit

Lähes kaikissa oppikirjoissa (erityisesti peruskoulun oppikirjoissa) käytetään paljon erilaisia hybridimalleja. Näiden tarkoituksena on kuvata atomin sisäistä rakennetta, mutta niiden käyttäminen voi estää oppilaita ymmärtämästä, mikä on mallien merkitys kemiassa. Oppilaat, jotka eivät ymmärrä mallien roolia, voivat ajatella niitä vain yksinkertaistettuina kopioina todellisuudesta (ks. luku 3.5.3.). (Justi & Gilbert 2002a; Taber 2010) Ne estävät myös tieteen historian ja filosofian tehokkaan käytön opetuksessa, sillä niiden perusteella ei voida keskustella tieteellisen tiedon luonteeseen kuuluvista asioista. Tällöin oppilaillekaan ei voi muodostua mielekästä kuvaa kemiasta. (Justi & Gilbert 2002a)

## 6.2 Yhteenveto ja tutkimuksen merkittävyys

### 6.2.1 Kemian opetuksen näkökulma

Taberin mallin (2006, luku 3.5) mukaan käsitteiden välittyminen oppilaille (ts. niiden oppiminen) koostuu erillisistä askeleista, joissa jokainen tiedon välittäjä muodostaa käsitteestä oman tulkintansa. Tällöin on erityisen tärkeää, että välitettävä tieteellinen tieto säilyy mahdollisimman yhtenäisenä yksinkertaistuksista huolimatta. Tämä tarkoittaa sitä, että tiedon peruspiirteet ja rakenne säilyvät. Siksi on tärkeää, että opetuksessa aineen rakennetta kuvaavat mallit vastaisivat rakenteeltaan tieteellisiä konsensusmalleja.

Kuten tämän luvun johdannossa todettiin, Lakatoksen tutkimusohjelma tarjoaa työkalut oppimateriaalin arvioimiseen sekä opetuksen suunnitteluun siten, että oppilaille välitetyn tiedon rakenne säilyy yksinkertaistuksista huolimatta (ts. vältetään hybridimallien käyttö opetuksessa). Tämä tarkoittaa myös sitä, että sen avulla voidaan löytää ne ilmiön tai olion määrittelevät ominaisuudet, jotta sitä voidaan tehokkaasti opettaa.

Tieteen historian ja filosofian käyttäminen opetuksessa mahdollistaa myös tieteen luonteeseen liittyvien asioiden käsittelyn opetuksessa luontevalla tavalla. Lakatoksen tutkimusohjelman käyttäminen käsitteitä kuvaavien mallien opetuksessa auttaa niiden kriteereiden määrittelemisessä, jotka tekivät ko. mallista konsensusmallin sekä tutkimusohjelmasta progressiivisen. (Justi 2000) Monk ja Osborne (1997) väittävät jopa, että ilman tieteen historiaa ja filosofiaa, opetus epäonnistuu tietoa koskevien epistemologisten kysymysten käsittelyn opetuksessa.

Historialliset mallit ovat kontekstisidonnaisia ja niiden asianmukainen käyttö vaatii kontekstin eksplisiittistä esittämistä. Tämä vaatii pohdintaa mallin taustalla olevista ideoista sekä kokeista, jotka ovat johtaneet mallin muodostumiseen. Historiallinen lähestymistapa voi auttaa oppilaita vaikeiden käsitteiden omaksumisessa (esim. Wandersee & Baudoin Griffard 2002; Monk & Osborne 1997). Käsitteiden esittäminen historiallisessa kontekstissa voi myös tehdä niistä vähemmän abstrakteja ja oppimisesta mielekkäämpää (Matthews 1994).

### **6.2.2 Kemian opettajankoulutuksen näkökulma**

Luonnollisesti kemian käsitteiden välittämisessä keskeisessä roolissa ovat opettajat. Ensinnäkin opettajat välittävät oppilaille oman näkemyksensä kemiasta ja toiseksi kemian opettajilla on keskeinen rooli käytettävien oppikirjojen kirjoittamisessa. Opetuksen kannalta ei siksi ole yhdentekevää, minkälainen on opettajan käsitys tieteen luonteesta.

Justin (2000) mukaan opetuksessa käytettävät hybridimallit ovat merkki siitä, että kemian opettajankoulutusta täytyy uudistaa. Hän esittää, että opettajankoulutuksessa tulisi pohtia seuraavia asioita:

1. Taso, millä kemiallisia käsitteitä opetetaan yliopistossa. Yliopistoon tulevalle opiskelijalla saattaa olla vaihtoehtoisia käsityksiä joistakin keskeisistä kemian käsitteistä tai hän ei välttämättä ymmärrä niitä täysin. Mikäli opetuksessa ei tätä huomioida ja sen lähtötaso on liian vaativa, voi tulevalle kemian opettajalle muodostua virheellisiä mentaalimalleja keskeisistä kemian käsitteistä.
2. Taso, millä tieteen luonteesta käydään filosofista keskustelua yliopistossa. Tämä tarkoittaa sitä, että koulutuksessa pitäisi käydä keskustelua mallien ja teorioiden luonteesta sekä suhteesta toisiinsa.
3. Mikä merkitys on tieteen historialla ja filosofialla yliopiston kemian opetuksessa. Tieteen historiaa pitäisi sisällyttää kemian kursseihin siten, että tuleville opettajille muodostuisi ymmärrys siitä, kuinka tieteellistä tietoa muodostetaan tai missä kontekstissa se on muodostunut.

Edellä esitettyjen näkökohtien huomioiminen kemian opettajankoulutuksessa voi lisätä opettajien arvostusta tieteen historian ja filosofian merkityksestä kemian opetukselle (ks. luku 2.3) ja kriittistä suhtautumista sen käytäntöihin. Ennen kaikkea tieteen historia ja filosofia opettajan koulutuksessa auttaa opettajia tunnistamaan oppikirjoissa esiintyvät hybridimallit ja välttämään niiden käyttämistä opetuksessa.

## LÄHTEET

Bailer-Jones D.M. (2002). Scientists' Thoughts on Scientific models. *Perspectives on Science* 10, 275-301

Berson J.A. (2008). Fundamental Theories and their Empirical Patches. *Foundations of Chemistry* 10, 147-156

Bohr N. (1913). On the Constitution of Atoms and Molecules. *Philosophical Magazine* 26, 1-24

Boulter C.J. & Buckley B.C. (2000). Constructing a Typology of Models for Science Education. Teoksessa Gilbert J.K. ja Boulter C.J. (toim.) *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 41-57

Buckley B.C. & Boulter C.J. (2000). Investigating the Role of Representations and Expressed Models in Building Mental Models. Teoksessa Gilbert J.K. ja Boulter C.J. (toim.) *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 119-135

Caldin E.F. (2002). The Structure of Chemistry in Relation to the Philosophy of Science. *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 8, 103-121

Chalmers A.F. (2010). *What is This Thing Called Science?* Berkshire: UK.

Crosslight L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching* 28, 799-822.

Dalton J. (2010). *A New System of Chemical Philosophy, Volume 1*. Cambridge: Cambridge University Press.

Del Re G. (2000). Models and Analogies in Science. *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 6, 5-15



- Edelson D.C. (2002). Design Research: What We Learn When We Engage in Design. *The Journal of Learning Sciences* 11, 105–121
- Englund B. (1999). Lärobokskunskap, styrning och elevinflytande. *Pedagogisk Forskning i Sverige* 4, 327–348
- Erduran S. (2001). Philosophy of Chemistry: An Emerging Field with Implications for Chemistry Education. *Science & Education* 10, 581–593
- Erduran S. & Scerri E. (2002). The Nature of Chemical Knowledge and Chemical Education. Teoksessa J.K.Gilbert (toim.) *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 47-68
- Gilbert J.K. (2006). On the Nature of “Context” in Chemical Education. *International Journal of Science Education* 28, 957-976
- Gilbert J.K., Boulter C.J. & Rutherford, M. (1998). Models in Explanations, Part I: Horses for Courses. *International Journal of Science Education* 20, 83-97
- Gilbert J.K., Boulter C.J. & Elmer R. (2000a). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. Teoksessa Gilbert J.K. ja Boulter C.J. (toim.) *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 3-17
- Gilbert J.K., Pietrocola M., Zylbersztajn A. & Franco C. (2000b). Science and Education: Notions of Reality, Theory and Model. Teoksessa Gilbert J.K. ja Boulter C.J. (toim.) *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 19-40
- Grosslight L., Unger C., Jay E. & Smith C.L. (1991). Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science Teaching* 28, 799-822
- Harrison A.G. & Treagust D.F. (2000). A Typology of School Science Models. *International Journal of Science Education* 22, 1011-1026

Hudson J. (1995) *Suurin tiede: kemian historia*. Art House: Helsinki.

Johnstone A.H. (1997). Chemistry Teaching – Science or Alchemy? *Journal of Chemical Education* 74, 262-268

Justi R.S. (2000). Teaching with Historical Models. Teoksessa Gilbert J.K. ja Boulter C.J. (toim.) *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 209-226

Justi R.S. & Gilbert J.K. (1999a). History and Philosophy of Science Through Models: The Case of Chemical Kinetics. *Science and Education* 8, 287–307

Justi R.S. & Gilbert J.K. (1999b). A Cause of Ahistorical Science Teaching: Use of Hybrid Models. *Science Education* 83, 163-177

Justi R.S. & Gilbert J.K. (2001). History and Philosophy of Science Through Models: Some Challenges in the Case of the Atom. *International Journal of Science Education* 22, 993–1009

Justi R.S. & Gilbert J.K. (2002a). Models and Modeling in Chemical Education. Teoksessa J.K.Gilbert (toim.) *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 7-24

Justi R.S. & Gilbert J.K. (2002b). Philosophy of Chemistry in University Chemical Education: The Case of Models and Modeling. *Foundations of Chemistry* 4, 213–240

Kiikeri M. & Ylikoski P. (2004). *Tiede tutkimuskohteena: filosofinen johdatus tieteen tutkimukseen*. Helsinki: Gaudeamus.

Kuhn T.S. (1996). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press.

Kurki-Suonio K. & Kurki-Suonio R. (1994). *Fysiikan merkitykset ja rakenteet*. Helsinki: Limes.

Lederman N.G. (2004). Syntax of Nature of Science Within Inquiry and Science Instruction. Teoksessa Flick L.B. & Lederman N.G. (toim.) *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning and Teacher Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 301–317

Matthews M.R. (1994). *Science Teaching – The Role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge.

McComas W.F. & Almazroa H. & Clough M.P. (1998a). The Nature of Science in Science Education: An Introduction. *Science & Education* 7, 511–532

McComas W.F., Clough M.P. & Almazroa H. (1998b). The Role and Character of the Nature of Science in Science Education. Teoksessa McComas W.F. (toim.) *Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 3-39

Monk M. & Osborne J. (1997). Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy. *Science Education* 81, 405–424

Niaz M. (2008). *Teaching General Chemistry – A History and Philosophy of Science Approach*. New York: Nova Science Publishers, Inc.

Niiniluoto I. (2002). *Johdatus tieteenfilosofiaan: käsitteen ja teorianmuodostus*. Helsinki: Otava.

Opetushallitus. (2003) *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*. Helsinki: Opetushallitus

Opetushallitus (2004). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004*. Helsinki: Opetushallitus

Rodríguez M.A. & Niaz M. (2002). How in Spite of the Rhetoric, History of Chemistry Has Been Ignored in Presenting Atomic Structure in Textbooks. *Science & Education* 11, 423-441

Rudge D.W. & Howe E.M. (2004). Incorporating History in to the Science Classroom. *The Science Teacher* 71, 52–57

Rutherford E. (1911). The Scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  Particles by Matter and the Structure of Atom. *Philosophical Magazine* 21, 669-688

Sarton, G. (1993) *Ancient Science Through the Golden Age of Greece*. Dover Publications Inc., New York.

Scerri, E.R. (2000). Philosophy of Chemistry - New Interdisciplinary Field? *Journal of Chemical Education* 77, 522-525

Scerri E.R. (2003). Philosophical Confusion in Chemical Education Research. *Journal of Chemical Education* 80, 468-474

Scerri, E.R. & McIntyre L. (1997). The Case for the Philosophy of Chemistry. *Synthese* 111, 213–232

Schummer, J. (1998). The Chemical Core of Chemistry I: A Conceptual Approach. *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 4, 129–162

Sjøberg, S. (1996). Scientific Literacy and School Science - Arguments and second thoughts. Esitetty: *Seminar on Science, Technology and Citizenship*. Oslo, Norja.  
<http://folk.uio.no/sveinsj/Literacy.html>. (Luettu 26.7.2011)

Sjöström J. (2007). The Discourse of Chemistry (and Beyond). *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 13, 83–97

Taber K.S. (2003). The Atom in the Chemistry Curriculum: Fundamental Concept, Teaching Model or Epistemological Obstacle? *Foundations of Chemistry* 5, 43-84

Taber K.S. (2006). Towards a Curricular Model of the Nature of Science. *Science & Education* 17, 179–218

Thomson J.J. (1906). Carriers of Negative Electricity, Nobel Lecture 11.12.1906.  
[http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1906/thomson-lecture.pdf](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1906/thomson-lecture.pdf) (luettu 29.6.2011)

- Thomson J.J. (1907). *The Corpuscular Theory of Matter*. New York: Charles Scribner`s Sons.
- Tuomi J. & Sarajärvi A. (2002). *Laadullinen tutkimus ja sisällön analyysi*. Helsinki: Tammi
- Törnroos J. (2004). *Opetussuunnitelma, oppikirjat ja oppimistulokset – seitsemännen luokan matematiikan osaaminen arvioitavana*. Jyväskylä: Koulutuksen tutkimuslaitos
- Uusikylä K. & Atjonen P. (1999). *Didaktiikan perusteet*. Helsinki: WSOY
- Vesterinen V-M. (2007). *Kemian filosofia pohjoismaiden valtakunnallisissa opetussuunnitelmissa*. Pro Gradu-tutkielma. Helsingin yliopisto, Kemian laitos
- Vesterinen V-M. (2011). Scientific and Technological Literacy in Finnish Upper Secondary School Chemistry Curricula, Textbooks, and Matriculation Examinations between the Years 1985 and 2010. Esitetty 1.7 – 5.7 2011: *11<sup>th</sup> International IHPST and 6<sup>th</sup> Greek History, Philosophy and Science Conference*. Thessaloniki, Kreikka
- Vesterinen V.M., Aksela M & Sundberg M.R. (2009) Nature of Chemistry in the National Frame Curricula for Upper Secondary Education in Finland, Norway and Sweden. *NorDiNa* 5, 200-212
- Wandersee J.H. & Baudoin Griffard P. (2002). The History of Chemistry: Potential and Actual Contributions to Chemical Education. Teoksessa J.K.Gilbert (toim.) *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 29-46
- Weinberg S. (1983). *The Discovery of subatomic particles*. New York: Scientific American Books Inc.

## LIITTEET

### Liite 1: Tutkitut oppikirjat

- P1: Aspholm S., Hirvonen H., Hongisto J., Lavonen J., Penttilä A., Saari H. & Viiri J. (2001). *Aine ja Energia*. Helsinki: WSOY
- P2: Kangaskorte A., Lavonen J., Penttilä A., Pikkarainen O., Saari H., Sirviö J., Vakki-lainen K-M. & Viiri J. (2010). *FyKe 7-9 Kemia*. Helsinki: WSOY
- P3: Havonen T., Karpin T., Keinonen T. & Muurinen M. (2008). *Hehku – kemia 7-9*. Helsinki: Otava
- P4: Ikonen M., Tuomisto M., Termonen M. & Perkkalainen P. (2009). *Ilmiö – Kemian oppikirja 7–9*. Helsinki: Tammi
- P5.1 Happonen J., Heinonen M., Muilu H. & Nyrhinen K. (2004). *Avain – Kemia 1*. Hel-sinki: Otava
- P5.2 Happonen J., Heinonen M., Muilu H. & Nyrhinen K. (2004). *Avain – Kemia 2*. Hel-sinki: Otava
- L1.1 Aroluoma I., Kanerva K., Karkela L., Lampiselkä J., Mäkelä R., Sorjonen T. & Vak-kilainen K-M. (2004). *Kemisti 1 – Elinympäristön kemia* Helsinki: WSOY
- L1.2 Aroluoma I., Kanerva K., Karkela L., Lampiselkä J., Mäkelä R., Sorjonen T. & Vak-kilainen K-M. (2004). *Kemisti 2 – Kemian mikromaailma*. Helsinki: WSOY
- L2.1 Lehtiniemi K. & Turpeenoja L. (2005). *Mooli 1 – Elinympäristön kemia*. Helsinki: Otava
- L2.2 Lehtiniemi K. & Turpeenoja L. (2005). *Mooli 2 – Kemian mikromaailma*. Helsinki: Otava

- L3.1 Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. (2006). *Reaktio 1 – Elinympäristön kemia*. Helsinki: Tammi.
- L3.2 Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. (2006). *Reaktio 2 – Kemian mikro-maailma*. Helsinki: Tammi.

## **Liite 2: Mallin käsite oppikirjoissa**

P1: *Atomit ovat kooltaan niin pieniä, että niiden rakennetta ei voida nähdä tehokkaimmallakaan mikroskoopilla... Atomeja esittävät kuvat ovat aina malleja. Atomimalleja käytetään, koska ne helpottavat ymmärtämään atomin rakennetta ja atomien välisiä kemiallisia tapahtumia. Nykyajan atomimallit perustuvat nykyiseen tietämykseen, joten nyt hyväksi koettuihin malleihin saattaa tulevaisuudessa tulla lisäyksiä tai ne voivat jopa muuttua kokonaan. (s. 37)*

*Kuva hiili- ja happiatomista sekä happimolekyulistä. Kuvateksti: Pallo kuvaa aina yhtä atomia. Malleissa atomeja kuvataan eri värein, jotta eri aineiden atomit erottuisivat paremmin toisistaan. Todellisuudessa happiatomit eivät ole punaisia eivätkä hiiliatomit mustia. (s. 37)*

*Joidenkin ilmiöiden ymmärtämiseksi tarvitaan atomimalli, joka kuvaa myös atomin sisäistä rakennetta. Kun ainetta on tutkimuksissa säteilytetty, on päätelty, että atomi koostuu... (s. 38)*

P2: *... Mallit, kuten kartta kuvaavat jotakin asiaa, mutta ne eivät koskaan vastaa täydellisesti todellisuutta.*

*Mallien ymmärtämisestä on apua myös kemian opiskelussa. Mallit kuvaavat aineen rakennetta, ja niiden avulla selitetään aineiden ominaisuuksia ja käyttäytymistä reaktioissa. Tutkimusten tulokset ja teoria esitetään mallien avulla. Mallien pohjalta voidaan tehdä uusia ennusteita ja suunnitella uusia tutkimuksia. (s. 22)*

*... Atomit ovat niin pieniä, että niitä on mahdoton nähdä. Koska atomia ei nähdä, siitä on kehitetty erilaisia malleja. Atomimallien avulla pystytään ymmärtämään paremmin aineen rakennetta ja sitä, miten se yhdistyy muiden aineiden kanssa. (s. 23)*

*... Pallomalli yleensä väritetään, vaikka atomit ovatkin värittömiä. Tarkoituksena on erottaa eri atomeja kuvaavat pallot toisistaan... Pallomallia käytettäessä on aina ilmoitettava selvästi, minkä värinen pallo kuvaa mitäkin atomia. (s. 23)*



... Aineen ominaisuuksia ja rakennetta ei voida selittää pallomallilla, joten tarvitaan tarkempi malli. Tällöin atomin sisäisestä rakenteesta piirretään malli jossa pallon keskellä on ydin... Atomin sisäisen rakenteen mallin tarkoituksena on havainnollistaa ja yksinkertaistaa atomin rakennetta. (s. 23)

P3: ... Aineen tarkkaa rakennetta ei kuitenkaan pysty näkemään edes parhaimmilla mikroskoopeilla, koska aineen rakenneosat ovat erittäin pieniä. Aineen rakennetta voidaan kuitenkin tutkia, ja tutkimustulosten perusteella atomeja on päädytty kuvaamaan atomimalleilla. Atomimallissa aineen rakenneosat eli atomit koostuvat ytimeistä... (s. 23)

P4: Kuva heliumatomista. Kuvateksti: Atomimalli heliumatomin rakenteesta. Vaikka tämä atomimalli on kaksiulotteinen, oikeat atomit ovat kolmiulotteisia. (s. 48)

L1.1: ... Kartta on tehty malli, joka vastaa todellisuutta vain tietyllä tarkkuudella. Aineen rakennetta ja sen rakenneosia kuvataan vastaavasti erilaisilla malleilla... (s. 17)

L3.2: Me ihmiset kuvaamme ympäröivää todellisuutta ”omalla kielellämme”, erilaisilla kielikuvilla, piirroksilla veistoksilla, matemaattisilla kaavoilla jne. Mallien tulisi olla selitysvomaisia, tehokkaita työkaluja, joiden avulla voidaan kuvata ja ymmärtää mahdollisimman tarkasti ne havainnot, joita ympäröivästä luonnosta ja sen ilmiöistä tehdään. Tiedon lisääntyessä mallit paranevat: mitä parempi malli on, sitä paremmin se kuvaa tutkittavaa ilmiötä. (s. 10–11)

Erilaisia kuvia omenista (4kpl) sekä matemaattinen malli omenasta: Omenan tilavuus voidaan mallintaa matemaattisesti pallon tilavuutena  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ , jossa  $r$  = omenan/pallon säde.

Kuvateksti: Mallin avulla Pyritään kuvaamaan todellisuutta mahdollisimman tarkasti. Mieti, mitä todellisia omenan piirteitä eri mallit kuvaavat. Jäivätkö jotkin piirteet pois? (s. 11)

### Liite 3: Historialliset mallit oppikirjoissa

#### 0 – ei käsitellä lainkaan

<i>Thomsonin malli:</i>	P2, P3, P5.1, P5.2, L1.1, L2.1, L3.2
<i>Rutherfordin malli:</i>	P5.1, L2.1, L3.2
<i>Bohrin malli:</i>	P5.1, L2.1
<i>Kvanttimekaaninen malli:</i>	P1, P2, P3, P4, P5.1, L1.1, L2.1

#### 1 – kuva mutta ei nimetty

<i>Antiikin kreikkalainen malli:</i>	P2, P3, P5.2, L1.2, L2.1, L3.1, L3.2
<i>Daltonin malli:</i>	P2, P3, P5.2, L1.1, L3.2
<i>Thomsonin malli:</i>	-
<i>Rutherfordin malli:</i>	P2, P3, P5.2, L1.1
<i>Bohrin malli:</i>	P2, P3, P5.2, L1.1
<i>Kvanttimekaaninen malli:</i>	P5.2

#### 2 – Malli nimetty ja malli kuvattu

##### *Antiikin kreikkalainen malli:*

- P1: *Ihminen on aina halunnut löytää aineen pienimmän mahdollisimman osan. Kreikkalainen filosofi Demokritos väitti noin 400 vuotta ennen ajanlaskun alkua, että kun ainetta jaetaan aina vain pienempiin osiin, päädytään lopulta jakamattomaan perushiukkaseen, atomiin. Kreikankielinen sana atomos tarkoittaaakin jakamatonta. (s. 39)*
- P4: *Kreikkalainen filosofi Demokritos ajatteli, että aine koostuu atomeista. Kreikan kielin sana atomos tarkoittaa jakamatonta. (s. 47)*
- P5.1: *Atomien käsitettä käyttivät ensimmäiseksi kreikkalaiset. Atomi-nimitys liitetään kreikkalaiseen filosofi Demokritokseen (n. 460–370 eKr.), joka piti atomia aineen pienimpänä jakamattomana (atomos = jakamaton) osasena. (Tiesitkö että... s. 43)*

*Demokritoksen atomikäsitys säilyi aina 1700-luvulle asti, jolloin nykyaikainen atomiteoria sai alkunsa. Sitä edelsi englantilaisen fyysikon Robert Boylen (1627–1691) esittämä näkemys, jonka mukaan atomit ovat kemiallisten alkuaineiden jakamattomia osasia. (Tiesitkö että... s. 43)*

L1.1: *Empedokleen oppilaan Demokritos Abderalaisen (n. 460–370 eKr.) selityksen mukaan aine koostui jakamattomista osasista, atomeista. Aineiden erilaiset ominaisuudet selittyvät sillä, että nämä erilaiset atomit järjestäytyivät toistensa suhteen erilaisiin asentoihin. Kun atomit järjestäytyivät uudelleen, syntyi uusi aine. (s. 6)*

*Mekaanisen tarkastelutavan voitto johti modernin kemian syntyyn 1500- ja 1600-luvuilla. Galileo Galilei (1564–1642) oli johtava mekanistisen filosofian kehittäjä, ja hän selitti luonnonilmiöitä tukeutumalla Demokritoksen atomiteoriaan. (s. 7)*

L2.2: *...Hänen (Aristoteles) mukaansa kaikki aine koostuu neljästä peruselementistä: maasta, vedestä, ilmasta ja tulesta. Astetta edistyneempi oli Aristoteleen aikalaisten Leukippoksen ja Demokritoksen atomiteoria, jonka mukaan oli olemassa vain yksi perusaine. Tämä aine koostui muuttumattomista, tuhoutumattomista ja jakamattomista atomeista, jotka olivat erimuotoisia ja –kokoisia ja jotka liikkuivat edestakaisin tyhjiössä. Aine siis koostui atomeista, ja sen ominaisuudet määräytyivät juuri atomien muodon ja koon mukaan. (s. 7)*

### **Daltonin malli:**

P1: *Antiikin Kreikan filosofi Demokritos esitti atomiteorian, jonka mukaan atomi oli jakamaton. Tätä tuki myös brittiläinen John Dalton vielä 1800-luvun alussa. Hän väitti myös, että saman alkuaineen atomit ovat keskenään samanlaisia. (s. 39)*

P4: *Englantilainen John Dalton loi ensimmäisen nykyaikaisen atomiteorian... (s. 11)*

P5.1: *Kemia tieteenä sai alkunsa, kun aineita ja niissä tapahtuvia muutoksia alettiin tutkia nykyisten alkuaineiden pohjalta. Englantilaisen John Daltonin (1766–1844) 1800-luvun alussa esittämä atomiteoria selkeytti alkuainekäsitteen. Sen mukaan jokainen*

*alkuaine koostuu keskenään samanlaisista atomeista ja alkuaineiden liittyessä yhteen tietyissä suhteissa syntyy uusia aineita. Tämä perussääntö on kemiassa voimassa yhä edelleen. (Tiesitkö että... s. 43)*

L2.2: *Ensimmäisenä atomien olemassaolon todisti englantilainen John Dalton kokeillaan vuonna 1805. Hän vertaili puhtaiden alkuaineiden ja yhdisteiden massoja toisiinsa ja päätyi viiteen toteamukseen:*

- *Kaikki aine koostuu atomeista.*
- *Saman alkuaineen atomit ovat keskenään identtisiä.*
- *Eri alkuaineiden atomeilla on erisuuruiset massat.*
- *Yhdisteessä on atomeja kahdesta tai useammasta alkuaineesta.*
- *Kemiallisessa reaktiossa atomeja ei synny eikä häviä, vaan ne järjestyvät uudelleen muodostaen uusia yhdisteitä.*

*Daltonin ajatukset olivat edistyksellisiä, koska ne pitävät paikkansa nykytiedonkin mukaan. (s. 14)*

L3.1: Kuva Daltonin mallista. Kuvateksti: *Dalton (1803)* [sic] (s. 23)

#### **Thomsonin malli:**

P1: *Vuonna 1897 brittiläinen fyysikko J.J. Thomson huomasi, että atomi ei ollutkaan luonnon pienin mahdollinen rakenneos. Hän oli ensimmäinen, joka löysi atomin rakenteesta elektronin. (s. 39)*

L3.1: Kuva Thomsonin mallista. Kuvateksti: *Thomson (1904) – positiiviset ja negatiiviset varaukset. (s. 23)*

#### **Rutherfordin malli:**

P1: *Brittiläinen Ernest Rutherford löysi vuonna 1909 atomiytimen tutkiessaan kultakalvoa. (s. 39)*

P4: *Atomi on enimmäkseen tyhjää tilaa, mutta sillä on tiivis, positiivisesti varautunut ydin. Tämän totesi Ernest Rutherford vuonna 1911 pommittaessaan kulta-atomeja raskailla hiukkasilla. (s. 109)*

L3.1: *Kuva Rutherfordin mallista. Kuvateksti: Rutherford (1911) – ydin. (s. 23)*

**Bohrin malli:**

P1: *Tanskalainen Niels Bohr tulkitsi atomin rakenteen Rutherfordin tutkimusten perusteella vuonna 1913... Bohr in atomimalli on yksinkertainen ja havainnollinen, minkä vuoksi se on yleisesti käytössä. Bohr in mallissa atomilla on pieni positiivisesti varautunut ydin ja sitä tiettyjä ratoja kiertävät elektronit. Tämänkin oppikirjan atomimallit ovat Bohr in atomimalleja. (s. 39)*

P4: *Tanskalainen fyysikko Niels Bohr päätteli, että atomin ydintä kiertävillä elektroneilla on tietty järjestys ja etäisyys ytimestä. Bohr in atomimalli toi tutkijalleen Nobelin palkinnon vuonna 1922.*

*Bohr in atomimallin mukaan elektronit kiertävät atomiydintä ympyrän muotoisia ratoja eli elektronikuoria pitkin. Elektronikuoret kuvaavat eri energiatasoja. Mitä lähempänä ydintä elektronikuori on, sitä vähemmän elektroni tarvitsee energiaa pysyäkseen kuorella. Ytimen vetovoima estää elektroneja karkaamasta. (s. 109)*

L3.1: *Tanskalainen fyysikko Niels Bohr yhdisti oman aikansa käsitykset atomin rakenteesta ja julkaisi atomimallinsa vuonna 1913. Bohr in atomimalli selitti, että elektronien käyttäytymiseen vaikuttavat ytimen sähköinen vetovoima, elektronien nopeus ja elektronien keskinäinen poistovoima. Ydintä kiertäessään elektronit pyrkivät saamaan pienimmän mahdollisen energian. Mitä kauempana ytimestä se on, sitä suurempi on sen energia. Elektronin energia voi kuitenkin saada vain tiettyjä portaittain muuttuvia arvoja. (s. 22)*

*Kuva Bohr in mallista. Kuvateksti: Bohr (1913) – energiatasot. (s. 23)*

### ***Kvanttimekaaninen malli:***

L2.2: *Tarkemman kuvan atomista antaa kuitenkin moderni ns. kvanttimekaaninen atomimalli, joka pohjautuu monimutkaisiin matemaattisiin laskutoimituksiin. (s. 14)*

Kuva kvanttimekaanisesta mallista. Kuvateksti: *Kvanttimekaanisessa atomimallissa elektronit sijaitsevat orbitaaleilla. (s. 14)*

*Täsmällisemmin elektronipilven rakennetta kuvaa kvanttimekaaninen atomimalli. Tarkkojen ratojen sijasta tämä matemaattinen malli ennustaa, mistä elektronipilven osasta elektroni todennäköisimmin löytyy. (s. 16)*

L3.1: Kuva kvanttimekaanisesta mallista. Kuvateksti: *Schrödinger (1926) – elektronipilvimalli. (s. 23)*

L3.2: *Kvanttimekaaninen atomimalli kehittyi osittain samanaikaisesti Bohrin atomimallin kanssa. Kvanttimekaniikassa elektroni ajatellaan samanaikaisesti sekä hiukkaseksi että aalloksi, joten mallin avulla voidaan laskea vain todennäköisyys, jolla elektroni löytyy tietyistä avaruuden osasta. Kokonaisuudessaan kvanttimekaaninen atomimalli kuuluu modernin fysiikan piiriin, ja se esitetään melko vaativalla matematiikan kielellä. Tällä kemian kurssilla poimimme mallista esiin vain muutamia kemian kannalta oleellisia piirteitä. (s. 11)*

### **3 – Malli nimetty ja lisäksi kuvattu malliin liittyvät empiiriset kokeet tms.**

#### ***Daltonin Malli***

L1.1: *Aineen rakenteen teoria alkoi hahmottua 1800-luvun alkuvuosina, kun John Dalton (1766–1844) kehitti teoriaa atomeista jakamattomina perusosasina. Daltonin teoriaa ei hyväksytty heti, koska sen mukaan erilaisia atomeja olisi pitänyt olla suunnaton määrä. 1800- ja 1900 lukujen vaihteessa saatiin kuitenkin niin paljon uusia tutkimustuloksia, että käsitys atomien olemassaolosta vahvistui. (s. 6)*

... 100 vuotta Boylen tutkimusten jälkeen ranskalainen Proust selvitti vakioisten massasuhteiden lain. Hän osoitti, että 1 gramma hiiltä sitoo joko 1,33 g tai 2,66 g happea, jolloin hiileen sitoutuneiden [sic] hapen massojen suhde on 1:2. Tämä innoitti Daltonin kehittämään atomiteoriaansa, jonka mukaan aine koostuu pienistä hiukkasista ja yksi hiilihiukkanen sitoo joko yhden tai kahden happihiukkasta. Kaasututkimuksin pystyttiin myös määrittämään puhtaiden aineiden hiukkasten suhteellisia massoja, vaikka ei vielä tiedettykään oliko kaasuhiukkanen atomi vai atomiryhmä. (s. 16)

Kuva Daltonin atomisymbolieista ja alkuaineiden suhteelliset painot (s. 17).

### **Thomsonin malli**

P4: *Luultiin, ettei atomia pienempiä hiukkasia ole olemassa. 1800-luvun lopulla englantilainen fyysikko J.J. Thomson tutki atomeja sähköän avulla. Hän todisti, että atomi koostuu vielä pienemmistä perushiukkasista.* (s. 47)

*Vielä 1800 luvun lopulla luultiin, ettei atomia voida jakaa osiin. Kaikki muuttui, kun englantilainen fyysikko J.J. Thomson löysi atomin rakenteesta elektronin.* (s. 106)

L1.2: *Seuraavaksi haluttiin selvittää atomien rakenne. Joseph John Thomsonia (1856–1940) voidaan pitää elektronin löytäjänä, koska hänen katodisädekokeidensa tulokset ensimmäisinä osoittivat, että atomia pienempiä varautuneita hiukkasia oli olemassa. Vuoden 1904 mallin mukaan atomi muodostui tasaisesti jakautuneesta positiivisesta varauksesta, jonka sisällä elektronit värähtelivät. Tätä Thomsonin mallia kutsuttiin rusinakakkumalliksi, koska siinä elektronit olivat atomissa kuin rusinat kakkussa.* (s. 6)

L2.2: *1800- ja 1900-luvuilla tiede kehittyi huimaa vauhtia ja tutkimusmenetelmien parantuksessa saatiin uutta tietoa atomin rakenteesta. Vuonna 1883 [sic] Michael Faraday esitti elektrolyysilakinsa, jotka osoittivat, että atomit sisälsivät pieniä, varautuneita hiukkasia. George J. Stoney ehdotti näille atomin hiukkasille nimeä elektroni. Varsinaisena elektronin löytäjänä pidetään englantilaista J.J. Thomsonia, joka osoitti ka-*

*todisädekokeissaan vuonna 1897 elektronien olemassaolon. Hänen atomimallissa elektronit oli upotettu atomiin kuin rusinat pullaan. (s. 14)*

*Kuva Thomsonin mallista. Kuvateksti: Thomsonin ”rusinapulla”, jonka mukaan elektronit olivat atomissa kuin rusinat pullassa. (s. 14)*

### **Rutherfordin malli**

L1.2: *Ernest Rutherford (1871-1937) tutki vuonna 1911 atomin rakennetta  $\alpha$ -säteilyn avulla. Rutherfordin sirontakokeessa radioaktiivisesta näytteestä lähtevän  $\alpha$ -säteilyn annettiin osua ohueen kultalehteen. Sen jälkeen tutkittiin miten  $\alpha$ -hiukkasten liikeradat muuttuivat. Rutherford päätteli, että mikäli Thomsonin malli olisi paikkaansa pitävä, raskaat positiiviset alfahiukkaset eli helium-atomien ytimet  $\text{He}^{2+}$  läpäisisivät ohuen metallilehden siten että hiukkasten liikesuunta muuttuisi vain vähän.*

*Suurin osa alfahiukkasista kulkikin metallilehden läpi likimain suoraan, mutta osa käyttäytyi täysin ennustusten vastaisesti. Jotkut hiukkasista muuttivat suuntaansa ja toiset jopa kimposivat takaisin lähes tulosuuntaansa. Tulos tyrmistytti Rutherfordin. Hän tajusi tulostensa osoittavan, ettei Thomsonin malli pitänytkään paikkaansa.*

*Rutherford selitti mittaustulokset siten, että atomissa oli pieni, suhteellisen raskas ja positiivisesti varautunut ydin. Koska suurin osa alfahiukkasista kulki lähes suoraan kultalehden läpi, hän päätteli myös, että atomissa oli paljon tyhjää tilaa. Rutherfordin vuonna 1911 esittämän mallin mukaan atomilla oli ydin ja elektroniverho, ja suurin osa massasta oli keskittynyt atomin ytimeen. Vuonna 1920 Rutherford antoi positiiviselle vety-ytimelle nimen protoni. (s. 7)*

*Kaaviokuva Rutherfordin sirontakokeesta (s. 7)*

L2.2: *Koska elektronit osoittautuivat negatiivisesti varautuneiksi hiukkasiksi, vaikka atomi on ulospäin varaukseton, heräsi kiinnostus atomissa olevia positiivisia partikkeleita kohtaan. Vuonna 1911 uusiseelantilainen Ernest Rutherford pommitti positiivisilla  $\alpha$ -hiukkasilla (heliumatomien ytimillä) ohutta kultakalvoa. Hän havaitsi, että osa näistä hiukkasista kimposi takaisin kultakalvosta, kun taas osa kulki kalvon läpi muuttamat-*



ta suuntaansa. Rutherford päätteli, että atomilla täytyi olla positiivisesti varautunut ydin, josta positiiviset hiukkaset kimposivat takaisin. Koska atomissa kuitenkin on paljon tyhjää tilaa, osa hiukkasista kulki kulta-atomin läpi muuttamatta suuntaansa. Rutherfordin arvion mukaan ytimen halkaisija oli 1/10000 atomin halkaisijasta.

Kokeensa perusteella päätteli, että atomin positiivisesti varautunutta ydintä ympäröi elektronien pilvi. Ytimen positiivinen varaus johtuu sen rakenneosasista, protoneista. (s. 14)

Kuva Rutherfordin mallista. Kuvateksti: Rutherfordin ”planetaarisessa” mallissa elektronit kiertävät pallomaista ydintä. (s. 14)

### **Kvanttimekaaninen malli**

L1.2: Erwin Schrödinger (1887–1961) laati vuonna 1926 matemaattisen mallin, joka kuvaa elektronin sijaintia ja energiatilaa kolmiulotteisessa avaruudessa. Hän kehitti nimeään kantavan yhtälön Louis de Broglie (1892–1987) ehdotukseen pienten hiukasten aaltoluonteen mallintamisesta. Tämä nykyisin käytössä oleva kvanttimekaaninen atomimalli laajentaa ja tarkentaa käsitystämme atomista. (s. 8)

Tähän mennessä olemme tarkastelleet atomin rakennetta Bohrin kehittämän kuori-mallin avulla. Se ei kuitenkaan riitä selittämään esimerkiksi kaikkien atomien elektronirakenteita. Nämä rakenteet selittää tarkempi kvanttimekaaninen atomimalli, jota kehitettäessä elektronin todellinen luonne paljastui.

Saksalainen fyysikko Max Planck (1858–1947) esitti vuonna 1900 matemaattisen mallin, joka kuvaa mustan kappaleen lähettämää säteilyä kaikilla aallonpituuksilla. Lausekkeen selitykseksi Planck esitti ajatuksen, että atomit luovuttavat ja vastaanottavat energiaa vain tietynsuuruusina paketteina, energiakvantteina. Albert Einstein (1879–1955) sovelsi Planckin kvanttihypoteesia ja selitti valon koostuvan vakionopeudella liikkuvista hiukkasista eli valokvanteista, jotka hän nimesi fotoneiksi. Louis de Broglie [sic] (1892–1987) kehitti ajatusta edelleen ja ehdotti, että malli pätee myös toisin päin: elektroni ja mahdollisesti muutkin pienet hiukkaset voidaan esittää valon tavoin aaltoliikkeenä. Niillä on aallonpituus ja taajuus. Kokeellisesti

teoria todistettiin vuonna 1926.

*Werner Heisenberg (1901–1976) kehitti nimeään kantavan epämääräisyysperiaatteen [sic], jolla hän tutki elektronin liikkeen mallintamista aaltoliikkeenä. Epämääräisyys tarkoittaa sitä, että elektronin aaltoluonteen vuoksi sen tarkkaa sijaintia ja nopeutta ei voi samanaikaisesti määrittää.*

*Erwin Schrödinger (1887–1961) kehitti yhtälön, joka perustuu elektronin aaltoluontetta kuvaavaan funktioon. Yhtälön ratkaisut edustavat elektronin kvantittunutta energiaa ja avaruuden tilaa, josta elektroni todennäköisemmin löytyy. Esimerkiksi vetyatomin elektroni on suurimman osan ajastaan pallonmuotoisella alueella, jonka säde on n. 0,1 nm. Tätä pallomaista aluetta sanotaan s-orbitaaliksi... Jokaiselle orbitaalille voidaan laskea energia ja suuntautuminen avaruudessa. (s.72-73)*

#### **4 – Malli kuvattu, mallin empiirinen tms. kuvattu sekä mallin puutteet huom.**

##### ***Daltonin malli***

L2.1: *Kemiasta alkoi muodostua eksakti luonnontiede 1800-luvun alkupuolella, kun englantilainen John Dalton esitti atomiteoriaansa, joka perustui hänen vuosina 1803–1808 tekemiinsä kokeellisiin tutkimuksiin ja teorioihin. Daltonin atomiteoriaan sisältyivät seuraavat kohdat:*

- Kaikki alkuaineet koostuvat äärettömän pienistä hiukkasista, atomeista.*
- Samassa alkuaineessa on vain samanlaisia atomeja, joilla kaikilla on sama massa.*
- Atomeja ei voi muuttaa toisiksi atomeiksi kemiallisesti.*
- Atomeja ei synny eikä häviä kemiallisessa reaktiossa.*
- Yhdisteet muodostuvat, kun eri alkuaineiden atomit liittyvät toisiinsa.*
- Tiettyssä yhdisteessä on aina tietty määrä tiettyjen alkuaineiden atomeja.*

*Daltonin atomiteorian kuudes kohta pystyi selittämään jo aiemmin esitetyn päätelmän kemiallisissa yhdisteissä olevien alkuaineiden suhteesta (law of constant com-*

position). Hänen atomiteoriansa neljänteen kohtaan puolestaan pohjautuu kemiallisiin reaktioihin liittyvä laki, joka tunnetaan aineen säilymisen lakina (law of conservation of mass).

Dalton muotoili teoriansa pohjalta seuraavan lain: ”Jos alkuaine A ja B muodostavat useamman kuin yhden yhdisteen, B:n massa suhtautuu A:n massaan aina pienten kokonaislukujen suhteessa.”

Hän havainnollisti asiaa vertaamalla vettä  $H_2O$  ja vetyperoksidia  $H_2O_2$ . Daltonin tutkimusten mukaan veden muodostuessa 1,0 grammaa vetyä ja 8,0 grammaa happea reagoivat, mutta vetyperoksidissa taas happea on 16,0 grammaa yhtä vetygrammaa kohden. Siten vetyperoksidin muodostuessa happea liittyi vetygrammaa kohden kaksinkertainen määrä. Daltonin atomiteorian valossa tästä pääteltiin, että vetyperoksidissa on kaksi kertaa enemmän happea suhteessa vetyyn kuin vedessä.

Dalton esitti myös, että kullakin alkuaineella on tietty atomimassa, mutta hän ei pystynyt mittaamaan massoja. Tämän vuoksi Daltonin päätelmissä oli yksi virhe. Hän kuvitteli, että kahden alkuaineen reaktiossa kumpikin alkuaine sisältää vain yhden reagoivan atomin. Vedyn ja hapen kaksiatomisesta molekyylirakenteesta hän ei siistiennyt mitään. (s. 49)

Kuva Daltonin alkuaineiden symboleista. Kuvateksti: John Dalton ehdotti ensimmäistä kertaa monille alkuaineille omia symbolejaan ja kirjoitti ensimmäisiä kemiallisia kaavoja eri yhdisteille. Daltonin esittämät kaavat ja symbolit eivät enää ole käytössä, mutta edelleenkin alkuaineiden kirjaintunnukset ja kemialliset kaavat ovat keskeistä kemian merkkikieltä. (s. 49)

### **Bohrin malli**

L1.2: Niels Henrik Bohr (1885–1962) tarkensi opettajansa Rutherfordin atomimallia. Hän esitti, että elektronit kiertävät ydintä tietyillä radoilla ja kukin rata vastaa tiettyä energiatasoa. Ydintä lähinnä olevalle radalle mahtuu mallin mukaan vähemmän elektroneja kuin kauempana oleville radoille. Tämä Bohr'n malli pätee tarkasti vain vetyatomille. (s. 7)

L2.2: *Tanskalaisen Niels Bohrin mallissa vuodelta 1913 elektronit kiertävät atomin ydintä ympyränmuotoisilla radoilla. Bohrin mallia käytetään vielä nykyäänkin kuvaamaan vetyatomin rakennetta. (s. 14)*

*Kuva Bohrin mallista. Kuvateksti: Bohrin malli, jonka mukaan elektronit kiertävät ydintä ympyränmuotoisilla radoilla. (s. 14)*

*Atomin elektronipilven rakenteesta on esitetty erilaisia malleja. Parhaiten tunnettu on tanskalaisen fyysikon Niels Bohrin vuonna 1913 esittämä malli. Bohrin atomimallissa elektronit kiertävät atomin ydintä ympyränmuotoisilla radoilla, joita kutsutaan elektronikuoriksi.*

*Koska Bohrin malli kuvaa melko luotettavasti vain yhden elektronin sisältämää vetyatomia, ei mallia siten voida pitää yleispätevänä. Bohrin atomimallin pohjalta laadittua yksinkertaista kuorimallia on kuitenkin pitkään käytetty kuvaamaan atomien elektronirakenteita. (s. 16)*

L3.2: *Ensimmäisen nykyaikaisen atomimallin julkaisi tanskalainen Niels Bohr vuonna 1913. Tähän asti olemme käyttäneet tätä ns. Bohrin mallia. Se on historiallisesti hyvin tärkeä, selkeä ja yksinkertainen, mutta sen avulla on mahdollista selittää vain vetyatomin rakenne ja ominaisuudet.*

*Bohrin atomimallissa kullakin energiatasolla oleva elektroni ajatellaan hiukkaseksi, ja siten sille voidaan laskea tietty rata. (s. 11)*