

# Nanotieteitä opiskelevien opiskelijoiden mentaalimallien muodostuminen

Sini-Jatta Suonio



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
FYSIKAN LAITOS

Pro Gradu -tutkielma  
Ohjaajat:  
Anna-Leena Kähkönen & Jouni Viiri  
8. marraskuuta 2012



## Tiivistelmä

Tämän tutkielman tarkoitus on selvittää Jyväskylän yliopistossa nanotieteiden koulutusohjelmassa opiskelevien ensimmäisen vuoden opiskelijoiden käsitteiden käyttöä ja mentaalimallien muodostumista kokeellisen työskentelyn aikana. Tutkimuksessa ollaan erityisen kiinnostuneita siitä, tukeeko nanotieteiden kehysideoihin lukeutuvien käsitteiden käyttö mallien muodostumista.

Tutkimus on kvalitatiivinen eli laadullinen, vaikka tutkimuksessa ollaan kiinnostuneita myös käsitteiden käytön runsauden vaikutuksesta mallien muodostumiseen. Tutkimus osoittaa, että runsas käsitteiden käyttö ei yksin riitä selkeiden mentaalimallien muodostumiseen. Tutkimukseen osallistuneilla kahdella ryhmällä tulokset olivat päinvastaiset. Vähemmän erilaisia käsitteitä käyttänyt ryhmä sai muodostettua selkeämmän mallin kuin käsitteitä runsaasti käyttävä ryhmä. Vähemmän erilaisia käsitteitä käyttänyt ryhmä käytti oleellisimpia termejä useammin, minkä voidaan tulkita tukevan mentaalimallien muodostumista.



## Kiitokset

Haluan kiittää ohjaajiani FM Anna-Leena Kähköstä ja professori Jouni Viiriä mielenkiintoisesta pro gradu -tutkielman aiheesta ja kaikesta avusta sen tekemisen aikana. Erityisesti haluan kiittää Anna-Leenaa, joka on jaksanut vastaila minun moniin ja taas moniin kysymyksiin projektin aikana. Kiitokset haluan osoittaa myös fysiikan laitoksen opetus- ja toimistohenkilökunnalle, jotka ovat luoneet miellyttävän opiskeluympäristön. Kiitos kaikille kavereille, te olette tehneet näistä opiskeluvuosista muistelemisen arvoisia.

Erityisen lämpimästi kiitän vanhempiani ja sisaruksiani perheineen kaikesta avusta ja tuesta opiskeluvuosieni aikana.



# Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Tutkimuksen motivaatio ja tutkimuskysymykset</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Teoria</b>	<b>4</b>
3.1	<i>Mallit</i> . . . . .	4
3.1.1	Mallit fysiikassa - valo ja värit . . . . .	4
3.1.2	Mentaalimallit . . . . .	6
3.1.3	Mentaalimallien tutkiminen . . . . .	7
3.1.4	Kultakolloidiliuoksen värin muutos . . . . .	8
3.2	<i>Nanotieteiden kehysideat</i> . . . . .	10
3.3	<i>Keskustelu ja vuorovaikutus - oppimisen edellytykset</i> . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Tutkimuksen toteutus</b>	<b>13</b>
4.1	<i>SMBP802 Nanotiede ja teknologia -kurssi</i> . . . . .	13
4.1.1	Tutkimukseen osallistumattomat henkilöt . . . . .	13
4.2	<i>Audiovisuaalinen data</i> . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Tutkimusaineiston analysointi</b>	<b>15</b>
5.1	<i>Koodaus</i> . . . . .	16
5.1.1	Koodauksen luotettavuus . . . . .	18
5.1.2	Tutkimusaineiston rajaaminen koodauksen perusteella . . . . .	18
5.1.3	Koodien taulukointi . . . . .	21
5.2	<i>Kehysideakategorisointi</i> . . . . .	21
5.3	<i>Kehysideoiden taulukointi</i> . . . . .	23
5.4	<i>Mentaalimallit</i> . . . . .	24
<b>6</b>	<b>Tulokset</b>	<b>25</b>
6.1	<i>Kehysideoihin kuuluvien käsitteiden käyttö</i> . . . . .	25
6.2	<i>Mentaalimallien muodostuminen</i> . . . . .	28
6.2.1	Ryhmä A . . . . .	28
6.2.2	Ryhmä B . . . . .	29
<b>7</b>	<b>Päätelmät</b>	<b>31</b>
<b>A</b>	<b>Nanohiukkaset ja värit -työkaavake</b>	<b>39</b>





# 1 Johdanto

Viimeisten vuosien aikana nanotieteiden tutkimus sekä opiskelu ovat lisääntyneet merkittävästi. Jyväskylän yliopistolla on vuodesta 2007 asti ollut nanotieteiden koulutusohjelma, jossa nanotieteiden opiskelu aloitetaan heti ensimmäisestä opiskeluvuodesta lähtien. Nanotieteet on poikkitieteellinen ala, jossa yhdistyvät fysiikan, kemian ja biologian opinnot. Tällainen verrattain uusi koulutusohjelma hakee vielä muotoaan, ja se on vielä osittain kehitysvaiheessa. Jotta koulutus muodostuisi mahdollisimman hyväksi, tulee nanotieteiden opettamista kehittää. Yksi kehitysaskel on keväällä 2012 ensimmäisen kerran järjestetty poikkitieteellisiä laboratoriotöitä sisältävä kurssi, jolle osallistui ensimmäistä vuotta nanotieteiden koulutusohjelmassa opiskelevia opiskelijoita. Nanotieteilijöille on aiempinakin vuosina järjestetty kokeellisen työskentelyn kurseja, mutta tämä kurssi poikkesi niistä siten, että tällä kurssilla ei ollut esitietovaatimuksia. Tämän pro gradu-tutkielman tutkimusryhmänä toimii kyseisen kurssin opiskelijat.

Luonnontieteiden opetuksen voidaan ajatella olevan diskursiivinen prosessi, jossa tieteenalan osaajat pyrkivät kertomaan opiskelijoille, miten ilmiöitä tulisi ymmärtää ja esittää sanallisesti sekä muilla keinoin [1]. Monet tutkijat Vygotskyn tavoin painottavat, että kielen käyttö ja sosiaalinen kanssakäyminen ovat tärkeitä, jotta ihmiset pystyvät oppimaan ympäröivän maailman ilmiöitä [1]. Ryhmätöiden käyttö uuteen asiaan tutustumisessa ja sen oppimisessa on omiaan tukemaan tätä ajattelumallia. Toimivassa ryhmässä on keskustelua eli sosiaalista vuorovaikutusta, jolloin asian ymmärtäminen voi helpottua ryhmäläisiltä saatavan tuen kautta. Tämä pohjautuu Vygotskyn esittämään lähikehityksen alue -käsitteeseen [2]. Vygotsky myös painotti sosiaalista vuorovaikutusta ja sen tutkimista, kun halutaan selvittää ihmisen mentaalisia prosesseja, kuten ongelmanratkaisutaitoja tai muistia [3].

Luonnontieteissä käytetään paljon malleja selventämään vaikeasti ymmärrettäviä ilmiöitä. Voidaan jopa ajatella, että fysiikka on puhtaasti ilmiöiden mallintamista. Fysiikan ilmiöt esitetään opetuksessa aina jonkinlaisten mallien avulla, olipa kyseessä sitten hiukkasfysiikka tai klassinen mekaniikka. Jotta ihminen pystyy luomaan tieteellisen mallin, jolla selittää jonkin fysiikan ilmiön, hänen täytyy ensin rakentaa mielessään mentaalimalli [4].

Pienryhmätyöskentely tukee mallien muodostumista, sillä opiskelijat voivat pohdita ja keskustella mallista yhdessä [5]. Nykyään pienryhmäkeskusteluja käytetään paljon opetuksessa myös yliopistotasolla. Erityisesti kokeellisissa luonnontieteissä on lähes itsestään selvää, että kokeellisia töitä tehdään ja niiden tuloksista keskustellaan pienryhmissä. Pienryhmäkeskusteluja on tutkittu varsin paljon ja laajasti maailmalla. Bennet kollegoineen [6] on tehnyt kattavan yhteenvedon 24 eri tutkimuksesta, jotka käsittelivät pienryhmäkeskusteluja luonnontieteiden ope-

tustilanteissa. Pienryhmäkeskustelujen toivotaan ohjaavan opiskelijoita heidän alkuperäisistä käsityksistään kohti tieteellisimpiä ja perustellumpia käsityksiä [6].

Tässä pro gradu -tutkielmassa ei ole tarkoitus selvittää ryhmässä vallitsevaa roolijakoa, keskustelun kulkua eikä pienryhmäkeskustelun vaikutusta oppimiseen. Laboratoriotöiden aikana äänitettyjen keskustelujen avulla pyritään sen sijaan selvittämään, minkälaisia käsitteitä opiskelijat käyttävät puheessaan ja vaikuttavatko käytetyt käsitteet heidän mentaalimallin muodostukseen. Mentaalimallit voidaan luokitella mentaaliprosesseiksi. Vygotskyn mukaan mentaaliprosesseja voidaan tutkia sosiaalisen vuorovaikutuksen kautta [3]. Tästä syystä on perusteltua olettaa, että keskustelujen avulla pystytään todella tutkimaan opiskelijoiden mentaalimalleja. Käsitteiden käyttöä ja mallien syntymistä tutkitaan kvalitatiivisesti eli laadullisesti.

## 2 Tutkimuksen motivaatio ja tutkimuskysymykset

Tässä pro gradu -tutkielmassa tehtävä tutkimus on osa isompaa tutkimuskokonaisuutta, josta on tarkoitus valmistua väitöskirja. Väitöskirjatutkimusta varten kerättiin varsin laaja aineisto, josta tämän pro gradu -tutkielman kirjoittamisessa käytetään vain murto-osa. Aineisto kerättiin kevään 2012 aikana Jyväskylän yliopiston matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan nanotieteiden koulutusohjelman kurssilla SMBP802 Nanotiede ja teknologia. Kurssin päävetovastuu oli Opettajankoulutuslaitoksen jatko-opiskelija Anna-Leena Kähkösellä, joka vastasi muun muassa kolmen laboratoriotyön ohjaamisesta sekä suurimmaksi osaksi kurssin luennoinnista.

Kurssi järjestettiin, koska oli tarve saada nanotieteiden kandidivaiheen opiskelijat ryhmäytymään yli pääainerajojen. Tällainen kokeellinen kurssi, jossa opiskelijat pääsevät tekemään ryhmissä laboratoriotöitä, koettiin varsin hyvänä tilaisuutena ryhmäyttämiseksi. Tarkoitus oli myös kokeellisten töiden avulla tutustuttaa opiskelijat nanomittakaavan ilmiöihin heti opiskelujen alkuvaiheessa. Kurssin aikana, ja ennen kaikkea sen käytyään, opiskelijoiden tulisi muun muassa osata hahmottaa nanotieteiden laajuus sekä osata luokitella nanotieteiden ilmiöitä.

Kähkösen väitöskirjatutkimuksessa ollaan kiinnostuneita muun muassa siitä, minkälaisia malleja nanotieteiden opiskelijat muodostavat selittääkseen nanotieteiden ilmiöitä ja kuinka nämä mallit kehittyvät kurssin aikana. Tämä pro gradu -tutkielma pyrkii vastaamaan yhden laboratoriotyön osalta seuraaviin kysymyksiin:

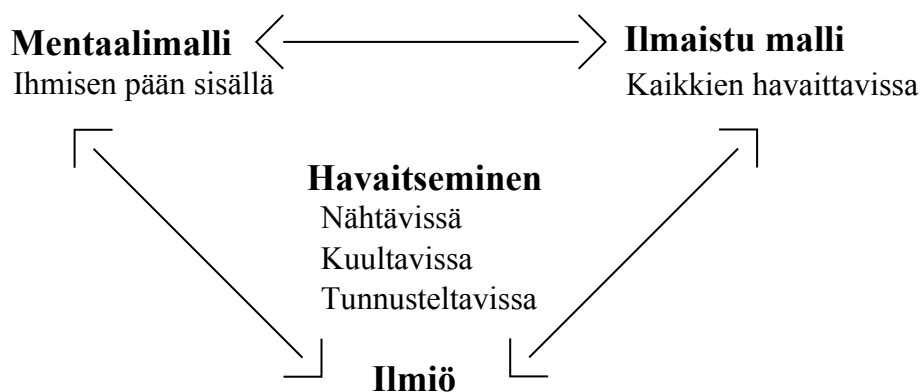
- Käyttävätkö opiskelijat nanotieteiden kehysideoihin kuuluvia käsitteitä selityksissään?
- Eroaako opiskelijoiden puheessa esiintyvät ja työkaavakkeeseen merkityt kehysideat?
- Minkälaisia mentaalimalleja opiskelijat muodostavat ja vaikuttavatko käytyt käsitteet mentaalimallien muodostumiseen?

Pro gradu -tutkimuksessa ollaan erityisen kiinnostuneita siitä, käyttävätkö opiskelijat nanotieteiden kehysideoihin kuuluvia käsitteitä ja tukeeko näiden käsitteiden käyttö ilmiöistä muodostettavien mentaalimallien muodostumista. Tutkimuksen kohteena on periaatteessa kolme ilmiötä, joihin liittyvistä mentaalimalleista tutkimuksessa ollaan kiinnostuneita. Ensinnäkin halutaan selvittää, minkälaisen mallin opiskelijat muodostavat ymmärtääkseen kemiallisen reaktion eri vaiheita. Toisaalta halutaan saada selville, miten opiskelijat mallintavat värien syntyyn liittyvää ilmiötä. Näiden kahden mallin lisäksi, tai oikeastaan niiden avulla, opiskelijoiden tulisi laboratoriotyön aikana muodostaa malli, jolla selitetään laboratoriotyössä havaittava ilmiö eli kultakolloidiliuoksen värin muutos.

### 3 Teoria

#### 3.1 Mallit

Hestenes määrittelee mallin seuraavasti: malli on tietyn systeemin rakenteen kuvaus [7]. Tieteellinen malli taas on fysikaalisen systeemin tai prosessin rakenteen kuvaus [7]. Nämä mallit ovat sellaisia, että jokainen ihminen voi ne aistia, mikäli ne on esitetty sanallisesti, kuvallisesti tai konkreettisesti rakentamalla. On myös olemassa malleja, joita ei suoraan pysty näkemään tai muutenkaan aistimaan. Tällaisia malleja kutsutaan mentaalimalleiksi. Gilbert, Boulter ja Elmer [8] määrittivät mentaalimallin jokaisen ihmisen henkilökohtaiseksi kognitiiviseksi esitykseksi, jonka ihminen muodostaa joko täysin yksin tai ryhmässä. Kuvassa 1 pyritään yksinkertaisen kaavion avulla näyttämään mentaalimallien ja havaittavissa olevien mallien sekä tutkittavan ilmiön välinen vuorovaikutus.



**Kuva 1** – Mallien ja ilmiön välinen yhteys. Mentaalimallia voidaan sekä käyttää ilmaistun mallin luomiseen että sen ymmärtämiseen. [9]

##### 3.1.1 Mallit fysiikassa - valo ja värit

Fysiikan ilmiöitä ja niiden selityksiä on pitkään havainnollistettu ja edelleen havainnollistetaan mallien avulla. Fysiikassa käytetyt mallit ovat kehittyneen vuosikymmenien saatossa ja monien ilmiöiden malleissa on päästy yhteen selitysmalliin. Valon ominaisuuksia selitettäessä on kuitenkin käytössä aaltohiukkasdualismin mukaisesti kaksi toisistaan poikkeavaa mallia. Toisessa mallissa valon käyttäytymistä kuvataan aaltomallin avulla, kun taas toinen malli selittää ilmiöt hiukkasmallin avulla. Nämä mallit selittävät myös värit ja niihin liittyvät ilmiöt eri tavalla. [10]

Näkyvä valo on sähkömagneettista säteilyä, jonka aallonpituusalue on 400 nm – 700 nm ja joka pystyy etenemään ilman väliainetta, kuten kaikki sähkömagneettinen säteily. Auringosta tuleva valon näkyvä osa on valkoista, josta ei paljain

silmin ilman apuvälineitä pysty erottamaan eri värejä. Todellisuudessa näkyvä valkoinen valo koostuu eri värisistä komponenteista. Thomas Young huomasi ensimmäisenä, että valon eri väriset komponentit ovat yhteydessä aallonpituuteen [11]. Taulukossa 1 on esitetty näkyvän valon eri värejä vastaavat aallonpituudet.

**Taulukko 1** – Näkyvän valkoisen valon sisältämien värikomponenttien suuntaantavat aallonpituudet [11].

Väri	Aallonpituus (nm)
Syvän sininen	~ 400
Sininen	~ 450
Vihreä	~ 550
Punainen	~ 650
Syvän punainen	~ 700

Arkielämässä lähes jokaiselle ihmiselle värit ovat tuttu ilmiö. Moni ei kuitenkaan tule miettineeksi, mistä värit johtuvat. Miksi koivun lehti on vihreä tai talon seinä punainen? Yliopistoissa ei juuri opeteta värien ilmiömaailmaa vaan yleensä asia vain mainitaan lyhyesti. Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksen käyttämässä opikirjassa todetaan, että esine on esimerkiksi punainen, koska se heijastaa punaista väriä vastaavan aallonpituuden ja absorboi kaikki muut aallonpituudet [11]. Tämä selitys on kuitenkin vain seuraus [10]. Se ei selitä, miksi tietyt aallonpituudet absorboituvat ja tietyt heijastuvat.

Hiukkasmallin avulla eri värit voidaan selittää siten, että valon kvantti eli fotoni virittää kohdekappaleen pinnan elektroneja tietyn energian verran, joka riippuu valon aallonpituudesta yhtälön [11]

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (3.1)$$

mukaisesti. Yhtälössä (3.1)  $E$  on fotonin energia,  $h$  on Planckin vakio,  $c$  on valon nopeus tyhjiössä ja  $\lambda$  on valon aallonpituus. Kun kohdekappaleen virittynyt elektroni lopulta palaa perustilalleen, se emittoi fotonin sille antaman energian. Tämä viritystilän purkautuminen näkyy tiettyinä värinä sen mukaan, minkä energiainen fotoni kyseisen elektronin on virittänyt.

Aaltomallin avulla ei pystytä käsittelemään valon ja aineen välisiä vuorovaikutuksia [10], joten sen avulla ei pystytä tarkasti selittämään värien syntymekanismeja. Sen sijaan aaltomallin avulla voidaan selittää prismoissa havaittava valkoisen

valon taittuminen, jonka seurauksena nähdään eri väristen komponenttien muodostama spektri. Aineen, esimerkiksi lasin, taitekerroin  $n$  määritellään yhtälön

$$n = \frac{c}{v} \quad (3.2)$$

mukaan, jossa  $v$  on valon nopeus tutkittavassa materiaalissa ja  $c$  on valon nopeus tyhjiössä [11]. Edelleen valon (ja muunkin sähkömagneettisen säteilyn) aallonpituudelle tutkittavassa materiaalissa voidaan osoittaa yhtälö

$$\lambda_{mat.} = \frac{\lambda_{tyh.}}{n} = \lambda_{tyh.} \frac{v}{c} \quad , \quad (3.3)$$

jossa  $\lambda_{mat.}$  on valon aallonpituus tutkittavassa materiaalissa ja  $\lambda_{tyh.}$  on valon aallonpituus tyhjiössä [11]. Taitekerroin siis kuvaa sitä, miten sähkömagneettisen säteilyn nopeus ja aallonpituus riippuvat aineesta. Prismän taitekerroin on hieman erilainen valkoisen valon eri aallonpituuksille, minkä vuoksi eri komponentit kulkevat hieman eri nopeuksilla prismassa ja lopulta taittuvat prismasta ulostullessaan hieman eri kulmissa [11].

Fysiikan malleista puhuttaessa tulee muistaa, että käytetyn mallin ja todellisuuden välinen yhteys on erittäin mutkikas [7, 8, 12]. Fysiikan mallit sijoittuvat todellisten havaintojen ja teorian väliseen välimaastoon auttaen selittämään teorian ja havaintojen välisiä kysymyksiä [12]. Esimerkiksi se malli, jolla yleensä havainnollistetaan (ideaali)kaasuja ja niiden käyttäytymistä, on todellisuudesta poikkeava idealisointi [12].

### 3.1.2 Mentaalimallit

Jotta erilaisia ilmaistuja malleja voidaan ymmärtää, täytyy ihmisen ensin luoda itselleen ilmiötä käsittelevä mentaalimalli [4, 12]. Ihmisen luoma mentaalimalli on mielessä syntyvä malli, joka säilyttää ne ominaisuudet, jotka mallinnettavalla asialla tai ilmiöllä on [13]. Vosniadoun [13, 14] mukaan mentaalimallit ovat dynaamisia eli muuttuvia malleja, joita ihminen pystyy muokkaamaan mielessään siten, että ne selittävät halutun ilmiön mahdollisimman hyvin. Mentaalimallit rakentuvat yleensä sillä hetkellä, kun niitä tarvitaan, mutta on mahdollista, että osa mentaalimalleista voi säilyä ihmisen pitkäkestoisessa muistissa [13, 14].

Vosniadou on tutkimuksissaan havainnut, että mentaalimallien muodostaminen on ihmisten kognitiivisen järjestelmän normaalia toimintaa. Hänen mukaansa

lapsena muodostuneet mallit luovat pohjaa myöhemmän iän tieteellisemmille malleille. Mentaalimalleilla on monenlaisia käyttötarkoituksia, mutta Vosniadou nostaa esiin kolme tarkoitusta. Hänen mukaansa mentaalimalleja voidaan käyttää selitysten kehittämiseen, uuden tiedon hankkimiseen ja tulkintaan sekä kokeellisen ja teoreettisen tiedon yhteensovittamiseen. [14]

Hestenesin [7] mukaan tieteessä käytettävät mallit ovat objektiivisia malleja, jotka pyrkivät havainnollistamaan todellisia asioita ja tapahtumia, kun taas mentaalimallit havainnollistavat ihmisen mielessä tapahtuvia asioita. Hänen mukaansa mentaalimalleja ei pystytä suoraan havaitsemaan, mutta niiden voidaan ajatella olevan teoreettisia rakennelmia, joiden avulla saadaan yhtenäinen kuva erilaisista havainnoista [7]. Corpuz [15] on tästä asiasta eri linjalla, sillä hänen mukaan ilmaistujen, havainnollistavien mallien voidaan olettaa olevan mentaalimallien tiettyjä, valittuja osa-alueita. Myös Greca ja Moreira [4, 12] sekä Vosniadou [14] ovat sitä mieltä, että ilmaistut mallit muodostuvat mentaalimallien pohjalta ja tutkittaessa ilmaistuja malleja päästään tutkimaan myös mentaalimalleja tai ainakin osia niistä.

### 3.1.3 Mentaalimallien tutkiminen

Erilaisista lähestymistavoista riippumatta mentaalimalleja on tutkittu varsin paljon maailmalla. Muun muassa Greca ja Moreira [4] ovat tutkineet opiskelijoiden sähkökenttiin liittyviä mentaalimalleja. Corpuz ja Rebello [15, 16] ovat tutkineet mikroskooppisen tason kitkailmiöihin liittyviä ja Hrepic, Zollman ja Rebello [17] ovat tutkineet äänen etenemiseen liittyviä mentaalimalleja.

Corpuzin ja Rebellon tutkimuksissa pohjana on fenomenografinen lähestymistapa. Fenomenografia on yksi laadullisen tutkimuksen lähestymissuunta. Fenomenografia-käsitteen otti ensimmäisenä käyttöön Marton 1980-luvulla [18]. Fenomenografinen tutkimus pyrkii selvittämään, miten ihminen käsittelee ja ymmärtää erilaisia arkipäivän ilmiöitä ja niihin liittyviä käsityksiä [18]. Corpuz ja Rebello haastattelivat opiskelijoita tarkoituksenaan saada selville, miten opiskelijat selittävät kitkaan liittyviä mikrotason ilmiöitä. Haastatteluiden aikana opiskelijat tekivät pieniä kokeellisia kitkaan liittyviä tehtäviä. Opiskelijoiden tehtävänä oli muun muassa tunnustella erilaisia pintoja ja piirtää kuva kyseisestä pinnasta atomitasolla. Monien erilaisten esitystapojen (puhe, piirustus) käyttö samanaikaisesti auttoi tutkijoita suuntaamaan kysymyksiään tarkemmin ja saamaan paremman kuvan opiskelijan käyttämästä mallista. Haastattelujen jälkeen opiskelijoiden mallit jaettiin erilaisiin kategorioihin opiskelijoiden käyttämien erilaisten selitysten/mallien perusteella. Tutkijat huomauttavat, että tällaiseen haastattelemalla tehtävään tutkimukseen liittyy aina riskinsä. Yksi merkittävin tuloksiin vaikuttava tekijä on, että opiskelijat voivat selityksissään kertoa sellaista, jota uskovat tutkijoiden ha-

luavan kuulla. Tällaisessa tapauksessa ei aina päästä käsiksi opiskelijan omaan mentaalimalliin. [15, 16]

Hrepicin, Zollmanin ja Rebellon tutkimuksessa käytettiin myös fenomenografista lähestymistapaa. Tutkimukseen osallistuneet opiskelijat haastateltiin ennen ja jälkeen opetustilaisuuden. Haastatteluissa opiskelijoilla oli kysymyspaperi ja kulloistakin tilannetta havainnollistava kuva, jota apuna käyttäen opiskelijat pysyivät selittämään ilmiön tutkijoille. Tutkijat rohkaisivat opiskelijoita piirtämään samalla, kun he selittivät asiaa. He havaitsivat, että opiskelijat käyttivät selityksissä paljon samoja termejä kuin luennoitsijat tai kirjan tekijät. Opiskelijat kuitenkin olivat epävarmoja sanojen merkityksistä. Opiskelijoiden mentaalimalleja pyrittiin määrittämään tutkimuksessa kahdella tavalla. Ensimmäkin sen perusteella, miten opiskelijat selittivät äänen ominaisuuksia ja mitkä näistä selityksistä voitiin yksiselitteisesti yhdistää tiettyyn malliin. Toisaalta tutkijat muodostivat opiskelijoiden selitysten perusteella määritelmiä, joita he sitten käyttivät mentaalimallien määrittelyyn. Tutkimukseen osallistuneet opiskelijat muodostivat mentaalimalleja yleensä vasta siinä vaiheessa, kun tutkijat vaativat heiltä tarkempaa selitystä ilmiölle. [17]

Tässä tutkimuksessa opiskelijoiden mentaalimalleja tutkitaan heidän esittämiensä ilmaistujen mallien avulla. Ilmaistuja malleja ovat opiskelijoiden verbaaliset eli puhutut mallit, jotka syntyvät heidän keskustellessa ryhmässä. Tutkimuksen tarkoitus ei ole niinkään selvittää yksittäisten opiskelijoiden mentaalimalleja, vaan saada selville, miten ryhmä muodostaa mallin, joka heidän mielestään lopulta kuvaa tutkittavaa ilmiötä. Tutkimukseen osallistuneet opiskelijat ovat sosiaalisilta vuorovaikutustaidoiltaan erilaisia, jolloin he myös osallistuvat eri tavalla ryhmän toimintaan ja keskusteluihin. Kaikki ryhmäläiset eivät välttämättä anna yhtä merkittävää panosta ryhmän mallin muodostamiseen kuin toiset. Tällöin ryhmän yhteinen malli koostuu enemmän yhden tai kahden henkilön mentaalimallien pohjalta.

#### 3.1.4 Kultakolloidiliuoksen värin muutos

Tutkimuksessa ollaan kiinnostuneita Nanohiukkaset ja värit -laboratoriotyöhön liittyvästä mentaalimallien muodostumisesta. Erityisen kiinnostuneita ollaan siitä, miten opiskelijat muodostavat mallin, joka selittää työkaavakkeessa (liite A) esitetyn kemiallisen reaktion kulun. Tämän lisäksi halutaan saada selville, miten ja minkälaisen mallin opiskelijat muodostavat värien selittämiseksi. Osin myös näitä malleja hyödyntäen opiskelijoiden tulisi työn loppuksi muodostaa malli laboratoriotyössä havaittavan ilmiön eli kultakolloidiliuoksen värin muutoksen selittämiseksi.



Kultananohiukkaset ovat pienen pieniä kultahiukkasia. Niiden koko on muutamasta nanometristä noin kahteenkymmeneen nanometriin. Kultananohiukkasten pinnalla on vapaita elektroneja, jotka vuorovaikuttavat voimakkaasti niihin osuvan näkyvän valon kanssa [19]. Elektronien liikettä kultananohiukkasten pinnalla voidaan kuvailla aaltoliikkeen avulla aivan kuten valon liikettäkin [20]. Mikäli tulevan valon ja elektronien liikkeen aallonpituudet ovat samat, syntyy kultananohiukkasen pinnalle pintaplasmoniresonanssi ja valo absorboituu elektronipilveen [20]. Plasmoni, plasmavärähtelyn kvantti, tarkoittaa metallissa olevien elektronien yhtäaikaista värähtelyä isolla aallonpituudella [21]. Pintaplasmonit taas ovat metallin pinnalla olevia plasmoneita, jotka siis pystyvät tietyissä olosuhteissa vuorovaikuttamaan näkyvän valon kanssa [22]. Tällöin muodostuu resonanssi eli näkyvän valon aaltoliike voimistaa pintaplasmonien värähtelyä, mistä juontaa nimi pintaplasmoniresonanssi.

Kultananohiukkaset pystyvät absorboimaan näkyvän valon lyhyitä aallonpituuksia, jolloin ne heijastavat suurempia aallonpituuksia eli näyttävät punaiselta. Kun kultananohiukkasten koko kasvaa, pintaplasmoniresonanssin aallonpituus kasvaa, jolloin hiukkaset alkavat absorboida isompia ja heijastavat pienempiä aallonpituuksia eli väri muuttuu kohti sinistä. Mikäli kultananohiukkasten koko edelleen kasvaa, muuttuu liuos läpinäkyväksi, koska pintaplasmoniresonanssin aallonpituus siirtyy infrapuna-alueelle ( $\lambda > 750 \text{ nm}$ ). [20]

Pelkästään kultananohiukkasten koko ei vaikuta pintaplasmoniresonanssin aallonpituuteen, sillä myös kultahiukkasten välimatkalla on vaikutusta [19, 23]. Kun kultananohiukkasten välimatka pienenee, niiden plasmonit vuorovaikuttavat vahvasti keskenään, jolloin pintaplasmonien resonanssiaallonpituus muuttuu kohti suurempia aallonpituuksia [19, 23]. Yksinkertaistettuna ilmiön voi ajatella niin, että kaksi pientä kultananohiukkasta lähekkäin saa aikaan saman ilmiön kuin yksi iso kultananohiukkanen.

Laboratoriotyön synteessin ensimmäisessä vaiheessa opiskelijoiden tuli miettiä, miten trinatriumsitraatti ja kultasuola käyttäytyvät kuumassa vedessä. Vinkiksi opiskelijoille oli annettu, että kyseessä on hapettumis-pelkistymisreaktio. Laboratoriotyön aikana huomattiin, että kyseessä ei ole yksinkertainen hapettumis-pelkistymisreaktio, eikä selvittelyistä huolimatta täysin selvinnyt, mikä reaktiomekanismi oikein on. Reaktiossa kultaionit pelkistyvät kulta-atomeiksi, mutta hapettava ioni ei ole selvillä. Pelkistyneet kulta-atomit muodostavat rykelmiä, joiden ympärillä on positiivisilla päillä varautuneita trinatriumsitraatteja. Ilmeisesti trinatriumsitraatti-ionit saavat samanaikaisesti aikaan kultaionien pelkistymisen ja toisaalta muodostavat jo syntyneiden kulta-atomien ympärille suojaavan verhon. Trinatriumsitraattien muodostama positiivisesti varautunut verho estää sähköisten hylkimisvoimien vuoksi kulta-atomirykelmiä liittymästä toisiinsa [24].

Kun liuokseen lisätään natriumkloridia eli ruokasuolaa, liuoksen väri muuttuu. Mitä enemmän ruokasuolaa lisätään, sitä sinisemmäksi alunperin punertava liuos muuttuu. Ruokasuolan lisääminen saa aikaan sen, että kulta-atomirykelmät pääsevät lähemmäksi toisiaan. Tämä johtuu siitä, että liuenneena ruokasuola pystyy kumoamaan trinatriumsitraatin muodostamaa hylkimisvoimaa [24]. Tällöin kulta-atomien voidaan siis ajatella muodostavan isompia kultarykelmiä, joiden pintaplasmonien resonanssiaallonpituus kasvaa eli kultahiukkaset absorboivat näkyvän valon suurempia aallonpituuksia.

### 3.2 Nanotieteiden kehysideat

Tutkimukseen osallistuneille opiskelijoille esiteltiin kurssin ensimmäisillä luennoilla nanotieteiden yhdeksän kehysideaa (big ideas). Nämä kehysideat pohjautuvat Stevensin, Sutherlandin ja Krajcikin kirjoittamaan kirjaan *The Big Ideas of Nanoscale Science and Engineering* [25]. Stevens, Sutherland ja Krajcik yhdessä laajemman yhteisön kanssa laativat 2000-luvun ensimmäisen vuosikymmenen puolivälin paikkeilla listan nanotieteiden kehysideoista. Kehysideat ovat keskeisiä ja tärkeitä käsitteitä, joita tarvitaan tieteenalan asioiden ja ilmiöiden selittämiseksi.

Tutkijat ovat kokeneet, että nanotieteet on kasvava osa-alue muiden tieteiden joukossa ja että ihmiset tarvitsevat enemmän tietoa nanomittakaavan ilmiöistä jo kouluikäisinä, jotta heistä kasvaa uusia innovaatioita ja niiden mahdollisia riskejä ymmärtäviä kansalaisia [25]. Kirjassaan [25] he esittelevät nämä kehysideat ja antavat vihjeitä, miten niitä voisi sisällyttää USA:n opetussuunnitelmaan ja mitä oppilaiden tulisi osata kustakin kehysideasta.

Opiskelijoille nämä kehysideat esitettiin, jotta jatkossa he osaavat esimerkiksi artikkeleita lukiessaan kategorisoida, mitä kehysideoita niissä on mukana. Stevensin, Sutherlandin ja Krajcikin kirjoittamassa kirjassa [25] esitetyt kehysideat ovat

- Koko ja skaala,
- Aineen rakenne,
- Voimat ja vuorovaikutukset,
- Kvantti-ilmiöt,
- Koosta riippuvat ominaisuudet,
- Itsejärjestyvyys,
- Työvälineet ja laitteistot,
- Mallit ja simulaatiot sekä
- Tiede, teknologia ja yhteiskunta .

Seuraavaksi on lyhyesti kerrottu lähdeä [25] apuna käyttäen, miksi yhdeksän yllä olevaa kehysideaa todella ovat nanotieteiden kehysideoita. Koska ne kaikki ovat enemmän ja vähemmän yhteydessä toisiinsa, selkeää rajaa näiden selitysten välille

on vaikea saada. Esimerkiksi koko ja skaala sekä koosta riippuvat ominaisuudet ovat erittäin lähellä toisiaan jo terminologisestikin.

Esineiden ja kappaleiden koko on intuitiivisesti merkittävä ihmisen jokapäiväisessä elämässä. Koon ja mittakaavan ymmärtäminen on oleellista, jotta voidaan ymmärtää nanomaailman ilmiöitä ja käyttää laitteita niiden tutkimiseen. Aineen rakenteen tutkiminen on kehittynyt viime vuosina valtavasti, mutta silti tutkijoilla on vielä paljon opittavaa nanomittakaavassa tapahtuvista ilmiöistä. Työvälineiden ja laitteistojen kehittyminen ovat lisänneet tutkimusta ja ymmärrystä aineen rakenteesta huomattavasti.

Nanomittakaavassa tärkeässä roolissa ovat eri voimat kuin makromaailmassa. Makromaailmassa gravitaatiovuorovaikutus on hallitsevassa osassa, mutta nanomaailmassa sähkömagneettiset vuorovaikutukset ovat tärkeimmät. Jotta tutkijat voivat kehittää uusia nanomittakaavan innovaatioita, heidän tulee olla hyvin tietoisia siitä, miten esimerkiksi atomit vuorovaikuttavat keskenään. Klassinen Newtonin mekaniikka ei pysty selittämään nanomittakaavan ilmiöitä, vaan avuksi tarvitaan kvanttimekaniikkaa. Tästä syystä kaikilla nanotieteen osa-alueilla kvantti-ilmiöt ovat erittäin tärkeässä asemassa. Kvantti-ilmiöiden ymmärtäminen auttaa myös ymmärtämään nanomittakaavan vuorovaikutuksia paremmin.

Koosta riippuvien ominaisuuksien ymmärtäminen on erittäin tärkeää, koska moni ilmiö käyttäytyy eri tavalla nanomittakaavassa kuin makromaailmassa. Esimerkiksi makrokokoluokan kultaesineet ovat hyviä johteita ja niillä on muitakin metallisia ominaisuuksia, mutta alle kymmenen nanometrin kokoinen kultakappale ei enää toimi johteena. Tutkimuksen kohteena olevan laboratoriotyön kultakolloidiliuoksen värin muutos on myös koosta riippuva ominaisuus, sillä kultapartikkelien koko vaikuttaa liuoksen väriin. Itsejärjestyvyys on tärkeä ominaisuus erilaisten nanotuotteiden kehitystyössä. Itsejärjestyvyyttä tapahtuu myös luonnostaan esimerkiksi ihmisen DNA:ssa.

Monet nanomittakaavan ilmiöt ovat monimutkaisia eikä niitä pysty näkemään paljain silmin. Tämän vuoksi on tarpeellista, että ilmiöitä voidaan mallintaa jollakin tavalla. Mallien ja simulaatioiden avulla tutkijat pystyvät ennustamaan, mitä tutkittavassa ilmiössä mahdollisesti tapahtuu. Opiskelijoita mallit auttavat ymmärtämään ylipäätään ilmiötä ja sen ominaisuuksia. Kautta aikain ihmiset ovat käyttäneet tiedettä ja teknologiaa mukautuakseen elinympäristön haasteisiin ja selviytyäkseen elossa. Tiede ja teknologia antavat paljon uusia sovelluksia ihmisille ja siten vaikuttavat laajasti ihmisten arkielämään. Teknologialla on vaikutusta muun muassa elämäntyyliin, taloudellisiin systeemeihin sekä ympäristöön.

Tutkimukseen osallistuneet opiskelijat pääsivät jokaisen laboratoriotyön päätteeksi pohtimaan, mitä kehysideoita sen kertaiseen laboratoriotyöhön liittyi. Eksplisiit-

tisesti opiskelijat eivät näistä kehysideoista puhuneet juurikaan ennen kyseistä tehtävänantoa, mutta implisiittisesti he viittasivat näihin käsitteisiin usein. Puheessaan voimista ja vuorovaikutuksista, he olivat koko ajan tekemisissä yhden kehysidean kanssa. Tämän tutkimuksen yksi tarkoitus on selvittää, miten paljon opiskelijat käyttävät näitä kehysideoita ja niihin liittyviä käsitteitä puheessaan.

### 3.3 Keskustelu ja vuorovaikutus - oppimisen edellytykset

Pienryhmätyöskentely on merkittävästi lisääntynyt opetuksen työvälineenä viimeisten vuosien aikana [26, 27]. Vaikka opettajan ja oppilaiden välinen kommunikaatiokin on sosiaalista vuorovaikutusta, se voidaan tulkita myös yksipuoliseksi vuorovaikutukseksi, missä opettaja siirtää tietoa oppilaille [27]. Oppilasryhmien ollessa isoja opettaja ei pysty vuorovaikuttamaan jokaisen oppilaan kanssa niin paljon, että vuorovaikutus olisi jokaisella oppitunnilla molemmin puolista [27]. Tutkiessaan opettajajohtoista ja oppilaiden keskenäisiä keskusteluja Hogan kollegoineen [28] havaitsi, että vertaisryhmän keskustelu oli monipuolisempaa, tuottoisampaa ja tutkivampaa kuin opettajajohtoinen. Tutkijat ovat havainneet, että on tärkeä ymmärtää pienryhmäkeskustelujen haitat ja hyödyt ennen kuin niitä voi menestyksekkäästi käyttää opetuksessa [5]. On myös otettava huomioon, että opiskelijoilla ei suurimmassa osassa tapauksista ole riittävästi keskustelutaitoja, jotta keskustelussa päästäisiin ilman ohjeistusta halutulle ymmärryksen tasolle [6, 27].

Venäläinen Lev Vygotsky (1896-1934) on vaikuttanut merkittävästi oppimisen ja kognition tutkimuksiin nykypäivään asti [3]. Vygotsky tutki, miten sosiaaliset vaikutteet ilmentyvät ihmisen mentaalisisessä toiminnassa [3]. Vygotsky oli sitä mieltä, että ihmiset oppivat ja kehittyvät käyttämällä erilaisia työkaluja, joihin kuuluu muun muassa puhuttu ja kirjoitettu kieli, erilaiset symbolit sekä taide [2]. Kieli oli yksi tärkeimmistä Vygotskyn tutkimuksen kohteista, sillä kielen avulla pystytään tutkimaan niin yksilön kuin ryhmänkin vuorovaikutuksia ja toisaalta se toimii ajattelun työkaluna [2].

Pienryhmätyöskentelyn käyttö opetuksessa tukee osaltaan myös Vygotskyn lähikehityksen alue -käsitettä (the zone of proximal development, ZPD). Hänen mukaansa on olemassa tietty oppimisen alue, jossa ihminen ei pysty yksinään selviytymään ongelmasta, mutta osaavamman ihmisen avustuksella hän pystyy ongelman ratkaisemaan [2]. Kun opiskelija pohtii jotain kiperää kysymystä, johon hän ei osaa vastata, hän voi saada ryhmäläiseltään apua vastauksen löytymiseen. Toinen ryhmäläinen voi antaa hänelle pieniä vihjeitä tai esittää johdattelevia kysymyksiä, jotka johtavat oikeaa vastausta kohti. Näin siis sosiaalisen kanssakäynnin kautta opiskelija oppii jotain uutta.

## 4 Tutkimuksen toteutus

### 4.1 SMBP802 Nanotiede ja teknologia -kurssi

Suomessa Jyväskylän yliopisto on tällä hetkellä ainoa korkeakoulu, jossa voi opiskella nanotieteitä omassa koulutusohjelmassaan heti kandidaattivaiheesta alkaen. Käytännössä tämä tarkoittaa poikkitieteellisiä opintoja fysiikassa, kemiasa ja biologiassa. Koulutusohjelma käynnistyi vuonna 2007. Koulutusohjelmassa opiskelevien pääaine on fysiikka, kemia tai biologia. Keväällä 2012 järjestetyn poikkitieteellisen kurssin tavoitteena oli tutustuttaa nanotieteiden koulutusohjelmassa opiskelevia ensimmäisen vuoden opiskelijoita toisiinsa ja saada heidät tutustumaan Nanoscience Centerin (NSC) tutkimustoimintaan.

Nanotiede ja teknologia -kurssi sisälsi kolme luentoa, joista kaksi oli ennen laboratoriotyöskentelyosuutta ja yksi sen jälkeen. Kaikki kolme luentoa videoitiin. Kahdella ensimmäisellä luennolla käsiteltiin nanotieteitä ja niihin sisältyviä kehysajatuksia [25]. Viimeisellä luennolla yliopiston tutkijat esittelivät omia nanotieteellisiä tutkimuksiaan. Sivulla 14 olevassa taulukossa 2 näkyy kurssin rakenne ja sisältö.

Poikkitieteellisiä laboratoriotöitä oli yhteensä neljä kappaletta, joista kukin työ tehtiin eri päivänä. Opiskelijat oli ohjaajan toimesta jaettu 3-4 hengen ryhmiin, joissa he tekivät kyseisen päivän laboratoriotyön. 3-4 hengen ryhmä on sopivan kokoinen, jotta kaikki ryhmäläiset voivat osallistua keskusteluun ja työskentelyyn [26]. Ryhmät eivät olleet yhdessäkään työssä täysin identtiset, ja suurin osa ryhmistä oli sekaryhmiä. Muutamissa laboratoriotöissä oli kokonaan miesryhmä, mutta ryhmää, jossa kaikki ryhmäläiset olisivat olleet naisia, ei ollut. Ryhmiä oli joka päivä yhteensä viisi, joista kolme työskenteli aamupäivän aikana ja kaksi iltapäivän aikana. Laboratoriotyön aluksi opiskelijoille jaettiin työkaavake, jossa oli ohjeet työn tekemiseen. Ohjeiden lisäksi työkaavake sisälsi kysymyksiä, joita ryhmäläiset pohtivat tehtävästä riippuen yksin tai yhdessä. Osa tehtävistä oli tiedonhakutehtäviä, joissa sai käyttää tietokonetta apuna. Tehtävät oli pääsääntöisesti laadittu siten, että opiskelijat keskustelivat niiden pohjalta asioista ja pyrkivät muodostamaan yhteisiä selityksiä ja malleja. Tämän tarkoitus oli osaltaan myös auttaa ryhmäytymistä. Kuhunkin laboratoriotyöhön oli varattu kolme tuntia aikaa. Kurssin ohjaaja auttoi opiskelijoita mahdollisissa ongelmakohdissa, mutta hän ei antanut juurikaan suoria vastauksia, vaan pyrki johdattamaan opiskelijoita kohti haluttua lopputulosta.

#### 4.1.1 Tutkimukseen osallistumattomat henkilöt

Kurssille, jolla tutkimusaineiston keruu toteutettiin, osallistui kaikkiaan 17 opiskelijaa, joista kaksi ei halunnut osallistua tutkimukseen. Koska kyseessä oli yliopis-

**Taulukko 2** – SMBP802 Nanotiede ja teknologia -kurssin ajoitus ja sisältö. Taulukosta selviää kunkin luennon ja laboratoriotyöskentelyn aihe sekä millä tavalla kyseisessä tilaisuudessa on kerätty aineistoa väitöskirjatutkimusta varten. Pro gradu -tutkimuksessa käytetään 25.4. järjestetyn laboratoriotyön audioaineistoa.

	Työskentelymuoto (varttu aika)	Aihe	Kerätty aineisto
18.4.	Luento 1 (2h)	Yhdeksän kehysideaa sekä niiden käyttö	Video, ennakkokysely
19.4.	Luento 2 (2h)	Koko ja skaala tarkemmassa käsittelyssä, artikkelien lukeminen, tutkimusryhmien esittely	Video
23.4.	Laboratoriotyö 1 (3h) ja labrakierros 1 (1h)	Elektroforeesi	Työkaavake, audio, video
24.4.	Laboratoriotyö 2 (3h) ja labrakierros 2 (1h)	Voimamikroskopia	Työkaavake, audio, video
25.4.	Laboratoriotyö 3 (3h) ja labrakierros 3 (1h)	Nanohiukkaset ja värit	Työkaavake, audio, video
26.4.	Laboratoriotyö 4 (3h)	Nanomagnetismi	Työkaavake, audio, video
3.5.	Luento 3 (2h)	Nanoscience Centerin tutkijat esittelivät tutkimuksiaan	Video
10.5	Loppukoe (3h)		Loppukysely

ton pakollinen kurssi, heidän osallistumista kurssille ei estetty eikä heitä haluttu myös asettaa eri asemaan muiden kanssa. Tämän takia he olivat mukana ryhmissä muiden joukossa, eivätkä he muodostaneet omaa ryhmää. Heidän puheensa ja liikkeensä on nauhoittunut äänitteille ja videokameroiden kuvaan, mutta niitä ei missään vaiheessa ole analysoitu. Opiskelijat ovat olleet kaikkien laboratoriotyöskentelyjen ajan tietoisia, että heidän puheensa tallentuu nauhalle. Kaikki heidän kirjallinen materiaalinsa on tuhottu analysoimatta, mikäli sitä on tullut muiden opiskelijoiden papereiden mukana kopioiduksi.

## 4.2 Audiovisuaalinen data

Audiovisuaalisen datan käyttö tutkimuksessa on yleistynyt merkittävästi viime vuosina, koska laitteet ovat pienentyneet ja niiden käyttö on helpottunut [26]. Video- ja ääninauhoituksella voidaan kerätä paljon dataa, jota voidaan monipuolisesti analysoida. Väitöskirjatutkimusta varten dataa kerättiin kirjallisten työkaavakkaiden lisäksi videokameroiden ja ääninauhureiden avulla. Laboratoriotilassa oli kaksi videokameraa, jotka kuvasivat tilaa hieman eri kuvakulmista siten, että kaikki ryhmät tallentuivat jomman kumman kameran muistikortille. Jokaisella ryhmällä oli oma ääninauhuri, joka tallensi ryhmäläisten puheet. Jokaisella työskentelykerralla jokaisesta ryhmästä yksi henkilö oli nimetty vastuuhenkilöksi, jonka tehtävänä oli huolehtia, että nauhuri kulkee ryhmän mukana. Tässä pro gradu -tutkimuksessa käytetään ainoastaan nauhureista saatavaa audiodataa. Tutkimuksen kannalta ei ole oleellista nähdä ryhmäläisten toimintaa, vaan kuulla heidän puheensa.

Äänitteiden perusteella voidaan sanoa, että nauhurit sen enempää kuin videokameratkaan eivät vaikuttaneet oleellisesti ryhmäläisten käyttäytymiseen. Hogan [28] havaitsi omassa tutkimuksessaan, että tutkittavat opiskelijat halusivat antaa paremman kuvan osaamisestaan ja keskustelun tasosta silloin, kun puheet videoitiin ja/tai nauhoitettiin. Eräs tutkimukseen osallistunut ryhmä kommentoi tiedon haun aikaan *Kyllä tulee tylsää kuunneltavaa, kun kukaan ei puhu mitään*. Yksi ryhmä myös hieman pelleili nauhurin kanssa leikkien toimittajaa kysymyksiin muutaman sekunnin ajan. Muilla tavoin ei selkeästi käy ilmi, että opiskelijat olisivat juurikaan kiinnittäneet huomiota nauhuriin. Ei ole myös selkeästi havaittavissa, että nauhurit olisivat vaikuttaneet ryhmän keskusteluiden sisältöön tai tasoon. Opiskelijat puhuivat työskentelyn aikana vapautuneesti myös muista kuin työhön liittyvistä asioista. Opiskelijat olivat myös rehellisen epävarmoja ilmiöiden teoriasta eivätkä he yrittäneet peitellä sitä.

## 5 Tutkimusaineiston analysointi

Aineistoon tutustuminen aloitettiin nauhoitteiden kuuntelulla ja samanaikaisella tutustumisella työkaavakkeisiin. Työkaavakkeita silmäiltiin lähinnä pääpiirteittäin, jotta äänitteitä kuunneltaessa pystyttiin seuraamaan, missä tehtävässä opiskelijat olivat ja mihin kysymykseen he pohtivat vastausta. Aineistoon tutustumisvaiheessa kahta ryhmää lukuunottamatta kaikkien ryhmien ääninauhoitteet jokaisesta laboratoriotyöstä kuunneltiin aluksi kertaalleen läpi. Tässä vaiheessa päätettiin kuitenkin rajata tutkielmaa varten pienempi kokonaisuus laajasta materiaalista, ja päädyttiin Nanohiukkaset ja värit -laboratoriotyön analysointiin. Sitä koskevat nauhat kuunneltiin uudelleen kvalitatiiviseen data-analysointiin kehitetyn

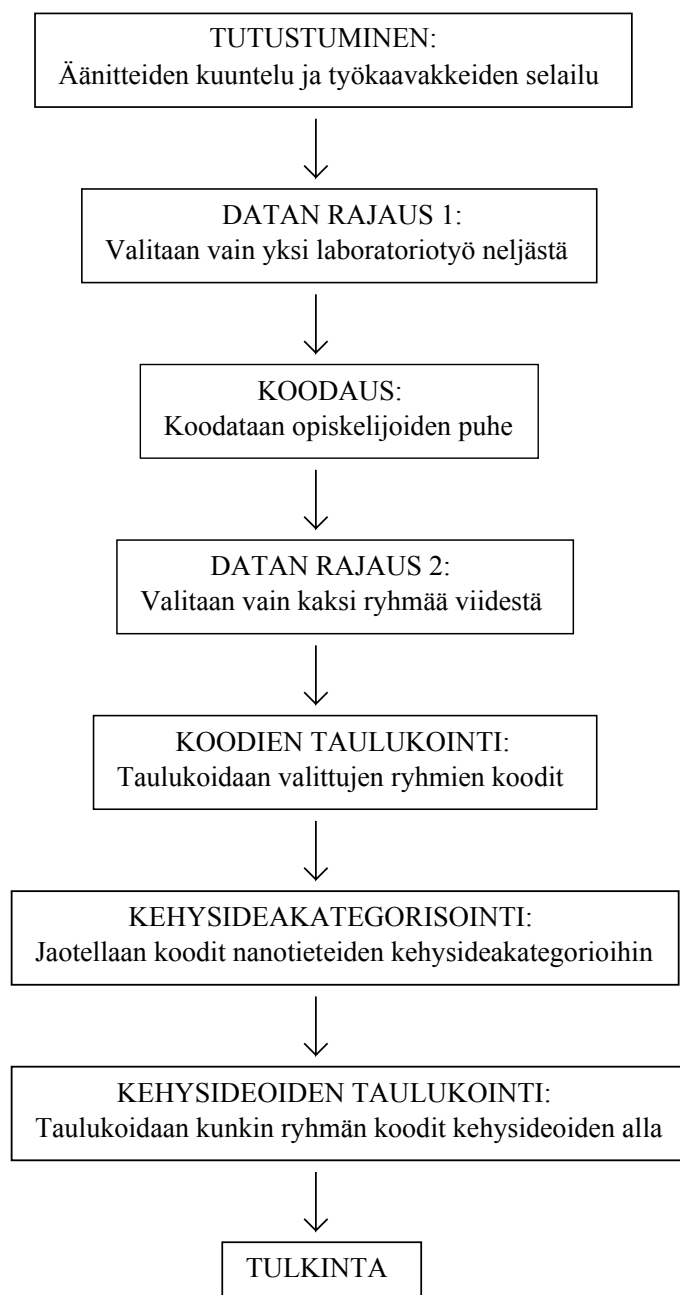
ATLAS.ti-ohjelmiston avulla, jolloin nauhoitteesta pystyttiin poimimaan ja merkitsemään eli koodaamaan mielenkiintoisia kohtia. Nauhoitteiden koodaaminen lopetettiin siihen vaiheeseen, kun työn ohjaaja tuli keskustelemaan loppuyhteenvedossa ryhmäläisten kanssa. Mikäli ohjaaja on ennen loppuyhteenvedoa selkeästi ohjannut opiskelijoiden mallia toiseen suuntaan, koodaus lopetettiin siinä kohdassa, jossa ohjaaja tulee keskusteluun mukaan. Kuvassa 2 (sivu 17) on esitetty kaaviomuodossa tutkimusaineiston analysoinnin vaiheet.

## 5.1 Koodaus

ATLAS.ti-ohjelmiston avulla opiskelijoiden puhetta pystyttiin koodaamaan. Koodaaminen tarkoittaa sitä, että opiskelijoiden puheesta poimitaan mielenkiintoisia lainauksia, jotka voidaan merkitä halutulla tavalla. Tässä tutkimuksessa merkintä tapahtui käsitteiden avulla. Koska tavoitteena oli saada käsitys siitä, mitä käsitteitä ja minkä verran opiskelijat käyttävät, koodattiin heidän puheesta fysiikkaan, kemiaan ja biologiaan liittyviä sanoja. Koodauksen yhteydessä jokainen lainaus litteroitiin, jotta kuuntelemattakin näkee, mistä opiskelija(t) on puhunut kyseisen lainauksen alla. Ennen koodausta päätettiin, että puheesta pyritään löytämään myös välilliset ajatukset, joille tehdään oma koodi. Esimerkiksi, mikäli opiskelijat puhuvat elektroneista niin, että he todella mainitsevat sanan elektroni, sen koodi on **elektroni**. Jos he eivät mainitse sanaa, mutta on selvästi havaittavissa, että he tarkoittavat elektronia, koodi on **elektroni(?)**.

Koodausjärjestelmällä koodattiin kaikkien viiden ryhmän nauhoitteet. Kun tutkimukseen osallistumaton opiskelija käy vuoropuhelua toisen ryhmäläisen kanssa, ainoastaan tutkimukseen osallistuvan opiskelijan puhe koodattiin. Kun koodaus oli saatu valmiiksi, koodeista muodostettiin ATLAS.ti-ohjelman työkalujen avulla taulukko, josta pystyi näkemään, mitä koodia mikäkin ryhmä oli käyttänyt ja miten paljon. Samasta taulukoinnista näkyi myös kunkin ryhmän kokonaiskoodimäärä eli kuinka monta erilaista koodia sen ryhmän nauhoitteeseen oli merkitty. Koodausvaiheessa oli määritelty kaikkiaan 215 koodia, joista osa oli synonyymejä keskenään, kuten esimerkiksi **bioluminesenssi** ja **kemoluminesenssi**. Koodausvaiheen muutamat synonyymikoodit johtuvat siitä, että koodaaja koodasi jokaisen uuden käsitteen, joka puheessa ilmeni, miettimättä siinä kohtaa sen tarkemmin synonyymejä. Myöhemmässä analysointivaiheessa tällä ei kuitenkaan ole merkitystä, koska synonyymit voidaan yhdistää saman kategorian alla yhdeksi termiksi. Ainoa asia, mihin synonyymikoodit vaikuttavat on koodien yhteismäärä, joka siis on todellisuudessa muutamaa koodia pienempi kuin 215. Koodien lukumääristä ei kuitenkaan olla tutkimuksessa kiinnostuneita, joten tätä ei tarvitse huomioida myöhemmissä vaiheissa. Puhuttaessa koodien lukumääristä niitä käytetään yleisesti suuntaa-antavina lukumäärinä.





**Kuva 2** – Kaavio analyysin etenemisestä tutkimuksen aikana. Koodauksen aikana tutkijalle muodostui alustava kuva ryhmien mentaalimalleista. Tulkinta-vaiheessa nauhoitteita kuunneltiin tarkemmin mentaalimallien tutkimiseksi.

ATLAS.ti-ohjelmiston koodaussyntaksi merkitsee vain yhden saman koodin yhtä lainausta kohden. Jos lainauksessa on ryhmäläisten keskustelua tai yhden opiskelijan puhetta siten, että siinä esiintyy esimerkiksi käsite *ioni* yhteensä kolme kertaa, niin silti koodi *ioni* näkyy ohjelmiston taulukoinnissa vain kerran. ATLAS.ti:n antamat koodilukumäärät eivät siis vastaa ryhmien käyttämien käsitteiden kokonaiskäyttömäärää. Koodaaja pyrki mahdollisimman tarkasti pätkimään äänitteen siten, että yhden puhujan virke olisi yksi lainaus, johon koodit merkittäisiin. Kaikissa tilanteissa tämä ei ollut kuitenkaan mahdollista, vaan lainauksessa on ryhmäläisten vuoropuhelua. Joissain tapauksissa taas yhden puhujan virkkeessä esiintyy sama käsite useasti. Näissä tapauksissa yhdessä lainauksessa saattaa sama koodi esiintyä useasti, vaikka ATLAS.ti:n laskurin mukaan se on esiintynyt vain kerran.

Taulukossa 3 sivulla 19 on esitetty muutama esimerkki koodauksesta. Ensimmäisessä sarakkeessa on kyseiseen lainaukseen liitetyt koodit. Seuraavassa sarakkeessa on litteroituna opiskelijan puhe ja viimeisessä sarakkeessa on kommentteja kyseiseen lainaukseen ja koodaukseen liittyen.

#### 5.1.1 Koodauksen luotettavuus

Koodaajalla on enemmän fysiikan ja kemian kursseja käytynä kuin opiskelijoilla, joten koodauksen luotettavuus on kohtuullinen huomioiden koodaajan tuntemuksen käsitteistön laajuus. Myös implisiittisten käsitteiden koodaaminen perustuu puhtaasti koodaajan omiin tietotasoihin sen perusteella, miten hän on opiskelijoiden puheen ymmärtänyt. Opiskelijoiden puheissa oli eräitä käsitteitä (*miselli* ja *biolabeling* = 'biomerkkaus'), joiden merkitys ei ollut koodaajalle täysin selvä. Tällaisissa tapauksissakin oli kuitenkin poikkeuksetta selvää, että kyseessä on jokin tieteellinen käsite ja se koodattiin. Käsitteen merkitys kuitenkin tarkistettiin Internetin avulla ennen koodin lopullista hyväksymistä.

Koodauksessa tulee myös huomioida se, että jotkin koodit ovat tietyllä tasolla päällekkäisiä. Esimerkiksi implisiittisesti paljon esiintyvät koodit **vuorovaikutus(?)** ja **sitoutuminen(?)** ovat lähellä toisiaan, mutta vuorovaikutus on laajempi käsite kuin sitoutuminen. Toisin sanoen aina, jos esiintyy koodi **sitoutuminen(?)**, pitäisi myös koodin **vuorovaikutus(?)** olla koodattuna kyseiseen lainaukseen. Sama pätee myös eksplisiittisille koodeille **vuorovaikutus** ja **sitoutuminen**.

#### 5.1.2 Tutkimusaineiston rajaus koodauksen perusteella

Koodauksen jälkeen tutkimusaineistoa rajattiin vielä tuntuvasti. Viidestä ryhmästä lähempään tarkasteluun otettiin vain kaksi ryhmää. Ryhmien valinnasta keskusteltiin väitöskirjatutkijan kanssa. Valintojen tukena käytettiin opiskelijoiden

**Taulukko 3** – Esimerkkejä koodauksesta. Koodin perässä oleva kysymysmerkki tarkoittaa, että koodaaja on tulkinnut puheesta implisiittisesti kyseisen käsitteen.

Koodit	Puhe-esimerkki	Kommentteja
<b>elektroni, hapettuminen, pelkistyminen</b>	<i>Ku se vastaanottaa elektro- neja ni hapettuus se vai pelkistyyks se. Pelkistyy.</i>	Opiskelija miettii ääneen, mitä kulta-ionille tapahtuu sen vastaanottaessa elektroneja.
<b>elektronimeri, ioni, vuorovaikutus(?)</b>	<i>Se- ne ionit chillaillee siinä elektronimeren kanssa.</i>	Opiskelija pohtii ja selittää ryhmäjäisille kysytyn reaktion vaiheita. Chillaileminen on koodattu merkittävän implisiittisesti vuorovaikutusta.
<b>kompleksiyhdiste(?), molekyyl(i)?, sitoutuminen(?), varausjakauma, vuorovaikutus</b>	<i>1:Meinaatko et nyt siel on usempi kultahippu ja sit siin on varausjakauma ja sit siin varausjakauman päälle kiinnittyy. 2:Nii siel on tol- lasi palloja.</i>	Kaksi opiskelijaa pohtii reaktiotuotteiden syntä. Tässä lainauksessa on paljon implisiittisiä koodoja.
<b>le Chatelier'n periaate(?), partikkeli</b>	<i>Et ne menis takas näihin ai- neisiin eli että kultapartik- kelit sitten pienenis.</i>	Opiskelija miettii reaktiosuuntaa, ja onko kyseessä mahdollinen tasapainoreaktio.

työkaavakkeiden vastauksia ja mahdollisia piirroksia. Työkaavakkeista katsottiin pääpiirteittäin, minkälaisia vastauksia ryhmäläiset olivat tehneet ja minkälaiseen malliin he olivat kirjallisen tuotoksen perusteella päätyneet. Näiden lisäksi käytettyjen koodien lukumäärä osaltaan vaikutti ryhmien valintaan. Myös äänitteiden kuuntelun perusteella keskustelujen sisältö vaikutti ryhmävalintaan, koska koodausvaiheen jälkeen pystyi karkeasti arvioimaan keskustelun rakennetta ja sen laatua. Keskustelun rakenteella ja laadulla tarkoitetaan tässä yhteydessä lähinnä sitä, että pystyttiin havaitsemaan, koostuiko ryhmäläisten keskustelu enemmän yksinpuhelusta vai pohtiko ryhmä ilmiöitä keskenään.

**Taulukko 4** – Ryhmien valintaan vaikuttaneet tekijät.

	Ryhmä A	Ryhmä B
Koodien lkm	298	162
Osallistujat	2 naista, 1 mies kaikki kemian pääaineopiskelijoita	2 miestä kemian ja fysiikan pääaineopiskelija
Kaavakkeiden perusteella opiskelijat...	Eivät pääse mihinkään selkeään malliin kultakolloidiliuoksen värin muutoksen syistä. Ovat epävarmoja selityksestä, jonka tekevät artikkeleiden avulla.	Ymmärtävät jossain määrin ilmiön taustaa ja muodostavat siitä oman mallin, joka ei kuitenkaan ole täysin oikea selittämään kultakolloidiliuoksen värin muutosta.

Taulukkoon 4 on koottu lyhyt yhteenveto valintaan vaikuttaneista tekijöistä sekä ryhmän jäsenistä. Valituista ryhmistä toisella ryhmällä oli selkeästi eniten koodeja (298 vs. 145-240), mikä viittaisi siihen, että he käyttivät rikasta kieltä. Ensimmäinen valittu ryhmä oli puhtaasti kemistiryhmä, eli kaikki opiskelijat olivat kemian pääaineopiskelijoita. Työkaavakkeen vastausten perusteella he eivät laboratorio-työn aikana päässeet minkäänlaiseen selkeään malliin siitä, mikä aiheutti kultakolloidiliuoksen värin muutoksen. Toinen valikoitunut ryhmä sen sijaan lähti rakentamaan mallia kemiallisen reaktion kautta, ja he käyttivät tämän mekanismin ymmärtämiseen paljon aikaa. He pohtivat reaktion etenemistä, ja päätyivät siihen, että kyseessä on tasapainoreaktio. Jatkossa ensimmäisestä ryhmästä tullaan käyttämään nimeä ryhmä A ja toisesta ryhmä B. Ryhmässä B on opiskelija, joka ei osallistu tutkimukseen. Tämä ryhmä haluttiin siitä huolimatta ottaa mukaan tutkimukseen, koska heidän pohdintansa on erittäin mielenkiintoista näiden kahden tutkimukseen osallistuvan jäsenen osalta. Huomionarvoista on, että näiden kahden opiskelijan puheesta on koodattu kaikkiaan yhteensä 162 koodia, kun

eräällä ryhmällä, jossa oli neljä jäsentä, koodeja oli 177.

### 5.1.3 Koodien taulukointi

ATLAS.ti-ohjelmasta pystyttiin tiedot siirtämään Excel-taulukkoon siten, että taulukossa näkyi kunkin koodin käyttömäärä kunkin ryhmän kohdalla. Esimerkiksi koodia **aallonpituus** ryhmä A käytti yhdeksän kertaa ja ryhmä B kuusi kertaa. Työkaavakkeen (liite A) tehtävät ja kysymykset oli jaettuanalysointia varten viiteen kategoriaan. Nämä kategoriat olivat

1. Alkuperäisen reaktiomekanismin pohdinta
2. Kolloidi ja liuoksen voimat ja vuorovaikutukset
3. Ruokasuolan (NaCl) lisääminen
4. Havainnot ruokasuolan lisäämisen jälkeen
5. Artikkelien lukemisen jälkeinen mallin muodostaminen.

Tutkimuksessa oltiin kiinnostuneita siitä, kuinka paljon opiskelijat käyttivät erilaisia näihin kategorioihin kuuluvia käsitteitä työn edetessä. Äänitiedostoja kuunneltiin uudelleen tarkoituksena löytää jokaista tehtäväkategoriaa vastaavat kohdat. Kun tehtävän pohdinnan aloitus- ja lopetuskohta oli selvillä, näiden väliltä poimittiin kaikki koodit ja niiden lukumäärät siirrettiin kunkin tehtäväkategorian kohdalle Excel-taulukkoon (taulukko 5, sivulla 22). Esimerkiksi ryhmällä A oli ensimmäisen kategorian pohdinnoissa koodattuna neljä kertaa koodi **hapetusaste/hapetusluku**, joten kategoriaan (1) tuli koodin **hapetusaste/hapetusluku** kohdalle merkintä 4. Vastaavalla tavalla käytiin molemmilta ryhmiltä läpi kaikki viisi kategoriaa. Ryhmä A käsitteli neljännen tehtäväkategorian asiaa vasta luettuaan artikkeleita, joten kaikki tähän keskusteluun liittyvät koodit ovat kategorian (5) alla. Ryhmä A pohti myös värien syntymistä ja niiden näkemistä tehtävän kaksi jälkeen, joten heidän tulostaulukossaan on ylimääräinen kohta (2.1) Värien synnyn pohdintaa. Tämän lisäkategorian tarkoitus oli puhtaasti auttaa tutkimuksen tekijää.

Koodien taulukoinnissa (taulukko 5) on otettu huomioon, että ATLAS.ti:n muodostamassa taulukossa ei käy ilmi se, esiintyykö sama koodi yhdessä lainauksessa useamman kerran. Koska jokaisen tehtäväkategorian alle kuuluvien koodien lukumäärät on merkitty taulukkoon manuaalisesti, näissä on otettu huomioon konkreettisesti se, kuinka usein termi esiintyy puheessa. Molempien ryhmien osalta on siis käyty läpi kaikki viiteen tehtäväkategoriaan liittyvät lainaukset ja niistä on laskettu jokaisen koodin esiintyvyys ja tämä luku on merkitty taulukkoon.

## 5.2 Kehysideakategorisointi

Seuraavassa vaiheessa koodit kategorisoitiin nanotieteiden yhdeksän kehysidean [25] mukaan. Jokainen koodi käytiin läpi, ja pohdittiin mihin kehysideakategori-

**Taulukko 5** – Ote ryhmän A datataulukosta. Ylimmissä sarakkeissa on koodit, joiden alla näkyy, kuinka monta kertaa kunkin ryhmän (A-E) puheessa kyseinen koodi (termi) on esiintynyt ja kuinka monta kertaa sillä koodilla on kaikkiaan koodattu (yhteensä). Näiden alla näkyy, kuinka monta kertaa ryhmä on mahdollisesti kyseistä termiä käyttänyt sivulla 21 esitettyjen tehtäväkategorioiden 1-5 alla. Ryhmä A on käyttänyt termiä/koodia **aallonpituus** kaikkiaan 9 kertaa. Neljä kertaa ryhmä on käyttänyt sitä pohdissaan artikkeleita ja kolme kertaa miettessään värien syntyä.

	aallonpituus	aallonpituus(?)	absorboida(?)	absorboida	absorbtiospektri
Ryhmä A	9	2	1	5	0
Ryhmä B	6	0	0	5	1
Ryhmä C	12	0	0	1	0
Ryhmä D	6	0	0	0	0
Ryhmä E	11	0	0	9	0
Yhteensä:	41	2	1	20	1
1:Kultahuukkasten synty					
2:Kolloidi ja voimat liuoksessa					
3:Emustus NaCl:n lisääminen					
4:Havainnot NaCl:n lisääminen					
5: Artikkelien pohdinta					
2.1: Värien syntyyn pohdinta	3		1	2	

aan se kuuluu. Joidenkin koodien kategorisointi osoittautui hankalaksi. Kehysideoiden väliset rajat ovat varsin häilyvät, koska kehysideat liittyvät toisiinsa [25]. Ei voi selkeästi rajata, että jokin ilmiö on puhtaasti *koosta riippuva ominaisuus* eikä mikään muu kehysideoista liity siihen. Kaikkia käytettyjä koodeja ei kuitenkaan kategorisoitu, koska ne tulkittiin kuuluvan yleisemmin fysiikan tai kemian käsitteistöön eikä mikään kategoria vaikuttanut sopivalta.

Esimerkiksi koodit **aallonpituus**, **ainemäärä** ja **energia** eivät kuulu mihinkään yhdeksästä kehysideasta tässä luokittelussa. Toisaalta jotkut koodit kuuluvat useamman kehysidean alle, kuten esimerkiksi **atomiorbitaali**, joka kuuluu sekä *aineen rakenteeseen*, *kvantti-ilmiöihin* että *malleihin ja simulaatioihin*. Pohjimiltaan atomiorbitaalit ovat vain malleja, joiden avulla havainnollistetaan elektronitiheyttä atomiytimen ympärillä. Atomiorbitaalit (elektronitiheys ja sen muoto) kuitenkin määräävät sidosten muodostumisen, joten ne vaikuttavat myös aineen rakenteeseen. Koska puhutaan atomimittakaavan ilmiöistä ja elektroneista, joissa kvantti-ilmiöt ovat vallitsevassa asemassa, kategorisointi myös kvantti-ilmiöiden ryhmään on perusteltu. Pidemmälle pohdittuna atomiorbitaalit vaikuttavat sitoutumiseen, joka taas on vuorovaikutusta jonkin toisen atomin tai molekyylin kanssa. Tätä kategorisointia ei kuitenkaan ole tehty, koska koettiin, että se on välillisesti jo kauempaa haettua kuin mainitut kolme kehysideaa. Atomiorbitaalin muoto vaikuttaa sitoutumiseen, mutta sidoksen muodostavat kuitenkin elektronit. Kehysideakategorisoinnissa **elektroni** on luokiteltu kuuluvaksi kolmeen eri kehysideaan, jotka ovat aineen rakenne, voimat ja vuorovaikutukset ja kvantti-ilmiöt. Elektronit sitovat atomeja ja molekyyliä yhteen, joten niiden välillä on voimia ja vuorovaikutuksia, ja ne edelleen määräävät aineen rakenteen. Myös kvantti-ilmiöt ovat oleellisia, kun puhutaan elektroneista.

Samalla, kun koodeja käytiin läpi, ne värikoodattiin Excelissä kunkin kehysidean mukaan. Tämä helpotti huomattavasti taulukon selaamista, koska heti näki mihin kategoriaan koodi kuuluu. Ne koodit, jotka kuuluvat useampaan kategoriaan on värikoodattu vain yhdellä värillä ja taulukkoon on kirjoitettu huomio, mihin kaikkiin kategoriaihin kyseinen koodi kuuluu.

### 5.3 Kehysideoiden taulukointi

Kun kaikki koodit oli käyty läpi ja osa niistä oli kategorisoitu yhdeksän kehysidean alle, tehtiin kummallekin ryhmälle uusi taulukko, johon merkittiin vielä selvyuden vuoksi jokainen ryhmän käyttämä koodi kunkin kehysidean alta. Taulukkoon oli pystysarakkeisiin merkitty kukin yhdeksästä kehysideasta. Tämän jälkeen ryhmäkohtaisesti katsottiin, mitä kehysideaan kuuluvia koodeja ryhmä on käyttänyt puheessaan. Taulukkoon merkittiin käytetty koodi, ja sen perään luku, joka kertoo, kuinka monta kertaa ryhmä on sitä kaikkiaan käyttänyt puhees-

saan. Tämän luvun perässä suluissa on vielä luku, joka kertoo kuinka monesti sitä käytetään aiemmin esitetyn tehtäväkategorisoinnin (sivu 21) alla. Esimerkiksi ryhmällä B aineen rakenteen alla on merkintä **atomi, 3(2)**, mikä siis tarkoittaa, että he käyttävät sanaa atomi puheessaan kaikkiaan kolme kertaa, joista kaksi kertaa tapahtuu tehtäväkategorioiden 1-5 alla. Muutamassa tapauksessa suluissa oleva luku on isompi kuin edellä oleva luku. Kuten aiemmasta kävi ilmi, tämä johtuu siitä, että opiskelija saattaa samassa lauseessa toistaa saman käsitteen useamman kerran, mutta ATLAS.ti:n taulukkoon koodi tulostuu vain kerran (kts. taulukot 6 ja 7).

#### 5.4 Mentaalimallit

Ryhmäläisille muodostui laboratoriotyön edetessä erilaisia mentaalimalleja. Sivulla 4 olevan kuvan 1 mukaisesti opiskelijat muodostivat työn eri vaiheiden ilmiöistä mentaalimalleja. Näiden mentaalimallien avulla he edelleen muodostivat ilmaistuja malleja, jotka olivat pääsääntöisesti puhuttuja. Osa opiskelijoista piirsi havainnollistavia kuviakin, mutta niitä ei käytetä tässä tutkimuksessa tutkimusaineistona. Opiskelijoiden ilmaistujen mallien avulla tutkija pystyy tutkimaan opiskelijoiden mentaalimalleja [12, 14, 15]. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ilmaistun mallin perusteella tutkija pyrkii mahdollisimman tarkasti ymmärtämään opiskelijoiden muodostaman mentaalimallin. Mentaalimallin analysoimiseksi tutkija kuunteli ryhmien nauhoitteista useita kertoja niitä kohtia, missä opiskelijat selvästi muodostivat ilmaistua mallia. Näitä kohtia olivat erityisesti kohdat, joissa opiskelijat pohtivat kemiallisen reaktion vaiheita, väreihin liittyviä ilmiöitä sekä kultakolloidiliuoksen ominaisuuksia ja värin muutosta. Alustavan kuvan ryhmien mentaalimalleista tutkija sai jo koodauksen aikana, joten oikeat kohdat nauhoitteista oli helpompi löytää. Myös nauhoitteiden litterointi auttoi oikean kohdan löytämisessä ja mentaalimallien tutkimisessa.



## 6 Tulokset

### 6.1 Kehysideoihin kuuluvien käsitteiden käyttö

Vertailtaessa opiskelijoiden työkaavakkeisiin (liite A) merkitsemiä kehysideoita huomataan, että ryhmässä A kaikilla kolmella opiskelijalla oli tehtäväpaperiin merkitty samat kahdeksan kehysideaa. Ryhmäläiset olivat sitä mieltä, että työvälineet ja laitteistot on ainoa kehysidea, joka ei liity kultananoväriytyöhön. Sen sijaan ryhmän B jäsenillä oli merkittynä toisistaan poikkeavat kehysideat. Toinen B-ryhmän jäsenistä koki laboratoriotyöhön liittyvän viisi kehysideaa, kun toinen oli merkinnyt paperiin vain kolme kehysideaa. Kolme kehysideaa, jotka olivat molempien papereissa, olivat *koko ja skaala, voimat ja vuorovaikutukset sekä koosta riippuvat ominaisuudet*. Näiden lisäksi toinen ryhmäläisistä oli merkinnyt paperiin vielä *aineen rakenteen* sekä *mallit ja simulaatiot*. Molempien ryhmien kohdalla on huomioitavaa, että kehysideoiden pohtimiseen ei käytetty juurikaan aikaa. Molemmissa ryhmissä kehysideat luettiin paperista läpi ja lyhyesti mietittiin, kuuluuko kyseinen kehysidea mukaan vai ei. Ainoastaan yksi ryhmän B jäsenistä perusteli omaan paperiinsa kirjattua *mallit ja simulaatiot*-kehysideaa toteamalla *Ja varmaan mallit ja simulaatiot sillä mehän piirrettiin jonkinlainen malli*. Tällä mallilla hän viitanee reaktion kulkua kuvaavaan reaktioyhtälöön ja sen pohdintaan.

Taulukkoon 6 (sivu 26) ja taulukkoon 7 (sivu 27) on koottu kehysideoittain ryhmien käyttämät käsitteet. Taulukoissa on vain ne käsitteet, joita ryhmät ovat käyttäneet aiemmin sivulla 21 esitettyjen viiden tehtäväkategorian alla. Ryhmät ovat käyttäneet myös muita kehysideoiden alle luokiteltavia käsitteitä muissa yhteyksissä laboratoriotyön aikana. Näitä käsitteitä ei kuitenkaan ole taulukoitu, koska niillä ei ole merkittävää vaikutusta tutkittavana olevien mentaalimallien muodostumiseen. Taulukoinnista nähdään, että kolme kehysideaa hallitsi ryhmäläisten puheessa. Nämä kehysideat ovat *aineen rakenne, voimat ja vuorovaikutus* sekä *kvantti-ilmiot*. Ryhmä A oli merkinnyt kaikki nämä kolme kehysideaa papereihinsa. Sen sijaan ryhmän B molemmat opiskelijat olivat merkinneet vain *voimat ja vuorovaikutukset*. *Kvantti-ilmioita* kumpikaan B-ryhmäläisistä ei ollut merkinnyt, ja vain toinen heistä oli merkinnyt *aineen rakenteen*, vaikka heidän keskusteluissaan tuli esille sekä kvantti-ilmioihin että aineen rakenteeseen liittyviä käsitteitä. Toinen ryhmän B jäsenistä totesi ohjaajalle jossain vaiheessa: *Me jätettiin kvanttiteoria ihan suosiolla pois*.

Taulukoista 6 ja 7 nähdään, että ryhmä A on käyttänyt enemmän käsitteitä kuin ryhmä B. Erityisesti kvantti-ilmioihin liittyviä käsitteitä ryhmällä A on huomattavasti enemmän kuin ryhmällä B. Molemmilla ryhmillä on käsitteitä, joita he ovat käyttäneet vain kerran pohtiessaan tehtäviä, mutta ryhmällä A yksittäisiä käsitteitä on huomattavasti enemmän. Näiden käsitteiden ympärille ei syntynyt sen

**Taulukko 6** – Ryhmän A käyttämät käsitteet luokiteltuna nanotieteiden kehysideoiden alle. Käsitteen perässä oleva luku ilmoittaa, kuinka monta kertaa ryhmäläiset käyttävät kyseistä käsitettä koko laboratoriotyön aikana. Sulussa oleva luku kertoo, kuinka monta kertaa ryhmäläiset käyttävät käsitettä sivulla 21 esitettyjen tehtäväkategorioiden 1-5 alla. Jotkin käsitteet kuuluvat useamman kehysidean alle.

Aineen rakenne	Voimat ja vuorovaikutus	Kvantti-ilmiöt
Akvaioni, 1(1)	Dipoli, 3(4)	Elektroni, 13(7)
Atomi, 7(4)	Elektroni, 13(7)	Elektronikuori(?), 1(1)
Elektroni, 13(7)	Elektronivoltti, 2(2)	Elektronimeri, 1(1)
Ioni, 15(15)	Gravitaatio, 1(1)	Energia-aukko(?), 7(7)
Klusteri, 4(1)	Infrapuna, 1(1)	Energiataso, 3(1)
Kompleksi, 1(1)	Poolinen, 1(1)	Kvantti, 3(1)
Kompleksiyhdiste(?), 7(6)	Röntgen, 1(1)	Plasma(?), 1(1)
Metallihila, 7(3)	Sitoutuminen(?), 6(4)	Plasmoni, 9(7)
Molekyyli, 7(4)	Sähköinen voima, 1(1)	Plasmoni(?), 2(2)
Molekyyli(?), 1(1)	Sähköinen vuorovaikutus, 1(1)	Puolijohde, 1(1)
Partikkelit, 6(5)	Sähkömagneettinen vuorovaikutus, 1(1)	Valenssielektroni, 1(1)
Plasma(?), 1(1)	UV, 2(1)	Virittyminen, 3(2)
	Valo, 7(6)	Virittyminen(?), 3(2)
	Voima, 5(5)	Virittyneen tilan purkautuminen(?), 2(1)
	Vuorovaikutus, 1(1)	
	Vuorovaikutus(?), 13(9)	

**Taulukko 7** – Ryhmän B käyttämät käsitteet luokiteltuna nanotieteiden kehysideoiden alle. Käsitteen perässä oleva luku ilmoittaa, kuinka monta kertaa ryhmäläiset käyttävät kyseistä käsitettä koko laboratoriotyön aikana. Suluissa oleva luku kertoo, kuinka monta kertaa ryhmäläiset käyttävät käsitettä sivulla 21 esitettyjen tehtäväkategorioiden 1-5 alla. Jotkin käsitteet kuuluvat useamman kehysidean alle. Dispersiovoima-käsite sisältää opiskelijoiden mainitsemat termit dispersiovoima, poistovoima ja van der Waalsin voima, jotka ovat synonyymejä keskenään. Opiskelijat kuitenkin käyttivät puheessaan eri yhteyksissä kaikkia kolmea käsitettä kertaalleen.

Aineen rakenne	Voimat ja vuorovaikutus	Kvantti-ilmiöt
Atomi, 3(2)	Dispersiovoima, 3(3)	Elektroni, 6(6)
Elektroni, 6(6)	Elektroni, 6(6)	Elektroni(?), 3(2)
Elektroni(?), 3(2)	Elektroni(?), 3(2)	
Ioni, 1(1)	Gammasäteily, 1(1)	
Klimppi/klöntti, 3(3)	Infrapuna, 6(7)	
Klusteri, 1(1)	Radioaalto, 1(1)	
Kompleksiyhdiste(?), 5(4)	Sitoutuminen(?), 12(10)	
Molekyyli(?), 1(1)	UV, 1(1)	
Partikkeli, 11(7)	Valo, 3(3)	
	Vuorovaikutus(?), 18(12)	

suurempaa keskustelua, vaan ne olivat puhtaasti lyhyitä vastauksia esitettyihin kysymyksiin tai pohdinnan aikana ilmaan heitettyjä ehdotuksia mahdollisesta vastauksesta. Jotkin käytetyistä termeistä, kuten esimerkiksi röntgen ja radioaalot, nousivat esiin siinä kohtaa, kun opiskelijat yrittivät ymmärtää lukemiensa artikkelien sisältöä. Ne eivät varsinaisesti liity artikkeleihin, mutta opiskelijat käyttivät termejä pohtiessaan sähkömagneettisen säteilyn spektrin alueita. Taulukkoon 7 on aineen rakenteeseen liittyväksi käsitteeksi merkitty klimppi/klöntti. Tämä havainnollistaa hyvin sitä, että opiskelijat yrittivät arkipäiväistä käyttämiään termejä. Monessa yhteydessä he käyttivät ei-tieteellisiä termejä, kuten tuo klimppi/klöntti tai sivulla 19 olevassa taulukossa 3 esiintyvä chillaileminen. Oletettavasti klimppi/klöntti viittaa kompleksiyhdisteeseen. Koodauksessa tälle käsitteelle on käytetty koodia **klimppi/klöntti** eikä implisiittistä koodia **kompleksiyhdiste(?)**.

## 6.2 Mentaalimallien muodostuminen

### 6.2.1 Ryhmä A

Ryhmä A pohti työohjeessa esitettyä kemiallista reaktiota ja sen kulkua varsin pintapuoleisesti. He jumittuivat pitkälti työohjeessa mainittuun hapettumispelkistymisreaktioon ja yrittivät siltä pohjalta miettiä reaktion kulkua. He käyttivät puheessaan paljon hapettumiseen ja pelkistymiseen liittyviä sanoja. Hapetuslukuksen kautta he pyrkivät selvittämään, mikä reaktiossa hapettuu ja mikä pelkistyy. Ryhmä ei puheessaan tuonut eksplisiittisesti ilmi, mitä lopputuotteita heidän mielestään reaktiossa syntyy. Ryhmä ei muodostanut minkäänlaista yhteistä mallia reaktion kulusta. Ryhmäläiset eivät myös ääneen pohtineet reaktiota niin paljon, että edes yksittäisen opiskelijan mentaalimalli olisi tullut ilmi. Laboratoriotyön ohjaaja avasi lopulta ryhmäläisille reaktiomekanismia jonkin verran, jotta ryhmäläiset pääsivät eteenpäin. Ohjaaja jätti ryhmäläisten pohdittavaksi muutamia reaktioon liittyviä avoimia kysymyksiä, joita ryhmäläiset eivät kuitenkaan pohtineet. He siirtyivät tehtävissä eteenpäin ja ajoittain vain nopeasti sivusivat reaktiota.

Ryhmä kuitenkin pohti yhdessä työn vaiheessa varsin pitkään, miten värit syntyvät tai tarkemmin sanottuna, mihin perustuu se, että näemme jonkin kappaleen tietyn värisenä. Pohdinta lähti siitä, kun heidän valmistamansa kultakolloidiliuos oli aluksi erittäin tummaa, lähes mustaa. He alkoivat pohtia, miksi mustan liuoksen valmistaminen on vaikeaa. Yhden ryhmäläisen ensimmäinen argumentointi tähän oli: *Musta absorboi kaikki valon*. Tästä toinen ryhmäläinen jatkoi pohdintaa energia-aukkojen kautta. (Hän oli aiemmassa tehtävässä lukenut aiheeseen liittyvän tekstin.) Tämä selitys lähti aluksi sivuraiteilleen, koska ryhmäläinen selitti lähinnä vain metallisia ja epämetallisia ominaisuuksia vyöteorian ja energia-aukkojen avulla eikä varsinaisesti mitään valoon tai väreihin liittyvää. Lopulta yksi ryhmäläinen päätyi tästä pohjustuksesta malliin, joka selitti hiukkasmallin

mukaisesti värien muodostumisen: *[Elektroni] hyppää ensimmäiseltä kuorelta sinne toiselle kuorelle ni siinä on tietty energia ja tietty valon aallonpituus on samanenergiainen ni sitten se ku se osuu just nappiin se energia ni se [elektroni] pomppaa sinne ylös.* Kolmas ryhmäläisistä pyrki selittämään värit vielä aaltomallin avulla ja koki selityksensä olevan ristiriidassa hiukkasmallin mukaisen selityksen kanssa: *Tää on keltanen sen takii et tää imee kaikki muut aallonpituudet mut se heijastaa keltasen siitähän se johtuu.* Ryhmäläiset alkoivat pohtia, olivatko nämä heidän kuvailemansa mallit vain kaksi eri tapaa selittää asia vai aivan kaksi eri asiaa. Yksi ryhmäläisistä lopulta totesi, että ne eivät varmaan ole kaksi eri asiaa vaan ne liittyvät toisiinsa. Vaikka ryhmä muodosti värien synnystä hiukkasmallin mukaisen mallin, kaikki ryhmäläiset eivät sitä täysin ymmärtäneet ja malli jäi enemmän yhden ryhmäläisen omaksi malliksi kuin koko ryhmän yhteiseksi.

Ryhmä A ei onnistunut muodostamaan mentaalimallia, joka selittäisi laboratorio-työn havainnot eli miksi kultakolloidiliuoksen väri muuttui, kun sinne lisättiin eri määriä ruokasuolaa. Työn viimeisessä vaiheessa, jossa sai käyttää artikkeleita apuna, ryhmäläiset yrittivät muodostaa jonkinlaisia malleja, kuitenkin onnistumatta siinä. Ryhmäläiset eivät osanneet yhdistää artikkelien teoriaa kokeellisen työn havaintoihinsa, jolloin artikkelit eivät tukeneet mallin muodostumista. Lopullinen malli havaitusta ilmiöstä muodostui vasta ohjaajan kanssa käydyn loppuyhteenvedon aikana.

### 6.2.2 Ryhmä B

Ryhmän B jäsenet pohtivat todella pitkään ja syvällisesti työhöjeensä kuvatun reaktion kulkua. He käyttivät aikaa reaktion tasapainotukseen ja reaktion kulun ymmärtämiseen. Kuten ryhmä A, tämäkin ryhmä aloitti pohdinnan hapettumis-pelkistymisreaktion kautta. He kuitenkin miettivät paljon syvällisemmin, mikä reagoi minkäkin kanssa ja mitä siitä muodostuu. Aluksi he olivat hieman epävarmoja, mitä lopputuotteita syntyy. Yhteisen pohdinnan lopputuloksena he päätyivät siihen, että lopputuotteena syntyy ainakin natriumkloridia eli ruokasuolaa. He pyrkivät kirjoittamaan ja tasapainottamaan reaktioyhtälön, jotta heille selviäisi, mitä tuotteita muodostuu ja minkä verran. Reaktioyhtälön tasapainotuksessa korostui sekä hapetuslukujen että ainemäärien tasapainottaminen.

Ryhmä B ei pohtinut värien syntymekanismia samalla tavalla kuin ryhmä A. Ryhmä pohti artikkelien lukemisen jälkeen, mikä selittää liuoksen värin muutokset. He tutkivat tarkkaan artikkelien kuvia ja järkeilivät niiden avulla malliaan. Tämä hankaloitti keskustelun analysoimista, koska he viittasivat puheessaan kuviin, mutta tutkijalla ei ollut tietoa, mistä kuvasta he kulloinkin keskustelivat. Heidän keskustelussaan nousi esiin aaltomallin mukainen tiettyjen aallonpituuksien absorboituminen ja heijastuminen. Näissä pohdinnoissa he miettivät sähkömag-

neettisen säteilyn spektriä laajemminkin, jolloin he käyttivät muun muassa termejä infrapunasäteily, gammasäteily ja radioaalto. *Tarkoittaako se sitä että jos se [liuos] emittoi infrapunaa silloin siitä ei mee läpi muuta — eli eiksen pitäisi näyttää hyvin tummalta.* Toinen ryhmäläinen taas oli sitä mieltä, että silloin liuoksen pitäisi muuttua läpinäkyväksi. He yrittivät järkeillä mallia monesta eri lähtökohdasta. He muun muassa miettivät mustan ja lähinäkyvän nesteen eroa, jolloin he totesivat *Toinen absorboi kaiken [valon] ja toinen ei absorboi.*

Ryhmä B pohti erityisen paljon sitä, miten ruokasuolan lisääminen vaikuttaa liuokseen ja sen väriin. *Ollaanko me myös sitä mieltä et kun se reaktio menee takasin päin ni ne hiput pienenee ja ne on lähempänä toisiaan.* He pyrkivät muodostamaan mallin, joka selittää laboratoriotyön havainnot. He päätyivät omassa mallissaan tasapainoreaktioon, jossa ruokasuolan lisääminen pienentää kultapartikkelien kokoa ja tämän takia partikkelit pääsevät lähemmäs toisiaan, jolloin liuoksen väri muuttuu. He selittivät tätä malliaan tasapainoreaktion avulla, jonka mukaan lopputuotteen (ruokasuola) lisääminen vie reaktion tasapainoa lähtöaineiden puolelle le Chatelier'n periaatteen mukaisesti.

## 7 Päätelmät

Tutkimukseen osallistuneet ryhmät käyttivät kolmeen nanotieteen kehysideaan kuuluvia käsitteitä vaihtelevissa määrin. Mukana on sekä yhden kerran (gravitaatio, radioaalto, valenssielektroni) että useammin esiintyviä käsitteitä (atomi, elektroni, vuorovaikutus implisiittisesti). Tutkimuksen perusteella ei kuitenkaan voi päätellä, että kehysideoiden ja niihin kuuluvien käsitteiden käyttö tukisi opiskelijoiden mallin muodostusta. Mallien muodostaminen ja niiden käyttö vaatii puhetta ja kielen käyttöä [10], joten voitaisiin olettaa, että enemmän ja laaja-alaisemmin termejä käyttävä ryhmä A muodostaisi selkeämmän mallin kultakolloidiliuoksen värin muutokselle. Ryhmä B kuitenkin sai muodostettua selkeämmän mallin, vaikka sekään ei teoreettisena mallina ole täysin oikea. Tuloksia vertailtaessa tulee huomioida, että tässä on tutkittu nimenomaan nanotieteiden kehysideoiden alle lukeutuvien käsitteiden käyttöä ja niiden vaikutusta mentaalimallin muodostumiseen. Tutkimuksessa ei selvitetty sitä, miten muut käytetyt käsitteet vaikuttavat mentaalimallien muodostumiseen. Ryhmän B mallia tutkittaessa tulee myös muistaa, että ryhmässä on ollut jäsen, jonka vaikutusta mallin muodostumiseen ei ole analysoitu. Hänelläkin on voinut ollut merkittävä vaikutus ryhmän yhteiseen malliin.

Vaikka ryhmä B käytti vähemmän erilaisia käsitteitä, voidaan keskustelujen perusteella havaita, että heille muodostui tästä huolimatta tiiviimpi ja selkeämpi kuva laboratoriotyön ilmiöistä. Ryhmä B pohti paljon tarkemmin muun muassa ruokasuolan lisäämisen vaikutusta, joten he myös pohtivat paljon syvällisemmin kultakolloidiliuoksen värin muutosta. Toisin kuin ryhmällä A, ryhmän B väreihin ja niiden näkemiseen liittyvä pohdinta sai motivaation nimenomaan kultakolloidiliuoksen värin muutoksista. Äänitteiden perusteella jäi sellainen vaikutelma, että ryhmä B näki laboratoriotyössä selkeän kokonaisuuden, ja he pyrkivät mallintamaan työn kaikki vaiheet mahdollisimman tarkasti. He pystyivät nivomaan kemialliseen reaktioyhtälöön liittyvän mallinsa ja liuoksen värin muutokseen liittyvän mallinsa yhteen. Vaikka tämä malli ei täysin oikein kuvaa liuoksessa tapahtuvia reaktioita, se on huomattavasti vankemmalla pohjalla kuin ryhmän A lähes olematon malli. Ryhmän B lopullinen malli oli joiltain osin yksinkertaistettu. Ryhmäläiset pyrkivät selittämään ilmiön mahdollisimman yleistajuisesti ja jättivät selityksestä pois muun muassa plasmonit.

Ryhmä A käytti varsin runsaasti käsitteitä jokaisen kolmen kehysidean alta. Mielenkiintoista on, että ryhmä A ei käyttänyt kovin paljon aikaa reaktion kulun miettimiseen tai reaktioyhtälön tekemiseen. Kyseessä oli kemian pääaineopiskelijoista koostuva ryhmä, joten olisi voinut olettaa heidän mieltävän reaktion kulkua syvällisemmin. Voi olla, että ryhmä ajatteli reaktion olevan sen verran yksinkertainen, ettei se vaadi heiltä kovin syvällistä pohdintaa. Reaktion kulkua pohtiessaan

ryhmä A käytti kuitenkin varsin runsaasti käsitteitä. He puhuivat muun muassa ioneista, klustereista ja implisiittisesti kompleksiyhdisteistä. Reaktion kulun pohtiminen oli kuitenkin niin pintapuolista, että siitä ei muodostunut minkäänlaista selkeää mentaalimallia. Ainoastaan värien syntyyn liittyvään pohdintaan ryhmä A käytti selkeästi aikaa, ja he pyrkivät löytämään yhteisen mallin. Lähes kaikki ryhmän A kvantti-ilmioihin kuuluvat käsitteet tulivat heidän värien syntyä koskeessa keskustelussa. He mallinsivat ilmiötä pääosin hiukkasmallin avulla, jolloin selityksessä oli mukana muun muassa käsitteet elektroni, virittyminen (implisiittisesti ja eksplisiittisesti) ja implisiittisesti energia-aukko. Laaja käsitteiden kirjo ei kuitenkaan helpottanut mallin muodostumista, vaikka kaikki käytetyt käsitteet olivat välttämättömiä, jotta ryhmäläisille saattoi muodostua hiukkasmallin mukainen mentaalimalli. Äänitteen perusteella kuitenkin jäi sellainen vaikutelma, että kaikki ryhmäläiset eivät edelleenkään olleet varmoja hiukkasmallin mukaisen mallin oikeellisuudesta. Yksi ryhmäläisistä pyrki selittämään asiaa aaltomallin avulla ja näki ristiriidan mallien välillä. Yhtenä syynä tähän ristiriitaisuuteen on se, että aaltomalli ei tosiaankaan pysty selittämään värien muodostumista [10]. Ryhmän A epävarmuus värien muodostumista selittävästä mallista tukee Rutherfordin [10] käsitystä siitä, että valon erilaiset mallit ja niiden käyttörajoitukset ovat opiskelijoille epäselviä.

Ryhmä A käytti kultakolloidiliuoksen värin muutosta selittävässä mallissaan useasti käsitettä plasmoni. Nauhoitteen perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että ryhmäläisille ei täysin selvinnyt artikkelien pohjalta, mitä plasmonit ovat, joten heidän mallinsakin jäi varsin epämääräiseksi. Ryhmäläiset kyllä tutkivat artikkeleita ja yrittivät selittää havaintoja niiden pohjalta, mutta ryhmälle ei muodostunut mitään selkeää mallia. Ryhmäläiset ymmärsivät yksittäisiä teoriaosuuksia artikkeleista, mutta eivät osanneet yhdistää niitä oikealla tavalla havaintoihinsa. He muun muassa ajattelivat, että ruokasuolan lisääminen lisää liuoksessa olevien plasmonien määrää, jolloin väri muuttuu. Yksi ryhmäläinen totesi pohdinnan loppuvaiheessa *Eiku onks se et niitä tulee enemmän niitä hiukkasia. Mä en tiie liittyyks tää siihen etäisyyteen*. Ryhmän lopullinen malli muodostui ohjaajan kanssa käydyn keskustelun aikana.

Ryhmän B puheessa painottui tiettyjen käsitteiden käyttö ja heidän puheessaan esiintyi aineen rakenteeseen sekä voimiin ja vuorovaikutuksiin liittyviä käsitteitä lähes yhtä paljon. Sen sijaan kvantti-ilmioihin liittyvänä käsitteenä esiintyi ainoastaan elektroni. Tämä selittyi sillä, että ryhmäläiset ilmoittivat suoraan jättävänsä kvanttiteorian pois malleistaan. He käyttivät paljon implisiittisesti sitoutumiseen (10) ja vuorovaikutukseen (12) liittyviä käsitteitä pohtiessaan tehtäviä. Nämä kaksi käsitettä ovat varsin oleellisia kemiallisissa reaktioissa ja muissa työssä havaittavissa ilmiöissä, joten niiden käyttö voidaan tulkita mallin muodostukseen liittyväksi ja sitä tukevaksi. Vaikka ryhmän A puheessakin korostui monet voi-



miin ja vuorovaikutuksiin liittyvät termit, ne yksin eivät riittäneet selkeän mallin muodostumiseen. Ryhmä B muodosti mentaalimallin, jonka mukaan ruokasuolan lisääminen sai aikaan sen, että kultapartikkelit pienenevät ja näin pääsevät lähemmäs toisiaan, jolloin liuoksen väri muuttui kohti sinistä. Ryhmä perusteli tätä malliaan le Chatelier'n periaatteen avulla. Tässä on kuitenkin selkeä ristiriita teorian kanssa, koska kultapartikkelien koon pieneneminen muuttaa liuoksen väriä kohti punaista ja toisaalta partikkelien läheneminen muuttaa väriä kohti sinistä. Tämä ristiriita selittyy sillä, että opiskelijoilla ei ollut ilmiön ymmärtämiseen vaadittavaa teoriapohjaa olemassa entuudestaan. Englannin kielisten artikkelien avulla ei selviä partikkelien koon merkitys liuoksen väriin, joten sen opiskelijat olivat päätelleet oman mallinsa avulla. Opiskelijat olivat kuitenkin päässeet mallissaan siihen tulokseen, että kulta-atomien täytyy lähentyä, mikä on totta. Laboratoriotyön ohjaajan kanssa käydyn keskustelun jälkeen ryhmäläisille selvisi syy, miksi kulta-atomit lähenivät toisiaan.

Näiden ryhmien osalta johtopäätös on, että yksittäisten käsitteiden runsas käyttö ei yksin riitä selkeän mentaalimallin muodostumiseen. Päinvastoin tiettyjen käsitteiden toistuva käyttö tukee mallien muodostumista, koska samojen käsitteiden runsas käyttö on merkki asian perusteellisesta pohtimisesta. Tutkimuksen kohteena olleen laboratoriotyön kultakolloidiliuoksen värin muutoksen mallintamiseksi opiskelijat tarvitsivat mallin kemiallisen reaktion vaiheista ja värien muodostumiseen liittyvän mallin. Kultakolloidiliuoksen värin muutoksen ymmärtämiseksi tarvittava syvällinen teoria on kuitenkin oletettavasti tutkimuksen aikana kaikille opiskelijoille tuntematon. He siis muodostivat mallinsa sen perusteella, mitä he tiesivät aiemmin, mitä havaitsivat laboratoriotyön aikana ja mitä pystyivät sisäistämään luettavina olleista artikkeleista. Tästä syystä uskon, että opiskelijoiden pohjatiedoilla oli merkittävä vaikutus mentaalimallien muodostumiseen. Väitän, että hyvät pohjatiedot helpottavat mallin muodostumista. Mikäli opiskelijalla on pohjatietojen avulla luotuna jo jonkinlainen mentaalimalli, uuden mentaalimallin muodostaminen ja muokkaaminen on helpompaa. Tällöin opiskelija luultavasti onnistuu tekemään mallin muokkaamisen myös vähemmällä keskustelulla ryhmäläisten kanssa, koska hän ei tarvitse niin paljon tukea mallin muokkaamiseen.

Sivulla 4 oleva kuva 1 havainnollistaa, miten tutkittava ilmiö, ilmaistu malli ja mentaalimalli ovat kytköksissä toisiinsa. Tutkimuksen aikana myös tutkijalle väistämättä muodostuu ilmiöstä oma mentaalimalli. Tutkimuksessa täytyy olla todella huolellinen sen suhteen, että tutkija todella tutkii opiskelijoiden mentaalimalleja eikä yritä nähdä niissä omia mentaalimallejaan. Opiskelijoiden mentaalimalleihin päästään käsiksi heidän ilmaistujen mallien avulla [12, 14, 15]. Tutkija muodostaa oman mentaalimallinsa opiskelijoiden ilmaistujen mallien perusteella siitä, minkälaisia opiskelijoiden mentaalimallit ovat [15]. Mentaalimallien tutkiminen

on tästä syystä hankalaa. Tutkijan mentaalimallin tulee rakentua sen perusteella, mitä ja miten opiskelijat keskustelevat ilmiöistä [15]. Esimerkiksi, kun ryhmä A pohti värien syntymistä, jokainen ryhmän jäsen oli hieman epävarman kuuloinen selityksen aikana ja he hakivat varmistusta toisiltaan pienillä kysymyksillä. Tästä muodostui tutkijalle käsitys, että heidän mentaalimallinsa eivät olleet täysin yhteneviä keskenään ja he olivat epävarmoja niistä.

Tässä tutkimuksessa mentaalimalleja tutkittiin ainoastaan ääninauhoitteiden perustella, jolloin ilmaistut mallit olivat puhuttuja. Puhuttujen mallien lisäksi opiskelijoiden mentaalimalleja olisi voitu kartoittaa esimerkiksi piirrosten avulla. Mielestäni tutkimuksessa käytetyllä tutkimustavalla saadaan hyvä käsitys opiskelijoiden mentaalimalleista. Mikäli tutkimukseen kuitenkin haluttaisiin saada enemmän luotettavuutta, tutkittavia ryhmiä tulisi olla enemmän, jotta saataisiin paremmin vertailtua eri ryhmien mallin muodostumista ja käsitteiden käytön vaikutusta siihen. Jonkilaiset kirjoitetut tai piirretyt mallit olisivat saattaneet helpottaa mentaalimallien tutkimista erityisesti ryhmän A kohdalla. Fysiikan mentaalimallien tutkimisessa kannattaa mielestäni käyttää monenlaisia datan keruutapoja samanaikaisesti, kuten muun muassa Corpuz [15, 16] ja Hrepic [17] kollegoineen ovat tehneet. Tutkimuksen luotettavuutta lisäisi myös se, että käsitteiden koodauksen tekisi vähintään kaksi eri tutkijaa. Erityisesti implisiittisten koodien osalta olisi hyvä, jos koodauksen tekee useampi henkilö. Koodaajat voivat tulkita jonkin implisiittisen käsitteen eri tavoin, jolloin on tärkeää, että näistä käsitteistä keskustellaan perusteellisesti. Useamman koodaajan tekemän koodauksen perusteella koodeja pystytään vertailemaan keskenään, jolloin voidaan havaita mahdollisia ristiriitoja koodien välillä. Mikäli kaikki tai ainakin suurin osa koodeista on samoja, koodauksen luotettavuus on huomattavasti parempi kuin yhden ihmisen koodaamana.

Kun opiskelijoiden mentaalimalleja tutkitaan kokeellisen työskentelyn kautta, tulee tehtävänantojen rakennetta miettiä huolellisesti. Tehtävänantojen tulisi tukea mallien tutkimista. Niiden tulisi selkeästi ohjata opiskelijaa vaihe vaiheelta kohdi ilmiöstä muodostettavaa mentaalimallia. Tässä tutkimuksessa opiskelijoiden lopullinen mentaalimalli rakentui kahden mallin pohjalta, jotka he muodostivat työn edetessä. Paremman luotettavuuden saavuttamiseksi seuraavissa tutkimuksissa tulisi käyttää tutkimusaineistona äänitteiden lisäksi piirroksia ja kirjallisten tehtävien vastauksia. Tällöin tehtävänannoissa tulee myös painottaa perustelujen ja selkeiden kuvien tärkeyttä. Oleellista on, että opiskelijat myös selittävät piirtämiään kuvia. Kuvien selventämisen voi tehdä myös työskentelyn jälkeen haastattelujen avulla. Haastattelut kannattaa kuitenkin suorittaa välittömästi työskentelyn jälkeen, jotta opiskelijalla on vielä muistissaan, mitä hän todella on ajatellut kuvaa piirtäessään.

Mikäli myöhemmissä tutkimuksissa ollaan kiinnostuneita nimenomaan käsitteiden käytön yhteydestä mentaalimallien muodostumiseen, opiskelijoiden puhe on edelleen merkittävin tutkimusaineisto. Puheessa opiskelijat käyttävät laajemmin erilaisia käsitteitä kuin kirjoitetussa muodossa, jolloin käsitteiden vaikutuksesta mentaalimallien syntymiseen saa luotettavamman kuvan. Tehtävänantojen tulisi tässäkin tapauksessa olla sellaisia, että ne vaihe vaiheelta johdattavat opiskelijoiden keskustelua. Opiskelijoita tulisi myös ohjeistaa siihen, että he perustellen pohtivat asioita ääneen. Tällöin tutkimusaineisto olisi varmasti riittävän kattava mentaalimallien tutkimiseen. Mielestäni ainoastaan laajat essee-tyyppiset vastaukset soveltuvat yksinään kirjalliseksi tutkimusaineistoksi, jos ollaan kiinnostuneita käsitteiden yhteydestä mentaalimallien muodostumiseen. Tällaisten essee-vastausten tekeminen kokeellisen työskentelyn yhteydessä on kuitenkin usein mahdotonta, joten silloin tutkimuksen toteutus poikkeaa tämän tutkimuksen toteutuksesta.

## Viitteet

- [1] N. Mercer, L. Dawes, R. Wegerif, and C. Sams. Reasoning as a scientist: ways of helping children to use language to learn science. *British Educational Research Journal*, 30(3):359–378, 2004.
- [2] R. Säljö. Learning in a sociocultural perspective. In V.G. Aukrust, editor, *Learning and Cognition in Education*, pages 59–63. Elsevier Limited, 2011.
- [3] J.V. Wertsch. Vygotsky and recent developments. In V.G. Aukrust, editor, *Learning and Cognition in Education*, pages 40–45. Elsevier Limited, 2011.
- [4] I. M. Greca and M. A. Moreira. The kinds of mental representations – models, propositions and images – used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, 19(6):711–724, 1997.
- [5] K. Hogan. Sociocognitive roles in science group discourse. *International Journal of Science Education*, 21(8):855–882, 1999.
- [6] J. Bennet, S. Hogarth, F. Lubben, B. Campbell, and A. Robinson. Talking science: The research evidence on the use of small group discussions in science teaching. *International Journal of Science Education*, 32(1):69–95, 2010.
- [7] D. Hestenes. Modeling theory for math and science education. In R. Lesh, C. R. Haines, P. L. Galbraith, and A. Hurford, editors, *Modeling Students' Mathematical Modeling Competencies*, pages 13–41. Springer US, 2010.
- [8] J.K. Gilbert, C.J. Boulter, and R. Elmer. Positioning models in science education and in design and technology education. In J.K. Gilbert and C.J. Boulter, editors, *Developing Models in Science Educations*, pages 3–17. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [9] B.C. Buckley and C.J. Boulter. Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In J.K. Gilbert and C.J. Boulter, editors, *Developing Models in Science Educations*, pages 119–135. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [10] M. Rutherford. Models in the explanations of physics: The case of light. In J.K. Gilbert and C.J. Boulter, editors, *Developing Models in Science Educations*, pages 253–269. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [11] R. D. Knight. *Physics for Scientist and Engineers with Modern Physics: A Strategic Approach*. Pearson Addison-Wesley, second edition, 2008.
- [12] I. M. Greca and M. A. Moreira. Mental, physical and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education*, 86(1):106–121, 2002.
- [13] S. Vosniadou. Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1):45–69, 1994.
- [14] S. Vosniadou. Mental models in conceptual development. In L. Magnani and

- N. Nersessian, editors, *Model-based reasoning: Science, Technology, Values*. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [15] E. D. Corpuz and N. S. Rebello. Investigating students' mental models and knowledge construction of microscopic friction. I. implications for curriculum design and development. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 7(2), 2011.
- [16] E. D. Corpuz and N. S. Rebello. Investigating students' mental models and knowledge construction of microscopic friction. II. implications for curriculum design and development. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 7(2), 2011.
- [17] Z. Hrepic, D.A. Zollman, and N.S. Rebello. Identifying students' mental models of sound propagation: The role of conceptual blending in understanding conceptual change. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 6(2), 2010.
- [18] F. Marton. Phenomenography - describing conceptions of the world around us. *Instructional Science*, 10(2):177–200, 1981.
- [19] K.-H. Su, Q.-H. Wei, X. Zhang, J. J. Mock, D. R. Smith, and S. Schultz. Interparticle coupling effects on plasmon resonances of nanogold particles. *Nano Letters*, 3(8):1087–1090, 2003.
- [20] J. Winter. Gold nanoparticle biosensors. [http://www.nsec.ohio-state.edu/teacher\\_workshop/Gold\\_Nanoparticles.pdf](http://www.nsec.ohio-state.edu/teacher_workshop/Gold_Nanoparticles.pdf). Luettu:10.7.2012.
- [21] S.R. Elliot. *The Physics and Chemistry of Solids*. John Wiley & Sons Ltd, first edition, 1998.
- [22] D.J. Campbell and Y. Xia. Plasmons: Why should we care? *Journal of Chemical Education*, 84(1):91–96, 2007.
- [23] W. Rechberger, A. Hohenau, A. Leitner, J. R. Krenn, B. Lamprecht, and F. R. Aussenegg. Optical properties of two interacting gold nanoparticles. *Optics Communications*, 220(1-3):137–141, 2003.
- [24] A.D. McFarland, C.L. Haynes, C.A. Mirkin, R.P. Van Duyne, and H.A. Godwin. Color my nanoworld, JCE Classroom Activity. *Journal of Chemical Education*, 81(4):554A, 2004.
- [25] S.Y. Stevens, L.M. Sutherland, and J.S. Krajcik. *The Big Ideas of Nanoscale Science and Engineering*. National Science Teachers Association, NSTA press, first edition, 2009.
- [26] R. E. Scherr. Video analysis for insight and coding: Examples from tutorial in introductory physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 5(2), 2009.
- [27] J. Wiley and B.D. Jee. Cognition: Overview and recent trends. In V.G. Aukrust,

- editor, *Learning and Cognition in Education*, pages 3–8. Elsevier Limited, 2011.
- [28] K. Hogan, B. K. Nastasi, and M. Pressley. Discourse patterns and collaborative scientific reasoning in peer and teacher-guided discussions. *Cognition and Instruction*, 17(4):379–432, 2000.

## **A Nanohiukkaset ja värit -työkaavake**

Nanotiede ja teknologia -kurssin opiskelijoille jaettu työkaavake. Työkaavakkeen on laatinut väitöskirjatutkija Anna-Leena Kähkönen.

Nimi: \_\_\_\_\_ Aloitus klo: \_\_\_\_\_

Ryhmän muut jäsenet: \_\_\_\_\_

# Nanohiukkaset ja värit

---

Tässä työssä pohditaan, miten eri tavoilla syntyy värejä nähtäväksemme, ja mitä tekemistä niillä on nanotieteiden kanssa. Kokeellisessa osuudessa syntetisoidaan nanokultahiukkasia. Sitä ennen työssä on alustus- ja tiedonhankintatehtäviä (tehtävät 1 ja 2).

1.

Tee alkupohdinta ensin itsenäisesti ja vertaa sitten vastauksia ryhmäsi kanssa.

Muistele omistamiasi tai käyttämiäsi tuotteita, joissa oli/on väriä vaihtava osa (esim. Barbie, jonka hiukset vaihtoivat väriä, kun ne kasteltiin kylmällä vedellä). Kirjoita ylös niin monta tuotetta kuin tulee mieleesi.

Jaa tulokset ryhmäsi kanssa. Valitkaa joku esimerkeistänne ja miettikää yhdessä, miten värin vaihtaminen on toteutettu – millaisesta muutoksesta materiaalissa voisi olla kyse? Oikeaa vastausta voi olla vaikea selvittää tarkasti, koska se on usein tuotesalaisuus, mutta joitain mekanismeja tunnetaan yleisellä tasolla.

Esitä ehdotuksenne mekanismeista alle, voit käyttää piirrosta apuna:



2.

Ennen yliopistoa opitaan, että esine on jonkin värinen, koska se absorboi tiettyä aallonpituutta ja heijastaa loput. Tämä on tosi mutta hyvin pintapuolinen näkemys väreistä!

Tutustukaa sivustoon <http://www.webexhibits.org/causesofcolor>

Kunkin ryhmän jäsenen tehtävänä on selvittää yksi ao. kysymyksistä (ympyröi se, jonka selvität itse).

Älä huolestu, jos et ymmärrä täysin sivulla olevaa selitystä; osassa on jo aika syvälle menevää kemiaa, fysiikkaa tai biologiaa mukana. Käykää löytyneet selitykset ryhmässä läpi ja käyttäkää omien pääaineidenne asiantuntemusta hyväksi ja kyselkää muilta ryhmiltä ja ohjaajilta, kunnes arvelette suunnilleen ymmärtäneenne kunkin kohdan.

- a) Miksi Morpho-perhonen on kirkkaan sininen?
- b) Miten tulikärpänen (*firefly*) valaisee?
- c) Mistä kadmiumin (*Cadmium*) keltainen väri tulee?
- d) Miten punakaali (*red cabbage*) toimii pH-indikaattorina?

# Nanokultahiukkasten synteesi

Työssä tarvitaan seuraavat välineet:

- Erlenmeyer-lasi ja 100ml mittalasi
- sekoitustikku
- keittolevy
- koeputkeline ja 5 koeputkea
- kertakäyttöisiä pipettejä

Työssä käytettävät kemikaalit ovat ärsyttäviä ja siksi työn aikana käytetään **suojahanskoja**. Ole varovainen kuumentaessasi kemikaaleja keittolevyllä.

## Työn vaiheet

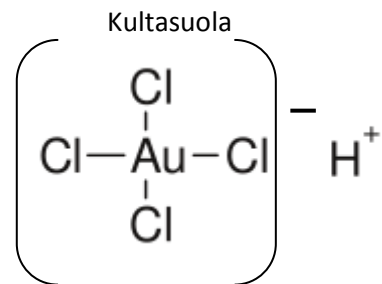
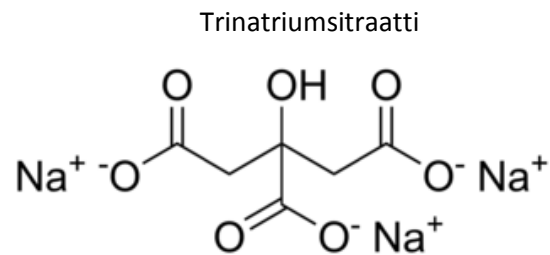
Kukin ryhmä kerää tarvittavat aineet työpisteelle, pienet määrät voi kerätä kertakäyttöpipetteihin.

Aine	Kemiallinen kaava	määrä
kultasuolaa (vetytetrakloroauraattia) 10 mMol liuoksena	HAuCl <sub>4</sub>	1 ml
trinatriumsitraattia 1% liuoksena	Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub>	1 ml
ruokasuolaa	NaCl	n. 0,5g
Tislattua vettä	H <sub>2</sub> O	100 ml

Trinatriumsitraatti on mm. lisäaine E331-koodilla, se on yksi sitruunahapon suoloista. Kultasuolaa taas saadaan esimerkiksi kun kulta liukenee kuningasveteen.

Kumpikin yhdisteistä liukenee helposti veteen. Tässä työssä yhdistetään nämä vesiliuokset keskenään. Alla olevissa rakennemalleissa on kummankin yhdisteen molekyylien rakenne kuvattuna ennen veden lisäämistä. Pohtikaa ja ennustakaa, miten nämä molekyylit käyttäytyvät kuumassa vedessä ja mitä liuokset yhdistettäessä tapahtuu.

Vinkki: Miten näistä syntyisi hapetus-pelkistysreaktio, jonka tuloksena saadaan kultahiukkasia?



Selitystä ja/tai piirroksia:

Valmistetaan nyt edellä kuvailtuun tapaan eli **Turkevichin menetelmällä** nanokultaliuosta:

Mittaa Erlenmeyer-lasiin 40 ml vettä. Lisää 1 ml kultasuolaliuosta.

Kuumenna neste kiehuksi keittolevyllä ja sekoita välillä.

Lisää 1 ml trinitriumsitraattia. Nyt liuosta on sekoitettava jatkuvasti. Anna kiehua rauhallisesti ja sekoita n. 10 min ajan. Ota Erlenmeyer-lasi pois keittolevyltä ja anna seoksen jäähtyä hetken.

Olet valmistanut kultakolloidiliuosta!

Kuvaile liuoksen väriä:

Mitä ”kolloidi” tarkoittaa?

Millaisia voimia liuoksen nanohiukkasten välillä vaikuttaa?

Ennusta, miksi ja mitä tapahtuu, jos liuokseen lisätään ruokasuolaliuosta?

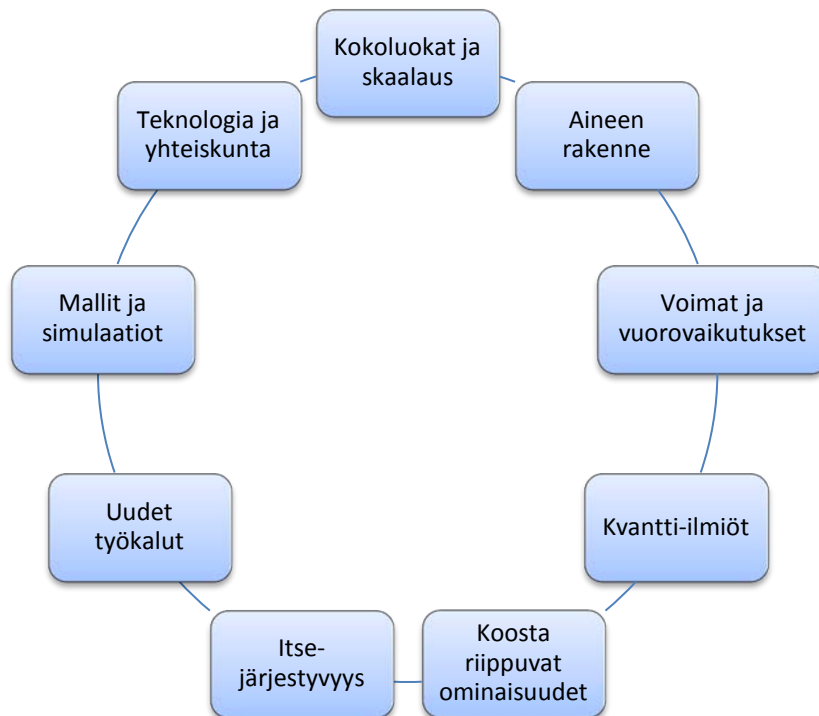
Jaa kultakolloidiliuos tasan viiteen koeputkeen.

Valmista ruokasuolaliuos ruokasuolasta ja n. 10 millilitrasta tislattua vettä. Lisää suolaliuosta pipetillä koeputkiin seuraavasti:

1. koeputkeen ei lisätä mitään
2. koeputkeen lisätään 1-2 pisaraa suolaliuosta
3. koeputkeen lisätään 4-5 pisaraa suolaliuosta
4. koeputkeen lisätään n. 10 pisaraa suolaliuosta
5. koeputkeen lisätään pelkkää tislattua vettä n. 10 pisaraa

Kuvaile liuosten värejä:

Keskustelkaa nyt ryhmässä siitä, miten liuos ja sen nanopartikkelit muuttuivat, kun siihen lisättiin suolaa. Mitä (yhtä tai useampaa) nanotieteen 9. kehysideasta käyttäisitte kuvailemaan tätä ilmiötä?



Tutustutaan vielä tarkemmin nanokultaliuoksen värin syntyyn. Metallisen kappaleen pinnalla tapahtuu jatkuvasti plasman värähtelyjä, ja nämä värähtelyt ovat kvantittuneita. Plasman värähtelykvanttia kutsutaan *plasmoniksi*. Taajuudeltaan ja aallonpituudeltaan sopivat plasmonit muodostavat kappaleen pintaan ikään kuin seisovia aaltoja. Vain tietyt valon aallonpituudet kytkeytyvät näihin plasmoneihin. Kun muut heijastuvat pinnasta, ne määräävät kappaleen havaittavan värin.

Vaikka nanokultahiukkaset ovat paljon valon aallonpituuksia pienempiä, niiden pinnoille sopii plasmoneita, jotka aiheuttavat liuokselle havaittavan värin. Selailkaa näitä kahta artikkelia ja tulkitkaa, mitä värille tapahtuu, kun kaksi nanokultahiukkasta tuodaan lähelle toisiaan:

*Optical properties of two interacting gold nanoparticles*

W. Rechberger, A. Hohenau, A. Leitner, J.R. Krenn, B. Lamprecht, and F.R. Aussenegg (2003).  
Optics Communications, Volume 220, Issues 1–3, p. 137-141.

*Interparticle Coupling Effects on Plasmon Resonances of Nanogold Particles*

K.-H. Su, Q.-H. Wei, and X. Zhang\* J. J. Mock, D. R. Smith, and S. Schultz (2003).  
Nano Letters, Volume 3, Issue 8, p. 1087-1090.

Esittäkää lopuksi kattava selitys (sitä kuin sen näillä tiedoin ymmärrätte) sille, miksi kultakolloidiliuoksen väri muuttui: