

Peruskoulun yläluokkien oppikirjojen kuvat oppilaiden virheellisten
ennakkokäsitysten vahvistajina: valo ja siihen liittyvät ilmiöt

Anna-Mari Piippo

Pro gradu-tutkielma

Jyväskylän Yliopisto, Fysiikan laitos

26. huhtikuuta 2010

Ohjaajat: Juha Merikoski

Jouni Viiri

Tiviistelmä

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on luoda katsaus peruskoulun 7.-9. luokkien oppilaiden valoa ja näkemistä koskeviin ennakkokäsityksiin sekä oppikirjojen kuviin näistä aiheista. Erityisesti luonnontieteissä on aina pyritty kuvalliseen havainnollistamiseen (Pozzer & Roth, 2003) ja niinpä esimerkiksi fysiikan oppikirjoissa on runsaasti kuvia. Viime vuosina on kuitenkin esitetty toiveita kuvien laadun parantamista niiden määrän lisäämisen sijaan (Kautto & Peltoniemi, 2006).

Oppikirjojen kuvituksesta ei vielä ole tehty laajaa, yhtenäistä tutkimusta, joten esimerkiksi se, miten oppilaat käyttävät kuvia ja mikä on kuvien rooli oppimisessa, on vielä epäselvää. Vaikka kuvat voivat auttaa oppimisessa, voi niistä olla myös suoranaista haittaa, mikäli ne tarjoavat vahvistusta oppilaiden virheellisille ennakkokäsityksille. Tavoitteena onkin selvittää, millaisia kuvia oppikirjoista löytyy, ja saavatko oppilaat kuvista tukea virheellisille ennakkokäsityksilleen. Oppilaiden ennakkokäsityksiä on tutkittu runsaasti ja niinpä niiden selvittämisessä hyödynnettiin aiempia tutkimuksia. Oppikirjoja niin ikään on tutkittu paljon, mutta tutkimus on painottunut tekstiin ja tekstinymmärtämiseen. Tätä tutkimusta varten oppikirjoiksi valittiin seitsemän 7.-9. luokkien fysiikan oppikirjaa ja kaksi maantiedon oppikirjaa kolmelta eri kustantajalta. Kirjoista tarkasteltiin valoa, näkemistä ja näihin liittyviä ilmiöitä käsittelevien kappaleiden kuvitusta.

Tutkimuksessa havaittiin, että oppikirjoista löytyy sekä oppilaiden virheellisiä ennakkokäsityksiä vahvistavia kuvia että fysikaalisesti oikean, tieteellisen käsityksen kehittymistä tukevia kuvia. Lisäksi havaittiin, että oppikirjoista puuttuu kuvia oppilaille tunnetusti hankalista aiheista, kuten näkemisestä. Kuitenkin oppikirjojen sivuilla tuntuu olevan käytettävissä ylimääräistä tilaa, koska kirjoista löytyy myös neutraaleja, lähinnä koristeena toimivia kuvia. Näkemisen ymmärtämisen havaittiin olevan avain monien muiden valoon liittyvien ilmiöiden ymmärtämiseen, ja ennakkokäsityksiä koskevien tutkimusten mukaan oppilaat eivät useinkaan ole selvillä siitä, mihin näkeminen perustuu. Tämä seikka olisi syytä huomioida paremmin oppikirjojen kuvitusta suunniteltaessa. Joissain tapauksissa myös kuvien sijoittelussa aiheita käsittelevän tekstin yhteyteen ja kuvatekstien käytössä havaittiin olevan parantamisen varaa.

Sisällysluettelo

1. Johdanto	1
2. Oppikirjojen ja niiden kuvituksen tutkiminen	3
2.1 Oppikirjojen kuvat tutkimuskohteena	4
2.2 Millaisia kuvia oppikirjoissa on?	5
2.3 Mihin oppikirjojen kuvitusta tarvitaan?	7
2.3.1 Kuvien merkitys oppimisessa	7
2.3.2 Kuvien käyttö opetuksessa.....	9
2.4 Tutkimuksessa käytetyt oppikirjat	9
2.4.1 Fysiikan oppikirjat	10
2.4.2 Maantiedon oppikirjat.....	12
3. Oppilaiden ennakkokäsitykset	14
3.1 Ennakkokäsitysten tutkimus	14
3.2 Ennakkokäsitykset ja niiden synty	15
3.2.1 Mitä ennakkokäsitykset ovat?.....	15
3.2.2 Virheelliset ennakkokäsitykset.....	16
3.3 Oppilaiden ennakkokäsityksiä valosta ja siihen liittyvistä ilmiöistä	17
3.3.1 Missä valoa on?.....	17
3.3.2 Valon eteneminen	18
3.3.3 Valon heijastuminen	20
3.3.4 Valon taittuminen.....	22
3.3.5 Varjot	24
3.3.6 Värit	24
3.3.7 Näkeminen	25
3.3.8 Näköhavaintojen rajoitukset - Maan pallonmuotoisuus.....	27
3.3.9 Maa ja Aurinko	29
3.3.10 Yön ja päivän vuorottelu.....	31
3.3.11 Vuodenaikojen vaihtelu	32

3.3.12 Yhteenveto oppilaiden ennakkokäsityksistä	36
4. Oppikirjojen kuvat suhteessa oppilaiden ennakkokäsityksiin	37
4.1 Valoa on vain valonlähteen lähellä	37
4.2 Valo heikkenee edetessään	38
4.3 Valo heijastuu vain peilistä	39
4.4 Varjo on heijastus tai tummempaa valoa	42
4.5 Värit ovat kappaleen ominaisuus, eivätkä liity valoon	44
4.6 Näkösäteet mahdollistavat näkemisen	45
4.7 Maa on tasainen	46
4.8 Aurinko on pieni ja lähellä Maata	48
4.9 Maa on paikallaan ja Aurinko liikkuu	49
4.10 Maan kiertorata Auringon ympäri on ellipsi, ja vuodenaikojen vaihtelu johtuu Maan ja Auringon välisen etäisyyden vaihtelusta	51
4.11 Yhteenveto oppikirjojen kuvista	52
5. Johtopäätökset	54
Kirjallisuus	57
Aineslähteet (oppikirjat)	57
Lähteet	57

1. Johdanto

Alkusysäyksen tämän tutkimuksen tekemiseen katson saaneeni jo vuosia sitten. Kuvallinen ilmaisu on aina kiinnostanut minua, ja olen omaksi ilokseni harrastanut piirtämistä ja valokuvaamista alakouluajoista lähtien. Opintieni varrella muistan usein katselleeni tarkasti oppikirjojen kuvia ja joskus kummastelleeni, mitä ihmettä jollain tietyllä kuvalla oikein on yritetty kertoa. Lopullinen ajatus tämän tutkimuksen toteuttamisesta kypsyi opettajan pedagogisten opintojen aikana. Fysiikan ainedidaktiikan kursseilla keskustelimme useampaankin otteeseen opetuksessa käytettävistä kuvista, etenkin niiden virheistä tai omituisesta tavasta esittää asioita. Koska nykyisen konstruktivistisen näkemyksen mukaan oppilas itse rakentaa tietoa omien ennakkokäsitystensä pohjalta, tuntui luontevalta valita tähän tutkimukseen kuvien tarkastelun näkökulmaksi oppilaiden ennakkokäsitykset. Tutkimuksen päätarkoituksena on selvittää, saavatko oppilaat oppikirjojen kuvista vahvistusta virheellisille ennakkokäsityksilleen.

Oppilaiden ennakkokäsityksiä on tutkittu paljon ja tutkimuksia aihealueittain ovat listanneet esimerkiksi Osborne ja Freyberg (1985, ss. 13-14). Perehtyessäni oppikirjojen kuvitusta koskevaan kirjallisuuteen ja asian tiimoilta tehtyihin tutkimuksiin kävi ilmi, että aiheessa riittää vielä tutkittavaa. Oppikirjojen kuvien määrällinen lisääntyminen ja niiden tutkimuksen puute on todettu jo kauan sitten (esim. Mikkilä & Olkinuora, 1995), mutta kuvan monisyisyys ja haastavuus tutkimuskohteena, tehtyjen tutkimusten suppeus sekä tutkimusten erilaiset lähtökohdat ja tavoitteet ovat kaikki osaltaan hankaloittaneet yhtenäisen kuvia koskevan teorian muodostumista (Hannus, 1996). Viime vuosina monialainen yhteistyö kuvatutkimuksen saralla on kuitenkin päässyt alkuun, joten tuloksiakin lienee odotettavissa (Gilbert, 2005).

Tutkimuksia, jotka käsitelisivät oppikirjojen kuvia suhteessa oppilaiden ennakkokäsityksiin en onnistunut löytämään tai saamaan käsiini yhtäkään. Kikas (1998) tutki oppilaiden selityksiä vuodenaikojen vaihtelulle. Hän havaitsi, että oppilaat käyttävät selityksissään usein arkielämän kokemuksiin perustuvaa etäisyysteoriaa, jonka mukaan lämmönlähteen lähellä on lämpimämpää. Hän mainitsee tutkimuksessaan myös oppikirjoissa yleisesti käytetyn kuvan ellipsin muotoisesta Maan kiertoradasta Auringon ympäri vahvistavan etäisyysteoriaa. Schussler (2008) tutki lasten- ja nuortenkirjojen käyttöä opetuksessa ja näistä kirjoista oppilaille mahdollisesti syntyviä virhekäsityksiä. Virhekäsitysten osalta tutkimus kuitenkin keskittyi tekstiin eikä kuviin, ja oppilaiden ennakkokäsityksiä ei tutkimuksessa käsitelty, vaikka ne toki ovat vaikuttaneet oppilaille

syntyneisiin virhe käsityksiin. Esimerkiksi Rapp (2005) on kuitenkin esittänyt tutkittavaksi, millaisella visualisoinnilla pystyttäisiin parhaiten kumoamaan oppilaiden virheellisiä ennakkokäsityksiä, joiden tiedetään haittaavan oikean, tieteellisen käsityksen omaksumista.

Koska oppilaiden ennakkokäsitysten ja oppikirjojen kuvien tutkiminen aihepiiriä tarkemmin rajaamatta tarjoaa valtavan laajan tutkimuskentän, oli aiheen rajaaminen yhteen tai kahteen koulufysiikan aihealueeseen tarpeen. Vaatimuksena oli, että aihealueesta löytyy valmiita oppilaiden ennakkokäsityksiä koskevia tutkimustuloksia. Tietysti aiheen olisi myös hyvä olla edes jollain tavalla mielenkiintoinen ja liittyä arkielämään, ja nämä seikat yhdistettynä runsaaseen ennakkokäsityksiä koskevaan tutkimustietoon johtivat valon ja siihen liittyvien ilmiöiden valitsemiseen aihepiiriksi. Valoon liittyvillä ilmiöillä tarkoitetaan tässä esimerkiksi valon taittumista, heijastumista, varjojen muodostumista, värien aistimista sekä vuorokauden- ja vuodenaikojen vaihtelua.

Kaikkia edellä mainittuja ilmiöitä yhdistää eräs valoon liittyvä ilmiö, joka on nousee toistuvasti esiin näistä ilmiöistä puhuttaessa. Tämä ilmiö on näkeminen. Mielenkiintoisen siitä tekee se, että se on samalla sekä yksi tutkittavista valoon liittyvistä ilmiöistä, että havaintomenetelmä, jolla näitä ilmiöitä tutkitaan. Näin ollen näköaistin avulla tehdyillä havainnoilla on myös rajoituksensa. Koska näkeminen on näin oleellisessa osassa monia muita ilmiöitä pohdittaessa, voisi olettaa sen näkyvän myös oppikirjojen kuvituksessa. Tutkimusongelmat muodostuivatkin seuraavanlaisiksi:

- Millaisia ennakkokäsityksiä oppilailla on
 - a) valosta, sen käyttäytymisestä ja ominaisuuksista?
 - b) valoon liittyvistä ilmiöistä, kuten värien aistimisesta ja näkemisestä?
 - c) valoon ja näkemiseen liittyvistä ilmiöistä, kuten vuorokauden- ja vuodenaikojen vaihtelusta?
- Löytyykö oppikirjoista oppilaiden virheellisiä ennakkokäsityksiä vahvistavia kuvia?
- Löytyykö oppikirjoista fysikaalisesti oikean, tieteellisen käsityksen kehittymistä tukevia kuvia?

2. Oppikirjojen ja niiden kuvituksen tutkiminen

Nykyisen koululaitoksemme keskeisin opetusväline on oppikirja. Mikkilä-Erdmann ym. (1999) esittävät oppikirjan keskeisen aseman syiksi mm. kirjallista opetusta painottavan perinteen ja pitkään jatkuneen valtakunnallisesti standardoidun opetussuunnitelman kauden. Oppikirjan tehtävänä on tarjota oppilaalle jäsentynyttä ja hänen tasoaan vastaavaa tietoa käsiteltävästä aiheesta ja auttaa oppilasta muodostamaan itselleen riittävän hyvin käsiteltävää aihetta kuvaavat sisäiset mallit (Hannus, 1996). Suurin osa opettajista on sidoksissa oppikirjaan ja rakentaa opetuksensa suurelta osin tai lähes kokonaan sen varaan. Näin ollen oppikirja määrää sekä opetettavat sisällöt että niiden järjestyksen. (Mikkilä & Olkinuora, 1995)

Oppikirjojen ja muun oppimateriaalin tutkiminen on tarpeen, jotta materiaaleja voidaan kehittää vastaamaan mahdollisimman hyvin oppilaiden ja opettajan tarpeita. Opettajan ja oppilaiden tarpeet eivät kuitenkaan ole ainoat oppikirjan tekemiseen vaikuttavat tekijät. Nykyaikainen oppikirja on tuote, jonka tarkoitus on myös myydä ja tuottaa kustantajalleen voittoa. Koska runsaasti kuvitettu kirja myy kuvittamatonta kirjaa paremmin, on oppikirjojen kuvien määrä kasvanut suuremmaksi kuin kenties pedagogiselta kannalta katsottuna olisi tarpeellista. (Hannus, 1996) Vaikka Kauppinen (2006) mukaan oppikirjojen julkinen kritisointi onkin Suomessa lähes olematonta, ovat kirjojen käyttäjät (tässä tapauksessa opettajat) esittäneet toiveita kuvien laadun parantamisesta niiden määrän lisäämisen sijaan (Kautto & Peltoniemi, 2006).

Oppikirjoja on tutkittu paljon niin Suomessa kuin ulkomaillakin. Tutkimus on kuitenkin yleensä painottunut oppikirjatekstiin ja tekstinymmärtämiseen (esim. Kari, 1987; Kuusisto, 1989; Julkunen ym., 1991) tai sen tarkoituksena on ollut selvittää, toteuttaako oppikirja kulloinkin voimassa olevaa opetussuunnitelmaa. Siitä huolimatta, että nykyisissä oppikirjoissa on paljon kuvia, ei niitä juurikaan ole tutkittu (Mikkilä & Olkinuora, 1995). Kuvat ovat kuitenkin yksi oppikirjan tekemisen suurimmista kulueristä, joten niillä soisi olevan muutakin merkitystä kuin toimia oppikirjan koristeena (Hannus, 1996).

2.1 Oppikirjojen kuvat tutkimuskohteena

Vaikka ensimmäinen kuvitettu oppikirja (Comeniuksen *Orbis sensualium pictus*) ilmestyi jo vuonna 1658, on oppikirjojen kuvitusta tutkittu vasta muutamien vuosikymmenten ajan. Kuvitusta koskevat tutkimukset ovat hyvin erilaisia lähtökohdiltaan ja tavoitteiltaan. (Hannus, 1996) Suuri osa tutkimuksista on myöskin melko suppeita, keskittyen tiettyyn oppiaineeseen tai jopa yhteen tai muutamaan tiettyyn kirjaan.

Hatvan (1993) mukaan ”*Näkemistä ilman tulkintaa ei ole.*” Kuva tutkimusaiheena on monisyinen ja aina katsojan havainnoista ja tulkinnasta riippuva, joten kuvaa tutkittaessa yksiselitteisiä muuttujia on vaikea keksiä ja muuttujien määrä suuri. Tämä seikka yhdistettynä määrällisesti melko vähäiseen ja pirstaleiseen tutkimukseen on aiheuttanut sen, että yhtenäistä ”kuvateoriaa” ei ole päässyt muodostumaan (Hannus, 1996).

Mikkilän ja Olkinuoran (1995) mukaan oppikirjakuvituksen tutkimuksessa on erotettavissa kolme suuntausta. Perinteisessä pedagogisessa kuvatutkimuksessa tutkitaan opetusmenetelmien vaikutusta oppimiseen esimerkiksi opettamalla sama asia kuvien kanssa ja ilman. Tutkimus kohdistuu tällöin enemmän opetusmenetelmien eroihin kuin itse kuviin. Uudemmassa pedagogisessa kuvantutkimuksessa keskitytään kuvan funktioon oppimistapahtumassa. Kuvan funktio voi olla attentionaalinen, tiedollinen tai motivationaalinen. Lisäksi samalla kuvalla voi olla monta eri funktiota riippuen katsojasta. Uusin suuntaus kuvatutkimuksen alalla kohdistuu kuvan tulkintaan ja ymmärtämiseen, jolloin tutkimus liittyy tiiviisti kognitiiviseen psykologiaan ja kuvan prosessointiin.

Viime vuosina kuvien ja yleisemmin visualisoinnin tärkeys erityisesti luonnontieteiden opetuksessa on tunnustettu ja monialainen yhteistyö asian tutkimiseksi on alkanut. Mukana on niin opetettavan alan asiantuntijoita, kasvatustieteilijöitä kuin kognitiotieteilijöitäkin. Lisää tutkimuksia ja niiden kautta tietoa kaivataan kuitenkin vielä esimerkiksi siitä, millaista kuvitusta eri kouluasteiden oppikirjoissa on ja millaisella visualisoinnilla voidaan parhaiten vaikuttaa oppilaiden virheellisiin ennakkokäsityksiin. (Gilbert, 2005)

2.2 Millaisia kuvia oppikirjoissa on?

Suurin osa oppikirjojen kuvista on väripiirroksia, värivalokuvia ja erilaisia graafisia esityksiä (esim. Mikkilä-Erdmann ym., 1999; Pozzer & Roth, 2003; Kautto & Peltoniemi, 2006). Tämän tutkimuksen kannalta mielenkiintoisimpia ovat värivalokuvat ja -piirrokset, joten jatkossa keskitytään tarkastelemaan näitä kahta kuvatyyppeä.

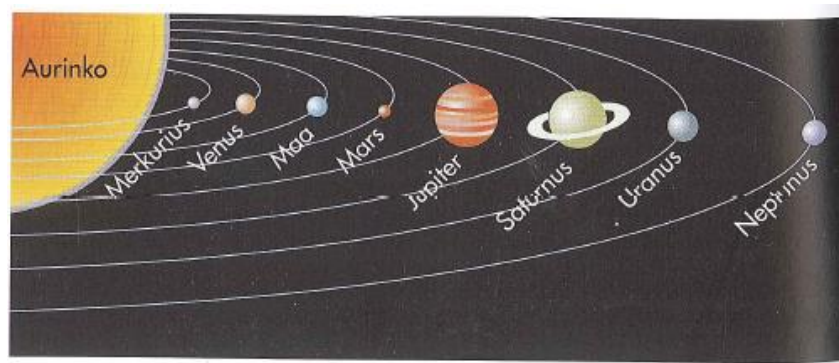
Värikuvat tulivat oppikirjoihin 1970-luvulla neliväripainotekniikan yleistymisen myötä (Hannus, 1996). Oppikirjassa valokuva esittää usein todisteen jollekin tekstissä esitetylle väitteelle. Valokuva on yksityiskohtainen ja kaikista kuvatyypeistä lähinnä reaali maailmaa, ja siksi se sopiikin hyvin todisteeksi. Vaikka värivalokuvaa usein pidetään suuren realisminsa vuoksi havainnollistavimpana kuvatyypinä, ei se kaikissa tapauksissa ole paras vaihtoehto. Huono rajausta tai huolimattomasti valittu tausta saattavat estää oleellisen asian havaitsemisen kuvasta. (Pozzer & Roth, 2003) Alla olevassa kuvassa on oppikirjasta *Fysiikan ydin 9* poimittu kuva, jossa valokuvaa käytetään todistamaan, että kappale näyttää eriväriseltä riippuen siitä, minkä värisellä valolla sitä valaistaan.



Kuva 1. Valokuva toimii todisteena siitä, että väri on valon, ei esineen ominaisuus. Kuvaan liittyy kuvateksti ”Kappale näyttää eriväriseltä erivärisissä valoissa.” (*Fysiikan ydin 9*, s.80)

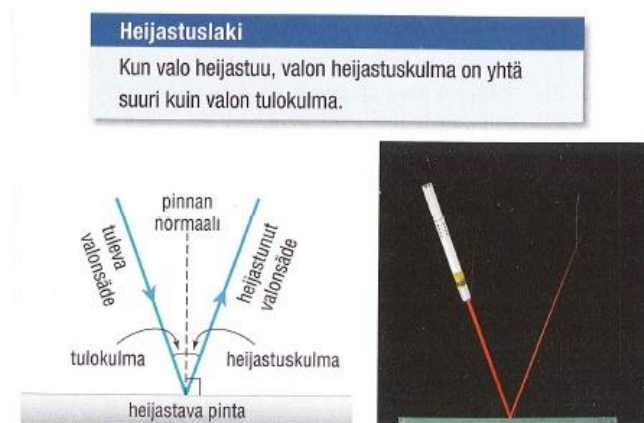
Väripiirroksia käytetään kuvaamaan asioita, joita ei ole mahdollista valokuvata (esim. veden kiertokulku, polttomoottorin toimintaperiaate, hyvin pienet tai suuret kohteet). Piirroksen avulla kohde voidaan esittää yleisemmin, jolloin sen tunnistaminen on helpompaa. Esimerkiksi talitiainen on helpompi tunnistaa yleistä talitiaista esittävästä väripiirroksesta kuin yhtä tiettyä talitiaista esittävästä valokuvasta. Väripiirroksessa tausta voidaan pitää pelkistettynä ja piirros onkin monessa yhteydessä värivalokuvaa parempi vaihtoehto. On huomattu, että oppimisteho ei välttämättä parane kuvan realismin asteen kasvaessa (Hatva, 1993) ja niinpä oppikirjoissa käytetäänkin paljon

väripiirroksia. (Pozzer & Roth, 2003) Alla on oppikirjasta *Ilmiö Fysiikan oppikirja 7-9* poimittu piirroskuva, jossa esitetään Aurinko ja sitä kiertävät planeetat. Aurinkokunnan rakenne on tyypillinen piirroskuvan aihe, sillä valokuvaa, jossa kaikki planeetat näkyvät, ei voida ottaa.



Kuva 2. Piirroskuva Auringosta ja sitä kiertävistä planeetoista. Kuvaan ei liity kuvatekstiä. (*Ilmiö Fysiikan oppikirja 7-9, s.296*)

Pozzer & Roth (2003) suosittelevat useammasta valokuvasta koostuvien kuvasarjojen käyttöä oppikirjoissa yksittäisten valokuvien sijaan. Kuvasarjat voivatkin olla hyvin havainnollistavia, eikä kaikkien kuvien tarvitse olla valokuvia, vaan valokuvat ja piirros voivat tukea ja täydentää toisiaan. Alla olevassa kuvassa on esitetty oppikirjasta *FyKe 7-9 Fysiikka* poimittu kokonaisuus, jossa valon heijastuslaki esitetään sanallisesti sekä piirroksen ja valokuvan avulla. Piirroksessa pystytään käyttämään tulokulman ja heijastuskulman määrittelyssä apuna pinnan normaalia, jota ei valokuvassa näy. Tässä yhteydessä piirroskuva tarjoaakin paljon tärkeää tietoa ja yhdistää sanallisessa kuvauksessa esitellyt termit käytäntöön. Valokuvan rooliksi jää lähinnä toimia todisteena, että heijastuslaki tosiaan pitää paikkansa. Mikäli olisi haluttu käyttää vain yhtä kuvaa, olisi valokuvaan voinut jälkikäteen lisätä pinnan normaalin ja tarvittavat tekstit, mutta vaarana on, että yhteen kuvaan tulisi tällöin liikaa asiaa.



Kuva 3. Heijastuslaki esitettynä sanallisesti, piirroskuvan ja valokuvan avulla. Kuvaan liittyy kuvateksti ”Jos valonsäteen tulokulma on 20 astetta, heijastuskulma on myös 20 astetta.” (FyKe 7-9 Fysiikka, s. 30)

2.3 Mihin oppikirjojen kuvitusta tarvitaan?

Kiinnostavan ulkonäön, esteettisten elämysten tarjoamisen ja myynnin parantamisen lisäksi ainakin osalla oppikirjojen kuvista on myös pedagogisia tehtäviä. Hannuksen (1996) mukaan oppikirjan kuvalla on viisi eri funktiota, jotka ovat

- 1) tarkkaavaisuuden suuntaaminen, mielenkiinnon herättäminen sekä asiassa pitäytyminen,
- 2) muistitoimintojen tukeminen,
- 3) ymmärtämisen edistäminen,
- 4) omakohtaisen asiaan liittyvän pohdinnan herättäminen sekä
- 5) tunne-elämysten ja esteettisten kokemusten tarjoaminen.

Katsojasta riippuen kuvalla voi olla yksi tai useampia näistä funktioista. Kuvien on oletettu olevan merkittävässä asemassa oppimistapahtumassa, ja erityisesti nuorempien ja vähemmän lahjakkaiden oppilaiden on ajateltu hyötyvän niistä. Tämä on ollut yhtenä perusteluna sille, miksi kuvia on lisätty oppikirjoihin.

2.3.1 Kuvien merkitys oppimisessa

Kuvien oppimisvaikutuksia koskevissa tutkimuksissa käytetyt kuvat ovat usein olleet juuri tutkimusta varten tehtyjä ja hyvin yksikertaisia, minkä lisäksi niiden avulla opetettava sisältö on ollut suppea. Ilmeisesti tällaisten tutkimusten tuloksia ei voida suoraan soveltaa koulumaailmaan,

jossa kuvat ovat monimutkaisempia ja opetettavat sisällöt laajempia. Yksi Hannuksen (1996) tutkimuksen keskeisistä tuloksista oli, että kuvan oppimisvaikutukset ovat hyvin kapea-alaisia keskittyen lähinnä sisällön muistamisen tehostamiseen. Kuvituksen havaittiin parantavan yleistä koulutyypistä oppimista vain hyvin vähän. Näin ollen Hannus esittääkin poistettavaksi 60-70% oppikirjojen kuvista, jolloin tilaa jäisi hieman pidemmille, paremmin oppilaiden tasoa vastaaville laadukkaille teksteille. (Hannus, 1996)

Yhden ja saman oppikirjakuvan merkitys kuitenkin vaihtelee katsojasta riippuen. Osalle oppilaista kaaviokuva moottorin toiminnasta toimii muistin tukena, kun toiselle se antaa mahdollisuuden syventää ymmärrystään ja pohtia mahdollisesti epäselviä kohtia. Onkin havaittu, että kuvan katsojan kognitiiviset ominaisuudet, ikä, lahjakkuus ja aikaisemmat tiedot vaikuttavat merkittävästi siihen, mitä kuvasta havaitaan. Erityisesti lahjakkuus ja aikaisemmat tiedot ovat havaitsemisprosessissa tärkeitä kuvan ominaisuuksien ollessa vähemmän merkitseviä. (Hannus, 1996)

Oppilaan ennakkotietojen suuri merkitys kuvaa katsottaessa on tämän tutkimuksen kannalta oleellinen tieto, koska tarkoituksena on selvittää, saavatko oppilaiden virheelliset ennakkokäsityksen vahvistusta oppikirjojen kuvista. Mikkilä-Erdmannin ym. (1999) mukaan on tärkeää, että ennakkotiedot otetaan huomioon oppikirjan suunnittelussa. Tämä koskee luonnollisesti myös oppikirjojen kuvia. Hatvan (1993) mukaan huonosti toteutettu kuvasuunnittelu voi ohjata virhetulkintoihin, mikä ei tietenkään ole toivottavaa varsinkaan oppikirjan ollessa kyseessä. Schussler (2008) havaitsikin tutkimuksessaan, että opetuksessa käytetyissä lasten- ja nuortenkirjoissa ollut virheellinen tai epätarkka tieto aiheutti virheellisiä käsityksiä oppilaille.

Oppilaan lahjakkuuden ja ennakkotietojen lisäksi kuvatekstillä on suuri vaikutus siihen, mitä kuvasta havaitaan. Pelkkä kuva ei vielä takaa, että oppilas tulkitsee sen oikealla tavalla ja näkee halutun asian. Kuvateksti antaa viitteitä siitä, miten kuvaa tulee katsoa ja mikä siinä on oleellista. Oppikirjakuvissa tulisikin aina olla kuvateksti. (Pozzer & Roth, 2003) Tätä puoltaa myös Hannuksen (1996) havainto siitä, että kuvatekstin lukemiseen käytetään aikaa kaksi kertaa enemmän kuin kuvan katsomiseen.

2.3.2 Kuvien käyttö opetuksessa

Opettajat käyttävät oppikirjojen kuvia opetuksessaan eri tavoin. Erityisesti fysiikassa ja kemiassa kuvia käytetään havainnollistamaan asiaa tai ilmiötä, jota muuten olisi hankala nähdä. Tällaisia ovat esimerkiksi hyvin suuret ja toisaalta hyvin pienet kohteet (kuten planeetat, galaksit, atomit ja molekyylit), erilaiset laitteet (esim. hiukkaskiihdytin) ja tapahtumat (kuten atomin virittyminen tai valon kulku). Kuvia voidaan käyttää myös tehtävien pohjana, kertaamisen apuna, keskustelun virittäjänä, lisätiedon lähteenä ja tuntien keventäjinä. Osa opettajista käyttää kuvia apuna opittavan asian liittämiseksi oppilaan kokemuksiin. Innostavat kuvat voivat toimia oppilaan motivoijana, ja oppilaat voivat myös itse tuottaa kuvia valmiiden kuvien katselun sijaan. (Kautto & Peltoniemi, 2006)

Useissa tutkimuksissa on havaittu, että vaikka oppikirjoissa on runsaasti kuvia, oppilaat käyttävät niiden katseluun vain vähän aikaa (esim. Mikkilä & Olkinuora, 1995; Hannus, 1996; Pozzer & Roth, 2003). Hannuksen (1996) tutkimuksen mukaan oppilaat käyttävät prosessointiajastaan vain 6% kuvien katsomiseen lopun ajan kuluessa tekstin parissa. Hänen mukaansa tämä on oppilaiden tietoinen valinta, joka perustuu heidän oletukseensa kuvien tarjoamasta vähäisestä tai merkityksettömästä tiedosta.

2.4 Tutkimuksessa käytetyt oppikirjat

Tutkittavana on yhteensä yhdeksän fysiikan ja maantiedon oppikirjaa kolmelta eri kustantajalta. Osa kirjoista on jo pidempään käytössä olleita, osa puolestaan uunituoreita uutuuksia. Kirjat edustavat varsinkin fysiikan osalta kattavasti peruskoulun yläluokilla käytössä olevia oppikirjoja. Oppikirjojen sisällölle raamit antaa opetussuunnitelma. Opetushallituksen vuonna 2004 laatimissa tutkimuksen tekohetkellä voimassa olevissa perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (käytetään lyhennettä POP) on määritelty, mitkä ovat opetuksen tavoitteet kunkin opetettavan aineen osalta. Valo ja sen ominaisuudet kuuluvat fysiikan opetukseen piiriin. Maapalloa ja Aurinkoa sen sijaan käsitellään sekä fysiikan että maantiedon opetuksessa. Seuraavassa on tarkasteltu POP:n keskeisiä sisältöjä kummastakin aihealueesta peruskoulun yläluokkien osalta.

Valon ja sen ominaisuuksien osalta POP (2004) mainitsee keskeisenä sisältönä aaltoliikkeen synnyn, vastaanottamisen ja havaitsemisen. Erikseen mainitaan myös heijastuminen ja taittuminen. Lisäksi oppilaiden tulisi hallita näihin liittyvät ominaisuudet, suuret ja lait, sekä valon merkitys ja

sovellukset. Oppilaan tulisi myös ymmärtää valon merkitys ihmisen ja yhteiskunnan kannalta. Mielestäni POP painottuu liikaa lakien ja monimutkaisempien ilmiöiden tutkimiseen. Missään ei mainita, että oppilaan tulisi tuntea valon olemus tai ymmärtää, mihin näkeminen perustuu. Oletetaanko oppilaiden jo tietävän nämä asiat?

Maata, Aurinkoa ja aurinkokuntaa käsitellään sekä fysiikassa että maantiedossa. Oppiaineiden välillä on kuitenkin olemassa ainakin karkea työnjako: ”Maantieteessä emme mene Aurinkoa kauemmas, fyysikot hoitavat avaruuden siitä eteenpäin” (Ängeslevä, 2005). Fysiikan osalta POP (2004) mainitsee vain yleisellä tasolla, että oppilaan tulee oppia tuntemaan luonnonilmiöitä ja prosesseja sekä erilaisia luonnon rakenteita ja mittasuhteita. Maa, Kuu, vuorokaudenajat, vuodenaajat ja aurinkokunnan rakenne kuuluvat luokkien 1-6 opetussuunnitelmaan, jolloin oppilaiden tulisi hallita ne 7.luokalle siirtyessään. Maantiedon osalta nämä asiat käsitellään vasta yläluokilla, jolloin yhtenä opetuksen tavoitteena on oppia ymmärtämään planetaarisuuden vaikutuksia maapallolla. Keskeisenä sisältönä mainitaan maapallon sisäiset ja ulkoiset tapahtumat.

2.4.1 Fysiikan oppikirjat

Tässä tutkimuksessa on mukana seitsemän peruskoulun yläluokkien fysiikan oppikirjaa kolmelta eri kustantajalta. Seuraavassa on esitelty kunkin kirjat yleispiirteet. Kuvien käytöstä on esitetty vain silmämääräiset arviot, koska kuvien luokittelu ja laskeminen ei tässä yhteydessä liene tarkoituksenmukaista. Tutkimuksen kannalta mielenkiintoisiin kuviin palataan vielä tuonnempana. Kaikkiin kirjoihin on alla mainitun lisämateriaalin lisäksi saatavilla opettajan materiaali.

- *Lehto, Salonen & Huttu: Ilmiö. Fysiikan oppikirja 7-9 (Tammi)*. Kirja edustaa nykyään yleistä tapaa koota koko peruskoulun yläluokkien fysiikan oppiaines yksien kansien väliin. Kirjan aloittaa omana lukunaan johdanto fysiikan maailmaan. Sitä seuraava oppiaines on jaettu viiten aihealueeseen (*Aallot, Lämpö, Liike ja voima, Sähkö, Luonnon rakenteet*), jotka voidaan käsitellä halutussa järjestyksessä. Kunkin luvun avaa johdantosivu, jossa on suuri valokuva, lista tärkeistä käsitteistä sekä johdantokysymyksiä. Kappaleen lopussa on tehtäviä, monivalintatesti ja lista avainasioista. Kirjassa on käytetty paljon valokuvia. Saatavilla on myös työkirja.
- *Aspholm, Hirvonen, Lavonen, Penttilä, Saari, Viiri & Hongisto: Aine ja energia. Fysiikan tietokirja (WSOY)*. Nimensä mukaisesti kirja on tietokirjatyypinen teos, jota käytetään luokkien 7.-9. ajan. Alussa perehdytään fysiikan työtapoihin. Oppiaines on jaettu kuuteen

aihealueeseen (*Aallot ja valo, Lämpöenergia, Liike ja voima, Liike ja energia, Sähkö, Luonnon rakenteet*). Aihealueen avaa kuvasivu teksteineen. Kunkin kappaleen alussa on aiheeseen johdatteleva kuva kuvateksteineen ja kappaleen lopusta löytyvät kotitehtävät. Kirjassa on valokuvien ohella käytetty paljon piirroskuvia. Saatavilla on myös työkirja ja tutkimusvihko kokeellisia töitä varten.

- *Kangaskorte, Lavonen, Pikkarainen, Saari, Sirviö, Vakkilainen, Viiri: FyKe 7-9. Fysiikka (WSOYpro)*. Kirjaan on edeltävien kahden kirjan tapaan koottu yläluokkien oppiaines. Alussa tutustutaan fysiikan maailmaan. Oppiaines on jaettu seitsemään aihealueeseen (*Aaltoliike, Lämpö, Liike ja voima, Liike ja energia, Sähkö, Energia yhteiskunnassa, Maailmankaikkeuden pienet ja suuret rakenteet*). Kunkin aihealueen alussa on esitetty aiheeseen johdattelevia kysymyksiä ja listattu tärkeimmät käsitteet. Kappaleet aloitetaan aiheeseen liittyvän ongelman ja kuvan avulla. Kappaleen lopussa on tehtäviä. Kunkin aihealueen lopusta löytyy osaamista kartoittava testi. Kuvituksena on käytetty sekä valokuvia että piirroksia. Saatavilla on tutkimus- ja tehtäväkirja sekä verkossa olevaa oppilaan materiaalia.
- *Kärnä, Leskinen, Montonen, Repo: Lumo. Fysiikan ja kemian käsikirja (WSOY)*. Kirja toimii yläkoulun fysiikan ja kemian käsikirjana. Se poikkeaa muista tutkimuksissa mukana olevista fysiikan oppikirjoista lähestymistapansa puolesta. Aluksi tutustutaan fysiikkaan ja kemiaan tieteenaloina sekä niille ominaisiin työtapoihin. Oppiaines on jaettu kuuteen kurssiin (*Menetelmät, Ilmiöiden maailma, Aineet ympärillämme, Elämän kemiaa, Sähköinen maailma, Energiaa Auringosta*). Kurssien kappaleissa ilmiöitä tarkastellaan oppiainerajoja rikkoen arkipäivän elämästä tuttuina kokonaisuuksina. Esimerkkinä toimii kappale *Vesi, elämälle välttämätön aine*, jossa käsitellään veden tiheyttä, nostetta, kiertokulkua ja lämmönvarauskykyä sekä osmoosia, veden puhdistamista ja paineen jakautumista vedessä. Kunkin kappaleen alussa on aiheeseen johdatteleva kuva, mutta ei aina varsinaista kuvatekstiä. Kirja ei sisällä tehtäviä. Kuvituksena on väripiirroksia ja valokuvia. Saatavilla on myös tutkimusvihko.
- *Levävaara, Kuusjärvi, Pohjola, Voutilainen: Fysiikan Ydin 9 (WSOY)*. Kirja on tutkimuksessa mukana olevista fysiikan oppikirjoista ainoa, joka on suunnattu vain yhdelle luokka-asteelle. Se on myös tutkituista kirjoista vanhin. Aluksi tutustutaan fysiikkaan tieteenalana sekä energia-käsitteeseen. Oppiaines on jaettu seitsemään aihealueeseen (*Lämpöoppi, Mekaniikka, Valo-oppi, Sähköoppi, Ydinfysiikkaa, Tähtitiede*), jotka puolestaan

on jaettu kahdessa tunnissa käsiteltäviin kappaleisiin. Lisämateriaali on koottu kirjan loppuun. Kunkin aihealueen alussa on ilmaistu tavoitteet ja esitetty aiheeseen johdattelevia kuvia kysymyksineen. Kappaleiden alussa on myös käytetty kuvia ja niihin liittyviä kysymyksiä. Kunkin kappaleen lopussa on tehtäviä ja aihealueen lopussa vielä tiivistelmä tärkeistä asioista. Kuvituksena on väripiirroksia ja valokuvia. Saatavilla on lisäksi työkirja.

- *Havonen, Kirkkala, Lepola & Tala: Hehku. Fysiikka 7-9 (Otava)*. Kirjaan on koottu peruskoulun yläluokkien fysiikan oppiaines. Aluksi tutustutaan fysiikan maailmaan. Oppiaines on jaettu neljään aihealueeseen (*Värähdys- ja aaltoliike, Lämpö, Mekaniikka, Sähkö ja ydinfyysikka*). Kunkin aihealueen avaa kuvasisällysluettelo ja kappaleiden alussa on aiheeseen liittyvä kuva ja kysymys. Aihealueen lopussa on kertaus keskeisistä asioista. Kirjan kuvituksena on käytetty piirroksia ja valokuvia. Saatavilla on lisäksi työkirja. Oppikirjan alussa kehoitetaan oppilasta lukemaan kuvatekstit ja katsomaan kuvat, mitä ei muissa tutkituissa fysiikan oppikirjoissa tehty.
- *Happonen, Heinonen, Muilu & Nyrhinen: Avain 1. Fysiikka (Otava)*. Kirja on Avain-sarjan luokille 7.-9. tarkoitettu fysiikan oppikirjasarjasta ensimmäinen. Se käsittelee ääntä, valoa ja maailmankaikkeuden rakenteita. Kirjaa ei ole jaettu aihealueisiin. Sen kukin kappale koostuu neljästä osasta: *Tutkimuksia, Teoriaa, Sovelluksia* ja tehtäviä sekä lisätietoa tarjoavasta *Tiesitkö, että...* -osasta. Kappaleen avaa sivun kokoinen kuva ja siihen liittyvät kysymykset. Kuvituksena on käytetty piirroksia ja valokuvia. Saatavilla on lisäksi työkirja.

2.4.2 Maantiedon oppikirjat

Peruskoulun yläluokille tarkoitettuja maantiedon oppikirjoja oli tutkimuksessa mukana kaksi, kahdelta eri kustantajalta. Alla on esitetty kirjojen yleispiirteet. Kuvien käytöstä on jälleen esitetty vain silmämääräiset arviot ja maantieteen opetuksessa hyvin oleelliset karttakuvat on jätetty tässä tutkimuksessa kokonaan huomioimatta. Molempiin oppikirjoihin on alla esitetyn lisämateriaalin lisäksi saatavilla opettajan materiaali.

- *Leinonen, Martikainen, Nyberg, Veistola & Jortikka: KM. Maailma (Otava)*. Kirja on yläluokkien maantiedon opetukseen tarkoitettun sarjan ensimmäinen. Oppiaines on jaettu viiteen aihealueeseen (*Maapallolla, Tundralta arolle, Lehtimetsien alueella, Välimerenkasvillisuuden alueella, Aavikolta sademetsään*). Kunkin aihealueen avaa sivun kokoinen valokuva. Myös kappaleiden alussa on kuva. Kappaleiden lopussa on tiivistelmä

tärkeistä asioista sekä tehtäviä. Kuvituksena on käytetty pääasiassa valokuvia, mutta piirroksiakin löytyy. Saatavilla on lisäksi opiskeluvihko ja toimintavihko. Kirjan kuvat on numeroitu ja tekstissä on viitattu kuviin niiden numerolla, mitä yhdessäkään muussa tutkimuksessa mukana ollessa oppikirjassa ei tehty.

- *Cantell, Houtsonen, Jutila, Kankaanrinta, Tammilehto & Vaalgamaa: Maapallo. Maailman ympäri (WSOY)*. Kirja on ensimmäinen osa yläluokkien maantiedon opetukseen tarkoitettusta Maapallo-sarjasta. Oppiaines on jaettu neljään aihealueeseen, joista ensimmäinen (*Pallo haltuun - maailma kartalle*) johdattelee maantieteeseen ja sen tutkimusmenetelmiin, sekä olennaisen työkalun, kartan, käyttöön. Muut aihealueet ovat *Pieni sininen planeetta*, *Matkalle maailmaan!* ja *Maapallo on sinulla ja minulla*. Kunkin aihealueen avaa kuva teksteineen ja kysymyksineen. Kappaleen alussa on kuva ja lista avainsanoista, ja lopussa tehtäviä ja kysymyksiä. Kuvituksena on käytetty valokuvia ja piirroksia. Saatavilla on lisäksi oppimis- ja arviointivihko. Kirjan alussa kehoitetaan tutkimaan tarkoin kuvia, karttoja ja diagrammeja, mutta niihin ei viitata tekstissä.

3. Oppilaiden ennakkokäsitykset

Tässä luvussa perehdytään siihen, mitä ennakkokäsitykset ovat ja mistä ne syntyvät, sekä kerrotaan aiemmin tehtyjen tutkimusten tuloksiin perustuen, millaisia ennakkokäsityksiä oppilailla on valosta ja siihen liittyvistä ilmiöistä. Jotta oppilaiden ennakkokäsitysten erovaisuudet tieteelliseen, yleisesti hyväksytyyn käsityksen verrattuna tulisivat selkeästi ilmi, on ennen oppilaiden ennakkokäsityksiä esitelty aiheeseen liittyvä fysiikka.

3.1 Ennakkokäsitysten tutkimus

Oppilaiden ennakkokäsityksistä kiinnostuttiin 1970-luvulla konstruktivistisen oppimiskäsityksen siivittämänä. Ennakkokäsityksiin on paneuduttu erityisesti luonnontieteissä tutkimalla oppilaiden luonnonilmiöistä esittämiä selityksiä, johtopäätöksiä ja ennusteita. (Lavonen ym., 2009) Konstruktivismin mukaan oppilas itse rakentaa tietoa ja opettajan tehtävä on auttaa tässä prosessissa. Näin ollen opettajan tulisi olla selvillä oppilaiden ennakkokäsityksistä ja ottaa ne huomioon opetusta suunnitellessaan, ja konstruktivismissa tätä pidetäänkin ensiarvoisen tärkeänä. (Sahlberg & Ahtee, 1990) Oppilaiden ennakkokäsityksistä on kirjoitettu useita teoksia ja artikkeleita, joita ovat aihealueittain listanneet esimerkiksi Osborne & Freyberg (1985, ss.13-14).

Ennakkokäsitysten selvittämiseen on useita keinoja. Kirjallisten tehtävien avulla voidaan kerätä tietoja suureltakin joukolta, mutta pelkän kirjoittamisen varaan rakentuvat tehtävät eivät vielä anna kovin tarkkaa kuvaa oppilaiden käsityksistä. Kirjoittamisen lisäksi oppilaita voidaan pyytää piirtämään kuvia. Usein kuvien piirtäminen yhdistetään haastattelutilanteeseen (esim. Guesne, 1985; Baxter, 1989). Osborne ja Freyberg (1985) käyttivät haastattelumenetelmää kartoittaessaan oppilaiden käsitteiden ymmärtämistä ja heidän selityksiään jokapäiväisille ilmiöille, kuten näkemiselle. He myös tarkkailivat oppitunteja tehden muistiinpanoja ja nauhoittaen tunnilla käydyn keskustelun. Novak & Gowin (1995) suosittavat ennakkokäsityksen kartoittamiseen käsitekartan käyttöä, joka tosin vaatii kyseisen menetelmän käytön opettamista oppilaille etukäteen. Gunstone (1988) mainitsee myös ennusta-havainnoi-selitä (predict-observe-explain) -mallin käytön yhtenä mahdollisena keinona ennakkokäsitysten selvittämiseen.

3.2 Ennakkokäsitykset ja niiden synty

3.2.1 Mitä ennakkokäsitykset ovat?

Lavosen ym. (2009) mukaan oppilaan ennakkokäsityksellä voidaan tarkoittaa kolmea eri seikkaa, jotka on esitetty alla. Suluissa olevat esimerkit ovat Ahteen tutkimuksista 'Oppilaiden käsityksiä lämmöstä ja lämpötilasta' (1994, s.17-42) ja 'Yläasteen oppilaiden käsityksiä liukenemisesta ja palamisesta' (1994, s.9-28).

1. Oppilas vastaa kysymykseen tai selittää väärin havaitsemansa ilmiön uskomustensa pohjalta. Nämä uskomukset ovat kehittyneet oppilaan omista havainnoista (esim. Aurinko kiertää maata, lämpö on lämmintä ilmaa, suola sulaa veteen).
2. Oppilas selittää havaitsemansa ilmiön nopeasti syntyvän intuitiivisen käsityksen pohjalta (esim. heittoliikkeessä olevan pallon kiihtyvyyden suunta on radan tangentin suuntainen, lämpöä saadaan, lämpöä voidaan muodostaa sähköisesti esim. pattereilla, suola haihtuu veteen, koska se häipyä näkyvistä).
3. Oppilaan omista havainnoista ja kokemuksista syntyneet kausaaliselitykset (esim. tasaisen liikkeen ylläpitämiseen tarvitaan voimaa, lämpöä tulee valosta, suola haihtuu pikkuhiljaa ja muodostuu pieniä kuplia pohjalle ja reunoihin).

Ennakkokäsitykset pohjautuvat oppilaan omakohtaisiin kokemuksiin, havaintoihin ja toimintaan, sekä siihen mitä oppilas kuulee muiden puhuvan, mitä hänelle opetetaan tai mitä hän näkee esimerkiksi televisiosta tai lukee lehdistä. Lavosen ym. (2009) mukaan syitä ennakkokäsitysten syntymiselle on useita, ja alla on esitetty niistä muutamia.

- Oppilaille on vaikeuksia pohdiskella abstraktein käsittein, joten he pyrkivät käyttämään heille itselleen tuttuja itse- tai ihmiskeskeisiä käsitteitä.
- Oppilaille riittää ensimmäinen sopiva selitys, eivätkä he tutkijoiden tapaan ole kiinnostuneita ristiriidattomista ja monipuolisista selityksistä.
- Arkikielessä tiettyjen käsitteiden merkitys on eri kuin luonnontieteellisessä kielessä.
- Oppilaat voivat saada virheellistä tietoa oppikirjan virheiden tai opettajan puutteellisten tietojen takia.

3.2.2 Virheelliset ennakkokäsitykset

Tutkimuksissa on havaittu, että oppilaiden mielikuvat ja uskomukset ovat varsin pysyviä ja usein ristiriidassa koulussa opetetun luonnontieteellisen tiedon kanssa (esim. Lawson, 1989; Sahlberg & Ahtee, 1990; Lavonen ym., 2009). Tällaisia ennakkokäsityksiä kutsutaan virheellisiksi ennakkokäsityksiksi. Oppilas saattaa kokeessa vastatessaan käyttää koulussa opittua oikeaa selitystä, mutta luokkahuoneesta ulos astuessaan hän siirtyy takaisin oman, alkuperäisen selityksensä käyttöön (Gunstone, 1988; Sahlberg & Ahtee, 1990). Alla olevassa taulukossa on esitetty Ahteen (1992) käyttämä oppilaiden virhekäsitysten luokittelu. On kuitenkin huomattava, että virheelliset ennakkokäsitykset eivät automaattisesti johdu oppilaan kokemusten tai havaintojen virheellisyydestä, vaan joskus syynä saattaa olla luonnontieteissä paljon käytetty teorian idealisointi, kuten esimerkiksi kitkattomat olosuhteet. (Lavonen ym., 2009)

Taulukko 1. Oppilaiden virhekäsitysten luokittelu Ahteen (1992) mukaan.

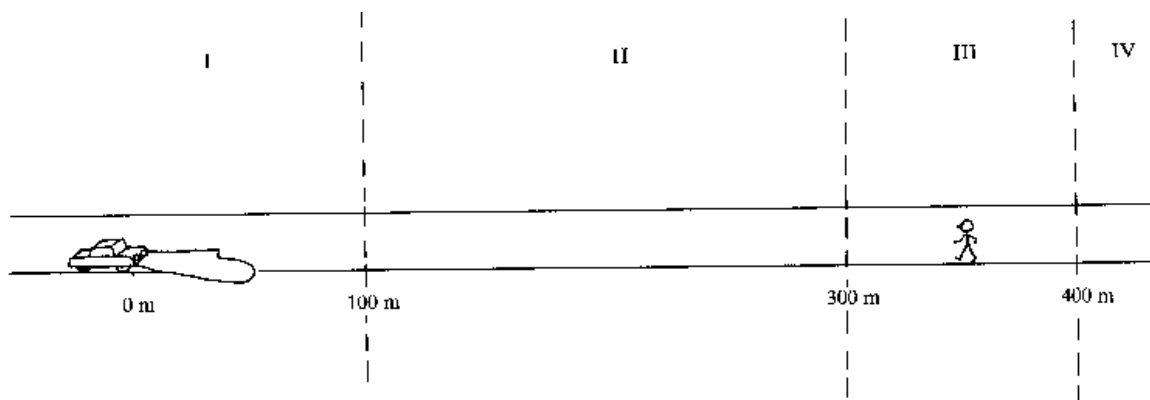
Malli	Esimerkki
Historiasta tunnettu	Näkösäde näkemisen selittäjänä
Kokemusperäinen, suppea ja usein myös virheellinen	Valon leviäminen riippuu valonlähteen kirkkaudesta. Kuva sijaitsee tasopeilissä ja sen paikka muuttuu havaitsijan paikan mukana.
Erikoistapaukseen perustuva	Valo heijastuu vain peilistä
Sisältää ristiriitaisuuksia ja epäloogisuutta	Heijastuminen kolikkotehtävässä (Andersson & Kärrqvist, 1983)
Aiheutuu tai vahvistuu tavanomaisen kielenkäytön pohjalta	Näkösädemalli; valo vain valonlähteessä; väri on esineen ominaisuus; varjo kuuluu esineeseen
Systemaattinen virhe	Kuperan linssin kuvauksessa piirretään vain kaksi sädettä
Naiivi tai konkreettinen selitys	Varjo kuuluu esineeseen

3.3 Oppilaiden ennakkokäsityksiä valosta ja siihen liittyvistä ilmiöistä

Nykykäsityksen mukaan valo on sähkömagneettista säteilyä, joka etenee avaruudessa. Sähkömagneettista säteilyä ovat myös esimerkiksi röntgensäteily, ultraviolettisäteily, infrapunasäteily ja radioaallot. Näkyvän valon aallonpituus osuu sähkömagneettisen säteilyn spektrissä välille 400-700 nm (MAOL-taulukot, s.84). Sähkömagneettista säteilyä syntyy, kun sähkövaraukset ovat kiihtyvässä liikkeessä tai varaustila purkautuu ionisoidun kaasun kautta. Kappaleet emittoivat sähkömagneettista säteilyä myös lämpöliikesäteilynä. Tarpeeksi korkeissa lämpötiloissa säteilyn aallonpituus on näkyvän valon luokkaa, ja kappale hehkuu.

3.3.1 Missä valoa on?

Andersson ja Kärrqvist (1983) ovat havainneet, että oppilaat yleisesti ajattelevat valoa olevan vain valonlähteen välittömässä läheisyydessä tai rajallisen matkan päässä siitä. Osana tutkimustaan he esittivät oppilaille tehtävän (kuva 4), jossa auto seiso pimeällä tiellä valot päällä. Muutaman sadan metrin päässä autosta tiellä seiso jalankulkija, joka näki auton valot. Oppilailta kysyttiin, missä osassa kuvaa heidän mielestään on valoa (osiot I - IV).



Kuva 4. Auto ja jalankulkija pimeällä tiellä. (Andersson & Kärrqvist, 1983)

Osa oppilaista vastasi valoa olevan vain auton lähellä, osiossa I tai mahdollisesti myös osiossa II. Tätä perusteltiin muun muassa sillä, että auton valot ylsivät vain auton lähelle, tai että kuvassa näkyi mihin asti auton valot ylsivät. Vaikka jalankulkija näki auton valot, ei se oppilaiden mielestä välttämättä tarkoittanut sitä, että valoa olisi ollut osiossa III. Kuitenkin hieman yli 30% oppilaista luokka-asteesta riippumatta oli sitä mieltä, että valoa on osioissa I-III tai kaikkialla. Perusteluiksi

esitettiin, että jos jalankulkija näkee auton valot, on valoa oltava osioissa I-III, tai että valo etenee lähes äärettömyyten saakka, jolloin sitä on kaikkialla. (Andersson & Kärrqvist, 1983)

Guesnen (1985) mukaan osa oppilaista keskittyy valonlähteiden sijaan vain valon vaikutuksiin; he uskovat valoa olevan vain kohdissa, joista se voidaan havaita, esimerkiksi huoneen lattialla olevissa valoisissa läikissä. Joidenkin oppilaiden mielestä valo on sama kuin valoisuus. Heidän mielestään valo on siis tila, joka vaihtelee vuorokaudenajan mukaan. Useissa tutkimuksissa on havaittu, että oppilailla on hankaluuksia erottaa toisistaan valonlähteet ja valoa heijastavat esineet. Oppilaat pitävät myös sähkövaloa ja auringonvaloa erilaisina, ja usein vain sähkövalo, riittävän intensiivinen sellainen, mielletään valoksi. (Guesne, 1985)

3.3.2 Valon eteneminen

Valolla on dualistinen luonne, jonka mukaisesti sen ajatellaan olevan sekä aaltoja että hiukkasia. Valon käyttäytymisen ymmärtämiseen tarvitaan sekä hiukkas- että aaltomallia. Hiukkas- ja aaltomalli ovat vaihtoehtoisia ja toisiaan täydentäviä; niitä ei sovelleta yhtä aikaa, mutta kumpaakin tarvitaan. Valon eteneminen voidaan parhaiten ymmärtää aaltomallin avulla, mutta valon emission ja absorbtion selittämiseen tarvitaan hiukkasmallia.

Aaltomallissa valon ajatellaan koostuvan aalloista. Valo etenee pistemäisestä valonlähteestä suoraviivaisesti pallomaisina aaltorintamina kaikkiin ilmansuuntiin. Valon etenemisnopeutta kutsutaan valon nopeudeksi ja siitä käytetään tunnusta c . Nykyisellä mittaustarkkuudella valon nopeudeksi on saatu 299 792 458 m/s. Valon nopeuden mittaamiseen perustuu myös metrin määritelmä: metri on matka, jonka valo kulkee tyhjiössä ajassa $1/299792458$ s.

Aaltorintamien sijaan on usein käytännöllisempää puhua valonsäteistä, joilla kuvataan aaltorintaman etenemissuuntaa. Tämän voidaankin ajatella olevan kolmas valon käyttäytymistä selittävä malli, joka on käytännöllinen erityisesti erilaisissa optiikan sovelluksissa. Valonsädemalli onkin usein oppilaille ensimmäinen malli valosta. Jo peruskoulussa opetetaan geometrista optiikkaa ja piirretään valonsäteitä, jotka taittavat linsseissä ja heijastuvat peileistä.

Valon aaltomallin avulla ei pystytä selittämään esimerkiksi valosähköistä ilmiötä. Miksi vain tietyn taajuinen valo pystyy irrottamaan aineen pinnalta elektroneja? Valon hiukkasluonnetta kuvaavan hiukkasmallin mukaan sähkömagneettisen säteilyn energia on kvantittunut tietyn suuruisiksi, säteilyn taajuudesta riippuviksi paketeiksi. Näitä paketteja kutsutaan fotoneiksi. Valo emittoituu ja

absorboituu aina kokonaisina fotoneina, ja kukin elektroni saa energiansa yhdeltä fotonilta. Näin ollen fotonin energian on oltava riittävän suuri, jotta elektroni saa tarpeeksi energiaa. Fotonin energia riippuu säteilyn taajuudesta:

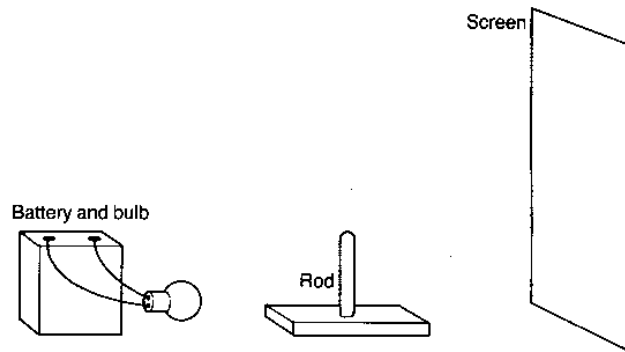
$$E = hf = \frac{hc}{\lambda},$$

missä f on säteilyn taajuus, h on Planckin vakio ja λ on säteilyn aallonpituus. Havaitaan siis, että suurilla taajuuksilla ja pienillä aallonpituuksilla sähkömagneettisen säteilyn energia on suuri. (Young & Freedman, 2004. ss. 1245-1252 & 1478-1479)

Tutkimuksissaan Guesne (1985) havaitsi, että osa oppilaista ei miellä valoa lainkaan eteneväksi tai olettaa etenemistä tapahtuvan vain suurilla välimatkoilla, kuten Auringosta Maahan. Kun heiltä kysytään valon etenemisestä, he saattavat myös käsittää sen tarkoittavan valonlähteen liikkumista. Erityisesti oppilailta, jotka ymmärtävät valon vain sen vaikutuksina tai valonlähteinä, on usein tällaisia virhekäsityksiä.

Osa oppilaista kuvittelee valon etenemisen riippuvan valonlähteen koosta; Auringosta valo tulee Maahan saakka, mutta kynttilän valo ei yllä kovinkaan kauaksi. Joidenkin oppilaiden mielestä valo etenee pimeässä kauemmas kuin valoisassa, sillä pimeässä huoneessa kynttilän valo erottuu paremmin kuin valaistussa huoneessa. Valon myös oletetaan himmenevän mitä kauemmaksi se etenee. Ylipäättään oppilailta on vaikeuksia ymmärtää valon etenevän äärettömän kauas, ellei sen tielle satu esteitä. (Andersson & Kärrqvist, 1983).

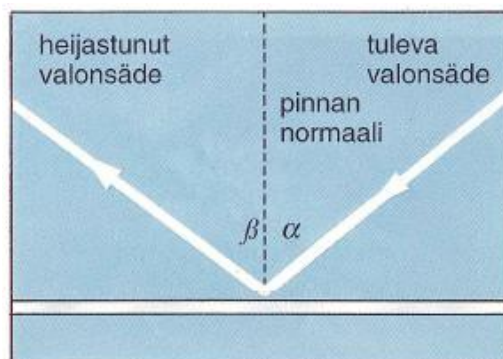
Guesne (1985) analysoi oppilaiden vastauksia ja huomasi termien *lähteä, kohdata, mennä ristiin, leikata, kimmota* ja *mennä läpi* käytön vastauksissa antavan viitteitä siitä, että oppilas ymmärtää valon olevan jotain, joka esiintyy ja etenee avaruudessa. Oppilaiden havaittiin myös tietävän, että valo etenee suoraviivaisesti, mutta he eivät osanneet käyttää tätä seikkaa selittäessään valo-opin ilmiöitä. Oppilaita pyydettiin haastattelutilanteessa ennen lampun sytyttämistä arvoimaan lampulla valaistun kepin aiheuttaman varjon muoto ja koko sekä piirtämään varjon kuva varjostimelle (kuva 5). Vain noin kolmasosa 13-14-vuotiaista oppilaista käytti tehtävän ratkaisemisessa apunaan tietoa siitä, että valo etenee suoraviivaisesti. Useissa oppilaiden muiden tehtävien yhteydessä piirtämissä kuvissakin valonsäteet ovat toisiaan leikkaavia suoria, vaikka oppilas ei vastauksessaan muuten viittäisikään valon suoraviivaiseen etenemiseen.



Kuva 5. Asetelma, jolla tutkittiin, osaavatko oppilaat soveltaa käytäntöön tietoa valon suoraviivaisesta etenemisestä. (Guesne, 1985)

3.3.3 Valon heijastuminen

Homogeenisessa materiaalissa valonsäteet ovat suoria viivoja. Niiden suunta voi muuttua vain materiaalin optisten ominaisuuksien muuttuessa esimerkiksi kahden materiaalin rajapinnassa, jolloin valo voi heijastua tai taittua. Heijastumisella tarkoitetaan valonsäteen kimpoamista pinnasta. Tällöin valon tulokulma, ts. saapuvan valonsäteen ja heijastavan pinnan normaalin välinen kulma α , on yhtä suuri kuin heijastuskulma β , jolla vastaavasti tarkoitetaan lähtevän valonsäteen ja pinnan normaalin välistä kulmaa. Tuleva ja lähtevä valonsäde sekä pinnan normaali ovat kaikki samassa tasossa. Tämä tunnetaan myös heijastuslain nimellä (kuva 6), ja se pätee kaikille materiaaleille. Esimerkiksi peilissä lasin alla oleva ohut, tasainen hopeakerros toimii valoa heijastavana pintana. Myös valkoinen paperiarkki heijastaa siihen osuvan valon, mutta koska paperin pinta on epätasainen, valo heijastuu siitä eri suuntiin, emmekä havaitse heijastumista yhtä selvästi kuin peilin tapauksessa. Tätä kutsutaan hajaheijastukseksi.



Kuva 6. Valon heijastuminen tasaiselta pinnalta. (Fysiikan ydin 9, s.73)

Anderssonin (1990) mukaan oppilaan tulee hallita ainakin alla olevassa taulukossa 2 esitetyt käsitteet, ajattelutaidot ja mallit voidakseen ymmärtää ja selittää valon heijastumisen peilistä. Taulukosta havaitaan, että hallittavaa on varsin paljon, eivätkä kaikki asiat suinkaan ole yksinkertaisia. Esimerkiksi fysiikan käsitteistä oppilaan on ymmärrettävä, että valo leviää suoraviivaisesti kaikkialle avaruuteen, mikä ei ole kaikille oppilaille selvää.

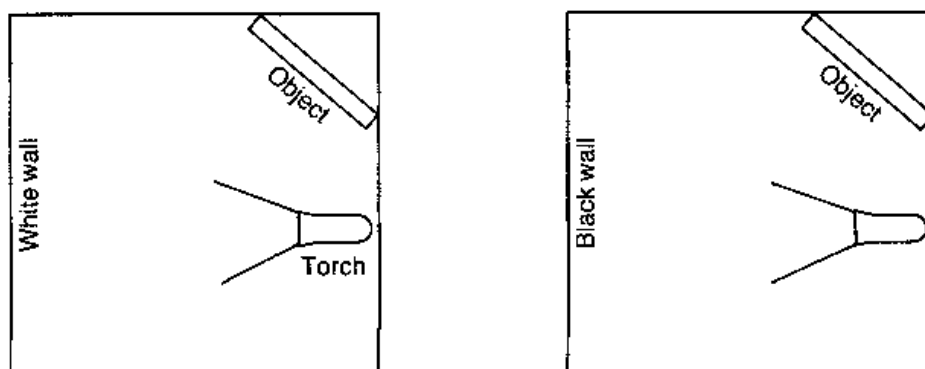
Taulukko 2. Valon heijastumisen ymmärtämiseen tarvittavat käsitteet, ajattelutaidot ja mallit Anderssonin (1990) mukaan.

Fysiikan käsitteet	Valo leviää suoraviivaisesti kaikkialle avaruuteen
Päätelytaidot	Suuruusjärjestys: mitä suurempi tulokulma on, sen suurempi on myös heijastuskulma
Geometrian käsitteet	Suora, kulma, taso, kohtisuoruus, normaali
Ajallinen järjestys	Ensin valo tulee peiliin, sitten se poistuu peilistä
Tapahtuma	Valo kimpoaa peilistä
Tieteellinen käsite	Valonsädemalli ja sen pätevyys

Valon heijastuminen näkemistämme pinnoista on monille oppilaille varsin hankala ymmärtää, mutta kuitenkin esimerkiksi näkemisen ymmärtämiseen tarvitaan ehdottomasti käsitys siitä, että heijastumista tapahtuu. Oppilaiden hankaluudet huomasi myös Guesne (1985) valaistessaan tutkimuksessaan taskulampulla ensin peiliä ja sitten valkoista paperiarkkia, ja pyytäessään 13-14-vuotiaita oppilaita selittämään, mitä valolle tapahtuu. Havaittiin, että suurin osa oppilaista ymmärtää kyllä valon heijastuvan peilistä, mutta valaistaessa valkoista paperiarkkia he uskovat valon jäävän paperin pinnalle. Tämä tuntuu varmasti oppilaiden mielestä järkevältä selitykseltä, koska paperin pinnalla nähdään valoisa läikkä. Erityisesti oppilaat, jotka käsittävät valon vain sen vaikutuksina tai valonlähteinä, rajoittuvat selityksissään tarkastelemaan vain sellaisia asioita, joita he voivat nähdä: peilissä näkyvää taskulamppua tai paperilla näkyvää valoläikkää. Kun oppilaat eivät osaa selittää

näkemäänsä, he turvautuvat helposti myös erilaisiin konkreettisiin selitysmalleihin, jotka eivät välttämättä liity millään tavalla kyseessä olevaan ilmiöön (Andersson & Kärrqvist, 1983).

Guesne (1985) teki toisille oppilaille erilaisen valon heijastumisen ymmärtämistä kartoittavan testin. Kyseessä oli kirjallinen tehtävä, jossa kaupan näyteikkunassa olevaa esinettä valaistiin epäsuorasti mustan ja valkoisen seinän kautta. Oppilailta kysyttiin, onnistuuko näytteillä olevan esineen valaiseminen kuvissa esitetyllä tavalla (kuva 7). Tässä testissä oppilaille ei ollut apunaan selvästi havaittavaa valoläikkää, kuten ensimmäisessä taskulampputestissä. 30% oppilaista oli sitä mieltä, että esine saadaan valaistua, koska valkoinen seinä heijastaa valoa. Kymmenesosan mielestä tämä onnistui myös mustalla seinällä. Nyt kuitenkin huomattavasti ensimmäistä testiä suurempi osa oppilaista uskoi valon heijastuvan valkoisesta seinästä. 13-14-vuotiailla oppilaille siis on käsitys siitä, että valo heijastuu näkemistämme pinoista. Oppilas voi kuitenkin tilanteen mukaan ottaa käyttöön eri selityksen, sen joka kulloinkin tuntuu luontevimmalta.



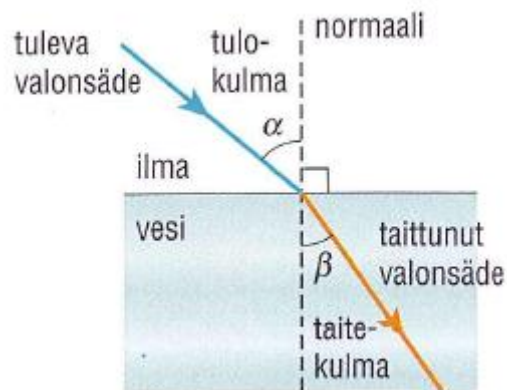
Kuva 7. Valon heijastuminen mustalta ja valkealta seinältä (Guesne, 1985)

3.3.4 Valon taittuminen

Valon saapuessa kahden optisesti erilaisen aineen rajapintaan kaikki valo ei heijastu rajapinnasta pois, vaan osa voi myös läpäistä sen. Valon kulkiessa rajapinnan läpi sen kulkusuunta- ja nopeus muuttuvat. Aineen optisista ominaisuuksista riippuen valonsäteet taittuvat rajapinnassa joko pinnan normaalia kohti tai siitä poispäin. Kuvassa 8 on esitetty valon taittuminen veden ja ilman rajapinnassa. Taittuneen valonsäteen suunta määräytyy Snellin laista

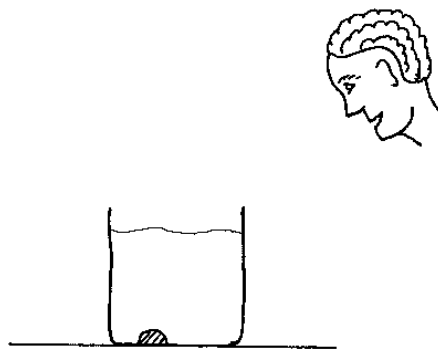
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1},$$

missä α on tulokulma, β on taittuneen säteen ja pinnan normaalin välinen kulma, ja n_1 sekä n_2 ovat aineiden taitekertoimet. Tässä tapauksessa siis n_1 on ilman taitekerroin ja n_2 veden. Aineen taitekerroin kuvaa, kuinka voimakkaasti kyseinen aine taittaa valoa ja kuinka paljon valon nopeus muuttuu sen kulkiessa aineiden rajapinnan yli. Esimerkiksi tyhjiön taitekerroin on 1 ja lasin noin 1,5-1,6 (MAOL-taulukot, s.85).



Kuva 8. Valon taittuminen ilman ja veden rajapinnassa. (FyKe 7-9 Fysiikka, s.37)

Andersson & Kärrqvist (1983) tutkivat oppilaiden käsityksiä valon taittumisesta esittämällä heille kirjallisen tehtävän (kuva 9), jossa läpinäkymättömän astian pohjalla on kolikko. Lasse on astian vieressä, mutta ei näe kolikkoa. Astia täytetään vedellä, jolloin Lasse näkeekin kolikon, vaikka hän ei ollut liikkunut paikaltaan, eikä myöskään kolikkoa tai astiaa ollut siirretty. Oppilaita pyydettiin selittämään, miksi Lasse näkee kolikon.



Kuva 9. Lasse ja kolikko vedessä. (Andersson & Kärrqvist, 1983)

Huomattava osa oppilaista (noin 30-60% luokka-asteesta riippuen) käytti selityksessään konkreettisia malleja, joilla ei ollut mitään tekemistä valon taittumisen kanssa. Kolikon uskottiin tulevan suuremmaksi, valoisammaksi tai näyttävän olevan korkeammalla, kun astiaan oli lisätty

vettä. Muutama prosentti oppilaista käytti kenties omiin kokemuksiinsa pohjautuvaa selitystä, jossa kolikon kuva heijastuu veden pintaan, josta Lasse sitten näkee sen. (Andersson & Kärrqvist, 1983)

Oppilaat osasivat myös käyttää valon heijastumista apunaan tehtävän ratkaisemisessa. Vastauksista tosin kävi ilmi, että oppilailla ei ollut oikeaa käsitystä siitä, mihin näkeminen perustuu ja mikä on silmän ja esineen välinen yhteys tässä tapahtumassa, sillä silmästä ajateltiin lähtevän jonkinlaisia näkösäteitä, jotka taittuvat vedessä ja mahdollistavat kolikon näkemisen. Luokka-asteesta riippuen 5-7% oppilaista ymmärsi kolikosta silmään tulevan valonsäteen taittuvan veden rajapinnassa siten, että Lasse näkee kolikon. (Andersson & Kärrqvist, 1983)

3.3.5 Varjot

Valo eteneminen on suoraviivaista, jolloin alueelle, johon valo ei pääse kulkemaan, muodostuu varjo. Varjon muodostumiseksi valon täytyy tulla yhdestä suunnasta. Aurinkoisella säällä ulkona varjon voi nähdä, mutta pilvisellä säällä auringonvalo siroaa pilvistä, jolloin valoa tulee joka suunnasta, eikä varjoa muodostu.

Guesne (1985) pyysi tutkimuksessaan 13-14-vuotiaita oppilaita selittämään, mitä varjo on. Oppilaat, joille ei ollut muodostunut valon olemuksesta oikeaa käsitystä, kuvailivat varjoa jonkinlaiseksi heijastukseksi tai tummemmaksi valoksi. He eivät juurikaan kiinnittäneet huomiota esineen ja sen varjon samanlaiseen muotoon. Sen sijaan oppilaat, jotka ymmärsivät valon etenevän suoraviivaisesti valonlähteestä kaikkialle avaruuteen, osasivat selittää varjon olevan aluetta, jonne valo ei pääse kulkemaan.

3.3.6 Värit

Väri ei ole kappaleen ominaisuus, vaan liittyy valon olemukseen. Valkoinen valo koostuu kaikista eri värisistä valoista, ja valo voidaan jakaa eri väreihin esimerkiksi prisman avulla. Ihmisen silmä erottaa eri värit toisistaan niiden aallonpituuden perusteella; esimerkiksi aallonpituudeltaan 630-700 nm oleva sähkömagneettinen säteily aistitaan punaisena valona (MAOL-taulukot, s.84). Se, minkä värinenä kappale nähdään, riippuu kappaleen heijastamasta valosta. Esimerkiksi punainen kappale heijastaa pois punaisen valon ja absorboi kaiken muun, jolloin kappale näyttää punaiselta.

Värien käsittely jää usein fysiikan opetuksessa varsin vähälle, vaikka syytä aiheen yksityiskohtaisempaan käsittelyyn ilmeisesti olisi. Useiden oppilaiden mielestä värit ovat kappaleen

ominaisuus, joilla ei ole mitään tekemistä valon kanssa (Guesne, 1985). Andersson ja Kärrqvist (1983) tekivät testin, jossa valkoista ovea valaistiin taskulampulla. Ovessa nähtiin valkea valoläikkä. Taskulampun eteen laitettiin punaista läpinäkyvää lasia, jolloin ovessa näkyvä valoläikkä muuttui punaiseksi. Oppilaita pyydettiin selittämään, miten punainen lasi muuttaa valoläikän valkoisesta punaiseksi.

Oppilailta oli useita erilaisia selityksiä tapahtuneelle. Osan mielestä punainen lasi värjää valon, joka itsessään on väritöntä, tai lasin läpi kulkevat valohiukkaset imevät itseensä punaista väriä. Toiset taas tarjoavat selitykseksi valon taittumista; valo kulkee lasin läpi, taittuu ja vaihtaa väriä. Valo-opin opetuksen jälkeenkin vain noin kymmenesosa 8.-9.luokan oppilaista osaa esittää oikean vastauksen, jossa valkoinen valo koostuu kaikista eri värisistä valoista, ja ovessa olevan valoläikän väri muuttuu, koska vain punainen valo pääsee lasin läpi. (Andersson & Kärrqvist, 1983)

3.3.7 Näkeminen

Valo ja näkeminen ovat askarruttaneet ihmisiä aina antiikin ajoista lähtien. Näkeminen on selitetty niin silmän sisällä olevan valaisevan tulen kuin silmästä lähtevien näkösäteidenkin avulla. Nykyään tiedetään, että valo on ehdoton edellytys näkemiselle. Ihmisen silmä ei itse emittoi valoa tai minkäänlaisia näkösäteitä, vaan näkemisen mahdollistamiseksi tarvitaan ulkoinen valonlähde. Se voi olla esimerkiksi aurinko tai sähkövalaisin. Valonlähteestä peräisin oleva valo voi saapua silmään joko suoraan tai jonkin pinnan kautta heijastuneena. Suoraan valonlähteestä tuleva valo havaitaan valonlähteenä ja pintojen kautta heijastuneen valon avulla saadaan havaintoja muusta ympäröivästä maailmasta.

Silmään saapuva valo taittuu ensin silmän ulkopinnan sarveiskalvossa ja tämän jälkeen silmän linssissä eli mykiössä. Linssiä ympäröivät lihakset venyttävät tai supistavat linssiä muuttaen sen taittokykyä, mikä mahdollistaa tarkan kuvan muodostumisen verkkokalvolle sekä kauas että lähelle katsottaessa. Verkkokalvolle muodostuu ylösalaisin oleva kuva, josta verkkokalvon valoa aistivat sauva- ja tappisolut sekä hermosolut välittävät tiedon aivojen prosessoitavaksi. (Galenos, 2003)

Ei ole lainkaan ihme, että oppilailta, joilla on hankaluuksia ymmärtää valon heijastuvan muistakin pinnoista kuin peilistä, on hankaluuksia ymmärtää myös mihin näkeminen perustuu. Opettajan ei tulekaan olettaa, että oppilaat ilman muuta ymmärtävät tämän hyvin jokapäiväisen ja arkiselta vaikuttavan seikan (Guesne, 1985). Anderssonin ja Kärrqvistin (1983) tutkimuksen mukaan vain

reilu viidennes 8.luokan ja kolmannes 9.luokan oppilaista ymmärsi silmän olevan valon vastaanottaja. Guesnen (1985) mukaan vielä pienempi osa oppilaista osasi selittää, että valonlähteestä peräisin oleva valo heijastuu kohteen pinnalta ja saavuttaa silmän, mikä on fysiikan kannalta oikea selitys näkemiselle.

Andersson & Kärrqvist (1983) esittivät oppilaille kirjallisen tehtävän, jossa fysiikan opettaja pyytää Liisaa selittämään, kuinka tämä näkee pöydällä olevan kirjan. Liisa vastaa tiedon menevän hermoja pitkin silmistä aivoihin, mutta opettaja pyytääkin Liisaa kertomaan, mitä tapahtuu kirjan ja silmien välillä? Osa oppilaista ajatteli, että silmän ja kohteen välillä ei ole mitään yhteyttä. Anderssonin ja Kärrqvistin (1983) tutkimuksessa kymmenesosa 6.luokan oppilaista oli tätä mieltä, mutta osuus laski valo-opin opetuksen myötä ollen 9.luokan oppilailla vain 1%. Ainakin tässä yhteydessä opetuksen voidaan katsoa menneen perille, vaikka oppilaiden virheelliset ennakkokäsitykset ovatkin usein hyvin pysyviä.

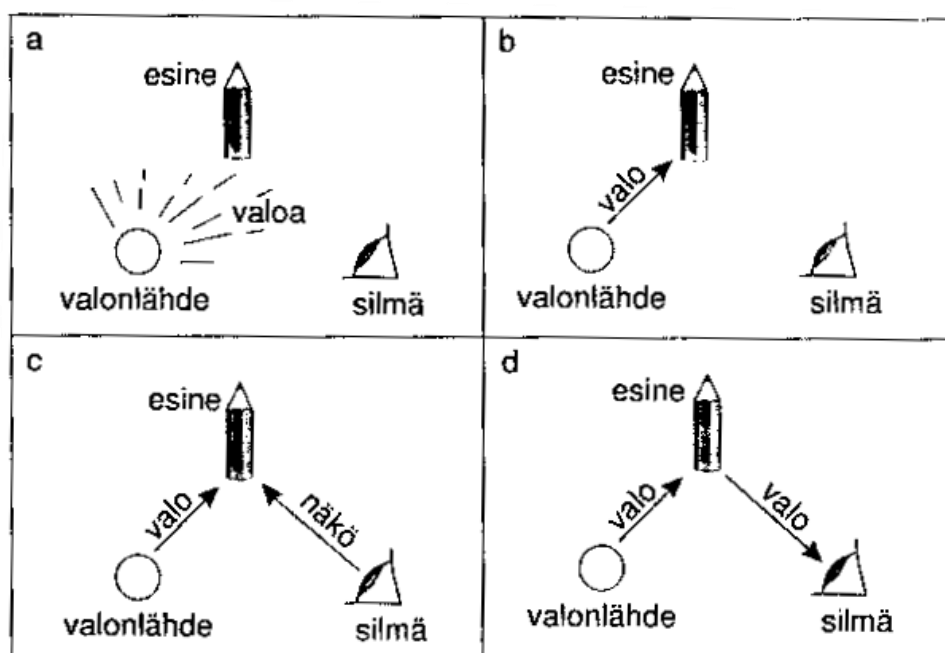
Oppilaat ovat kenties omakohtaisestikin havainneet, että näkemiseen tarvitaan valoa. Niinpä osa oppilaista toteakin, että Liisa näkee kirjan, koska huoneessa on valoa. Arkikielessä taas korostetaan usein silmien aktiivista roolia näkemisessä (Guesne, 1985). Puhummehan usein katseen suuntaamisesta, silmäilemisestä ja tarkkailemisesta. Tämä ilmeisesti sekoittaa oppilaita, sillä neljännes 7.luokan oppilaista oli sitä mieltä, että Liisa näkee kirjan, koska hän suuntaa katseensa siihen. Kummassakaan näistä käsityksistä oppilas ei näe mitään yhteyttä silmän ja kohteen välillä, mutta ensimmäisessä hän on kuitenkin oikeilla jäljillä arvellessaan valon olevan edellytys näkemiselle. (Andersson & Kärrqvist, 1983)

Andersson & Kärrqvist (1983) havaitsivat osan oppilaista käyttävän näkemisen selittämisessä historiastakin tuttua näkösädemallia. Silmän ajatellaan emittoivan jonkinlaisia näkösäteitä, jotka kulkevat silmästä kohteeseen mahdollistaen näkemisen. Joidenkin oppilaiden mielestä säteet kimpoavat vielä kohteesta takaisin silmään. Näkösäteisiin perustuvat mallit ovat kohtuullisen yleisiä oppilaiden keskuudessa, esimerkiksi 8.luokan oppilaista vajaa viidennes selitti näkemisen käyttäen näkösäteitä apunaan tavalla tai toisella.

Oppilaat eivät välttämättä miellä silmää valon vastaanottajaksi, koska heidän mielestään valoakin on vain valonlähteissä tai niiden läheisyydessä (Guesne, 1985). Vaikka silmää ei usein ajatellakaan vastaanottajaksi, oli osa oppilaista kuitenkin tällä kannalla. Heidän mielestään silmä vastaanottaa

joko kirjasta tulevan kuvan, mikä lasketaan historiasta tutuksi virhekäsitykseksi, tai kirjasta heijastunutta valoa, mikä puolestaan on fysikaalisesti oikea selitys (Andersson & Kärrqvist, 1983).

Alla olevassa kuvassa Ahtee (1992) esittää oppilaan käsityksen esineen näkemisestä kehittyvän neljässä vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa (a) valonlähde on ja valaisee ympäristöään. Tätä vaihetta voidaan pitää vastaavana kuin Anderssonin & Kärrqvistin (1983) tutkimuksessa esiin tullutta käsitystä valon tarpeellisuudesta näkemisessä. Toisessa vaiheessa (b) valonlähde valaisee nähtävän esineen. Vielä ei kuitenkaan puhuta mitään siitä, mitä tapahtuu silmän ja esineen välillä. Kolmannessa vaiheessa (c) valonlähde valaisee esineen, mutta myös silmä osallistuu aktiivisesti näkemiseen. Tämä vaihe vastaa Anderssonin & Kärrqvistin (1983) tutkimuksen oppilaita, jotka käyttivät näkemisen selittämiseen näkösädemallia. Neljännessä vaiheessa (d) valonlähde valaisee esineen, josta heijastunut valo etenee silmään. Tämä vastaa luonnontieteissä yleisesti hyväksyttyä mallia.



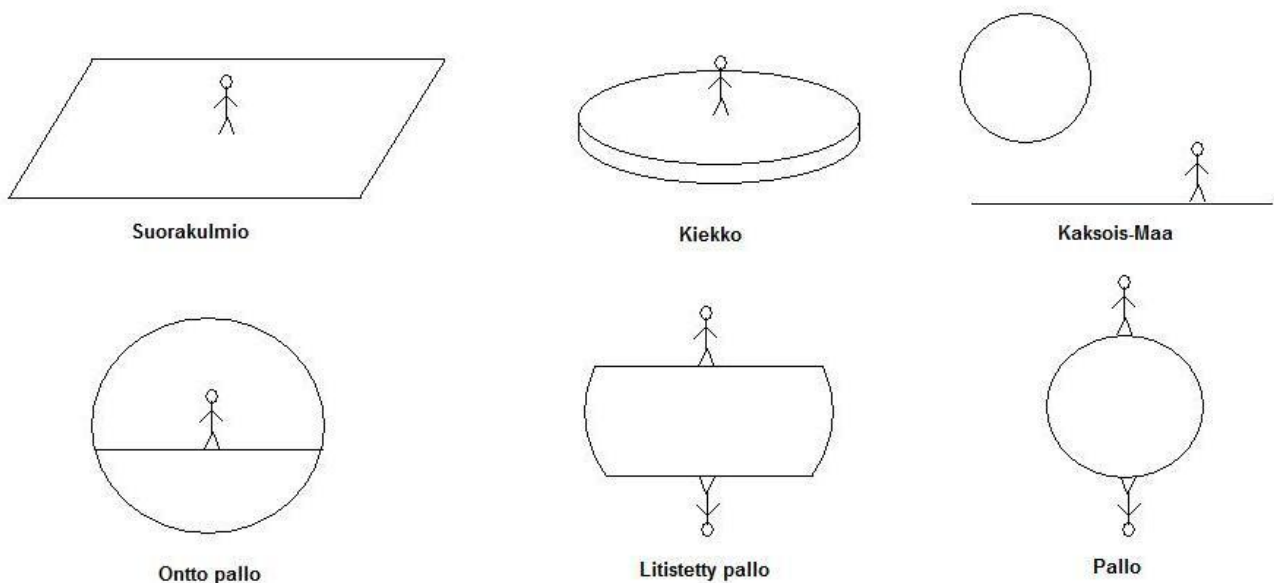
Kuva 10. Näkemisen ymmärtämisen neljä kehitysvaihetta (Ahtee, 1992)

3.3.8 Näköhavaintojen rajoitukset - Maan pallonmuotoisuus

Kuten edellä havaittiin, ei voida olettaa oppilaiden automaattisesti tietävän, mihin näkeminen perustuu. Samoin ei voida olettaa heidän tietävän, että näköaistin avulla tehdyt havainnot voivat joissain tapauksissa johtaa harhaan. Erityisesti valoon ja taivaankappaleiden liikkeisiin liittyvissä

ilmiöissä, kuten yön ja päivän vuorottelussa tai vuodenaikojen vaihtelussa, näköaistimme antaa harhaanjohtavan kuvan. Oppilaiden virhekäsityksille onkin selkeä selitys: käsitykset perustuvat heidän omakohtaisiin havaintoihinsa, eikä esimerkiksi Maan pallonmuotoisuutta ole helppo havaita itse sen pinnalla seisten. Tieto siitä, että Maa todella on pallon muotoinen, on kuitenkin oleellisen tärkeä, jotta oppilas pystyy ymmärtämään esimerkiksi vuodenaikojen vaihtelun.

Vosniadou (1991) havaitsi tutkimuksessaan kuusi erilaista käsitystä Maan muodosta. Nämä on esitetty alla olevassa kuvassa. Hyvin samankaltaisia tuloksia ovat saaneet myös esimerkiksi Baxter (1989) ja Nussbaum (1985). Osalle oppilaista Maan pallonmuotoisuus on jäänyt täysin mysteeriksi, tai he eivät ole siitä koskaan kuulleetkaan. He uskovat Maan olevan suorakulmion muotoinen levy tai pyöreä kiekko. Maan ajatellaan olevan äärettömän suuri ja avaruus puolestaan on jotain, joka on korkealla Maan yläpuolella (Nussbaum, 1985).



Kuva 11. Erilaisia käsityksiä Maan muodosta Vosniadoun (1991) mukaan.

Oppilaat, jotka ovat kuulleet Maan olevan pallonmuotoinen, mutta eivät ole pystyneet sovittamaan tietoa omiin havaintoihinsa, keksivät erilaisia selityksiä Maan pallonmuotoisuudelle. Maa, jossa he elävät, on litteä, mutta lisäksi on olemassa toinen Maa, joka on pyöreä. Maa voi olla myös ylä- ja alapuoleltaan litistetty pallo, tai kokonaan ontto pallo, jonka sisällä elämme litteällä pinnalla. Verrattuna suorakulmion ja kiekon muotoiseen Maahan on näissä kolmessa merkittävin ero se, että Maan käsitetään olevan äärellinen kappale avaruudessa (Nussbaum, 1985). Feigenbergin ym.

(2002) mukaan oppilaiden on vaikea ymmärtää myös milloin Maan pallonmuotoisuus jätetään huomioimatta ja milloin se taas on tarkasteltavan ilmiön kannalta oleellinen tekijä.

3.3.9 Maa ja Aurinko

Aurinko on aurinkokuntamme keskus, jota planeetat ja muut taivaankappaleet kiertävät. Vaikka meille Aurinko on tärkeä ja ainoa laatuaan, on se itse asiassa vain yksi lukemattomista galaksiimme kuuluvista tähdistä. Auringon pinnalla vallitsee 5785 K (noin 5500 °C) lämpötila, mutta sen sisäosissa on vielä huomattavasti lämpimämpää. Sisäosien lämpötila on niin suuri, että vetyatomit voivat fuusioitua muodostaen heliumia, ja tästä reaktiosta Aurinko saakin energiansa. (Karttunen ym., 1984)

Taulukko 3. Numerotietoa Maasta ja Auringosta (Karttunen ym., 1984)

	Maa	Aurinko
halkaisija	12 756 km	1 392 000 km = 109 kertaa Maan halkaisija
massa	$5,972 \cdot 10^{24}$ kg	$1,989 \cdot 10^{30}$ kg = 333 000 kertaa Maan massa
keskitiheys	5500 kg/m ³	1409 kg/m ³ ydinosan tiheys $1,6 \cdot 10^5$ kg/m ³
pintalämpötila	noin 300 K	5785 K
ytimen lämpötila	5000 K	ydinosan lämpötila 15 000 000 K
keskimääräinen etäisyys Auringosta	149 600 000 km = 390 kertaa Maan ja Kuun välinen etäisyys	
teho		$4 \cdot 10^{26}$ W = 4 miljoonaa tonnia ainetta muuttuu energiaksi joka sekunti

Yllä olevaan taulukkoon on koottu numerotietoa Maasta ja Auringosta. Havaitaan, että Aurinko on sekä kooltaan että massaltaan paljon Maata suurempi ja sijaitsee hyvin kaukana. Maa kiertää Aurinkoa likimain ympyrän muotoisella radalla. Todellisuudessa rata on ellipsi, jonka eksentrisyys on noin 0,0167. Jos siis Maan kiertorata piirrettäisiin ympyränä, jonka halkaisija on 10 cm, olisi suurimman ja pienimmän etäisyyden erotus vain 1,5 mm. Näin lievää elliptisyyttä ei kuvasta pystyisi edes erottamaan. (Karttunen ym., 1984)

Maailmankaikkeuden mittasuhteita voi olla vaikea ymmärtää, koska välimatkat ovat hyvin suuria. Karttunen ym. (1984) mukaan etäisyyksistä voi saada käsityksen tarkastelemalla aikaa, joka valolla kuluu matkalla kohteesta tarkkailijan silmän verkkokalvolle. Auringosta tähän matkaan kuluu 8 minuuttia, Plutosta 5½ tuntia, lähimmästä tähdestä 4 vuotta ja lähimmästä galaksista jo 150 000 vuotta. Valo on siis lähtenyt lähimmästä galaksista matkaan muinaisen Neanderthalin ihmisen elinaikaan. Andromedaan galaksista Maahan valon matka kestääkin jo noin 2 miljoonaa vuotta. Kaukaisimmista tähdenkaltaisista kohteista eli kvasaareista nyt havaittava valo on lähtenyt matkaan jo ennen kuin maapalloa edes oli olemassa. (Karttunen ym., 1984)

Ojalan (1997) mukaan vielä yliopistossa opiskelevillakin on runsaasti virheellisiä käsityksiä Auringosta, Maasta, Maan kiertoradasta sekä näiden keskinäisistä kokosuhteista ja etäisyyksistä. Tämän perusteella voi vain arvailla, mikä mahtaakaan olla tilanne peruskoulussa? Feigenbergin ym. (2002) mukaan oppilaiden hankaluudet eivät kuitenkaan välttämättä johdu tieteellisen tiedon puutteesta, vaan hankaluuksista ymmärtää suuria mittakaavoja.

Erittäin yleinen virhekäsitys on, että Maa on hyvin suuri ja Aurinko melko pieni. Tälle onkin helppo saada vahvistusta, sillä meidän näkökulmastamme katsottuna Aurinko todella näyttää pieneltä. Auringon uskotaan myös olevan lähellä Maata, kuten Kuukin. Mikäli Auringon koko tai etäisyys Maasta ilmaistaan numeroina, ovat luvut niin suuria, etteivät oppilaat pysty niitä käsittämään. Tällaista tietoa harvemmin myöskään muistetaan tai osataan soveltaa käytäntöön. Jonkinlainen mittakaavamalli tai muu konkreettinen esitys onkin tarpeen, jos oppilaiden halutaan oppivan, että Aurinko on suuri ja hyvin kaukana, vaikka ei siltä näytäkään. (Ojala, 1997)

Varsin yleisesti uskotaan myös, että Maa pysyy paikoillaan ja Aurinko liikkuu. Auringon liike voi olla edestakaisin tapahtuvaa tai kiertoliikettä Maan ympäri. Näkökulmaa, jossa Maa on kaiken keskipiste, jota muut planeetat ja Aurinko kiertävät, kutsutaan geosentriseksi. Geosentrinen käsitys liittyy vahvasti oppilaan minäkeskeiseen ajattelutapaan, jossa havainnot pyritään selittämään omien kokemusten pohjalta. Tieteellisen käsityksen kehittymisen kannalta olisi kuitenkin tärkeää päästä irti geosentrisyydestä ja siirtyä heliosentriseen ajatteluun, jossa Aurinko on aurinkokuntamme keskipiste. (Ojala, 1997)

Vaikka oppilas ymmärtäisikin Maan kiertävän Aurinkoa eikä päinvastoin, eivät Maan akselin kallistuskulma ja kiertoradan muoto välttämättä ole itsestäänselvyksiä. Oppilaalla voi olla virheellinen käsitys, että Maan kiertorata Auringon ympäri on voimakkaasti elliptinen, vaikka

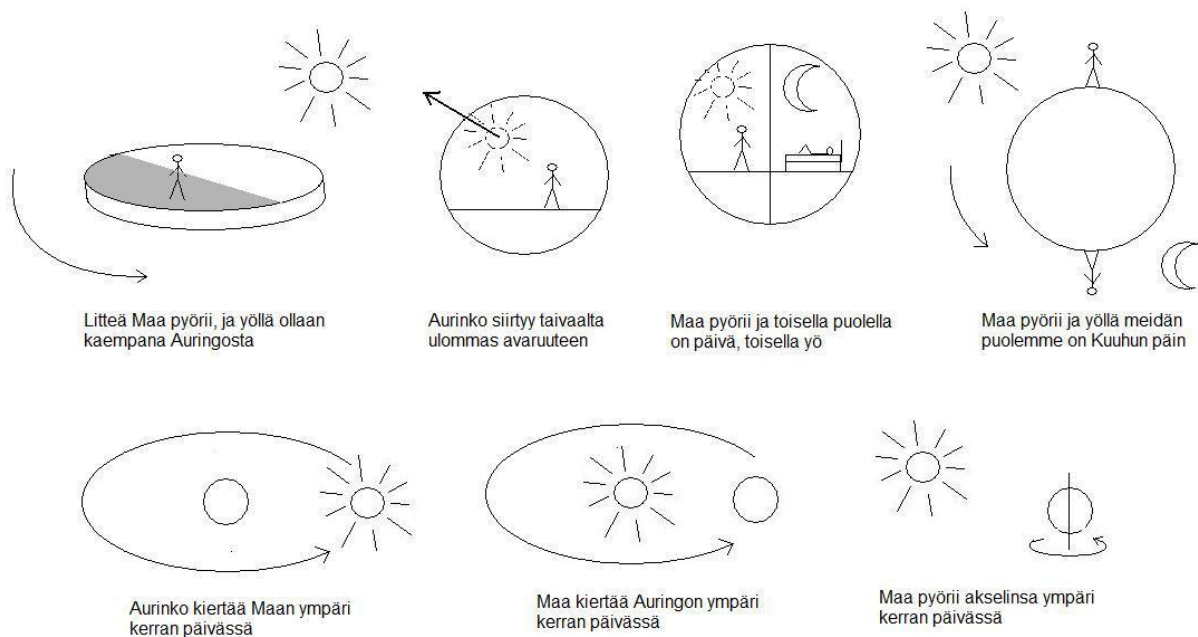
todellisuudessa elliptisyys on hyvin vähäistä. Tässä yhteydessä voisi olla tarpeen korostaa oppilaille, että kolmiulotteisen ilmiön esittämien kahdessa ulottuvuudessa kirjan sivulla voi aiheuttaa sen, että kiertorata piirretään ellipsinä, vaikka todenmukaisempaa olisi esittää se ympyränä. (Ojala, 1997)

3.3.10 Yön ja päivän vuorottelu

Maan pyörähdysajasta itsensä ympäri määräytyy vuorokauden pituus. Pyörähdysaika voidaan määrittää joko tähtitaivaan tai Auringon sijainnin mukaan. *Sideerinen* vuorokausi eli tähtivuorokausi tarkoittaa Maan pyörähdysaika kaukaisten tähtien suhteen. Tähtivuorokausi on kulunut, kun tähdet näkyvät jälleen samassa suunnassa ja sen pituus on 23h 56min 4,099s. *Synodinen* eli aurinkovuorokausi sen sijaan tarkoittaa Maan pyörähdysaika Auringon suhteen ja on tähtivuorokautta noin 3min 57s pidempi, sillä yhden tähtivuorokauden aikana Maa on edennyt noin asteen verran kiertoradallaan Auringon ympäri, jolloin Maan on pyörähdettävä vielä hieman lisää, jotta Aurinko näkyisi taas samassa paikassa. Vuoden aikana tähtivuorokausia ehtii kulua yksi enemmän kuin aurinkovuorokausia. Koska elämä Maassa etenee yön ja päivän vaihtelun mukaan, on käytännöllisempää perustaa ajanlasku Aurinkoon kuin tähtiin. Vuorokaudesta puhuttaessa tarkoitetaan siis yleensä aurinkovuorokautta. (Karttunen ym., 1984)

Oppilaat ovat arkielämässään havainneet, että yöllä on pimeää ja päivällä valoisaa. Syy tähän on kuitenkin usein arvoitus, eivätkä koulussa esitetyt selitykset tunnu järkeviltä, jos oppilaalla ei ole selkeää kuvaa Maasta äärellisenä pallonmuotoisena kappaleena avauudessa. Vosniadou (1991) ja Baxter (1989) ova tutkineet oppilaiden selityksiä yön ja päivän vuorottelulle ja löysivät useita tieteellisestä selityksestä poikkeavia esityksiä.

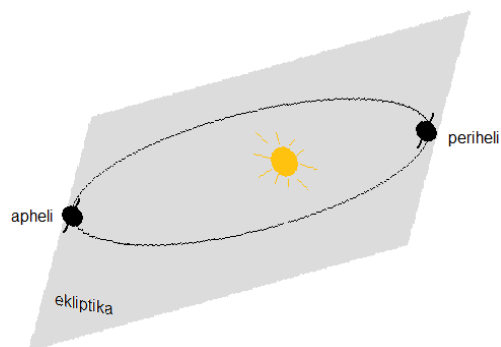
Sekä Baxterin (1989) että Vosniadoun (1991) tutkimuksessa varsinkin nuoremmat oppilaat tarjosivat naiiveja ja konkreettisia selityksiä, joiden mukaan yöllä on pimeää, koska pilvet tai Kuu peittävät Auringon, tai Aurinko laskee vuorien taakse ja Kuu nousee esiin. Maan pallonmuotoisuus tai pyöräminen oman akselinsa tai Auringon ympäri eivät tule millään tavalla esiin näissä selityksissä. Alla olevassa kuvassa on esitetty oppilaiden selityksiä, joissa näistä kolmesta seikasta esiintyy ainakin yksi. Selityksistä havaitaan, että oppilas on yrittänyt sovittaa yhteen omia havaintojaan ja koulussa tai muualla kuulemiaan selityksiä, joissa kerrotaan Maan olevan pyöreä ja pyörivän oman akselinsa ja Auringon ympäri.



Kuva 12. Oppilaiden selityksiä yön ja päivän vuorottelulle Baxterin (1989) ja Vosniadoun (1991) mukaan.

3.3.11 Vuodenaikojen vaihtelu

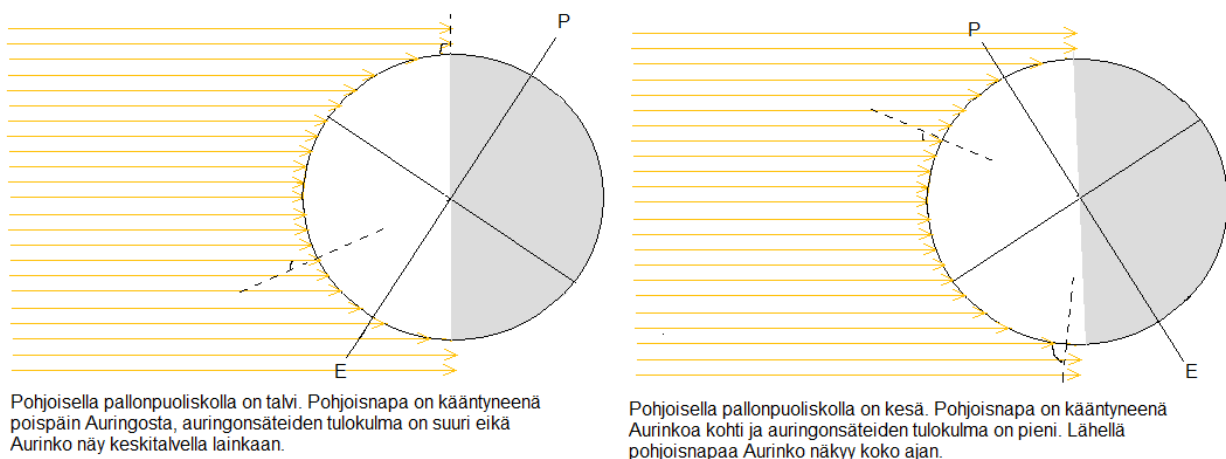
Maa kiertää Auringon ympäri ja pyörii lisäksi oman, kallellaan olevan pyörähdysakselinsa ympäri. Maan akseli on kiertotasoon eli *ekliptikaan* nähden kallellaan noin $23,5^\circ$. Alla olevassa kuvassa on esitetty Maan kiertorata Auringon ympäri. *Periheliksi* kutsutaan pistettä, jossa Maa on radallaan lähinnä Aurinkoa. *Apheli* vastaavasti on piste, jossa Maa on kauimpana auringosta. Maan pyöriminen oman akselinsa ympäri aiheuttaa yön ja päivän vuorottelun. Pimeän ja valoisan ajan pituuksien vaihtelu sen sijaan johtuu Maan akselin kallistuskulmasta ja liittyy vuodenaikojen vaihteluun.



Kuva 13. Maan kiertorata Auringon ympäri (mittasuhteet eivät ole todenmukaiset ja Maan radan elliptisyyttä on liioiteltu).

Maan kiertoajasta Auringon ympäri määräytyy vuoden pituus. Kuten vuorokausikin, myös vuosi voidaan kuitenkin määrittellä usealla eri tavalla. *Sideerinen* eli tähtivuosi määritetään Maan paikasta kaukaisten tähtien suhteen. *Trooppisella* vuodella tarkoitetaan aikaa, joka Maalla kuluu kevättasauspisteestä takaisin samaan pisteeseen. *Anomalistinen* vuosi taas on kahden peräkkäisen perihelin välinen aika. Koska Maan rata on ellipsi, ei Maan ratanopeus pysy samana koko kierroksen ajan. Tämä aiheuttaa epätarkkuutta Maan liikkeeseen perustuvaan ajanmääritykseen. Epätarkkuuden vähentämiseksi on määritetty ns. *keskiaurinkoaika*, jonka avulla todellinen aurinkoaika saadaan sovitettua kalenteriaikaan. (Karttunen ym., 1984)

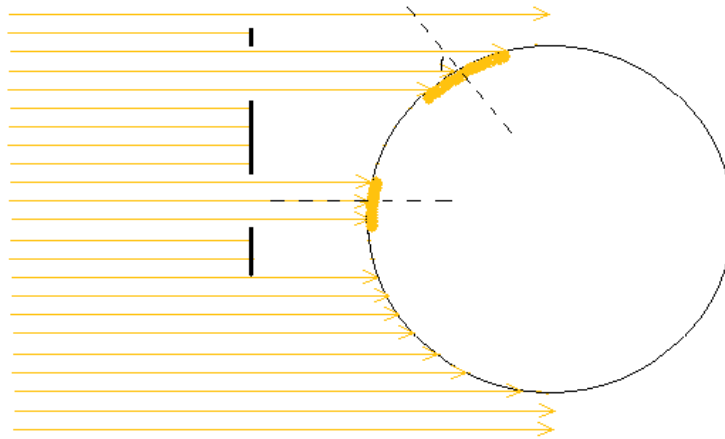
Maan radan lievän elliptisyyden vuoksi etäisyys Auringosta ja auringonsäteiden vuontiheys vaihtelevat hieman. Tällä ei kuitenkaan ole vaikutusta vuodenaikoihin, vaan vuodenaikojen vaihtelu johtuu Maan akselin kallistuskulmasta ekliptikaan nähden. Maan kiertäessä Auringon ympäri ovat akselin kallistuskulmasta johtuen vuoroin pohjois- ja eteläpuolisko Aurinkoon päin (kuva 14). Sillä puoliskolla, joka on Aurinkoon päin, on kesä. Valoisa aika eli päivä on pidempi kuin pimeä aika eli yö. Lähellä Aurinkoon päin olevaa napaa yö ei tule keskikesällä lainkaan, vaan Aurinko on näkyvissä koko ajan. Samaan aikaan Maan toisella puoliskolla on talvi, jolloin yö on päivää pidempi. Keskitalvella Aurinkoa ei nähdä lainkaan Auringosta poispäin olevan navan lähellä. (Karttunen ym., 1984)



Kuva 14. Vuodenaikojen vaihtelu pohjoisella pallonpuoliskolla.

Kesän ja talven lämpötilaerot johtuvat Auringosta tulevan säteilyn epätasaisesta jakautumisesta pallonmuotoisen Maan pinnalle (kuva 15). Aurinko on hyvin kaukana Maasta, joten Maahan tulevien auringonsäteiden voidaan katsoa olevan yhdensuuntaisia. Päiväntasaajan tienoilla

auringonsäteet saapuvat lähes kohtisuoraan Maan pinnalle ja kimppu auringonsäteitä lämmittää pientä pinta-alaa. Mitä lähemmäs napoja mennään, sitä suuremmaksi kasvaa Maan pinnan normaalin ja Maahan tulevien auringonsäteiden välinen kulma. Tällöin samansuuruinen kimppu auringonsäteitä jakautuu lämmittämään suurempaa pinta-alaa.

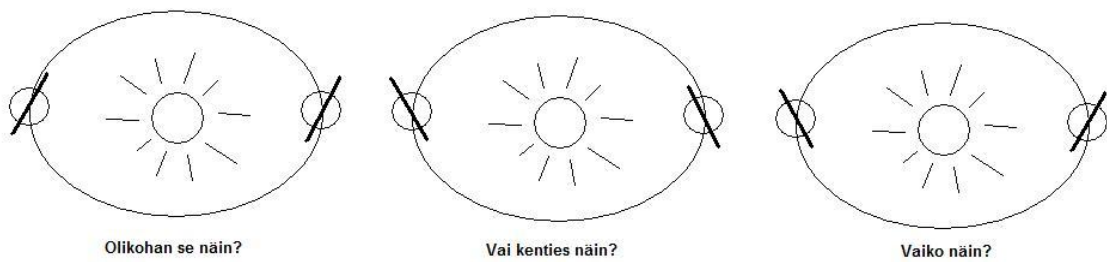


Kuva 15. Säteilyn epätasainen jakautuminen pallopinnalle. Sama määrä säteilyä jakautuu sitä suuremmalle alalle, mitä suurempi on pallon pinnan normaalin ja saapuvien säteiden välinen kulma.

Karttusen ym. (1984) mukaan Maan akselin kallistuskulman vaikutukset Maan vuodenaikoihin ja lämpötilaeroihin voidaan summata seuraaviin kolmeen kohtaan:

- auringonsäteiden tulokulman ollessa pieni säteet jakautuvat pienemmälle alueelle lämmittäen tehokkaammin
- tulokulman ollessa pieni säteily kulkee lähes suoraan ilmakehän läpi, jolloin se heikkenee vähemmän
- alueella, jossa säteiden tulokulma on pieni, on myös päivä pidempi, jolloin alue saa enemmän lämpöä

Oppilaille ei kuitenkaan välttämättä ole selvää, miten suuri merkitys Maan akselin kallistuskulmalla on vuodenaikojen vaihtelussa. Akselin kallistuskulma on myös voitu ymmärtää väärin, kuten kuvasta 16 käy ilmi. Oppikirjassa esitetyn tai jostain muualta kuullun lauseen Maan akselin kallistuskulman pysymisestä vakiona kiertotasoon nähden voi siis tulkita monella eri tavalla. (Ojala, 1997)



Kuva 16. Erilaisia tulkintoja Maan akselin kallistuskulmasta.

Päivän ja yön vuorottelun ymmärtämiseksi oppilaalle riittää tietää, että Maa on pallonmuotoinen ja pyörii itsensä ympäri. Jotta oppilas pystyisi ymmärtämään syyn vuodenaikojen vaihtelulle, täytyy hänen sisäistää vielä lisäksi Maan kiertorata Auringon ympäri, Maan akselin kallistuskulma sekä Maan pallonmuotoisuudesta johtuvat Auringon säteilyn epätasainen jakautuminen Maan pinnalle. Vuodenaikojen vaihtelu on siis vuorokaudenaikojen vaihtelua huomattavasti vaikeampi ymmärtää.

Tutkimusten perusteella on havaittu, että oppilailla on lukuisia erilaisia käsityksiä siitä, miksi talvella on kylmempää. Osa varsinkin nuoremmista oppilaista tukeutui selityksissään arkielämän kokemuksiin käyttäen konkreettisia selityksiä. Talvella on kylmempää, koska silloin puhaltaa kylmä pohjoinen tuuli tai Aurinko on väsynyt (Kikas, 1998). Kylmyys voi johtua myös siitä, että raskaat pilvet peittävät Auringon, tai jokin kylmä planeetta vie Auringon lämmön, eikä sitä riitä Maahan (Baxter, 1989).

Vahvasti arkielämän kokemuksiin liittyy oppilaiden selityksissään käyttämä etäisyysteoria, jonka mukaan lämmönlähteen lähellä on lämpimämpää. Kaikki ovat varmasti huomanneet, että aivan nuotion äärellä on lämpimämpää kuin muutaman metrin päässä siitä. Oppilaat käyttävät tätä arkielämän havaintoaan hyväksi ja selittävät talven kylmyyden johtuvan siitä, että Maa on silloin kauempana Auringosta. Tämän käsityksen on havaittu olevan hyvin yleinen oppilaiden keskuudessa ja sen olemassolon havaitsivat sekä Baxter (1989) että Kikas (1998). Oppilaat saavatkin arkielämästä jatkuvasti vahvistusta etäisyysteorialleen, ja lisäksi oppikirjojen kuvilla vahvistetaan tätä käsitystä (Kikas, 1998).

Konkreettisten selitysten ja etäisyysteorian lisäksi oppilaat tarjosivat selityksiä, jotka olivat osittain tai kokonaan oikeita. Epätäydellisistä selityksistä esimerkkinä on selitys, jonka mukaan kaikki planeetat liikkuvat, Maan akseli on kallistunut ja myös auringonsäteet ovat kallistuneet (Kikas,

1998). Geosentrisen näkemyksen mukaan oppilaat selittivät, että Aurinko siirtyy Maan toiselle puolelle, ja silloin meillä on talvi (Baxter, 1989). Oppilaat esittivät myös eksakteja sääntöjä, vaikkakaan säännöt eivät aina olleet täysin oikeita. Oppilas saattoi esimerkiksi selittää, että talvella on kylmempää, koska auringonsäteet ovat kallistuneet ja tuovat siten vähemmän energiaa. Osa oppilaista nojasi selityksissään suoraan auktoriteetteihin, kuten oppikirjaan tai vanhempiinsa, esittämättä sen kummempia perusteluita. Oikeat perustelut vuodenaikojen vaihtelulle esitti vain kolme ryhmää, kun yhteensä ryhmiä oli tutkimuksessa mukana 12. (Kikas, 1998)

3.3.12 Yhteenveto oppilaiden ennakkokäsityksistä

Tutkimusten mukaan oppilailla on havaittu olevan runsaasti virheellisiä ennakkokäsityksiä valosta, sen ominaisuuksista ja käyttäytymisestä ja siihen liittyvistä ilmiöistä. Onkin tärkeää selvittää, saavatko oppilaat näille käsityksilleen vahvistusta esimerkiksi oppikirjojen kuvista, jotta virhekäsitysten syntyminen tai vahvistuminen voidaan estää ja kuvituksen laatua parantaa. Alle on koottu lista oppilailla yleisesti esiintyvistä virheellisistä ennakkokäsityksistä, jotka mielessä pitäen oppikirjojen kuvia lähdetään tarkastelemaan.

- Valoa on vain valonlähteen lähellä.
- Valo heikkenee edetessään.
- Valo heijastuu vain peilistä.
- Varjo on heijastus tai tummempaa valoa.
- Värit ovat kappaleen ominaisuus, eivätkä liity valoon.
- Näkösäteet mahdollistavat näkemisen.
- Maa on tasainen (esim. suorakulmio/kiekko/ontto pallo)
- Aurinko on pieni ja lähellä Maata.
- Maa on paikallaan ja Aurinko liikkuu.
- Maan kiertorata Auringon ympäri on ellipsi, ja vuodenaikojen vaihtelu johtuu Maan ja Auringon välisen etäisyyden vaihtelusta.

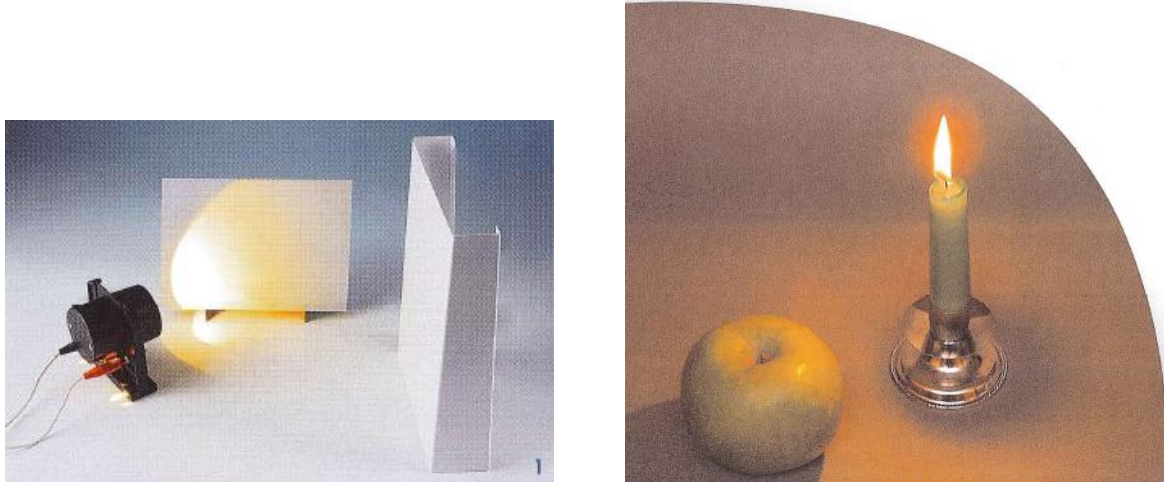
4. Oppikirjojen kuvat suhteessa oppilaiden ennakkokäsityksiin

Tässä luvussa tarkastellaan oppikirjoissa olevia valoa ja siihen liittyviä ilmiöitä käsitteleviä kuvia fysiikan opetuksen ja oppilaiden ennakkokäsitysten valossa. Tarkastelun tavoitteena on selvittää, esiintyykö oppikirjoissa kuvia, jotka vahvistavat oppilaiden virheellisiä ennakkokäsityksiä. Lisäksi selvitetään, löytyykö kirjoista kuvia, joiden avulla oppilaiden on mahdollista kehittää oikea, tieteellisesti hyväksytty käsitys esitetystä asiasta. Tällaiset kuvat ovat luonnollisesti opetuksen kannalta kaikkein hyödyllisimpiä. Luku etenee luvussa 3.3.12 mainittujen kymmenen ennakkokäsityksen mukaan, joista kustakin on nostettu esiin muutamia esimerkkikuvia. Lopuksi havainnoista kootaan yhteenvetona taulukko.

4.1 Valoa on vain valonlähteen lähellä

Oppilaat mieltävät usein valoksi vain riittävän intensiivisen sähkövalon ja uskovat valoa olevan vain siellä, missä sen vaikutukset voidaan havaita, kuten valoisissa läikissä lattialla (Guesne, 1985). Kun tähän yhdistetään tieto siitä, että monien oppilaiden mielestä valoa on vain valonlähteen välittömässä läheisyydessä (Andersson & Kärrqvist, 1983), voidaan olettaa valonlähdettä (erityisesti sähkölamppua) ja sen aiheuttamaa valoläikkää esittävien kuvien vahvistavan oppilaiden virheellisiä ennakkokäsityksiä.

Alla olevassa kuvassa on esitetty kaksi oppikirjoista poimittua kuvaa, joissa näkyy valonlähteen aikaansaama valoläikkä tai ympäristöä valoisampi alue. Vasemmanpuoleinen kuva on tehtävästä, jossa sähkölampulla valaistetaan erilaisia materiaaleja, kuvan tapauksessa valkoista pintaa, ja tutkitaan valon heijastumista eri materiaaleista. Tehtävä on lähes sama kuin jo aiemmin luvussa 3.3.3 esitelty Guesnen (1985) tutkimuksessaan suorittama koe. Guesne havaitsikin, että varjostimella näkyvä valoläikkä häiritsi oppilaiden keskittymistä tehtävän kannalta oleelliseen asiaan eli valon heijastumiseen. Oikeanpuoleisessa kuvassa valonlähteenä on kynttilä ja sen ympärillä on havaittavissa ympäristöä valoisampi alue, joskaan vasemmanpuoleiseen kuvaan verrattuna valoisampi alue ei nyt ole yhtä helposti ympäristöstä erotettavissa.



Kuva 17. Vasemmalla valon heijastumista käsittelevän kokeellisen tehtävän kuvituksena käytetty kuva sähkölampusta ja varjostimista. Kuvaan liittyy tehtävänanto ”Tutki valon heijastumista erilaisista pinnoista valaisemalla niitä esimerkiksi taskulampulla. Tee havaintoja heijastuneen valon määrästä.” (Ilmiö Fysiikan oppikirja 7-9, s. 52) Oikealla valon ominaisuuksia käsittelevän kappaleen kuvituksena käytetty kuva kynttilästä ja omenasta. Kuvaan liittyy kuvateksti ”Esineet näkyvät, koska valonlähteen, kuten kynttilän, lähettämä valo heijastuu niistä.” (Aine ja energia Fysiikan tietokirja, s.30)

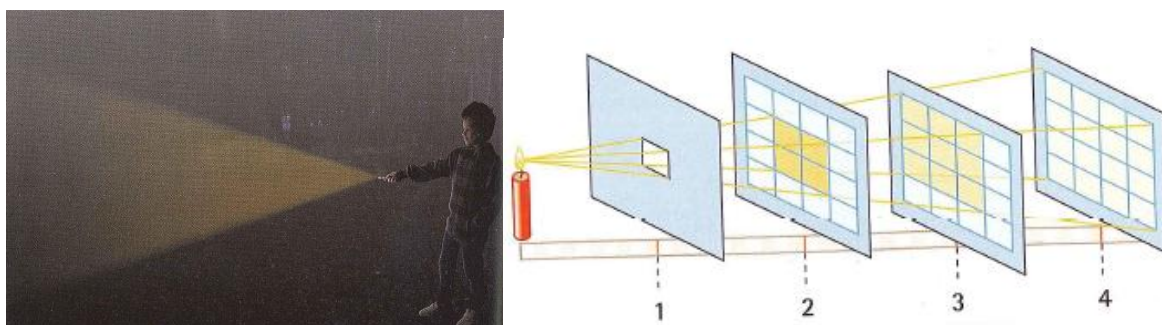
Todellisuudessa valoa kuitenkin on kaikkialla. Millainen kuva sitten tukisi tämän tiedon omaksumista? Valokuva lienee todisteita tarjoavan luonteensa vuoksi tässä yhteydessä itsestäänselvä valinta. Oikeastaan tarkoitukseen kävisi mikä tahansa valokuva, jossa valonlähde, kuten Aurinko tai kattolamppu, valaisee tasaisesti esimerkiksi maiseman tai huoneen. Kuvassa ei kuitenkaan saisi esiintyä valoläikkiä. Tutkituissa oppikirjoissa esiintyy runsaasti eri asiayhteyksissä käytettyjä ulko- ja sisätiloista otettuja valokuvia, mutta mikäli näitä kuvia halutaan käyttää avuksi valon ominaisuuksien omaksumisessa, tarvitaan avuksi opettajan selitystä. Oppilaille ei näet välttämättä ole selvää, mihin näkeminen perustuu, eikä valonlähdettä useinkaan ole eksplisiittisesti esitetty kuvassa.

4.2 Valo heikkenee edetessään

Oppilaiden voi olla vaikea ymmärtää jo sekin seikka, että valo ylipäättään etenee (Guesne, 1985). Vielä hankalampaa on ymmärtää, että valo etenee heikkenemättä äärettömän kauas, ellei sen tielle satu esteitä (Andersson & Kärrqvist, 1983). Todisteena tästä voisivat toimia esimerkiksi kaukaisista tähdistä, galakseista tai muista kohteista otetut valokuvat, joita oppikirjoista yleensä löytyykin.

Oppilaille voi tosin olla vaikeuksia ymmärtää, miten kaukana nämä kohteet todellisuudessa sijaitsevat, ja miten valokuvat on saatu otettua. Lisäksi oppilaiden täytyisi ymmärtää, että kohteiden näkeminen edellyttää valon saapumista kohteesta tarkkailijan silmään.

Arkielämässään oppilaat ovat kenties itsekin havainneet alla vasemmalla olevan kuvan kaltaisen tilanteen, jossa taskulamppu valaisee paremmin lähellä kuin kaukana olevat kohteet. Vaikka kuva saattaa vahvistaa kuvitelmaa valon heikkenemisestä, on kuvatekstissä kuitenkin kerrottu valaistusvoimakkuuden heikkenevän, eikä suinkaan itse valon. Oleellista onkin tehdä ero näiden kahden välille: valo ei heikkene, vaan valaistusvoimakkuus, jolla tarkoitetaan valon määrää pinta-alaa kohden. Oikeanpuoleisessa piirroskuvassa on selvästi esitetty kynttilän valaisema pinta-ala neliöiden määränä ja valaistusvoimakkuuden heikkenemistä on havainnollistettu keltaisen eri sävyillä. Vasemmanpuoleisen kuvan lisäksi edellisessä kappaleessa olleen kynttilää ja omenaa esittävän kuvan kaltaiset kuvat saattavat vahvistaa oppilaiden käsityksiä valon heikkenemisestä, sillä heidän mielestään kynttilän valo on niin heikko, ettei se jaksakaan edetä kovin kauas (Andersson & Kärrqvist, 1983).



Kuva 18. Valaistusvoimakkuuden heikkenemistä havainnollistavia kuvia. Molemmat kuvat ovat valoa käsittelevistä kappaleista. Vasemmanpuoleiseen kuvaan liittyy kuvateksti ”Valaistusvoimakkuus pienenee, kun etäisyys kasvaa. Valokeilan valo jakautuu suuremmalle pinta-alalle. Valokeila näkyy sumuisessa tai pölyisessä ilmassa.” (FyKe 7-9 Fysiikka, s.26) Oikeanpuoleiseen kuvaan liittyy kuvateksti ”Valolähteen valaisema alue nelinkertaistuu etäisyyden kaksinkertaistuessa. Samalla valaistusvoimakkuus pienenee neljäsosaan.” (Aine ja energia Fysiikan tietokirja, s.32)

4.3 Valo heijastuu vain peilistä

Guesne (1985) havaitsi tutkimuksessaan, että useat oppilaat uskovat valon heijastuvan vain peilistä. Tämä oletus saakin tukea oppilaiden arkipäivän kokemuksista, mutta sitä tuetaan myös

oppikirjoissa. Valon heijastumisen käsittely aloitetaan usein juuri peleistä, ja joskus jopa koko kappale nimetään harhaanjohtavasti, kuten *Valo heijastuu peilistä* (FyKe 7-9 Fysiikka, s.30). Erilaisia kohdetta ja sen peilikuvaa esittäviä valokuvia löytyy oppikirjoista runsaasti. Valon heijastumiseen oleellisesti liittyvää heijastuslakia on myös havainnollistettu kuvin, joissa usein heijastavana pintana on peili. Alla on tyypillinen esimerkki heijastuslain havainnollistamisesta, jossa piirroskuvassa esitetään heijastuslaki kulmineen ja pinnan normaaleineen, ja valokuvassa valo heijastuu peilistä.

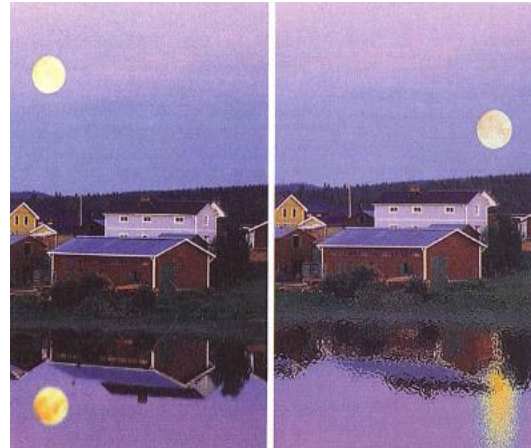


Valo heijastuu peilistä yhtä viistosti kuin on siihen osunut. Tulokulmaa on merkitty α :lla ja heijastuskulmaa β :lla. $\alpha = \beta$.

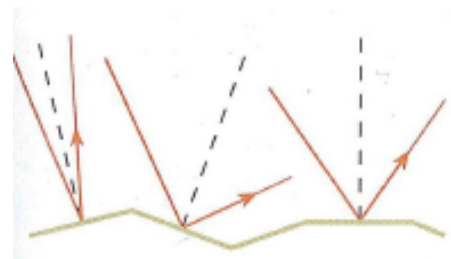
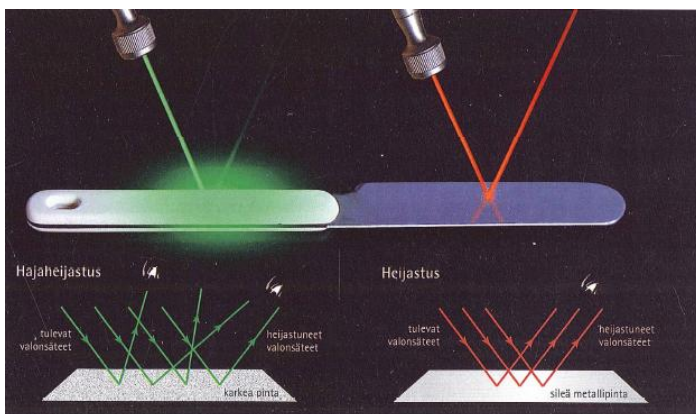
Kuva 19. Heijastuslakia havainnollistaiva kuvia. Kuvat ovat valon heijastumista käsittelevästä kappaleesta. (Fysiikan ydin 9, s.73)

Näkemisen ja sitä kautta monien muiden ilmiöiden ymmärtämisen kannalta oppilaiden olisi kuitenkin ensiarvoisen tärkeää sisäistää, että valo heijastuu myös muista pinnoista. Tätä voisi havainnollistaa esimerkiksi kuvan 17 vasemmanpuoleisen kuvan kaltaisilla valokuvilla, joissa erilaisia pintoja valaistetaan lampulla. Kuvissa ei kuitenkaan saisi näkyä kuvan 17 kaltaisia valoläikkiä, ja varjostimelle heijastuneen valon määrän täytyisi olla kuvissa selvästi havaittavissa. Valokuvien avulla havainnollistamiseen sopivat myös alla olevan kuvan kaltaiset maisemakuvat. Kun sama maisema kuvataan heijastuneena tyynen ja väreilevän vedenpinnan kautta, havaitaan selvästi, että väreilevässä vedenpinnassa peilikuva on epäselvä verrattuna tyneen vedenpintaan. Pelkän valokuvan avulla on kuitenkin vaikea tuoda esiin, miksi maiseman peilikuvat ovat erilaiset. Piirroskuvia käytetäänkin tässä apuna.

Kuva 20. Maisema heijastuneena tyynestä ja väreilevästä vedenpinnasta. Kuva on lisämateriaalina valon heijastumista käsittelevässä kappaleessa, ja siihen liittyy kuvateksti ”Tyynessä vedenpinnassa voi nähdä Kuun valesäteen, koska Kuusta lähtevät valonsäteet heijastuvat veden pinnasta (yllä vasemmalla). Pienikin aaltoilu saa valesäteen muuttumaan niin sanotuksi Kuun sillaksi. Veden pinta on nyt hajaheijastava (yllä oikealla).” (Aine ja energia Fysiikan tietokirja, s.41)



Alla olevassa vasemmanpuoleisessa kuvassa havainnollistetaan selkeästi valokuvan ja piirrosten avulla valon heijastumista erilaisista pinnoista. Kuvassa esitetään valon heijastuminen veitsen kahvasta, joka on karkea pinta, ja veitsen terästä, joka on sileä pinta. Veitsen alla olevien piirroskuvien avulla havainnollistetaan, että valo heijastuu kummastakin pinnasta, mutta karkeasta pinnasta valo hajaheijastuu, eli valonsäteet lähtevät eri suuntiin. Tästä johtuen veitsen kahvasta hajaheijastunut valo on nähtävissä monesta eri suunnasta, kun taas veitsen terästä heijastunut valo näkyy vain yhdestä suunnasta. Perimmäinen syy hajaheijastumiseen ei kuitenkaan käy vielä ilmi vasemmanpuoleisesta kuvasta. Oikeanpuoleisessa kuvassa on esitetty piirroskuva karkeasta pinnasta, jonka ajatellaan koostuvan pienistä paloista tasaista pintaa. Näistä pienistä pinnoista valo heijastuu heijastuslain mukaisesti.

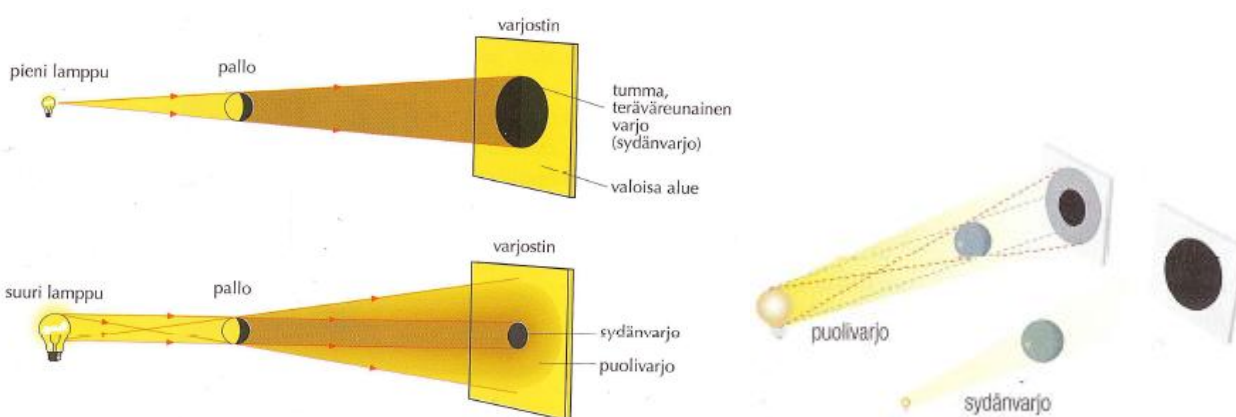


Kuva 21. Heijastus ja hajaheijastus. Vasemmanpuoleinen kuva on valon heijastumista käsittelevän kappaleen lisämateriaalina ja siihen liittyy kuvateksti ”Tasaisesta pinnasta valo heijastuu vain yhteen suuntaan. Heijastuneen valon voi nähdä vain tästä suunnasta. Muovipinta on mikroskooppisesti karheaa ja siitä syntyy hajaheijastus.” (Aine ja energia Fysiikan tietokirja, s.41) Oikeanpuoleinen kuva on valon heijastumista käsittelevän kappaleen kuvituksena. Kuvaan ei liity kuvatekstiä. (Ilmiö Fysiikan oppikirja 7-9, s.53)

4.4 Varjo on heijastus tai tummempaa valoa

Guesnen (1985) mukaan kaikki oppilaat eivät ymmärrä varjon olevan aluetta, jonne valo ei pääse kulkemaan. Sen sijaan he uskovat varjon olevan jonkinlainen heijastus tai tummempaa valoa. Varjon muodostumista havainnollistetaan usein piirroksilla, joissa on valonlähde, valaistava kohde ja varjostimelle muodostunut varjo. Piirroksissa värien käytössä on syytä olla tarkkana, sillä epäonnistuneilla valinnoilla voidaan vahvistaa oppilaan virheellisiä ennakkokäsityksiä.

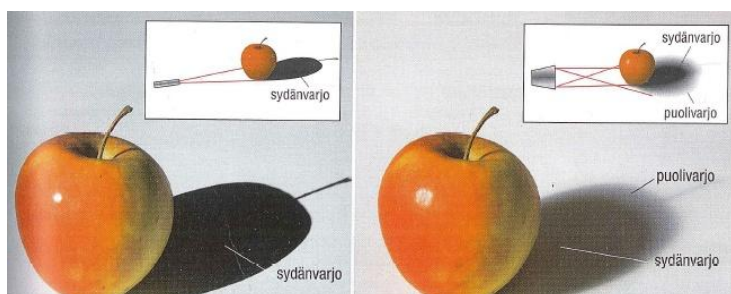
Alla on kaksi piirroksua varjon muodostumisesta. Vasemmanpuoleisessa kuvassa lampun lähettämä valo on merkitty keltaisella värillä, joka pallon kohdattuaan muuttuu ruskeankeltaiseksi. Tämä ”tummempi valo” muodostaa varjostimelle pallon varjon. Mikäli valoa halutaan merkitä keltaisella värillä, olisi kenties viisaampaa merkitä valotonta aluetta jollain muulla kuin toisella keltasävyisellä värillä. Oikeanpuoleisessa kuvassa lampusta lähtee jälleen keltaista valoa, joka tosin ei kuvan mukaan koskaan pääse varjostimelle saakka. Kuvaa katsova oppilas saattaa ajautua pohtimaan, syntykö varjo sitten jonkinlaisena heijastuksena, vai mistä oikein on kyse. Tämän lisäksi oikeanpuoleinen kuva tukee virheellistä käsitystä valon heikkenemisestä edetessään, varsinkin kun suuremman lampun valo yltää kuvassa pienen lampun valoa kauemmas.



Kuva 22. Varjon muodostumista esittäviä kuvia. Kuvat ovat valon ominaisuuksia käsittelevistä kappaleista. Vasemmanpuoleiseen kuvaan liittyy kuvateksti ”Pistemäinen valonlähde muodostaa esineestä teräväreunaisen varjon, mutta laajemman valaisevan pinnan muodostama varjo on epätarkka.” (Avain 1 Fysiikka, s.39) Oikeanpuoleiseen kuvaan ei liity kuvatekstiä. (Hehku Fysiikka 7-9, s. 25)

Valon merkitseminen keltaisella värillä näyttää olevan yleistä, mutta vaihtoehtosiakin käytäntöjä löytyy. Alla olevassa kuvassa valolle ei ole valittu mitään väriä, vaan valokeilan rajat on esitetty punaisilla viivoilla. Näin vältetään ainakin vahvistamasta oppilaiden virhekäsitystä tummemmasta

valosta. Kuva poikkeaa edellä esitetyistä myös siten, ettei siinä ole erillistä varjostinta, vaan varjo muodostuu maahan. Varjoja nähdäänkin arkielämässä enemmän maassa kuin seinillä, erillisistä varjostimista puhumattakaan.



Kuva 23. Varjon muodostuminen. Kuvaan liittyy kuvateksti ”Valo ei läpäise esinettä. Pistemäinen valonlähde muodostaa taakseen teräväreunaisen **sydänvarjon**. Jos valonlähde on suurikokoinen, muodostuu esineen taakse sydänvarjon lisäksi **puolivarjo**.” (FyKe 7-9 Fysiikka, s.25)

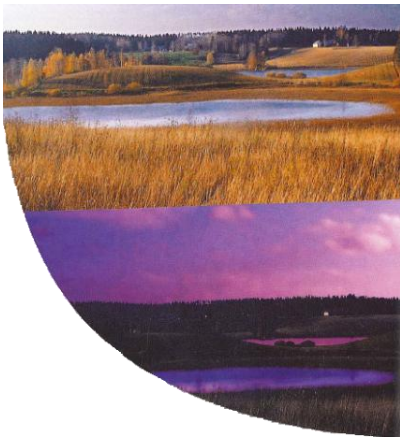
Millaisilla kuvilla sitten voidaan auttaa oppilaita ymmärtämään, että varjo syntyy alueelle, jonne valo ei pääse? Valokuvien käyttö on yksi mahdollisuus. Jotta valokuva tukisi oikean käsityksen kehittymistä, täytyisi siinä näkyä valonlähde, valaistava kohde ja kohteen varjo. Suurimmasta osasta oppikirjojen valokuvia puuttuu valonlähde. Alla olevassa kuvassa vasemmalla on tyypillinen oppikirjoissa esiintyvä varjoja esittävä kuva, jossa valonlähde ei ole näkyvässä. Valonlähteen sijainti voidaan kyllä päätellä, mutta haluttaessa auttaa oppilaita ymmärtämään varjon olevan valoton alue, olisi valonlähteen hyvä olla näkyvässä. Oikeanpuoleisessa kuvassa kaikki kolme komponenttia ovat näkyvässä, mutta kuva on lisätty koristuksenomaisesti tehtävä sivulle liittämättä sitä kuitenkaan yhteenkään tehtävään, jolloin sen pedagoginen funktio jää kyseenalaiseksi.



Kuva 24. Kuvia varjoista. Vasemmanpuoleinen kuva on Näkyvä maailma -kappaleen kuvituksena ja siihen liittyy kuvateksti ”Pistemäisen valonlähteen aiheuttama varjo on terävä.” (Lumo Fysiikan ja kemian käsikirja, s.263) Oikeanpuoleinen kuva on Valon ominaisuuksia -kappaleen tehtävä sivun kuvituksena, mutta se ei liity mihinkään tiettyyn tehtävään. Kuvaan ei liity kuvatekstiä. (Ilmiö Fysiikan oppikirja 7-9, s. 49)

4.5 Värit ovat kappaleen ominaisuus, eivätkä liity valoon

Oppilaiden mielestä värit liittyvät kappaleeseen, eikä niillä ole mitään tekemistä valon kanssa (Guesne, 1985). Tätä virhekäsitystä voivat vahvistaa kuvat, joissa valon osuutta värien aistimisessa ei ole nostettu esiin itse kuvassa tai kuvatekstissä. Liitteen A kuvassa *i* on esitetty erään oppikirjan värejä käsittelevän kappaleen aloitussivu. Sivulla on runsaasti kauniita ja värikkäitä kuvia, mutta yksikään kuvista ei liity ainakaan suoraan kappaleen aloitustekstiin, jossa puhutaan mm. prismoista, hehkulampuista, Auringosta ja värien näkemisestä hämärässä ja valoisassa. Jos värien aistimista halutaan lähestyä hämärässä ja valoisassa näkemisen kautta, miksi kappaleen aloitussivulle ei laitettaisi esimerkiksi alla olevan kaltaista kuvaa maisemasta kuvattuna hämärässä ja valoisassa?

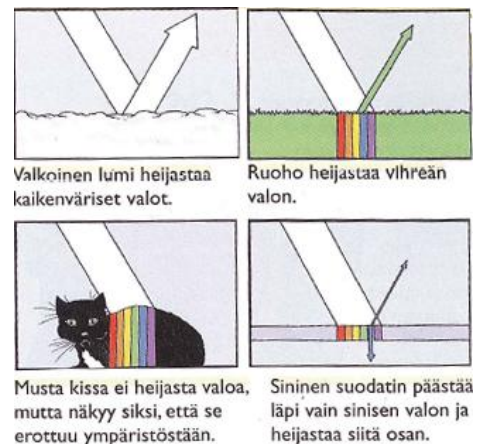


Kuvasta havaitaan, että värien havaitseminen todella riippuu valon määrästä. Myös kuvan 1 kaltaiset kuvat tarjoavat todisteita sille tosiseikalle, että värien näkeminen riippuu paitsi valon määrästä, myös siitä, minkä värisellä valolla kohdetta valaistetaan.

Kuva 25. Maisema kuvattuna valoisassa ja hämärässä. Kuva on valon ominaisuuksia käsittelevän kappaleen alussa, eikä siihen liity kuvatekstiä. (Aine ja energia Fysiikan tietokirja, s.30)

Pelkkien valokuvien avulla on vaikea havainnollistaa, miksi yksi kappale näyttää vihreältä ja jokin toinen kappale vaikkapa mustalta. Tämä voidaan kuitenkin esittää selkeästi piirroskuvien avulla, kuten alla oikealla olevassa kuvassa on tehty. Vastaavia kuvia löytyy useasta tutkimuksessa mukana olleesta fysiikan oppikirjasta, mutta ei kuitenkaan kaikista. Mielestäni värien kohdalla oikealla olevan kaltainen kuva on kuitenkin erittäin tärkeä tuki oppilaiden ajatuksille ja oppikirjan tekstile. Jotta kuvasta olisi apua, täytyy oppilaiden kuitenkin ymmärtää, mihin näkeminen perustuu.

Kuva 26. Valon heijastuminen erivärisistä kappaleista. Kuvat ovat Näkyvä maailma -kappaleen kuvituksena. (Lumo Fysiikan ja kemian käsikirja, s.261)

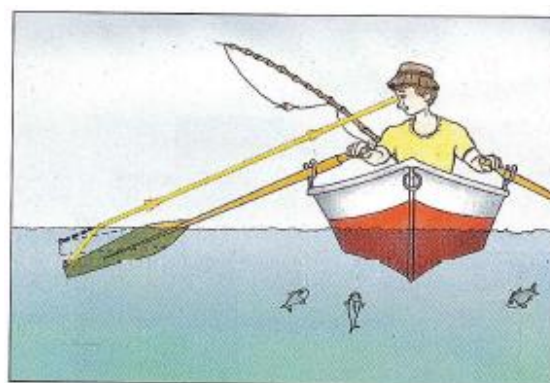
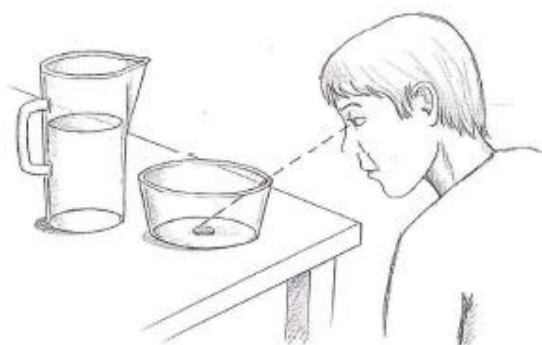


4.6 Näkösäteet mahdollistavat näkemisen

Kuten edellä on havaittu, ymmärtääkseen monia valoon liittyviä ilmiöitä, on oppilaiden ymmärrettävä, mihin näkeminen perustuu. Keskeisintä on sisäistää, että silmä on vastaanottaja, ei lähettäjä. Silmä vastaanottaa valonlähteestä suoraan tulevaa tai näkemiemme pintojen kautta heijastuvaa valoa. Tämä ei kuitenkaan ole selvää kaikille oppilaille, ja monet heistä selittävätkin näkemisen perustuvan silmän lähettämiin näkösäteisiin (Andersson & Kärrqvist, 1983).

Näkösädemalli saa vahvistusta alla vasemmalla olevan kaltaisista kuvista, joissa silmän ja kohteen välille on piirretty viiva. Kuva on valoon liittyvien tutkimusten erään tehtävän kuvituksena. Kyseessä on Anderssonin ja Kärrqvistinkin (1983) käyttämä kolikko vedessä -tehtävä. Silmän ja kolikon välillä olevan viivan tarkoitus on ilmeisesti osoittaa, että oppilaiden tulee asettua niin, että he juuri ja juuri näkevät kolikon, mutta oppilaiden lienee helppoa tulkita se jonkinlaiseksi silmän lähettämäksi näkösäteeksi.

Alla oikealla olevassa kuvassa on jo otettu askel oikeaan suuntaan, sillä silmän ja airon välillä kulkevan valonsäteen suunta on airosta silmään. Oppilaat voivat kuitenkin kuvitella kyseessä olevan näkösäteiden, jotka ovat kimmonneet airosta takaisin silmään. Vaikka oppilaat eivät käyttäisikään näkösäteitä näkemisen selittämiseen, jättää oikeanpuoleinen kuva vielä paljon arvailun varaan. Onko airo valonlähde, joka lähettää silmään valoa? Vai näkeekö poika airon, koska airosta lähtee pojan silmään airon kuva?

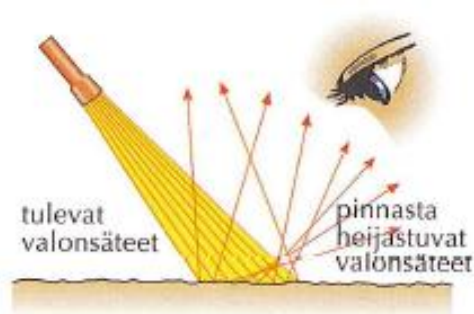


Kuva 27. Näkösäteitäkö? Vasemmanpuoleinen kuva on valoon liittyvien tutkimusten Ihmeellinen kolikko -tehtävän kuvituksena. (Avain 1 Fysiikka, s.53) Oikeanpuoleinen kuva on valon taittumista käsittelevän kappaleen kuvituksena ja siihen liittyy kuvateksti ”Ihminen näkee airon paikassa, josta valo tulisi silmään veden ja ilman halki taittumatta rajapinnassa. Siksi airo näyttää taittuneelta.” (Fysiikan ydin 9, s.76)

Jotta kuva auttaisi oppilasta ymmärtämään, mihin näkeminen perustuu, täytyy siinä olla näkyvissä

- valonlähde,
- valonlähteestä lähtevä valonsäde ja
- näkemästämme pinnasta heijastunut valonsäde, joka saapuu silmään.

Alla olevasta kuvasta nämä kaikki löytyvät. Kuvan tarkoituksena on havainnollistaa, mitä hajaheijastumisessa tapahtuu, mutta samalla se kertoo selkeästi, mistä näkemisessä oikein on kyse. Tämänkaltaiset kuvat ovat kuitenkin oppikirjoissa harvassa. Jos vastaava kuva kirjasta löytyykin, havainnollistetaan sen avulla jotain muuta kuin näkemistä, esimerkiksi hajaheijastusta tai värien aistimista. Oletetaanko oppilaiden siis jo tietävän, mihin näkeminen perustuu, eikä asiaa näin ollen katsota kuvan arvoiseksi?

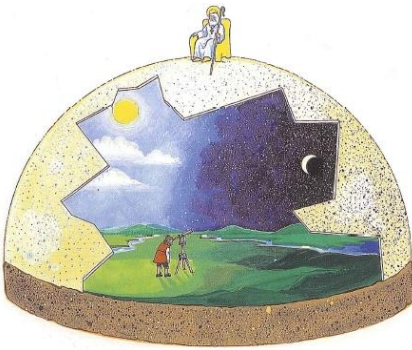


Kuva 28. Hajaheijastusta käsittelevä kuva, joka samalla auttaa oppilaita ymmärtämään, mihin näkeminen perustuu. Kuva on valoa käsittelevän kappaleen kuvituksena, ja siihen liittyy kuvateksti ”Pöydän pinta näkyy, koska se hajaheijastaa valoa.” (Avain 1 Fysiikka, s.39)

4.7 Maa on tasainen

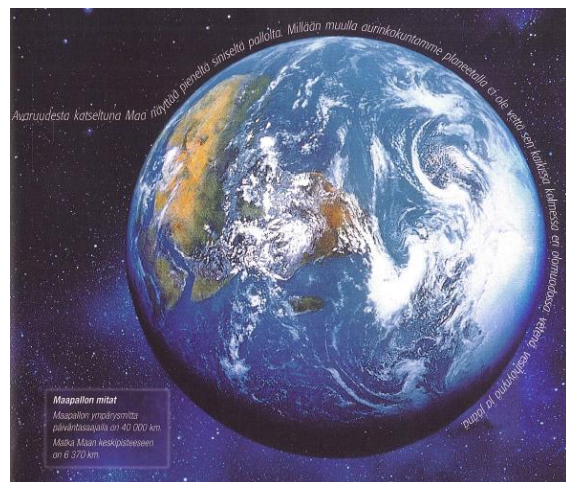
Kykymme tehdä havaintoja perustuu monessa asiassa hyvin vahvasti näkemiseen. Näköhavaintojen huono puoli on kuitenkin niiden harhaanjohtavuus: eri paikasta katsottuna sama asia saattaa näyttää hyvinkin erilaiselta. Tämä tulee selkeästi esiin Aurinkoon, Maahan ja Maan liikkeisiin liittyvissä ilmiöissä. Oppilaiden virheelliset ennakkokäsitykset syntyvät heidän omista näköhavainnoistaan, ja luonnontieteiden opetuksen tehtävä on saada oppilaat kyseenalaistamaan omat käsityksensä ja etsimään niille vaihtoehtoja tieteellisistä käsityksistä.

Kuten olettaa saattaakin, ei oppikirjoista löydy kuvaa litteästä, tasaisesta suorakulmion tai kiekon muotoisesta Maasta. Koska oppilaille kuitenkin voi tällaisia ennakkokäsityksiä olla, tulisi ne huomioida jollain tavalla. Alla olevassa kuvassa tämä on tehty esittämällä, millainen maailmankuva oli keskiajalla, koska keskiajan maailmankuvassa on paljon yhteistä oppilaiden virheellisten ennakkokäsitysten kanssa. Liitteen B kuvassa *ii* ennakkokäsitykset on huomioitu esittämällä maapallon lisäksi kuva, jossa maapallon pinta näyttää lähempää kuvattuna lähes tasaiselta.



Kuva 29. Ennakkokäsitykset on huomioitu Maan liikkeitä käsittelevän kappaleen kuvituksessa. ”Keskiajan maailmankuva 1500-luvun lopussa. Keskiajalla (500-1500 jKr.) ajateltiin, että maailma koostuu pannukakkumaisesta maasta ja sen yläpuolella kaartuvasta taivaankannesta. Maa oli maailman keskipiste, jota aurinko ja kuut kiertävät. Maailmankuva uudistui vasta Nikolaus Kopernikuksen ja Galileo Galilein kehittämän aurinkokeskeisen maailmankuvan myötä. Kaukoputken keksiminen vuonna 1590 oli myös tärkeä virstanpylväs keskiaikaisen maailmankuvan murtumisessa.” (Maapallo Maailman ympäri, s.34)

Ei kuitenkaan ole yhdentekevää, millaisen kuvan avulla pallonmuotoinen Maa esitetään. Oppilaan täytyy pystyä tunnistamaan kuvassa oleva planeetta Maaksi. Jos tunnistaminen on mahdotonta, voi oppilas kuvitella kyseessä olevan jonkin toisen planeetan tai niin kutsutun kaksois-Maan (ks. luku 3.3.8). Nykyään Maa esitetään oppikirjoissa usein avaruudesta käsin otetun valokuvan avulla. Maan tunnistamista helpottaa, jos kuvassa on selvästi näkyvissä jokin oppilaalle karttakuvista tuttu helposti tunnistettava manner, esimerkiksi Afrikka. Alla olevista kuvista vasemmanpuoleisessa on selvästi erotettavissa Afrikka ja esimerkiksi Italian saappaanmuotoinen niemimaa. Oikeanpuoleisessa kuvassa mantereiden tunnistaminen Afrikaksi on jo paljon vaikeampaa.



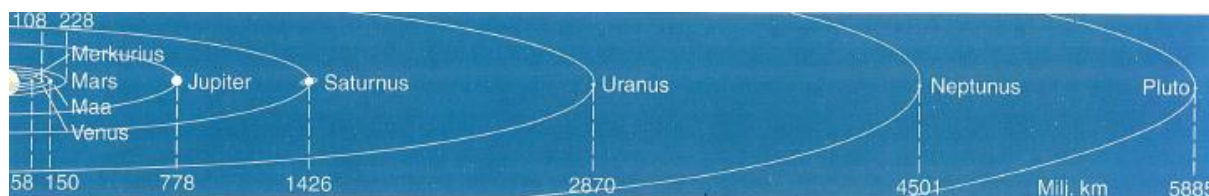
Kuva 30. Kuvia maapallosta. Vasemmanpuoleinen kuva on Maapallolla -kappaleen avaussivulta, eikä siihen liity kuvatekstiä. (KM Maailma, s.6) Oikeanpuoleinen kuva on Pieni sininen planeetta -kappaleen avausaukeamalta ja siihen liittyy kuvateksti ”Planeettamme nimen pitäisi oikeastaan olla Vesi tai Vesipallo, koska vesi peittää maapallon pinnasta enemmän kuin maa. Avaruudesta katseltuna Maa näyttää pieneltä siniseltä pallolta. Millään muulla aurinkokuntamme planeetalla ei ole vettä sen kaikissa kolmessa eri olomuodossa: vetenä, vesihöyrynä ja jäänä.” (Maapallo Maailman ympäri, s.29)

4.8 Aurinko on pieni ja lähellä Maata

Jos Aurinkoa ja Maata koskevien ilmiöiden yhteydessä tulevat esiin näköaistimme rajoitukset tiedonhankinnassa, niin Aurinkoa ja Maata esittävien kuvien yhteydessä tulevat esiin kuvien käytön rajoitukset. Suurten etäisyyksien ja kokoerojen ollessa kyseessä voidaan yhdessä kuvassa esittää todenmukaisesti vain yksi asia, ja tämä tapahtuu aina muiden kustannuksella. Samassa kuvassa ei siis voida esittää todenmukaisesti sekä Auringon oikeaa kokoa verrattuna muihin aurinkokuntamme taivaankappaleisiin, että planeettojen ja Auringon välisiä todellisia etäisyyksiä. Jos toinen näistä seikoista halutaan esittää oikein, merkitsee se totuudesta tinkimistä toisen kohdalla.

Oppikirjojen kuvissa on vaihtelevalla menestyksellä pyritty yhdistämään nämä kaksi seikkaa samaan kuvaan. Esimerkiksi liitteen C kuvassa *iii* tämä pyrkimys on johtanut siihen, että Aurinko näyttäytyy suunnilleen Maan kokoisena ja Maata lähellä olevana tähtenä. Myöskään planeettojen koot ja etäisyydet Auringosta eivät ole kuvassa todenmukaiset. Tekstissä ei ole mainittu, että kuva ei ole mittakaavassa, mutta oikeat koot ja etäisyydet on kyllä kerrottu kunkin planeetan kohdalla. Pyrkimys esittää yhdessä kuvassa monta eri seikkaa onkin tässä tapauksessa tuottanut kuvan, josta ei saa todenmukaista kuvaa aurinkokuntamme rakenteesta, ja joka lisäksi vahvistaa virheellistä käsitystä pienestä, Maata lähellä olevasta Auringosta ja planeettojen, erityisesti Maan, kiertoratojen elliptisyydestä.

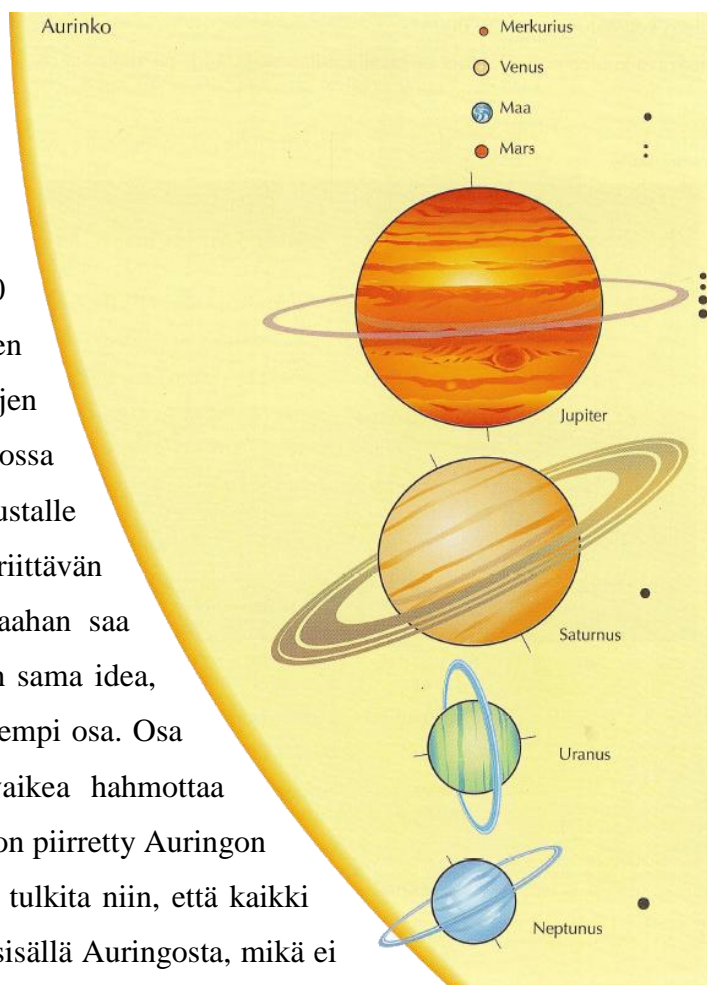
Viisaampaa olisikin suosiolla esittää planeettojen koot ja etäisyydet eri kuvissa. Alla olevassa kuvassa on esitetty todenmukaisesti planeettojen etäisyydet. Maa näyttää vieläkin olevan lähellä Aurinkoa, mutta tarkemmin katsottaessa käy ilmi, että etäisyyttä on 150 miljoonaa kilometriä. Vaikka kuvan tarkoitus on havainnollistaa planeettojen etäisyyksiä Auringosta, antaa se oikeansuuntaisen kuvan myös Auringon koosta; Maa näyttää Auringon rinnalla pieneltä pisteeltä.



Kuva 31. Planeettojen välisiä etäisyyksiä havainnollistava kuva, jota on käytetty Maapallo maailmankaikkeudessa -kappaleen kuvituksena. Kuvaan liittyy kuvateksti ”Kuva esittää planeettojen välisiä etäisyyksiä. Planeettojen koot eivät ole oikeassa suhteessa toisiinsa.” (Maapallo Maailman ympäri, s.31)

Kuva 32. Auringon ja planeettojen koot. Kuva on oppikirjan lopussa liitteenä. Siihen liittyy otsikko ”Planeettojen koot verrattuna toisiinsa ja Aurinkoon”. (Avain 1 Fysiikka, s.124)

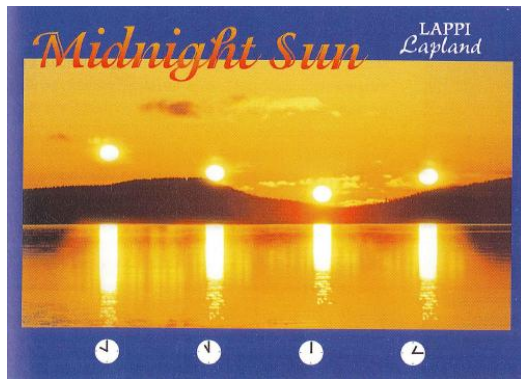
Koska Aurinko on halkaisijaltaan yli 100 kertaa Maata suurempi, on sen esittäminen samassa kuvassa Maan ja muiden planeettojen kanssa haasteellista. Oikealla on kuva 32, jossa tämä ongelma on ratkaistu piirtämällä taustalle osa Auringosta. Auringosta näkyvä osa on riittävän suuri, jotta Auringon koosta suhteessa Maahan saa oikean käsityksen. Liitteen C kuvassa *iv* on sama idea, mutta Auringosta on piirretty näkyviin pienempi osa. Osa on niin pieni, että sen perusteella on vaikea hahmottaa Auringon kokoa, joten planeettojen viereen on piirretty Auringon säteen mittainen jana. Kuva on mahdollista tulkita niin, että kaikki planeetat sijaitsevat Auringon säteen mitan sisällä Auringosta, mikä ei tietenkään pidä paikkaansa.



4.9 Maa on paikallaan ja Aurinko liikkuu

Maan liikkeisiin liittyvissä ilmiöissä, kuten yön ja päivän vuorottelussa, oppilaat käyttävät usein selityksenä Auringon liikettä (Baxter, 1989 ja Vosniadou, 1991). Aurinkohan näyttää liikkuvan taivaalla ja puhumme auringonnoususta ja -laskusta. Näitä arkielämään pohjautuvia havaintoja voidaan vahvistaa esimerkiksi kuvan 32 kaltaisilla kuvilla. Keskiyön aurinkoa esittävässä postikorttikuvassa voidaan seurata Auringon näennäistä liikettä myöhäisen illan ja alkuyön tunteina.

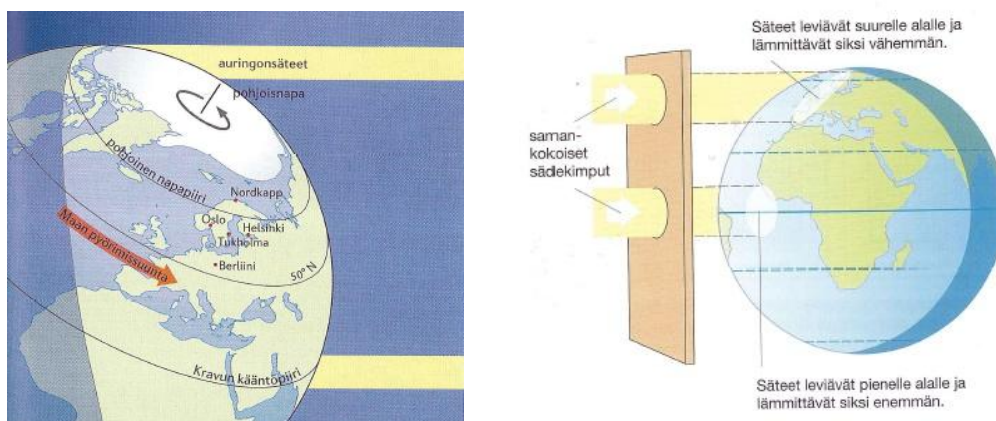
Oppilaiden virheellistä käsitystä liikkuvasta Auringosta voivat vahvistaa myös kuvan 33 kaltaiset kuvat. Kuvien tarkoituksena on havainnollistaa Auringon säteilyn jakautumista pallopinnalle. Vasemmanpuoleisessa kuvassa Aurinkoa ei kuitenkaan ole piirretty kuvaan näkyviin, ja tästä syystä oppilas ei välttämättä ymmärrä, että Aurinko on koko ajan paikallaan ja kuvassa tarkastellaan kahta samankokoista auringonsädekimppua. Kuvan voi tulkita myös niin, että Aurinko (joka kaiken



Kuva 32. Yötön yö Lapissa. Kuva on maantiedon kirjan vuodenaikoja käsittelevästä kappaleesta ja siihen liittyy kuvateksti ”Napapiirin pohjoispuolella on kesällä yötön yö. Esimerkiksi Utsjoella aurinko paistaa kesällä yhtäjaksoisesti 17.5.-27.7.” (KM Maailma, s.13)

lisäksi on hyvin pieni) paistaa ensin pohjoisnavalle ja liikkuu sitten alaspäin paistaen Kravun kääntöpiirille. Alla oikealla on toinen säteilyn jakautumista havainnollistava kuva, jossa sädekimput on luotu Maan ja Auringon väliin asetetulla kuvitteellisella levyllä. Tässäkään kuvassa Aurinko ei näy, ja se ilmeisesti liikkuu paistaen sopivasti juuri levyyn tehtyjen reikien kohdalta. Levyn auringonpuoleisen osan olisi voinut esimerkiksi värittää keltaisella sen havainnollistamiseksi, että Auringon säteily kohdistuu koko levyyn, eikä vain reikiin.

Oppikirjoista löytyy kyllä runsaasti myös kuvia, joissa on selvästi esitetty Aurinko aurinkokuntamme keskuksena, jota planeetat ja muut taivaankappaleet kiertävät. Kuten edellä todettiin, näistä kuvista saa kuitenkin usein väärän käsityksen planeettojen kiertoradoista, etäisyyksistä ja koosta suhteessa Aurinkoon. Jos oppilaat aurinkokuntaamme esittävien kuvien avulla pystyvät sisäistämään Maan liikkuvan ja Auringon pysyvän paikallaan, on väärinymmärrysten mahdollisuus alla olevien kuvien yhteydessä toki pienempi.



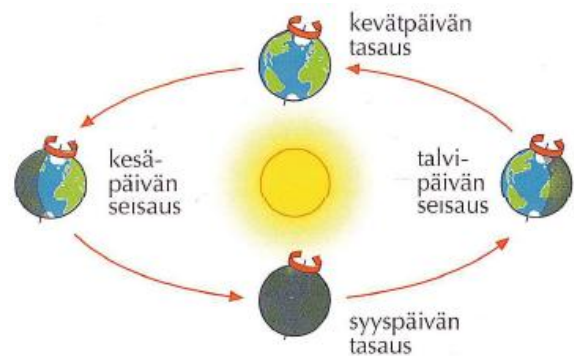
Kuva 33. Säteilyn jakautuminen pallopinnalle. Vasemmanpuoleinen kuva on maapallon lämpövyöhykkeitä käsittelevästä kappaleesta ja siihen liittyy kuvateksti ”Aurinko paistaa kesällä (21.6.) kohtisuoraan Kravun kääntöpiirille, ja sen pohjoispuolella olevat Euroopan alueet saavat silloin paljon valoa ja lämpöä. Napalualueilla säteet tulevat vinosti maahan, ja siksi säteilyn määrä pinta-alaa kohden on siellä pieni.” (KM Maailma, s.33) Oikeanpuoleinen kuva on maapallon lämpö- ja kasvillisuusvyöhykkeitä käsittelevästä kappaleesta. (Maapallo Maailman ympäri, s.39)

4.10 Maan kiertorata Auringon ympäri on ellipsi, ja vuodenaikojen vaihtelu johtuu Maan ja Auringon välisen etäisyyden vaihtelusta

Baxter (1989) ja Kikas (1998) havaitsivat oppilaiden uskovan, että Maan kiertorata Auringon ympäri on ellipsi, ja vuodenaikojen vaihtelu johtuu Maan ja Auringon välisen etäisyyden vaihtelusta. Tätä kutsutaan etäisyysteoriaksi. Sen mukaan talvella on siis kylmempää, koska Maa on silloin kauempana Auringosta. Ojala (1997) ja Kikas (1998) havaitsivat jo yli 10 vuotta sitten, että oppikirjoissa Maan rata esitetään ellipsinä, mikä puolestaan tarjoaa vahvistusta etäisyysteorialle.

Mielenkiintoista onkin todeta, että tämän päivän oppikirjoissa tilanne on edelleen täsmälleen sama kuin 10 vuotta sitten. Oppikirjojen sivuilla Maa kiertää vielä edelleenkin Aurinkoa selvästi ellipsin muotoisella radalla. Maan akseli on kuvissa kallellaan, mutta kallistuskulman merkitystä ei noteerata millään tavalla. Kun kerran tutkimuksissa on todettu kuvien vahvistavan etäisyysteoriaa, niin miksi mikään ei silti ole muuttunut? Eikö kuviin voisi edes lisätä kuvatekstiä, jossa kerrotaan Maan radan olevan todellisuudessa lähes ympyränmuotoinen?

Alla on tyypillinen oppikirjasta löytyvä vuodenaikojen vaihtelua havainnollistava kuva, jossa rata on selkeästi ellipsin muotoinen. Liitteen D kuva *v* on kappaleesta, joka on otsikoitu *Vuodenaajat johtuvat Maan asennosta ja kierrosta Auringon ympäri*. Kuvasta päätellen vuodenaajat näyttävät kuitenkin johtuvan Maan ja Auringon etäisyyden muuttumisesta, jota on vielä korostettu Auringosta lähtevien eripituisten nuolien avulla.



Kuva 34. Vuodenaikojen vaihtelu. Kuva on maapalloon liittyvän tehtäväsivun kuvituksena, mutta sitä ei ole liitetty yhteenkään tehtävään. Kuvaaan ei liity kuvatekstiä. (Avain 1 Fysiikka, s.92)

Yhdestäkään tutkimuksessa mukana olleesta oppikirjasta ei löytynyt kuvaa, jossa Maan rata Auringon ympäri olisi esitetty ympyrän muotoisena. Syy tähän jää arvailujen varaan, sillä tutkimuksen tai tiedon puutteesta tuskin on kyse. Oppikirjasta *Avain 1 Fysiikka* löytyi yksi komeettojen radoista kertova kuva, jossa muutamien nimeämättömien planeettojen radat oli esitetty ympyränmuotoisina. Maan radasta ei kuitenkaan puhuttu mitään. Itse muistan törmänneeni kuvaan ympyränmuotoisesta Maan radasta ainoastaan sattumalta selaillessani mielenkiinnosta muutamia peruskoulun alaluokkien ympäristöopin kirjoja.

4.11 Yhteenveto oppikirjojen kuvista

Tarkastelemalla oppikirjojen kuvitusta oppilaiden ennakkokäsitysten valossa havaittiin, että oppikirjoista löytyy kuvia, jotka voivat vahvistaa oppilaiden virheellisiä ennakkokäsityksiä. Tässä luvussa käsitellyistä kymmenestä valoon ja näkemiseen liittyvästä virheellisestä ennakkokäsityksestä yhdeksälle löydettiin vahvistusta oppikirjojen kuvista. Ainoastaan litteää, tasaista Maata koskevalle ennakkokäsitykselle ei löydetty ennakkokäsitystä tukevia kuvia.

Vastaavasti oppikirjoista löytyy myös kuvia, joiden avulla oppilaiden on mahdollista kehittää fysiikan kannalta oikea näkemys käsitellyistä ilmiöistä. Tutkitusta kymmenestä virheellisestä ennakkokäsityksestä yhdeksälle löytyi kuva tai kuvia, joka tukevat virheellisen ennakkokäsityksen sijaan tieteellisesti hyväksytyyn käsityksen kehittymistä. Maan kiertoradan voimakkaasti elliptinen muoto ja siihen liittyvä etäisyysteoria vuodenaikojen selittäjänä oli ainoa virheellinen ennakkokäsitys, jota oppikirjojen kuvituksessa ei edes pyritty kumoamaan. Maan kiertorataa ei yhdessäkään kirjassa esitetty ympyränmuotoisena.

Kuvien tarkastelun yhteydessä havaittiin, että kyetäkseen selittämään oikein erilaisia ilmiöitä (kuten vedessä taittuneelta näyttävä airo tai värien aistiminen) oppilaiden tulisi ensin ymmärtää, mihin näkeminen perustuu. Näkemisen ymmärtämisen kannalta oleelliset seikat ovat valon heijastuminen näkemiltämme pinnoilta ja silmän toimiminen valon vastaanottajana, ei minkäänlaisten näkösäteiden lähettäjänä. Yhdessäkään tutkitussa oppikirjassa ei ollut katsottu tarpeelliseksi käyttää kuvaa, jossa esitetään, mihin näkeminen perustuu. Kaikki näkemistä käsittelevät kuvat oli tarkoitettu jonkin muun seikan kuin näkemisen havainnollistamiseen. Ilmeisesti siis oletetaan oppilaiden jo olevan selvillä näkemisen perusteista. Tutkimusten perusteella näin ei kuitenkaan ole, ja koska näkemisen ymmärtäminen on avain monen muun ilmiön ymmärtämiseen, olisi aiheelle mielestäni syytä uhrata kuvan verran tilaa oppikirjan sivulla.

Alla olevassa taulukossa on koottu yhteen oppikirjojen kuvista tehdyt havainnot. Kustakin kymmenestä virheellisestä ennakkokäsityksestä on kerrottu, löytyykö sitä tukevia kuvia. Vastaavasti on kerrottu, löytyykö fysiikan kannalta oikean käsityksen kehittymistä tukevia kuvia. Kirjat, joissa näitä kuvia esiintyy, on listattu kunkin ennakkokäsityksen kohdalla aineslähteistä löytyvien viitteiden mukaan numeroituna. Kuvien lukumääriä ei ole tässä yhteydessä laskettu. Kuvan esiintymiseksi laskettiin, että yhdessäkin tutkituista kirjoista löytyi etsitynlainen kuva. Runsaaksi esiintymiseksi laskettiin tilanne, jossa etsitynlainen kuva löytyi kaikista tai lähes kaikista

tutkituista oppikirjoista. Kuvien esiintymistä tutkittaessa otettiin huomioon oppiaineiden erot siten, että maantiedon kirjojen kuvitusta tutkittiin vain neljän viimeisen ennakkokäsityksen osalta.

Taulukko 4. Yhteenvedo virheellisiä ennakkokäsityksiä ja tieteellistä käsitystä tukevien kuvien esiintymisestä tutkituissa oppikirjoissa. Merkkien selitykset: + = esiintyy, ++ = esiintyy runsaasti, - = ei esiinny. Oppikirjojen numeroilla viitataan kirjallisuusluettelossa käytettyyn oppikirjojen numerointiin.

Ennakkokäsitys	Esiintyykö ennakkokäsityksiä vahvistavia kuvia?	Kirjat	Esiintyykö tieteellisen käsitteen kehittymistä tukevia kuvia?	Kirjat	Muita huomioita
Valoa on vain valonlähteen lähellä.	+	1,3,7,9	++ *	1,3,4,5,6,7,9	* Opettajan selitystä tarvitaan avuksi.
Valo heikkenee edetessään.	++	1,3,4,5,9	++*	1,3,4,5,6,7,9	* Opettajan selitystä tarvitaan avuksi.
Valo heijastuu vain peilistä.	++	1,3,4,5,6,9	++	1,3,4,5,6,9	
Varjo on heijastus tai tummempaa valoa.	+	3,4	++ *	1,3,5,6,7,9	* Valonlähde ei yleensä ole kuvissa näkyvissä.
Värit ovat kappaleen ominaisuus, eivätkä liity valoon.	+	4,7	+	1,3,6,9	
Näkösäteet mahdollistavat näkemisen.	+	3,6,7,9	+ *	1,3	* Kuvilla havainnollistetaan jotain muuta seikkaa kuin näkemistä.
Maa on tasainen (esim. suorakulmio/kiekkoon pallo).	-	-	+	2,3,6,8,9 *	* Mukaan on otettu vain kirjat, joissa maapallon kuva oli riittävän suuri ja helposti Maaksi tunnistettavissa.
Aurinko on pieni ja lähellä Maata.	++	1,2,3,4,6,8,9	+ *	1,2,3,4,5,8	* Kokoa ja etäisyyttä ei voi esittää todenmukaisesti yhdessä kuvassa.
Maa on paikallaan ja Aurinko liikkuu.	+	2,8	+	1,2,3,6,8,9	
Maan kiertorata Auringon ympäri on ellipsi, ja vuodenaikojen vaihtelu johtuu Maan ja Auringon välisen etäisyyden vaihtelusta.	++	1,2,3,6,7,8,9 *	-	-	* Kuvan 34 kaltaisten kuvien lisäksi mukaan on otettu aurinkokuntaa esittävät kuvat, joissa Maan ja muiden planeettojen radat ovat ellipsin muotoisia.

5. Johtopäätökset

Kuten taulukkoon 4 kootuista tiedoista havaitaan, oppikirjoista löytyy sekä virheellisiä ennakkokäsityksiä vahvistavia kuvia että fysiikan kannalta oikean, tieteellisen käsityksen omaksumista tukevia kuvia. Usein oppikirjasta löytyy näitä molempia. Tilanne kuitenkin vaihtelee aihealueesta riippuen. Esimerkiksi valon etenemisestä ja heijastumisesta löytyy sekä ennakkokäsityksiä että tieteellistä käsitystä tukevia kuvia, kun taas litteää ja tasaista Maata koskeva ennakkokäsitys ei saa lainkaan tukea oppikirjojen kuvituksesta.

Oppilaiden ennakkokäsityksistä on tehty paljon tutkimusta. Näiden tutkimusten tulosten valossa katsottuna tuntuu kummalliselta, että tiettyjä aiheita ei ole katsottu oppikirjojen kuvitusta suunniteltaessa lainkaan kuvan arvoiseksi. Vaikka tutkimuksissa on havaittu oppilailla olevan runsaasti erilaisia virheellisiä ennakkokäsityksiä näistä aiheista, oletetaan oppilaiden ilmeisesti silti hallitsevan ne. Tässä tutkimuksessa nousi selkeästi esiin kaksi tällaista aihetta.

Ensimmäinen oppilaille hankaluuksia tuottava aihe on näkeminen, jonka ymmärtäminen on avain monien muiden valo-opin ilmiöiden ymmärtämiseen. Tästä huolimatta yhdestäkään tutkitusta oppikirjasta ei löytynyt kuvaa, jossa olisi kerrottu, mihin näkeminen perustuu. Nekin kuvat, joista pystyi saamaan oikean käsityksen näkemisestä, oli tarkoitettu jonkin muun asian havainnollistamiseen. Ihmetystä herättääkin se, miksi oppikirjojen rajallista sivutilaa täytetään mahdollisesti pelkän koristeen rooliin jäävillä kuvilla, kun pedagogisesti kuvan arvoisiakin aiheita löytyisi? Mielestäni tästä hyvä esimerkki on liitteen A kuva *i*, jossa on useita kauniita, värikkäitä valokuvia, jotka eivät kuitenkaan liity tekstiin. Kappaleen aiheena on värit, ja lähinnä koristeena toimivien valokuvien viemän tilan olisi voinut käyttää paremmin esimerkiksi kuvien 25 ja 26 kaltaisilla kuvilla, jotka olisivat kaiken lisäksi liittyneet kappaleen aloitustekstiin.

Toinen esiin noussut oppilaille hankala aihe on Maan radan muoto. Sekä maantiedon että fysiikan oppikirjoista löytyi kuvia Maan kiertoradasta Auringon ympäri, mutta kaikki kuvat esittivät radan ellipsin muotoisena, minkä puolestaan on jo kauan tiedetty vahvistavan ns. etäisyysteoriaa, jonka mukaan vuodenaikojen vaihtelu johtuu Maan ja Auringon välisen etäisyyden vaihtelusta (Ojala, 1997 ja Kikas, 1998). Kun ongelma on ollut tiedossa jo näinkin pitkään, miksi Maan rata edelleen esitetään ellipsinä? Oletetaanko oppilaiden ilman muuta tietävän, että todellisuudessa oppikirjan

sivulla esitetty ellipsinmuotoinen rata on lähes ympyränmuotoinen, eikä näin ollen vaivauduta muuttamaan kauan käytössä olleita kuvia?

Fysikaalisesti oikean, tieteellisesti hyväksytyyn käsityksen kehittymistä tukevat oppikirjojen kuvat ovat opetustilanteessa kaikkein hyödyllisimpiä. Tutkimuksessa huomattiin, että tällaisten kuvien tarjoama oppimisen kannalta hyödyllinen tieto ei välttämättä ole oppilaan havaittavissa ilman opettajan apua. Esimerkiksi valon etenemisestä puhuttaessa oppikirjoista löytyy paljon hyviä kuvia, mutta opettajan selitystä tarvitaan avuksi, jos kuvista halutaan todeta valon etenevän heikkenemättä äärettömän kauas, ellei sen tielle satu esteitä. Toinen merkille pantava seikka oli opetustilanteiden kannalta hyödyllisten kuvien sijainti. Kun kirjan tekstissä puhuttiin esimerkiksi näkemisestä, ei tekstin yhteydessä ollut aiheeseen liittyvää kuvaa, vaan hyvä kuva saattoi löytyä aivan muualta. Tämä vaikeuttaa hyvienkin kuvien hyödyntämistä opetustilanteessa. Esimerkiksi Pozzer ja Roth (2003) ovat todenneet, että kuvan tulisi mielellään sijaita heti sen tekstinkohdan jälkeen, jossa kuvan esittämä aihe ensimmäisen kerran mainitaan.

Pozzer ja Roth (2003) esittävät myös, että kuvilla tulisi aina olla kuvateksti. Kuvateksti kertoo, miten kuvaa tulee katsoa ja mikä siinä on oleellista. Hannuksen (1996) mukaan kuvatekstin lukemiseen käytetään kaksi kertaa niin paljon aikaa kuin kuvan katsomiseen. Siispä kuvatekstin puuttuminen tekeekin huonosta kuvasta entistä huonomman, kun oppilaalle ei edes kerrota miten kuvaa tulisi katsoa. Esimerkiksi kuva 34 on fysiikan oppikirjassa maapalloa koskevan tehtävä sivun kuvituksena, eikä siihen liity kuvatekstiä. Kuvalla siis lähestulkoon ohjataan oppilaita etäisyysteorian käyttöön tehtävien ratkaisemisessa. Hyvänkin kuvan käyttöarvoa voidaan laskea jättämällä kuvateksti pois. Esimerkiksi kuvan 24 oikeanpuoleinen kuva on sekin tehtävä sivun kuvituksena ilman kuvatekstiä tai viitettä mihinkään tiettyyn tehtävään. Kuvalla kuitenkin voisi olla käyttöä esimerkiksi varjon muodostumista käsiteltäessä, mutta sen sijoittaminen tehtävä sivun koristeeksi ilman kuvatekstiä ei ainakaan helpota sen hyödyntämistä opetuksessa.

Tutkimuksessa havaittiin myös, että joissain tapauksissa oppikirjaa ei löydy virheellisiä ennakkokäsityksiä eikä tieteellistä käsitystä vahvistavasta sarakkeesta. Esimerkiksi oppikirjasta *FyKe 7-9 Fysiikka* ei viidennen (*Värit ovat kappaleen ominaisuus, eivätkä liity valoon*) ja kuudennen (*Näkösäteet mahdollistavat näkemisen*) ennakkokäsityksen kohdalla löytynyt tämän tutkimuksen kannalta mielenkiintoisia kuvia. Tällaisessa tilanteessa oppikirjassa ei joko ollut lainkaan aiheeseen liittyviä kuvia, tai kuvat olivat siinä mielessä neutraaleja, että niiden ei voitu

katsoa vahvistavan virheellisiä ennakkokäsityksiä eikä myöskään tarjoavan tukea tieteellisen käsityksen omaksumiseen. Herääkin kysymys, mikä on tällaisten neutraalien kuvien tehtävä oppikirjan sivulla? Kenties näiden kuvien tehtäväksi jää lähinnä koristeena toimiminen, jolloin olisi ehkä syytä miettiä niiden viemän tilan käyttämistä järkevämmiin.

Tässä tutkielmassa esitetty oppilaiden ennakkokäsityksiä koskeva tieto pohjautuu aiempien tutkimusten tuloksiin. Ennakkokäsitysten valossa tulkinnat oppikirjojen kuvista teki mm. fysiikkaa ja kasvatustieteitä opiskellut tutkielman kirjoittaja. Kuvista tehdyt tulkinnat saattavat siis poiketa paljonkin oppikirjojen kohderyhmän, 7.-9. luokkalaisten tulkinnoista. Lisäksi oppilaiden tulkinnat voivat erota toisistaan, koska kukin oppilas katselee kuvia omien tietojensa ja ennakkokäsitystensä pohjalta. Mielenkiintoista olisikin toteuttaa tutkimus, jossa selvitetään ensin oppilaiden ennakkokäsitykset, joiden pohjalta laaditaan opetusmateriaaliin kuvia ja tutkitaan oppilaiden (ja miksei opettajankin) tulkintoja näistä kuvista. Esimerkiksi Maan radan voisi kuvissa esittää ympyränmuotoisena, ja tutkia miten oppilaat selittävät vuodenaikojen vaihtelun, kun etäisyysteoriaa tukevaa kuvaa ellipsinmuotoisesta Maan radasta ei ole käytettävissä. Näkemisen kohdalla oppilaiden tulkittavaksi annetut kuvat voisivat olla esimerkiksi kuvan 10 kaltaisia.

Oppikirjojen kuvituksen ja yleisemmin visualisoinnin saralla riittää siis tutkittavaa vielä jatkossakin. Kuten Rapp (2005) toteaa, jatkossa tulisi selvittää, millä tavalla kuvat vaikuttavat oppimiseen ja miten oppilaat niitä hyödyntävät. Pozzer ja Roth (2003) esittävät, että olisi tarpeen tutkia oppilaiden ja opettajien tulkintoja kuvista, kuten edellä esitettyssä tutkimusideassakin oli tarkoituksena. Lisätutkimusten avulla voitaisiin kenties saada käyttöön suurempi osa kuvien tähän asti melko heikosti hyödynnetystä pedagogisesta potentiaalista ja tuottaa oppikirjoihin laadukkaampia kuvia koristeina toimivien täytekuvien sijaan.

Kirjallisuus

Aineslähteet (oppikirjat)

- [1] Aspholm, S., Hirvonen, H., Lavonen, J., Penttilä, A., Saari, H., Viiri, J. & Hongisto, J.: 2009. *Aine ja energia. Fysiikan tietokirja*. 9.-15. painos. WSOY, Helsinki.
- [2] Cantell, H., Houtsonen, L., Jutila, H., Kankaanrinta, I-K., Tammilehto, M. & Vaalgamaa, S.: 2008. *Maapallo. Maailman ympäri*. 1.-5.painos. WSOY, Helsinki.
- [3] Happonen, J., Heinonen, M., Muilu, H. & Nyrhinen, K.: 2007. *Avain 1. Fysiikka*. 5. uud. painos. Kustannusosakeyhtiö Otava, Keuruu.
- [4] Havonen, T., Kirkkala, S-R., Lepola, T. & Tala, S.: 2008. *Hehku. Fysiikka 7-9*. 1. painos. Kustannusosakeyhtiö Otava, Keuruu.
- [5] Kangaskorte, A., Lavonen, J., Pikkarainen, O., Saari, H., Sirviö, J., Vakkilainen, K-M. & Viiri, J.: 2010. *FyKe 7-9. Fysiikka*. 1. painos. WSOYpro, Helsinki.
- [6] Kärnä, P., Leskinen, M., Montonen, M. & Repo, K.: 2000. *Lumo. Fysiikan ja kemian käsikirja*. 1.-3. painos. WSOY, Porvoo.
- [7] Lehto, H., Salonen, H. & Huttu, K.: 2009. *Ilmiö. Fysiikan oppikirja 7-9*. 1. painos. Kustannusosakeyhtiö Tammi, Helsinki.
- [8] Leinonen, M., Martikainen, A., Nyberg, T., Veistola, S. & Jortikka, S.: 2008. *KM. Maailma*. 1. painos. Kustannusosakeyhtiö Otava, Keuruu.
- [9] Levävaara, H., Kuusjärvi, P., Pohjola, M. & Voutilainen, E.: 2001. *Fysiikan ydin 9*. 3.-9. painos. WSOY, Porvoo.

Lähteet

Ahtee, M.: 1992. *Oppilaiden käsitykset valo-opin ilmiöistä ja niiden ottaminen huomioon opetuksessa*. Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos. Tutkimuksia 102.

Ahtee, M.: 1994. *Oppilaiden käsityksiä lämmöstä ja lämpötilasta*. Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos. Tutkimuksia 126.

Ahtee, M.: 1994. *Yläasteen oppilaiden käsityksiä liukenemisestä ja palamisesta*. Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos. Tutkimuksia 136

- Andersson, B. : 1990. *Constructivism and Students' Reasoning in Science*. Julkaisussa *Opettajankoulutus ja koulun uudet työtavat* (toim. Ahtee, M., Erätuuli, M. & Meisalo, V.) Tutkimuksia 82. Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos, Helsinki.
- Andersson, B. & Kärrqvist, C.: 1983. *How Swedish pupils, aged 12-15 years, understand light and its properties*. *European Journal of Science Education*, vol. 5 no. 4: 387-402
- Baxter, J.: 1989. *Childrens' Understanding of Familiar Astronomical Events*. *International Journal of Science Education*, 11, 502-513
- Feigenberg, J., Lavrik, L.V. & Shunyakov, V.: 2002. *Space Scale: Models in the History of Science and Students' Mental Models*. *Science & Education*, 11, 377-392
- Galenos, 2003. 1.-3. painos. WS Bookwell Oy, Porvoo. 276-283
- Gilbert, J. (toim.): 2005. *Visualization in Science Education*. Springer, Netherlands. ss. 5, 334
- Guesne, E.: 1985. *Light*. Teoksessa *Children's Ideas in Science* (toim. Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A.). Open University Press, Milton Keynes.
- Gunstone, R.: 1988. *Learners in Science Education*. Teoksessa *Development and Dilemmas in Science Education* (toim. Fensham, P.) The Falmer Press, Basingstoke.
- Hannus, M.: 1996. *Oppikirjan kuvitus: Koriste vai ymmärtämisen apu*. Turun Yliopisto, Turku.
- Hatva, A.: 1993. *Kuvittaminen*. Rakennustieto Oy, Helsinki.
- Julkunen, M-L., Selander, S. & Åhlberg, M.: 1991. *Research on texts at school*. Tutkimuksia 37, Joensuun yliopisto, Kasvatustieteen tiedekunta.
- Kari, J.: 1987. *Oppimateriaalitutkimuksen teoreettisia lähtökohtia*. Kasvatustieteiden tutkimuslaitos, julkaisusarja B. Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä.
- Karttunen, Oja, Kröger & Poutanen: 1984. *Tähtitieteen perusteet*. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa, Helsinki.
- Kauppinen, A.: 2006. *Oppikirjakritiikin mahdollisudet*. Teoksessa *Hyvä kirja* (toim. Hiidenmaa, P., Jussila, R. & Nissinen, A.) Suomen tietokirjailijat ry, Jyväskylä.
- Kautto, J. & Peltoniemi, A.: 2006. *Selvää kärpännahkaa. Oppikirjan kuvituksen muutos ja käyttö opetuksessa*. Kasvatustieteen Pro gradu-tutkielma, Tampereen yliopisto. Saatavana sähköisessä muodossa osoitteesta <<http://tutkielmat.uta.fi/pdf/gradu01239.pdf>> (Viitattu 08.02.2010)
- Kikas, E.: 1998. *Pupil's explanations of seasonal changes: age differences and the influence of teaching*. *British Journal of Educational Psychology*, 68, 505-516

Kuusisto, J.: 1989. *Oppimateriaalit peruskoulun ala- ja yläasteella 1988*. Kasvatustieteiden tutkimuslaitos, julkaisusarja A. Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä.

Lavonen, Meisalo, ym.: *Oppilaiden ennakkokäsitykset*. Artikkelit Malu-keskuksen www-sivulla. <<http://ww.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/ennakko/main.htm>>. (Viitattu 24.5.2009)

Lawson, A.: 1989. *Advanced Reasoning, Concept Acquisition and Theory of Science Instruction*. Teoksessa *Adolescent Development and School Science* (toim. Adey, P., Bliss, J., Head, J. & Shayer, M.) The Falmer Press, Basingstoke.

MAOL-taulukot, 2000. 1.-2. painos. Otavan Kirjapaino Oy, Keuruu.

Mikkilä, M. & Olkinuora, E. (toim.): 1995. *Oppikirjat ja oppiminen*. Oppimistutkimuksen keskus, julkaisuja 4. Turun yliopisto, Turku.

Mikkilä-Erdmann, M., Olkinuora, E. & Mattila, E.: 1999. *Muuttuneet käsitykset oppimisesta ja opettamisesta – haaste oppikirjoille*. Kasvatus, 30, 436-44

Novak, J. & Gowin, B.: 1995. *Opi oppimaan*. Gaudeamus, Tampere.

Nussbaum, J.: 1985. *The Earth as a Cosmic Body*. Teoksessa *Children's Ideas in Science* (toim. Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A.). Open University Press, Milton Keynes.

Ojala, J.: 1997. *Kirjoittamaton kirja, kirjoitettu kirja ja luonnonkirja. Planetaariset ilmiöt teksteinä ja kuvina peruskoulun ja lukion oppikirjoissa*. Tutkimuksia 63. Opettajankoulutuslaitos, Jyväskylän Yliopisto.

Osborne, R. & Freyberg, P.: 1985. *Learning in Science. The implications of children's science*. Heinemann, Hong Kong.

POP, 2004. *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet*. Opetushallitus. Saatavana sähköisessä muodossa osoitteessa <http://www02.oph.fi/ops/perusopetus/pops_web.pdf> (Viitattu 16.02.2010)

Pozzer, L. L. & Roth, W.-M.: 2003. *Prevalence, Function and Structure of Photographs in High School Biology Textbooks*. Journal of Research in Science Teaching, vol. 40, no. 10, 1089-1114

Rapp, D.: 2005. *Mental Models: Theoretical issues for visualizations in science education*. Teoksessa *Visualization in Science Education* (toim. Gilbert, J.) Springer, Netherlands. ss. 43-60

Sahlberg, P. & Ahtee, M.: 1990. *Oppilaiden ennakkokäsitykset opetuksen lähtökohtana – konstruktivismi luonnontieteissä*. Dimensio, 54:5, 20-25

Schussler, E.: 2008. *From Flowers to Fruits: How children's books represent plant reproduction*. International Journal of Science Education, vol. 30, no. 12, 1677-1696

Vosniadou, S.: 1991. *Designing curricula for conceptual restructuring: Lessons from the study of knowledge acquisition in astronomy*. Journal of Curriculum Studies, 23, 219-237

Young, H. & Freedman, R.: 2004. *University Physics with Modern Physics. 11th edition*, Addison Wesley, San Francisco.

Ängeslevä, M.: 2005. *Koukussa oppikirjan tekemiseen*. *Opettaja*, 47, 28-31



VÄRIT

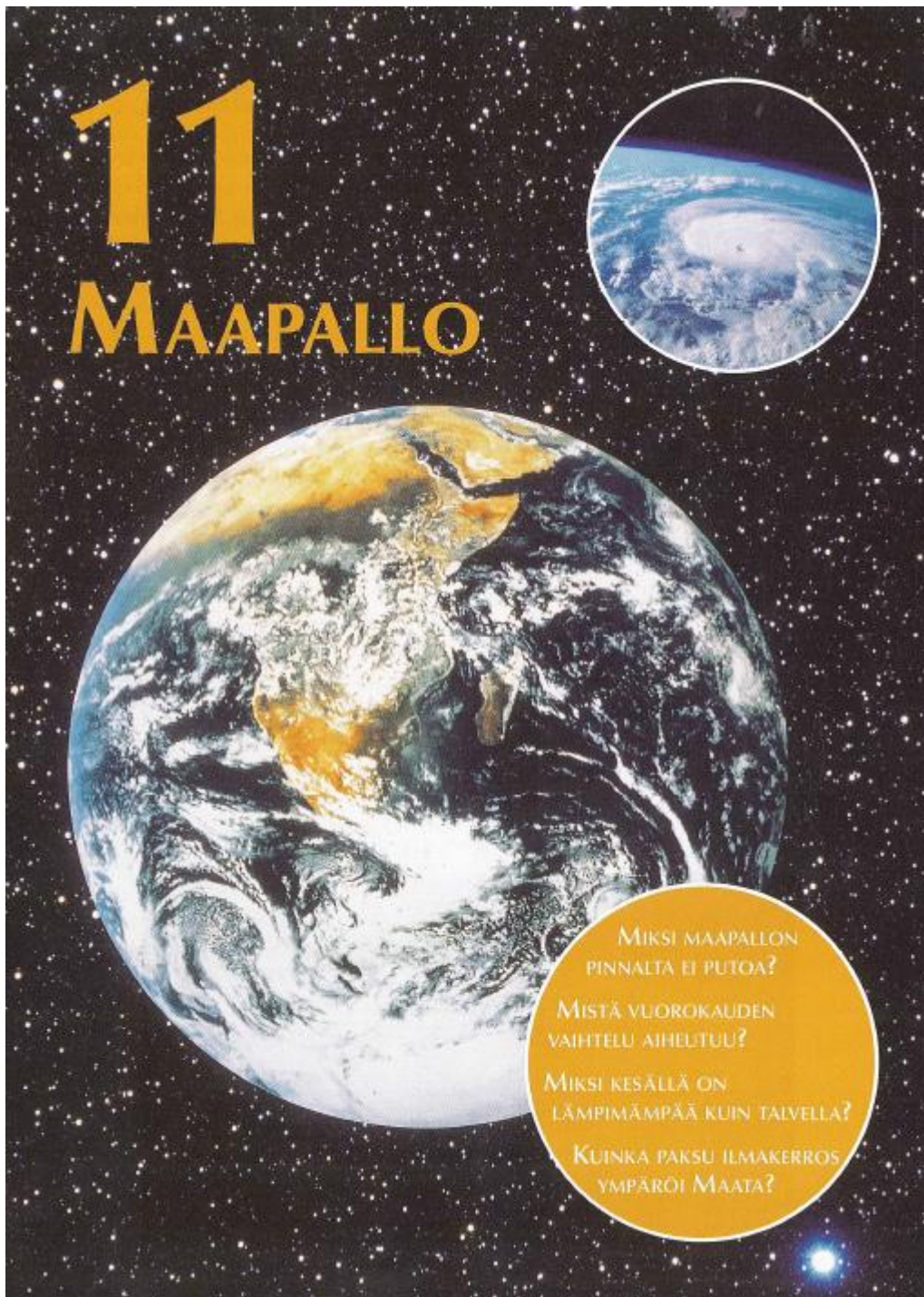
6.

Hämärässä näemme vain harmaan sävyjä, kirkaassa valossa näemme väritkin. Tästä voi päätellä, että värien havaitseminen on riippuvainen valon määrästä. Hehkulampun ja Auringon valo on valkoista. Miten syntyvät näkemämme värit? Tätä ongelmaa pohti myös *Isaac Newton* jo 1600-luvulla. Hänen päätelmänsä oli, että valkoinen valo koostuu eri väreistä, jotka taittuvat prismassa eri tavalla. Hän oli havainnut tämän ilmiön tutkiessaan valoa prisman avulla.

VÄRI ON VALON OMINAISUUS

Väri on valon ominaisuus, jonka silmä aistii. Väriaistimus riippuu sekä valon aallonpituudesta että voimakkuudesta. Puhtaimmat värit löytyvät spektristä, joka saadaan näkyviin Auringon tai hehkulampun valosta prisman avulla. Värit esiintyvät spektrissä aina samassa järjestyksessä: punainen, oranssi, keltainen, vihreä, syaani,

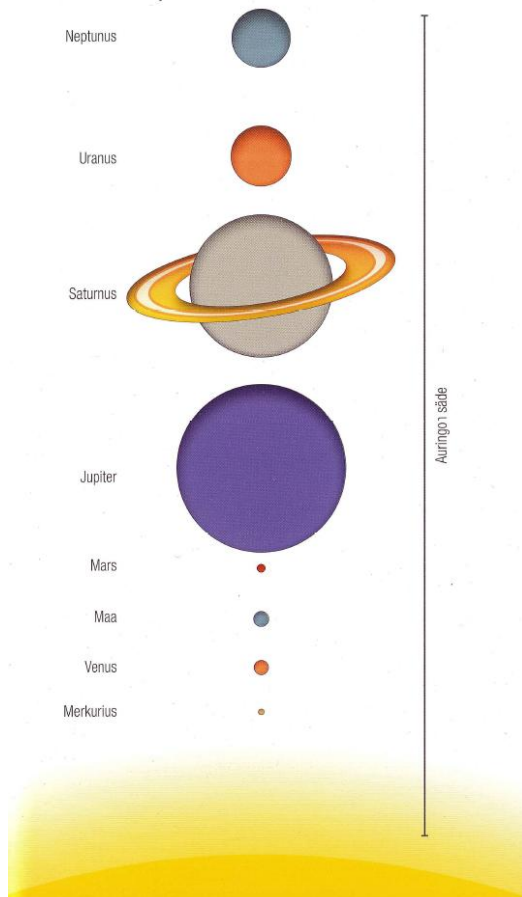
Kuva i. Värit -kappaleen avaussivu. Kuvituksena on käytetty runsaasti värikkäitä valokuvia, jotka eivät kuitenkaan liity itse tekstiin. (Hehku Fysiikka 7-9, s.29)



Kuva ii. Maapallo-kappaleen avaussivu. Planeetan voi tunnistaa Maaksi Afrikan mantereiden avulla. Oppilaiden ennakkokäsitykset on huomioitu näyttämällä toisen kuvan avulla, että lähempää katsottuna maapallon pinta tosiaan näyttää lähes tasaiselta. (Avain 1 Fysiikka, s.84)

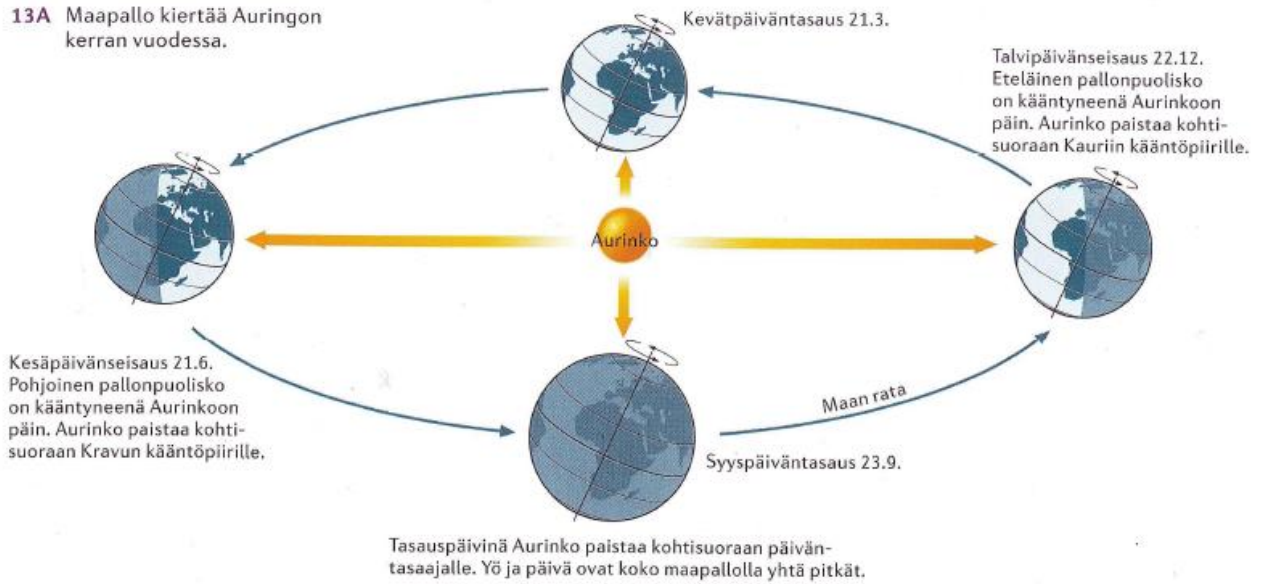


Kuva iii. Aurinkokunta. Kuvassa Maa näyttää olevan lähellä Aurinkoa, joka on suunnilleen Maan kokoinen. Planeettojen todelliset koot ja etäisyydet Auringosta on ilmoitettu, mutta ne eivät ole kuvassa oikein. Tekstissä ei mainita kuvan rajoituksista. (Aine ja energia Fysiikan tietokirja, taka-aukeama)



Kuva iv. Planeettojen koot. Kuva esittää todenmukaisesti planeettojen koot. Auringon suurta kokoa on havainnollistettu piirtämällä kuvaan sen säteen mittainen jana. Kuvasta kuitenkin voi syntyä virheellinen käsitys, että kaikki aurinkokuntamme planeetat sijaitsevat Auringon säteen mitan sisällä Auringosta. (Hehku Fysiikka 7-9, etukannen taite)

13A Maapallo kiertää Auringon kerran vuodessa.



Kuva v. Vuodenaikojen vaihtelu ja Maan ellipsinmuotoinen rata. Kuva on vuodenaikoja käsittelevästä kappaleesta. (KM Maailma, s. 13)