

Oiva Utriainen

Käsitteellinen ymmärtäminen
ja fysiikan oppimiseen liittyvät
odotukset lukion mekaniikassa



Oiva Utriainen

Käsitteellinen ymmärtäminen ja
fysiikan oppimiseen liittyvät odotukset
lukion mekaniikassa

Esitetään Jyväskylän yliopiston kasvatustieteiden ja psykologian tiedekunnan suostumuksella
julkisesti tarkastettavaksi yliopiston Ruusupuiston salissa D101
kesäkuun 19. päivänä 2018 kello 12.

Academic dissertation to be publicly discussed, by permission of
the Faculty of Education and Psychology of the University of Jyväskylä,
in building Ruusupuisto, hall D101, on June 19, 2018 at 12 o'clock noon.



UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

JYVÄSKYLÄ 2018

Käsitteellinen ymmärtäminen ja
fysiikan oppimiseen liittyvät odotukset
lukion mekaniikassa

Oiva Utriainen

Käsitteellinen ymmärtäminen ja
fysiikan oppimiseen liittyvät odotukset
lukion mekaniikassa



UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

JYVÄSKYLÄ 2018

Editors

Timo Saloviita

Department of Teacher Education, University of Jyväskylä

Sini Tuikka

Publishing Unit, University Library of Jyväskylä

Permanent link to this publication: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-39-7456-5>

URN:ISBN:978-951-39-7456-5

ISBN 978-951-39-7456-5 (PDF)

ISBN 978-951-39-7455-8 (nid.)

ISSN 0075-4625

Copyright © 2018, by University of Jyväskylä

Jyväskylä University Printing House, Jyväskylä 2018

ABSTRACT

Utriainen, Oiva

Conceptual understanding and expectations of learning physics in general upper secondary school mechanics

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2018, 222 p.

(Jyväskylä Studies in Education, Psychology and Social Research

ISSN 0075-4625; 614)

ISBN 978-951-39-7455-8 (print)

ISBN 978-951-39-7456-5 (PDF)

Earlier research (Utriainen 2004) and subsequent examination of learning outcomes revealed a lack of understanding regarding the connection between an object's state of motion and object interactions. Creating force diagrams and writing equations of motion were difficult for students. During a compulsory physics course, students develop a concept of physics as a subject and of how to study it. These experiences may be significant for their expectations of advanced courses in physics. Two objectives were set for the instruction: first, to enhance qualitative competence in assignments related to Newton's second and third laws and the writing of equations of motion; and, second, to influence students' expectations of their own success on mechanics courses. The curriculum reform made it possible to conduct comparative research. In the teaching experiment, the control group's ($N = 19$) textbook was based on Finland's national core curriculum of 1994 and the test group's ($N = 18$) textbook on the national core curriculum of 2004. The control group's textbook contained no interaction diagram. A perceptual approach, in which collision tests provided the basis for Newton's laws, was used in both groups. In addition, the test group's study guidelines were renewed by highlighting familiarisation with the following lesson's theme and the importance of effort instead of intelligence. Class work was carried out in groups of 3 to 4 students, and the same teacher taught in both groups. The change in learning was examined with concept tests and calculation tasks.

There were no differences between the textbooks as regards their readability index, but the test group's book implemented the coherence, signalling and spatial contiguity principles of multimedia learning, which seems to affect the test results. In Newton's third law, the study indicated no statistically significant differences between the learning outcomes of the test group and the control group. In the context of Newton's second law, however, the test group's learning outcomes were better than those of the control group in 55% of the tests, and the effect size was large. The second-year course did not change the students' expectations, which seem to have become stable during the first-year course. Based on an inquiry, the test group differed statistically from the control group in that the students were able to set realistic goals and work in a target-oriented way irrespective of learning materials and personal preferences. The control group's learning outcomes did not surpass those of the test group in any of the tests or assignments.

Keywords: Cognitive architecture, cognitive load theory, cognitive theory of multimedia learning, working memory, scheme

Author's address

Oiva Utriainen
Senjanpolku 3 85100 Kalajoki
oiva.utriainen@pp.inet.fi

Supervisors

Professor Jouni Viiri
Department of Teacher Education
University of Jyväskylä

PhD Pasi Nieminen
Department of Teacher Education
University of Jyväskylä

Reviewers

Docent Antti Savinainen
Kuopio Lyceum High School

Docent Kari Sormunen
School of Applied Educational Science and Teacher
Education
University of Eastern Finland

Opponent

Docent Antti Savinainen
Kuopio Lyceum High School

ABSTRAKTI

Utriainen, Oiva

Käsitteellinen ymmärtäminen ja fysiikan oppimiseen liittyvät odotukset lukion mekaniikassa

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2018, 222 p.

(Jyväskylä Studies in Education, Psychology and Social Research

ISSN 0075-4625; 614)

ISBN 978-951-39-7455-8 (print)

ISBN 978-951-39-7456-5 (PDF)

Aikaisempi tutkimus (Utriainen 2004) ja myöhempi oppimistulosten tarkastelu paljastivat puutteita, jotka koskivat kappaleen liiketilan ja kappaleen vuorovaikutusten välisen yhteyden ymmärrystä. Voimakuvion laadinta ja liikeyhtälön kirjoittaminen tuottivat vaikeuksia. Pakollisella fysiikan kurssilla opiskelijat muodostavat käsityksen, joka koskee fysiikkaa oppiaineena ja sen opiskelua. Saaduilla kokeumuksilla voi olla merkitystä fysiikan syventäviin kursseihin kohdistuviin odotuksiin. Opetukselle asetettiin kaksi tavoitetta: piti edistää Newtonin toiseen ja Newtonin kolmanteen lakiin liittyvien tehtävien kvalitatiivista osaamista ja liikeyhtälön kirjoittamista sekä yrittää vaikuttaa opiskelijan omiin menestymisen odotuksiin mekaniikan kursseilla. Opetussuunnitelman muutos teki mahdolliseksi vertailevan tutkimuksen. Opetuskokeilussa kontrolliryhmän (N = 19) oppikirja oli laadittu vuoden 1994 ja koeryhmän (N = 18) uuden, vuoden 2004 opetussuunnitelmien mukaan. Kontrolliryhmän oppikirjassa vuorovaikutuskaaviota ei ollut. Molemmissa ryhmissä käytettiin hahmottavaa lähestymistapaa, jossa Newtonin lakien lähtökohtana olivat törmäyskokeet. Tämän lisäksi koeryhmän opiskeluohjeet uusittiin: nyt korostettiin seuraavan oppitunnin aiheeseen perehtymistä ja ponnistelun, ei älyn, merkitystä. Oppitunnilla työskenneltiin 3–4 hengen ryhmissä, ja sama opettaja opetti molempia ryhmiä. Oppimisessa tapahtunutta muutosta tutkittiin käsitteiteillä ja laskutehtävillä.

Oppikirjat eivät eronneet luettavuusindeksin suhteen, mutta koeryhmän oppikirja toteutti multimediaoppimisen koherenssi-, opastin ja spatiaalisen jatkuvuuden periaatteet, millä näyttäisi olevan vaikutusta testituloksiin. Tutkimuksen perusteella koeryhmän ja kontrolliryhmän Newtonin kolmannen lain oppimistulokset eivät tilastollisesti poikenneet toisistaan. Sen sijaan Newtonin toisen lain kontekstissa 55 %:ssa testejä koeryhmän oppimistulokset olivat paremmat kuin kontrolliryhmän efektikoon ollessa suuri. Toisen vuosikurssin opetus ei muuttanut opiskelijoiden odotuksia, jotka näyttävät vakiintuneen ensimmäisen vuosikurssin aikana. Koeryhmä erosi tilastollisesti kontrolliryhmästä siinä, että kyselyn perusteella opiskelijat pystyivät oppimateriaalista ja henkilökohtaisista mieltymyksistä riippumatta asettamaan realistisia tavoitteita sekä tavoitteelliseen työskentelyyn. Missään testissä tai tehtävässä kontrolliryhmän oppimistulos ei ollut parempi kuin koeryhmän.

Avainsanat: Kognitiivinen arkkitehtuuri, kognitiivinen kuormateoria, multimediaoppimisen teoria, työmuisti, skeema.

ESIPUHE

Jäin 56-vuotiaana osa-aikaeläkkeelle ja mietin erilaisia ajankäytön vaihtoehtoja. Lopulta päädyin opiskelemaan 2000-luvun alussa didaktista fysiikkaa Helsingin yliopiston fysikaalisten tieteiden laitokselle. Opiskelun lopputuloksena oli filosofian lisensiaatin tutkinto vuonna 2004. Kuten työni ohjaaja silloinen dosentti Ismo Koponen ilmaisi: tutkimus aiheuttaa riippuvuutta. Näin tapahtui myös minun kohdallani. Lisensiaatintutkimuksen valmistuttua opiskelun jatkamista suosittelevat nykyiset professorit Ismo T Koponen ja Jouni Viiri. Mutta opiskelun jatkaminen sillä hetkellä ei oikein innostanut. Ehkä syynä olivat osa-aikatyö lukiossa, etäisyys yliopistoista ja intensiivinen parin vuoden työjakso lisensiaatintutkimuksen parissa. Jatkoisin kuitenkin opetukseni kehittämistä.

Uuden opetussuunnitelman voimaantulo 2004 ja oppikirjan vaihtuminen synnyttivät tilanteen, jossa minulla oli viimeinen mahdollisuus ennen eläkkeelle siirtymistäni hyödyntää hankkimaani osaamista. Olin jo aikaisemmin käyttänyt vuorovaikutteista opetusmallia, joten uudet opetussuunnitelmat eivät tässä suhteessa aiheuttaneet muutoksia. Sen sijaan uusi oppikirja ja Dweckin minäteoria, jossa älykkyys käsitetään potentiaaliksi, olivat muutoksen lähtökohdat. Työurani viimeinen mekaniikan opetusmalli tiivistyi kurssisuunnitelmaksi, jonka toteutin vuonna 2006.

Jäin eläkkeelle keväällä 2007. Koska kiirettä ei enää ollut, päätin koota opilaiden käsitteestien tulokset, joita oli kertynyt runsaasti vuoden 2004 jälkeen. Varsinkin kahden viimeisen opettamani kurssin tulokset kiinnostivat, koska olin muokannut viimeistä opetusmallia ja pystyin vertailemaan oppimistuloksia.

Tulosten tilastollinen käsittely osoitti, että ryhmät poikkesivat huomattavasti toisistaan. Ryhmien oppimiseron pohdinta johti minut itsenäiseen opiskeluun ja haluun selvittää, mistä oikein oli kysymys. Syntyi tutkimusharrastus muiden harrastusten ohella, ja se vei minut kokonaan. Aina heräsi uusia kysymyksiä, joihin piti hakea vastauksia.

Olosuhteet olivat optimaaliset. Voin itse määrittää aikatauluni, ja ulkoista painetta ei ollut. Edes lähipiirini ei tiennyt harrastuksestani: kerroin vain ajankulukukseni opiskelevani kognitiivista psykologiaa ja tekoälyyn liittyviä kysymyksiä. Oli arvoitus, mihin harrastus lopulta johtaa.

Minua rohkaisi erityisen paljon Suomen kuvalehdessä (2014, 44) kuvataiteilija Teemu Saukkosen ja ulkomaantoimittajan Heikki Aittokosken periaatteet: "Pitää vain mennä hullunrohkeasti kohti sitä, mikä tuntuu oikealta, ja katsoa sitten, miten käy." (T.S.). "Voi mennä pieleen, mutta se ei ole niin vakavaa. Paljon vakavampaa on, jos ei edes yritä." (H. A.)

Vasta myöhemmin aloin ajatella kirjaa, jonka formaatti olisi tieteellinen raportti. Tähän kirjaan kokoaisin tutkimusteni tulokset ja lisäksi rakentaisin mallin, joka selittäisi oppimisessa havaitut ryhmien väliset erot.

Ensimmäinen käsikirjoitus oli valmiina vuoden 2015 alussa. Koska tarkoituksena oli julkaista kirja, niin sitä varten tarvitsin lausunnon. Onnekkaiden sattumien seurauksena käsikirjoitus päätyi professori Jouni Viirin tutkittavaksi.

Tästä alkoi käsikirjoituksen hiominen, ja vuoden 2016 lopussa minut hyväksyttiin Jyväskylän yliopiston kasvatustieteiden ja psykologian tiedekunnan jatko-opiskelijaksi.

Käsikirjoituksen muokkaus jatkui. Vasta noin vajaa vuosi ennen painatuslupaa lähipiiri sai tietää harrastuksestani, joka oli muuttunut vakavaksi opiskeluksi.

Haluan kiittää ohjaajiani professori Jouni Viiriä ja filosofian tohtori Pasi Niemistä heidän antamastaan rakentavasta palautteesta. Ilman Jounin myötävaikutusta en olisi kirjoittamassa tätä esipuhetta. Kiitän myös työni esitarkastajia dosentti Antti Savinaista Kuopion lyseon lukiosta ja dosentti Kari Sormusta Itä-Suomen yliopistosta asiantuntevasta palautteesta, jonka ansiosta työni sai lopullisen muotonsa. Osoitan myös kiitokseni entiselle työtoverilleni Harri Kotiaholle, joka avusti minua arviointiin liittyvissä kysymyksissä.

Lopuksi kiitän lähipiiriäni osoitetusta mielenkiinnosta. Erityisesti haluan kiittää vaimoani Marjattaa. Hänen tukensa ja huolenpitonsa oli korvaamaton. Sain vailla arkipäivän huolia keskittyä viimeistelemään tutkimustani. Hän ymmärsi minua, vaikka viimeisen vuoden aikana olin usein fyysisesti läsnä mutta henkisesti ”muissa maailmoissa”.

Omistan tämän väitöskirjani edesmenneille vanhemmilleni, jotka tukivat minua nuoruusvuosieni opiskelun eri vaiheissa. He arvostivat koulutusta ja olivat valmiita taloudellisiin uhrauksiin, jotta minulla olisi parempi tulevaisuus kuin sodan kokeneella sukupolvella. Olen siitä heille kiitollinen.

Toivon, että esimerkkinä rohkaisisi jokaista kulkemaan omia unelmiaan kohti. Matka voi olla pitkä, tie mutkainen ja joskus jopa kivinen, eksyminen saattaa olla mahdollista mutta sitkeä kulkija pääsee perille.

Kalajoella 23. huhtikuuta 2018

FL Oiva Utriainen

KUVIOT

KUVIO 2.1	Kognitiivisen kuormateorian arkkitehtuuri	31
KUVIO 2.2	Propositio "kappale A törmää kappaleeseen B"	35
KUVIO 2.3	Päätelyprimitiiveistä ja faseteista muodostunut propositionaalinen verkko, joka perustuu liitteisiin 2 ja 3	36
KUVIO 2.4	Kognitiivisen kuorman jako.....	38
KUVIO 2.5	Sisäinen kognitiivinen kuorma (ICL), kun oppimistehtävän vaikeusaste on sovitettu oppijan tason mukaan. Epäonnistunut sovitus johtaa ulkoiseen kuormaan (+ECL) ..	46
KUVIO 2.6	Baddeleyn työmuistimalli	52
KUVIO 2.7	Multimediaoppimisen kognitiivisen teorian prosessit	54
KUVIO 2.8	Multimediaoppimisen integroiva malli	64
KUVIO 2.9	Kognitiivisen kuorman vaikutus oppimiseen.....	68
KUVIO 2.10	Vuorovaikutuskaavio ja siitä johdettu voimakuvio	71
KUVIO 2.11	Propositiot Osa 1, Osa 2 ja Osa 3	72
KUVIO 2.12	Kolmen proposition muodostama verkko.....	72
KUVIO 2.13	Kuvioon 2.12 liitetyt propositiot "Maa vetää palloa" ja "Pallo vetää Maata"	73
KUVIO 2.14	Vuorovaikutuskaavion muokkaus voimakuvioksi	74
KUVIO 2.15	Voimakuvioon liittyvät propositiot	75
KUVIO 2.16	Brodmannin alueet	77
KUVIO 4.1	Opetuksen eteneminen käsittehierarkiassa	91
KUVIO 4.2	Käsite ja sen merkityksen rakentuminen	93
KUVIO 4.3	Hahmottamisen kaksisuuntainen logiikka	95
KUVIO 4.4	Ei-satunnaistettu koe.....	97
KUVIO 4.5	Opiskelijaryhmän N2. lain harjoitus rihvelitaululla	104
KUVIO 4.6	FCI-testin tehtävä 17	105
KUVIO 4.7	FMCE-testin tehtävät 8-10	107
KUVIO 4.8	TUG-K-testin tehtävä 2.....	108
KUVIO 4.9	MBT-testin tehtävä 7	108
KUVIO 4.10	Tasaisen ympyräliikkeen tehtävä: pallo narussa	109
KUVIO 4.11	Oppikirjan sivun kuva A) ja sen yhteenveto B)	117
KUVIO 4.12	Free Online Service -ohjelma muuttaa kuvan Word-tiedostoksi.....	118
KUVIO 4.13	Wordin ja Oikofixin päätekstin tilastot	118
KUVIO 4.14	Spatiaalisen jatkuvuuden integroitu A) ja erotettu muoto B).....	119
KUVIO 4.15	Visuaaliset vastineet.....	123
KUVIO 4.16	Kuvien ero: esittävä A ja selittävä B	123
KUVIO 4.17	Esittävä kuvasarja.....	123
KUVIO 4.18	Soveltava kuva.....	124
KUVIO 4.19	Soveltava kuva	124
KUVIO 4.20	Soveltava kuva.....	124
KUVIO 4.21	Esittävä kuva.....	125

KUVIO 4.22	Esittävä kuva	125
KUVIO 5.1	FMCE-testin vastausten jakautuminen newtonilaisiin (Nw), osittain newtonilaisiin (Onw) ja ei-newtonilaisiin (Enw)	141
KUVIO 5.2	FMCE-testin N2. lakia koskevien vastausten jakauma newtonilaisiin (Nw), osittain newtonilaisiin (Onw) ja ei-newtonilaisiin (Enw).....	143
KUVIO 5.3	MBT-testin Newtonin II lain oikeiden vastausten jakauma	146
KUVIO 5.4	Kuvapari Fotoni 1:stä	157
KUVIO 5.5	Spatiaalinen jatkuvuus: Erillisformaattit Fotoni 1 (A) ja Fysiikka luonnontieteenä (C), täysin integroitu formaatti Physica 1 (B)	159

TAULUKOT

TAULUKKO 2.1	Luonnollisen informaation prosessointisysteemin viisi periaatetta	33
TAULUKKO 2.2	Multimediaoppimisen teorian pääoletukset.....	51
TAULUKKO 2.3	Multimediaperiaatteiden efektikoot suuruusjärjestyksessä.	67
TAULUKKO 2.4	Keskimääräiset sanapituudet (merkkit/sana), lausepituudet (sanat/lause) ja virkepituudet (sanat/virke) koko Parolessa, sanomalehdissä, tietokirjoissa ja romaaneissa	79
TAULUKKO 2.5	Suomen Parolen sanaluokkajakauma (%).....	80
TAULUKKO 4.1	Probleeman ratkaisu hahmottavassa lähestymistavassa	96
TAULUKKO 4.2	Tutkimusasetelman kojärjestelyt	97
TAULUKKO 4.3	F-ryhmän Mekaniikka 1:n kurssisuunnitelma	101
TAULUKKO 4.4	P-ryhmän Liikkeen lait kurssisuunnitelma.....	101
TAULUKKO 4.5	Fysiikan dynamiikan kurssien opetusmallien erot.....	103
TAULUKKO 4.6	FCI-testin N2. lakiin liittyvät tehtävät	105
TAULUKKO 4.7	FMCE-testin N2. lakiin liittyvät tehtävät	106
TAULUKKO 4.8	TUG-K-testin N2. laki ja kiihtyvyys.....	107
TAULUKKO 4.9	MBT-testin N2. lakiin liittyvät tehtävät	109
TAULUKKO 4.10	Oppilaan MPEX-testin odotusten klusterit.....	111
TAULUKKO 4.11	Cohenin d :n ja efektikoko-korrelaation yhteys ja tulkinta	114
TAULUKKO 4.12	MPEX-testi. Vertailuryhminä olevat oppilaitokset.....	116
TAULUKKO 4.13	Eksperttiryhmän antamat vastaukset MPEX-testin eri osioiden kysymyksiin	116
TAULUKKO 4.14	Spatiaalinen jatkuvuus.....	120
TAULUKKO 4.15	Kuvien luokittelu Levinin mukaan	120

TAULUKKO 4.16	Kuvien luokittelu Pozzerin ja Rothin mukaan	120
TAULUKKO 4.17	Kuvien luokittelu visuaalisen vastineen perusteella	121
TAULUKKO 5.1	Fotoni- ja Physica-sarjan päätekstin sanatiheys ja kuvatiheys oppikirjan dynamiikan tekstisivuilla.	127
TAULUKKO 5.2	Sanojen jakauma (%) eri tekstityyppeihin Fotoni- ja Physica-sarjoissa	127
TAULUKKO 5.3	Taulukon 5.2 prosenttiosuuksien eron merkitsevyys.....	127
TAULUKKO 5.4	Päätekstin 100 sanan näytteiden keskiarvot ja -hajonnat.....	128
TAULUKKO 5.5	100 sanan näytteet dynamiikan osa-alueesta.....	129
TAULUKKO 5.6	Taulukon 5.4 perusteella lasketut luettavuusindeksit....	129
TAULUKKO 5.7	Taulukon 5.6 indeksien ero (%) suhteessa pienempään indeksiin ja pisteytys	130
TAULUKKO 5.8	Fysiikan termien osuudet (%) päätekstissä.....	131
TAULUKKO 5.9	Fysiikan termien osuudet (%) suhteessa niiden kokonaismäärään.....	131
TAULUKKO 5.10	Termien osuudet oppikirjoissa Fotoni 1 ja 4 sekä Physica 1 ja 4.....	132
TAULUKKO 5.11	Newtonin II ja III lain esittelyyn käytetyn tekstin jakauma (%) oppikirjoissa	132
TAULUKKO 5.12	Newtonin II ja III lain esittelyyn käytetyn tekstin jakauma (%) oppikirjasarjassa.....	133
TAULUKKO 5.13	Opastinperiaate Fotoni 1 ja 4 sekä Physica 1 ja 4 oppikirjoissa.....	134
TAULUKKO 5.14	Spatiaalinen jatkuvuus: vuorovaikutuskaaviot, voimakuviot, valokuvat, piirroksot ja yksi esimerkki, joka liittyy käsiteltävään aiheeseen, (kpl)	134
TAULUKKO 5.15	Fotoni 1:n ja 4:n päätekstiin liittyvien kuvien luokittelu taulukon 4.15 mukaan.....	135
TAULUKKO 5.16	Physica 1:n ja 4:n päätekstiin liittyvien kuvien luokittelu taulukon 4.16 mukaan.....	135
TAULUKKO 5.17	Physica 1:n ja 4:n päätekstiin liittyvien kuvien luokittelu taulukon 4.17 mukaan.....	136
TAULUKKO 5.18	Tehtäväluokkiin kuuluvien kuvien lukumäärät (kpl)....	137
TAULUKKO 5.19	FCI-testin pistemäärien keskiarvot ja otoskeskihajonnat.....	138
TAULUKKO 5.20	FCI-testi: normeerattu kasvutekijä, henkilökohtainen kasvutekijä ja efektikoko. Suluissa on keskihajonta.	139
TAULUKKO 5.21	FMCE- ja TUG-K-testien keskiarvot ja (-hajonnat)..	140
TAULUKKO 5.22	FMCE-testin kysymysten ryhmittely. Kysymysten lukumäärä on 40.....	140
TAULUKKO 5.23	FMCE-testin vastausten luokittelu seitsemään luokkaan.....	140
TAULUKKO 5.24	FMCE-testin vastausten jakautuminen taulukon 5.23 luokkiin	142

TAULUKKO 5.25	Newtonin II lakiin liittyvät MBT-testin tehtävät.....	145
TAULUKKO 5.26	Pallo narussa -tehtävän arvosteluperusteet	147
TAULUKKO 5.27	Langan jännityksen ja painovoiman suhde kuvion piirtäneiden vastauksissa pystytasossa pyöritettävän kappaleen radan alimmassa pisteessä.	148
TAULUKKO 5.28	Auto vaakasuorassa kaarteessa -liikkeen arvostelu. Summa on 6,5 pistettä. Oikea vastaus korostettu.	148
TAULUKKO 5.29	P-ryhmän MPEX-testin tulokset.	149
TAULUKKO 5.30	P-ryhmän MPEX-testin tulokset.	150
TAULUKKO 5.31	MPEX-esi- ja jälkitestin perusteella P-ryhmän vastaajien lukumäärässä tapahtuneet muutokset.	151
TAULUKKO 5.32	Mekaniikan käsitteet.	162
TAULUKKO 5.33	MBT-testi: mekaniikan perustaitojen vertailu	164
TAULUKKO 5.34	MPEX-testin ekspertin vastaus/noviisin vastaus	167
TAULUKKO 5.35	Testivastausten yhteenveto (liite 7).....	169
TAULUKKO 6.1	Sisäisen validiteetin uhkia ja niitä koskevat kommentit.....	174
TAULUKKO 6.2	Ulkoisen validiteetin uhkia ja niitä koskevat kommentit.....	174

SISÄLLYS

ABSTRACT
ESIPUHE
KUVIOT JA TAULUKOT
SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	15
1.1	Näkemyksiä fysiikasta oppiaineena	15
1.2	Koherentti tietorakenne ja sen opettaminen.....	17
1.3	Oppimiserojen selittäminen.....	19
1.4	Tutkimuksen tavoite	21
2	TEOREETTINEN VIITEKEHYS.....	23
2.1	Kognitiivinen arkkitehtuuri	24
2.2	Tarkkaavaisuus	25
2.3	Työmuisti	27
2.4	Kognitiivinen kuormateoria.....	29
2.4.1	Luonnollinen informaation prosessointisysteemi.....	29
2.4.2	Skeema.....	34
2.4.3	Sisäinen, ulkoinen ja rakentava kognitiivinen kuorma	37
2.4.4	Kognitiiviseen kuormaan liittyvät ilmiöt	41
2.4.5	Pätevyyden ja tehtävän vaikeusasteen yhdistäminen.....	46
2.4.6	Kognitiivisen kuorman mittaaminen.....	48
2.5	Multimediaoppimisen teoria	49
2.5.1	Multimediaoppimisen määritelmiä ja oletukset.....	50
2.5.2	Sanat ja kuvat työmuistissa	53
2.5.3	Epäolennainen prosessointi.....	56
2.5.4	Keskeinen prosessointi.....	59
2.5.5	Tuottava prosessointi	61
2.5.6	Multimediaoppimisen integroiva malli.....	63
2.5.7	Kognitiivisen kuormateorian ja multimediaoppimisen teorian kritiikkiä	68
2.5.8	Vuorovaikutuskaavion muokkaus voimakuvioksi.....	70
2.6	Skeemojen pysyvyys	76
2.7	Tekstin luettavuus	79
2.8	Minäkuvan vaikutus opiskeluun	83
2.8.1	Minäpystyvyys ja oppimiskäsitys	83
2.8.2	Yksilön käsitys älykkyydestä ja sen vaikutus tavoiteorientaatioon	84
3	TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET	87
4	TUTKIMUKSEN KONTEKSTI JA MENETELMÄT.....	90

4.1	Hahmottava lähestymistapa	90
4.1.1	Opetusfilosofia	91
4.1.2	Rakenteellinen fysiikan opetus	94
4.2	Koehenkilöt ja tutkimusasetelma	96
4.3	Kurssisuunnitelmat ja opetusmalli	100
4.4	Tiedonhankinta	104
4.4.1	Käsitetestit	104
4.4.2	Opiskelijan fysiikan kurssin odotukset ja oman työskentelyn arviointi	110
4.4.3	Fotoni- ja Physica-sarjojen oppikirjat	111
4.5	Tutkimusaineiston analyysi	113
4.5.1	Haken normeerattu kasvutekijä $\langle g \rangle$, henkilökohtainen kasvutekijä g ja Cohenin d	113
4.5.2	Keskiarvojen eron testaaminen ja ristiintaulukon analysointi	115
4.5.3	Fysiikan kurssin odotukset	115
4.5.4	Oppikirjojen arviointi	117
5	TUTKIMUKSEN TULOKSET	126
5.1	Oppikirjojen erot	126
5.2	FCI-, FMCE- ja TUG-K-testit	137
5.3	Newtonin II laki ja FCI-, FMCE- ja TUG-K-testit	142
5.4	MBT-testi	145
5.5	Tasaisen ympyräliikkeen tehtävien osaaminen	147
5.6	Opiskelijoiden fysiikkaan kohdistamat odotukset	149
5.7	Vastaukset tutkimuskysymyksiin	152
5.8	Johtopäätökset	169
6	POHDINTAA	173
6.1	Tutkimuksen luotettavuus	173
6.2	Suosituksia mekaniikan opetukseen	178
6.2.1	Oppikirja	178
6.2.2	Opiskeluohjeet	179
6.3	Merkitys jatkotutkimukselle	180
	YHTEENVETO (SUMMARY)	183
	LÄHTEET	188
	LIITTEET	204

1 JOHDANTO

Oppilaat kokevat fysiikan vaikeaksi oppiaineeksi. Eräs syy koettuun vaikeuteen on koherentti tietorakenne, jonka opettamisessa käytetään erilaisia vaiheistettuja ja opetusmalleja. Niissä korostuu opiskelijan tarvitsema ohjaus, sen määrä ja opetusmateriaali. Edellisen perusteella luvun lopussa asetetaan tutkimuksen tavoite.

1.1 Näkemyksiä fysiikasta oppiaineena

Lisensiaatintutkimuksessani (Utriainen 2004) keskityin Newtonin III (myöhemmin lait lyhennetään N2. ja N3. laki) lakiin: vaikuttaisiko lain ymmärtämiseen se, miten voiman käsitteen merkitys rakennetaan. Vertasin hahmottavaa (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994) ja mallintavaa (Hestenes 1987) lähestymistapaa. Edellisessä sovelletaan empiirisen tieteen prosesseja opetukseen, jonka yhteydessä käsitteet asettuvat käsittehierarkiassa niille kuuluville paikoille. Jälkimmäisessä lähdetään valmiista teoriasta ja johdetaan malleja mallintamisprosessilla. Empiria on malleja testaavaa ja todentavaa. Vuorovaikutteisen opetusmallin (Hake 1998) käyttö edisti N3. lain ymmärtämistä molemmissa oppilasryhmissä. Kuitenkin oli ongelma (diSessa 1993, 108, 206; Maloney 2011), jonka olin kohdannut lähes jatkuvasti yli 30-vuotisen opettajaurani aikana: dynamiikan peruslain soveltaminen probleeman ratkaisussa tuotti vaikeuksia. Ongelmana ei niinkään ollut liikeyhtälön matemaattinen ratkaisu, vaan probleeman fysikaalisen merkityksen muuttaminen matemaattiseen muotoon. Lisäksi 2000-luvun puolivälissä olin havainnut fysiikan opiskelijoiden ryhmissä kasvavaa motivaation puutetta. Syyslukukaudella 2005 alkaneessa lukion toisen vuosikurssin ryhmässä edellä mainittu havainto tuli korostuneesti esille. Motivaation puutteeseen ja fysiikan koettuun vaikeuteen on törmätty kansainvälisissä tutkimuksissa.

Fysiikka koetaan vaikeaksi oppiaineeksi, joka vaatii paljon työtä mutta toisaalta on mielenkiintoista. Angell, Guttersrud ja Henriksen (2004, 688, 692, 700–

701) raportoivat tutkimuksessaan, että 40 % opiskelijoista koki fysiikan opiskelun kuormittavaksi, koska eteneminen on nopeaa, käsitteet vaativia, kurssit liian laajoja ja ulkoluku ei auta. Oonin ja Subramaniamin (2011, 738–741) sekä Buabengin, Connerin ja Winterin (2015, 727) tutkimuksissa opiskelijat kokivat fysiikan oppiaineeksi, joka sisältää monia käsitteitä, lukuisia kaavoja ja erilaisia symbolisia representaatioita. Lisäksi käytetty matematiikka saattoi tuottaa ongelmia. Toisaalta Ornekin, Robinsonin ja Haugan (2008, 31) opiskelijoille ja kurssiassistentteille tekemässä kyselyssä molemmat osapuolet olivat yhtä mieltä, että fysiikan opintojen huonoa menestystä selittivät motivaatio, mielenkiinnon puute ja riittämätön työskentely. Sen sijaan esitietojen merkitystä menestymiseen ei pidetty ratkaisevana. Etenkin aasialaisessa kulttuurissa hyvät arvosanat ovat tärkeitä pyrittäessä jatko-opintoihin, joten arvosanojen tärkeyttä käytetään motivaatiokeinoina (Oon & Subramaniam 2011, 738–741).

Uudessa-Seelannissa tutkittiin fysiikan valinneiden lukion oppilaiden ($N = 82$) sekä virassa olevien opettajien ($N = 104$) käsityksiä fysiikan opetuksesta. Enin osa ajasta opetus oli ”kuivaa”. Opiskelijoiden mukaan fysiikka olisi kiinnostavampaa, jos työskenneltäisiin ryhmissä ja keskusteltaisiin. Näin opiskelijat voisivat olla keskenään vuorovaikutuksessa ja oppia toisiltaan. Opettajien kritiikki kohdistui opetuksen teoreettisuuteen. Fysiikkaa ei opeteta siten, että käsitteet liittyisivät arkipäivän ilmiöihin. Liikaa oli ”liitu-mustataulu”-opetusta eli ”liitufysiikkaa”. Lisäksi he kokivat, että loppukokeet lisäsivät kiirettä. (Buabeng, Conner & Winter 2015, 728.) Mielenkiintoista edellisessä on opettajien kritiikki. Mistä johtuu, että opettajat eivät yritä muuttaa omaa opetustaan? Seikka, joka jää epäselväksi.

Fysiikka oppiminen/opettaminen poikkeaa muista luonnontieteistä siinä, että sen abstraktisuuden taso on korkea, ilmiöitä tutkittaessa ne pitää idealisoida, ja matematiikka on hallitsevassa osassa. Ilmiöt pitää pystyä pelkistämään, jotta mittauksia voidaan suorittaa. Matematiikka on tärkeää, kun rakennetaan ilmiöitä kuvaavia malleja. (Duit, Schecker, Höttecke & Niedderer 2014, 438.)

Tieteen oppimista ei tule sekoittaa tieteen tekemiseen. Kummallakin on oma päämääränsä. Oppia voi myös silloin, kun tieteestä puhutaan, luetaan ja kirjoitetaan. (Osborne 2014, 579.)

Fysiikkaan kohdistuu myös odotuksia. Vetleseterin, Bøen ja Henriksenin (2013, 551, 554, 559) tutkimuksessa lukiossa sekä korkeakoulussa fysiikan valinneiden norjalaisten opiskelijoiden suurimman ryhmän muodostivat ne opiskelijat, jotka painottivat mielenkiintoa oppiainetta kohtaan ja odottivat kokevansa nautintoa sitä opiskellessaan. Lisäksi valinnan piti tukea omaa ajattelua. Tärkeitä olivat myös itsensä toteuttaminen, fysiikan hyödyllisyys jatko-opinnoissa ja menestyksen odotus. Toisen ryhmän muodostivat opiskelijat, joille yliopistoon pääsy oli tärkeintä, mutta menestyksen odotuksille pantiin painoa vain kohtuullisesti. Viimeisen ryhmän opiskelijoille oli tärkeintä mielenkiinto ja opiskelun nautinto, itsensä toteuttaminen ja sopivuus omaan ajatteluun. Sen sijaan suhteellisen vähän merkitsi yliopistoon pääsy, menestyksen odotukset ja erityisesti suhteelliset kustannukset. Suhteelliset kustannukset kuvaavat ponnisteluun käytettyä aikaa ja energiaa.

1.2 Koherentti tietorakenne ja sen opettaminen

Eräs syy edellisessä luvussa fysiikan koettuun vaikeuteen saattaa olla koherentti tietorakenne, joka saavutetaan, kun asiat opiskellaan tietyssä järjestyksessä. Savinainen ja Viirin mukaan (2003) oppilas, jonka kvalitatiivinen tieto on käsitteellisesti koherenttia, kykenee käyttämään monipuolisesti erilaisia representatioita kuten esimerkiksi kuvia ja graafisia kuvaajia. Hän kykenee soveltamaan tiettyä käsitettä tutuissa ja uusissa tilanteissa sekä liittämään käsitteen muihin käsitteisiin. (Savinainen & Viiri 2003.) Geracen (2001) mukaan ekspertin tieto on koherenttia. Se on klustereina, joissa vallitsee hierarkkinen rakenne. Klusterien tietoelementit muistuttavat skeemoja. Ne koostuvat käsitteistä, periaatteista, tarvittavasta operationaalisesta tiedosta ja siitä tiedosta, joka kyseisessä tapauksessa on hyödyllistä. Strateginen tieto on siten organisoitunut, että ekspertti hahmottaa tehtävän ”syvärakenteen”. Klustereiden väliset linkit ovat vahvoja ja kaksisuuntaisia. Kun alkuehdot ovat tiedossa, ekspertti kykenee strategisia elementtejä käyttäen ratkaisemaan probleeman. (Gerace 2001, 2.)

Kun fysiikan opetuksessa halutaan rakentaa koherentti tietorakenne, niin opetusmallien yhteinen piirre on, että tietyt vaiheet seuraavat toisiaan. Vaiheistusta voidaan kuvata käsitteellä pedagoginen skripti, jonka Putnam (1987, 36) määrittelee sen seuraavasti:

Opetussuunnitelma on tietyn aihepiirin opettamiseen tähtäävä tavoitteiden ja toimintojen kokonaisuus. Se koostuu taidoista ja käsitteistä, jotka oppilaiden oletetaan oppivan, sekä niihin liittyvän materiaalin opettamiseen vaadittavista aktiviteeteista ja strategioista.

McDermottin (1991) ennakkokäsityksiä koskevassa mallissa on kolme vaihetta: *Elicit*, *Confront* ja *Resolve* (ECR) eli paljasta, kohtaa ja ratkaise. Oppilaalle esitetään ilmiö, josta hän tekee ennusteen tai esitetään väite, josta hän on samaa mieltä tai eri mieltä. Paljastetaan siis ennakkokäsitys. Tämän jälkeen oppilas saatetaan tilanteeseen (esim. koe), jossa hän joutuu kohtaamaan uskomuksensa. Ennuste ja uskomus ovat ristiriidassa. Lopuksi ristiriita ratkaistaan opettajan avustuksella. (McDermott 1991, 309.)

Toisena esimerkkinä on *Peer-menetelmä*, joka on ryhmäkoosta riippumaton malli. Oppitunti tai luento jaetaan 5–7 minuutin jaksoihin, minkä jälkeen oppiminen testataan 1–2 minuuttia kestäväillä monivalintatestikysymyksillä. Opettaja ohjaa opiskelijat keskustelemaan 2–4 hengen ryhmissä noin kaksi minuuttia annetuista testivastauksista, minkä jälkeen opiskelijat vastaavat jälleen. Mikäli edistystä ei ole tapahtunut, opettaja esittää lisämateriaalia, ja sykli toistuu. Opettaja ei osallistu keskusteluun. Vastauksia ei arvostella. Motivaatio säilyy, koska loppukokeessa on käsitetestiä kaltaisia koetehtäviä. (Redish 2003, 133; Crouch & Mazur 2001, 970; Savinainen 2004; Balta, Michinov, Balyimez & Ayaz 2017)

Edellä esitettyjen tyyppisiä vaiheistettuja malleja Redish (2003, 123) kuvaa yhteenvedossaan 13 kappaletta, joista myöhemmin käsitellään Sokoloffin ja Thorntonin (1997, 340) *vuorovaikutteista demonstraatiota*.

Redish (2003) korostaa oppilaiden välistä keskustelua, jossa ei pyritä oikeaan vastaukseen vaan esittämään ja arvioimaan muita mahdollisia selityksiä. Fokus siirtyy faktojen listauksesta prosessointitaitoihin. Oppilas on helpottunut, kun ei ole henkilökohtaisesti ”kiinni” vastauksessaan. (Redish 2003, 137.)

Oppilaan tarvitsema ohjaus

Edellisessä luvussa kuvatus Uudessa-Seelannissa toteutetun tutkimuksen mukaan opiskelijoiden toiveena oli ryhmätyöskentely, mikä viittaa myös oppilaan itsenäiseen toimintaan. Oppimisen ihanteena on, että oppilas itse keksii vähäisellä ohjauksella tarvittavat periaatteet, säännöt ja lait (Puolimatka 2002, 375). Suositus minimaalisesta ohjauksesta palautuu Brunerin väitteeseen, että

Itsenäistä tiedonkeruuta painottavat harjoitukset opettavat hankkimaan tietoa tavalla, joka tekee tiedon helpommin käytettäväksi osana myöhempää ongelmanratkaisua (Bruner 1961, 26).

Kirschner, Sweller ja Clark (2006) kritisoivat konstruktivistisessä oppimiskäsitelyksessä erityisesti opettajan roolia oppimisprosessissa: kuinka paljon tarvitaan ohjausta? Jos informaatiota on riittävästi, useimmat iästä riippumatta pystyvät konstruoimaan tarvittavan tiedon. Sitä vastoin he toteavat, että ei ole näyttöä siitä, että representaatioita pystytään rakentamaan paremmin vajavaisella informaatiolla. Oppijan on rakennettava representaatio tai skeema, oli tieto riittävä tai ei. Kirschnerin ym. mukaan keksivä, ongelmalähtöinen, tutkiva, kokeuksellinen ja konstruktivistinen oppiminen ovat pedagogisesti ekvivalentteja. Näiden lähestymistapojen mukaisessa fysiikan opetuksessa oppilas matkii tutkijan työtapoja ja keksii perustavaa laatua olevat lait ja periaatteet. (Kirschner, Sweller & Clark 2006, 75–76.) Kurki-Suoniot kutsuvat tätä lähestymistapaa naimiksi empirismiksi (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 251).

Kirschnerin ym. (2006) kritiikkiä tukee Weckerin, Rachelin, Heran-Dörrin ja Waltnerin (2013) tutkimus, jonka tulokset viittaavat siihen, että teoriaan kannattaisi tutustua ennen tutkimustehtävää. Tällöin oppilas voisi soveltaa teoriaa ennustukseen ja selittääkseen tutkimustuloksiaan. (Wecker, Rachel, Heran-Dörr & Waltner 2013, 1200.) Alfierin, Brooks, Aldrichin ja Tenenbaumin (2011) tekemän tutkivan oppimisen (*discovery learning*) meta-analyysin (164 tutkimusta) johtopäätös oli, että opiskelija ei hyödy itsenäisestä keksivästä oppimisesta. Opetuksessa huomio tulisi kohdistaa annettuun palautteeseen, käytettyihin malliesimerkkeihin, oppilaan omien selitysten kriittiseen arviointiin sekä tilanteesta riippuvaan ohjattuun tukemiseen. (Alfieri, Brooks, Aldrich & Tenenbaum 2011, 13.)

Myöskään Wenning (2003, 3) ei kiistä ohjauksen tarpeellisuutta, vaan liittää sen tehtävän älylliseen haastavuuteen (*intellectual sophistication*). Tutkiva oppiminen vaatii eniten opettajan ohjausta, ja ohjaus loppuu lähes kokonaan, kun opiskelija asettaa hypoteeseja ja työskentelee itsenäisesti laboratoriossa. Tällä tasolla opettaja voi valvoa työskentelyä ja antaa sopivia vihjeitä sekä kysymyksillä ohjata opiskelijan työskentelyä. Kirschner ym. (2006, 78, 83) korosta-

vat sitä, että tieteen alan perusasioiden opettaminen noviisille on kokonaan eri asia, ja sen epistemologiaa ei pitäisi sekoittaa opettamisessa käytettyyn pedagogiikkaan.

Clark, Kirschner ja Sweller (2012, 6–9) korostavat opettajan ohjaavaa merkitystä erityisesti noviisin opetuksessa. Opettajan on tarkasti käytävä läpi probleemien ratkaisun eri vaiheet ennen yksilöllistä harjoittelua. Samalla he painottavat säilömuistin merkitystä. Säilömuisti vaikuttaa kaikkeen mitä nähdään, kuullaan ja mitä ajatellaan. Kognitio perustuu säilömuistin massiiviseen tietokantaan: jos mitään ei ole säilömuistissa, niin mitään ei ole opittu. Edellä mainitut tutkijat tulkitsevat konstruktivistista oppimiskäsitystä siten, että se on teoria kuinka ihminen oppii ja näkee maailman muttei ohje siitä, miten opetetaan.

On erotettava toisistaan, miten N2. laki opetetaan, ja miten tutkimusprosessi on päätyntä lakiin. Ongelmana ovat opiskelijan ennakkokäsitykset, joiden muuttaminen on osoittautunut vaikeaksi, ja opiskelija tuskin ilman ohjausta pystyy muokkaamaan käsityksensä newtonilaisen mekaniikan mukaiseksi. Luokkaopetuksen lisäksi oppikirja on tärkeä väline sekä opettajalle että opiskelijalle. Sen esitystapa vaatii myös tarkastelua.

Visuaalinen esitystapa

Opiskelija on vuorovaikutuksessa oppikirjan tekstin ja kuvien kanssa. Tekstin luettavuus on yksi tekijä kirjoja arvioitaessa. Persson, af Geijerstam ja Liberg (2016) korostavat, että fysiikan, kemian, biologian ja maantieteen käyttämä kieli eroaa sanojen lukumäärän, ilmaisun tarkkuuden, tiivyyden, personoinnin ja tekstin merkityksen ilmaisukyvyn suhteen.

Mutta pelkkä lausepituus ja sanapituus eivät yksin pysty kuvaamaan, miten tieteelliset tosiasiat on esitetty. Pitkä, vaikkakin hyvä selitys tekstinä, voi osalle oppilaista olla vaikea ymmärtää. Fysiikka sisältää paljon käsitteitä, joista on virheellisiä käsityksiä (Smith, diSessa & Roschelle 1993). Tällöin kuvituksella voidaan helpottaa fysikaalisten ilmiöiden ymmärtämistä (Zeng ym. 2014) ja lisätä fysiikan kiinnostavuutta esittämällä ilmiöiden ja arkielämän yhteyksiä (Bungum 2013). Dimopouloksen, Koulaidisin ja Sklavenitin (2003) vertailu osoitti, että luonnontieteen oppikirjat käyttivät sanomalehtiin verrattuna kymmenen kertaa enemmän kuvia, joista osa oli aihekohtaisia. Vavran ym. (2011) 65 empiirisen tutkimuksen yhteenveto toteaa, että visualisointi on tärkeää luonnontieteiden opetuksessa ja oppimisessa, mutta sen pitää sopia kontekstiin, opetuksen päämääriin ja ottaa huomioon oppilas.

1.3 Oppimiseröjen selittäminen

Opiskelijoiden fysiikan käsitteiden kvalitatiivista ymmärtämistä on tutkittu kansainvälisesti muun muassa FCI-, FMCE-, TUG-K- ja MBT-testeillä (Hake 2002b; Savinainen 2004; Pollock 2005; Culbertson, Archambault, Burch, Crofton & McClure 2008). Fysiikan opetuksen tutkimuksessa Nieddererin ja Scheckerin

(1992) mukaan kuvaustavat ovat joko operationaalisia, kuten oppilaan käyttäytyminen testissä ja/tai haastattelussa, tai teoreettisia, jolloin yritetään tehdä päätelmiä oppilaan omaamista käsityksistä, käsitteistä, ideoista tai skeemoista. (Niedderer & Schecker 1992, 77.) FCI-, FMCE-, TUG-K- ja MBT-testit ovat operationaalisia. Korkea pistemäärän muutos testissä tulkitaan siten, että on tapahtunut käsitteellinen muutos.

Oppimiserojen selityksissä viitataan esimerkiksi seuraaviin malleihin: Hierarkkisesti rakentuneet klusterit (Gerace 2001), lokaalisti koherentit resurssit (Tuminaro & Redish 2007, Sabella & Redish 2007), missä resurssi on johdonmukaisesti yhtä aikaa aktivoitavien tietoelementtien joukko. p-primsit, jotka ovat muutamista osista koostuvia pieniä tietorakenteita (diSessa 1993, 111) sekä skeemat (Rumelhart 1980, Derry 1996, Winn & Snyder 1996, Nuckolls 1998, Santosa 2006, Kalyuga 2010). Ryhmien välisten erojen selityksissä joudutaan turvautumaan opiskelijoiden antamiin selityksiin, joita sitten tulkitaan erilaisissa viitekehyksissä. Sabella ja Redish (2007, 2.) käyttävät selityksperusteena resurssia, jolloin ennakkokäsitys on muodostunut pienemmistä tietoelementeistä, jotka ovat tiukasti linkittyneet yhteen (vrt. diSessan p-primsit). Hammerin, Elbyn, Scherrin ja Redishin (2005, 5–7) mukaan oppija kokoa reaaliaikaisen selityksen käsitteeseen liittyvistä resursseista, jotka eivät ole oikeita eivätkä vääriä. Tuminaro ja Redish (2007, 2) esittävät, että resurssimalli on riittävän karkea kuvaamaan opiskelijan käyttäytymistä ja riittävän hienorakeinen, jotta ymmärrettäisiin käyttäytymisen takana oleva mekanismi.

Redishin (2004) selityksissä kaikki kognitioon liittyvä on aivojen neuronien toiminnan tulosta. Oppimisessa neuronien välisten kytkentöjen lukumäärä muuttuu. Silti hän epäilee kognition tietokonemallinnusta, jota hän kutsuu kognition mikroskooppiseksi teoriaksi. Jos systeemissä on liikaa vuorovaikuttavia osia, systeemin analysointi on liian mutkikasta. Kun Gerace (2001) puhuu klustereiden välisistä linkeistä, niin Redish konkretisoi ne neuronien välisiksi kytkennöiksi. Neuronien aktivaation lisääminen tai rajoittaminen joko vahvistaa tai heikentää kytkentöjä. Tämä on myös assosiaation idea. (Redish 2004, 4–14.) Beatty ja Gerace (2002) esittävätkin tavanomaisten testien tilalle termiassosiaatiotestejä (*term-association task; Con-Map tasks*), jotka antavat tietoa käsitteellisen tiedon elementtien välisistä yhteyksistä. Redishin vaikutus näkyy Sabellan (1999) ja Tuminaron (2004) väitöskirjoissa, joissa tulkinnat osaamisesta on tehty kvalitatiivisella tasolla.

Säilömuistin massiivisella tietokannalla on keskeinen osa kaikessa kognitiivisessa toiminnassa. Kirschner ym. (2006) korostavat: jos mikään ei muutu säilömuistissa, niin mitään ei ole opittu. Mallien tehokkuutta voidaan arvioida vain säilömuistissa tapahtuneen muutoksen perusteella. Kirschnerin ym. (2006, 76–77.) mukaan oppimisen teoria ei ole tehokas, ellei se ole ottanut huomioon joko työmuistiin liittyviä rajoituksia tai tutun informaation ollessa kysymyksessä noiden rajojen häviämistä.

1.4 Tutkimuksen tavoite

Omat ja edellä esitetyt kansainväliset havainnot osoittivat, että fysiikan opiskelu koetaan vaikeaksi mutta toisaalta mielenkiintoiseksi. Opiskelijoiden motiivointi ja rohkaisu fysiikan opiskeluun asettaa opetusmallille ja oppimateriaalille tiettyjä vaatimuksia. Kun lukion ensimmäinen vuosikurssi aloitti uuden opetussuunnitelman (2004) mukaisen opiskelun, oli mahdollista vaihtaa oppikirja. Sen visuaalinen esitys poikkesi aikaisemmin käyttämäni oppikirjan esitystavasta. Erityisesti mielenkiintoni kohdistui dynamiikassa vuorovaikutuskaavioon voimakuvion esiasteena, jonka tarkempi kuvaus on luvussa 2.5.8. Mäkysen (2014, 15) mukaan vuorovaikutuskaavio on

visuaalinen representaatio, jonka avulla havainnollistetaan kappaleiden välisiä vuorovaikutuksia ja vuorovaikutuksista syntyviä voimia.

Aikaisemmin käyttämässäni oppikirjassa vuorovaikutuskaaviota ei ollut, joten uusi oppikirja antoi mahdollisuuden vertailla kahta oppikirjaa dynamiikan aihealueen esitystapojen suhteen. Muuten valtakunnallisen opetussuunnitelman muutos ei vaikuttanut opetusmalliin, koska olin käyttänyt vuorovaikutteista opetusmallia (Hake 1998) jo 2000-luvun alusta asti. Lisäksi kun fysiikan kurssi alkaa, jokaisella opiskelijalla on omat odotuksensa, toiveensa ja uskomuksensa opetuksen ja oppimisen suhteen. Tutustuminen Dweckin (1999) artikkeliin, jossa korostettiin ponnistelun ja kovan työn merkitystä, vaikutti opetusmallin sisältöön. Opiskeluohjeet lukion toisen vuosikurssin alussa ja kannustus kurssin kuluessa korostivat ponnistelun merkitystä.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää tunneilla käytetyn oppikirjaan perustuvan esitystavan mahdollista vaikutusta N2. ja N3. lakiin liittyvien tehtävien kvalitatiiviseen ja kvantitatiiviseen osaamiseen. Jos tässä tutkimuksessa eroja ilmenisi, niin toisena päätavoitteena olisi laatia teoreettinen viitekehys, jolla voitaisiin selittää oppimista ja suunnitella opettamista. Ritter, Anderson, Koedinger ja Corbett (2007, 250) ovat osuneet asian ytimeen todetessaan, että jos tutkimukseen perustuva opetussuunnitelma osoittautuu tehokkaaksi, ”*oleellinen osa selitystä on, miksi se on tehokas*” (korostus edellä mainittujen tutkijoiden). Oppimistulosten tilastollinen käsittely ei kerro, miksi ryhmä A on parempi kuin ryhmä B.

Tutkittavat ryhmät koostuivat lukion toisen vuosikurssin opiskelijoista. Ryhmät nimettiin oppikirjojen mukaan F-(Fotoni-sarja) ja P-ryhmäksi (Physica-sarja). Edellisen koko oli 19 ja jälkimmäisen 18 opiskelijaa. Opetusmallin kehittämisen lähtökohtana olivat F-ryhmän oppimistulokset. Ryhmien kokoonpanon määräsivät opiskelijan omat ainevalinnat ja lukujärjestystekniset syyt. Molempien ryhmien kvalitatiivista osaamista testattiin FCI-(Hestenes, Wells & Swackhamer 1992), FMCE-(Thornton & Sokoloff 1998), TUG-K-(Beichner 1994) ja MBT-(Hestenes & Wells, 1992) testeillä. Lisäksi tutkittiin fysiikan peruskurssin vaikutusta P-ryhmän opiskelijoiden odotuksiin toisella vuosikurssilla MPEX-

testillä (Redish, Saul & Steinberg 1998). Molemmille ryhmille tehtiin myös kysely, joka koski suhtautumista omaan työskentelyyn.

Tutkimusasetelma oli ei-satunnaistettu koe. Tutkimus oli sekä interventio-että toimintatutkimus. Viimemainittu siinä mielessä, että sekä tutkija että opettaja olivat sama henkilö. Interventiotutkimusta voidaan kutsua myös tekniseksi tutkimukseksi (Syrjälä, Ahonen, Syrjäläinen & Saari 1994, 31–33), koska projekti käynnistyi opettajan toimesta, ei oppilaiden.

Yhteenveto

Koherenttia tietorakennetta fysiikassa voidaan kuvata hierarkkisesti järjestyneillä klustereilla, jotka muistuttavat skeemoja. Hierarkkisuus saavutetaan, kun opetusmalli on vaiheistettu. Lisäksi opetuksessa kiinnitetään huomiota pienryhmätyöskentelyyn: ryhmässä keskustellaan, esitetään ennusteita tulevan demonstraation tuloksesta ja ryhmien välillä verrataan keskustelujen tuloksia. Nämä yleiset opetusmallit ovat osoittautuneet toimiviksi. Kvalitatiivisten testien tulokset ovat parantuneet ja sama koskee probleeman ratkaisua. Mutta mikä käytetyssä pedagogisessa mallissa on aiheuttanut tämän muutoksen? Ryhmien välisen eron selitystä voisi hakea sosiokulttuurisesta näkökulmasta, jolloin tarkasteltaisiin luokkahuoneessa tapahtuvan viestinnän (opettaja-oppilas, oppilas-oppilas) vaikutusta fysiikan oppimiseen (Mortimer & Scott 2003, 10, 120; Leach & Scott 2003, 92–93). Yhteistä on ollut selityksen kvalitatiivisuus. Viitataan klustereihin, p-primseihin ja skeemoihin, tarkemmissa selityksissä aivoihin ja neuronien välisiin kytkentöihin. Tässä tutkimuksessa tarkastelun kohteena on yksilön tietorakenteessa tapahtuneet muutokset. Kognitiivisen kuormateorian avulla osoitetaan opetettavan aineksen esitystavan ongelmat, joiden ratkaisemissa auttaa multimediaoppimisen teoria. Selityksissä viitataan myös propositionaalsiin verkkoihin. Hyvin suunniteltu oppitunti ja käytetty oppimateriaali motivoivat opiskelijaa ja lisäävät myönteistä mielikuvaa fysiikasta. Opetuksen suunnitteluun kiinnittävät huomiota myös Kirschner ym. (2006) sekä erityisesti Paas ja Sweller (2014):

Ilman tietoa kognitiivisen arkkitehtuurin olennaisista puolista, kuten työmuistin ja säilömuistin ominaisuuksista sekä niiden välisistä monimutkaisista suhteista, opetuksen suunnittelun tehokkuus tulee todennäköisesti olemaan vaihtelevaa (Paas & Sweller 2014, 27).

Seuraavassa luvussa rakennetaan viitekehys, joka selittää oppimistuloksia kvalitatiivisella tasolla. Viitekehys voi myös toimia opetuksen suunnittelun pohjana.

2 TEOREETTINEN VIITEKEHYS

Kognitiivinen kuorma samoin kuin oppiminen ovat psykologisia konstruktioita. Niitä ei voi suoraan havaita, vaan ne pitää päätellä oppijan käyttäytymisestä (Moreno & Park 2010, 9; Mayer 2009, 60.) Kognitiivinen kuormateoria keskittyy tutkimaan niitä objektiivisia seikkoja, jotka tehtävässä synnyttävät kognitiivista kuormaa ja siten välillisesti vaikuttavat oppimiseen (Kalyuga, Chandler & Swelle 1998). Työmuistin kuormitusta kuvataan sisäisellä, ulkoisella ja rakentavalla kuormalla. Ulkoinen ja sisäinen kuorma riippuvat oppijan tasosta ja tehtävän vaikeusasteesta. Kognitiivinen kuormateoria on viitekehys, joka kuvaa kuinka oppilas mahdollisesti rakentaa ja automatisoi skeeman. Mutkikas skeema voidaan käsitellä työmuistissa yhtenä yksikkönä, ja jos se on hyvin rakentunut, se prosessoidaan automaattisesti (Schneider & Shiffrin 1977, Shiffrin & Schneider 1977). Molemmat ominaisuudet alentavat työmuistin kuormaa (Moreno & Park 2010, 14). Kognitiivinen kuormateoria ei ole oppimisteoria, vaan se on tarkoitettu selittämään kognitiivisen arkkitehtuurin, opetuksen suunnittelun ja oppimisen välistä suhdetta (Moreno & Park 2010, 20).

Sweller (2010b) tiivistää ihmisen kognition: tietoa hankitaan jäljittelemällä, kuuntelemalla, lukemalla ja kopioimalla, ja se talletetaan säilömuistiin. Uusi tieto saadaan kokeilemalla eri vaihtoehtoja ja testaamalla niiden tehokkuutta. Säilömuistissa tapahtuvat muutokset ovat pieniä. Viitaten Ericssonin ja Kintschin (1995) pitkäkestoisesta työmuistin teoriaan, kun tieto on organisoitunut, pitkäkestoinen työmuisti tekee mahdolliseksi nopean prosessoinnin ja toiminnan mutkikkaassa ulkoisessa ympäristössä. (Sweller 2010b, 32–38.)

Multimediaoppimisen teoria on spesiaaliteoria. Sen lähtökohta on informaation jako kuvalliseen ja verbaaliseen informaatioon, mitä jakoa kognitiivinen kuormateoria ei tee. Käsite multimedia viittaa esitykseen, joka sanojen lisäksi sisältää kuvia. Perinteisin muoto on painettu ja kuvitettu teksti. (Mayer 2009, 5). Multimediaoppimisen teoriaan perustuen oppimisympäristö suunnitellaan siten, että se edistää oppimiskokemuksia (Mayer 2009, 30). Suunnittelussa otetaan huomioon työmuistin rajallinen kapasiteetti, ja suunnitteluperiaatteet jaetaan kolmeen ryhmään, joita kutsutaan epäolennaiseksi, keskeiseksi ja tuottavaksi prosessiksi. Näistä ensimmäinen ei palvele opetuksen päämääriä, toinen

valitsee olennaisen tiedon työmuistiin ja kolmas organisoii sekä integroi informaation aikaisempaan tietoon. Tämän seurauksena syntyy syvempi ymmärtäminen, jos oppijalla on riittävä motivaatio. (Mayer 2009, 80.)

Seuraavassa käsitellään edellä kuvattua viitekehystä tarkemmin. Oleellinen osa tarkastelua on kognitiivinen arkkitehtuuri, koska se on lähtökohta esitetyille teorioille. Sen jälkeen on lyhyt katsaus, joka koskee tarkkaavaisuutta ja työmuistia. Tarkkaavaisuus on tärkeä, koska kaikki oppiminen edellyttää tarkkaavaisuuden tietoista kohdistamista opittavaan asiaan. Työmuistiteorioita käsitellään tarvittavassa laajuudessa.

2.1 Kognitiivinen arkkitehtuuri

Kognitiivinen kuormateoria ja multimediaoppimisen teoria pyrkivät selittämään havaittuja ilmiöitä omassa viitekehöksessään. Newell (1990) kritisoi tutkimusta, joka ei kiinnitä huomiota kokonaisuksiin. Hän korostaa, että tarvitaan yleinen ihmisen mielen rakenteen teoria (kognitiivnen arkkitehtuuri). (Newell 1990, 17–18.) Se yhdistäisi kognitiivisen psykologian tutkimustuloksia, kuvaisi älykkäiden systeemien infrastruktuurin, ja sitä voitaisiin pitää ihmismielen rakenteen teoriana. Analogioita ovat rakennukset, autot ja tietokoneet.

Millainen pitäisi olla mielen ja aivot yhdistävän kognitiivisen arkkitehtuurin abstraktion tason (Anderson 2007, 8)? Pitääkö ihmisen mieltä tutkia suurena joukkona pieniä yksinkertaisia mallineuroneja (Rumelhart & McClelland 1986, 222) vai joukkona rakenteita kuten symbolit, säännöt ja skeemat eli symbolisena laskentana (Anderson, Bothell, Byrne & Lebiere 2004, 1048)?

Seuraavat määritelmät kuvaavat käsityksiä kognitiivisesta arkkitehtuurista.

Kognitiivinen arkkitehtuuri liittyy kiinteästi tieteelliseen olettamukseen ihmisen kognition niistä puolista, jotka ovat ajallisesti melko muuttumattomia sekä riippumattomia käsillä olevasta tehtävästä (Howes & Young 1996, 1; Ritter & Young 2001, 3; Langley, Laird & Rogers 2009, 141).

Kognitiivinen arkkitehtuuri on aivojen rakenteen määritelmä abstraktion tasolla, joka selittää, miten aivot muodostavat mielen toiminnan (Anderson 2007, 8).

Kognitiivisten arkkitehtuurien on ilmennettävä vahvoja olettamuksia kaikille tehtäville yhteisistä kognition rakennusosista sekä siitä, miten erityyppistä tietoa opitaan, koodataan ja käytetään (Laird 2008). Kognitiivinen arkkitehtuuri on täten yleisen älykkyysteorian ohjelmistosovellus.

Kognitiivinen arkkitehtuuri on kattavaan määrään kokeellista tietoa perustuva laaja-alainen ihmisen tietoisuutta käsittelevä teoria, joka toteutetaan tietokonesimulaationa (Byrne 2009, 70).

Kognitiivinen arkkitehtuuri tarkoittaa tapaa, jolla oppimiseen, ajatteluun ja ongelmanratkaisuun vaadittavat kognitiiviset rakenteet ovat jäsenyneet (Paas & Sweller 2014, 40).

Kognitiivinen arkkitehtuuri on hypoteesi joko luonnollisista tai keinotekoisista mieltä kuvaavista muuttumattomista rakenteista. Se muistuttaa tietokoneen arkkitehtuuria siinä mielessä, että sekin tarjoaa yleisen tason ohjelmituvuuden, mutta koskee pelkkien laskennallisten tarkoitusten lisäksi myös luontaisesti kognitiivisten – tai älykkäiden – järjestelmien luomista (Rosenbloom 2017).

Howes ja Young (1996, 1), Ritter ja Young (2001, 3) sekä Langley, Laird ja Rogers (2009, 141) korostavat hypoteesia kognition tiettyjen piirteiden pysyvyydestä ja vakioisuudesta. Andersonin (2007, 8) liittyy kognition aivojen rakenteeseen ja määrittelee abstraktion tason sellaiseksi, jolla voidaan selittää mielen toimintoja. Lairdin (2008) määritelmässä kognitiivinen arkkitehtuuri on älykkyyden yleisen teorian ohjelmistosovellus. Byrnen (2009, 70) mukaan kognitiivinen arkkitehtuuri on ihmisen kognition laaja teoria, joka perustuu vahvaan kokeelliseen näyttöön ja toteutetaan tietokonesimulaationa. Samaa viittaa myös Rosenbloom (2017). Lisäksi Rosenbloomin määritelmässä viitataan mieleen, joko aitoon tai keinotekoiseen. Paas ja Sweller (2014, 27) toisin kuin muut korostavat rakenteen merkitystä, kun kysymyksessä on oppiminen, ajattelu ja probleeman ratkaisu. Laird (2008) tiivistää kognitiivisen arkkitehtuurin: siihen kuuluvat tietoa varastoivat muistit, tietoa prosessoivat yksiköt ja talletetun sekä prosessoidun tiedon esittämiseen sopiva kieli.

Arkkitehtuuri on taito eritellä rakennuksen tilaratkaisut piirustuksissa (abstraktion taso) siten, että asukkaan asumisen toiminnalliset ja esteettiset tavoitteet toteutuvat. Ruoka laitetaan keittiössä, ja puhtaudesta huolehditaan saunaosastossa. Piirustusten perusteella rakentajat konkretisoivat tavoitteet taloksi. Andersonin (2007) määritelmä on ainoa, joka viittaa suoraan aivoihin (talo). Muut määritelmät viittaavat kognition (piirustukset), mutta unohtavat aivot (talon). Tätä eroa Anderson kritisoi. Asuminen ja kognitio ovat olioiden käyttäytymistä, mutta mitä tekemistä näillä on rakenteen kanssa? Hän vertaa: talossa on asukas ja kognitiivisessa arkkitehtuurissa on rakenne, joka on agentti eli toimiva olento. Tieto voidaan rinnastaa agenttiin. Rakenne tekee mahdolliseksi käyttäytymisen. (Anderson 2007, 6–7.)

2.2 Tarkkaavaisuus

Aivot eivät tallenna ärsykettä vastaavaa kuvaa sellaisenaan, vaan sisäiset mallit eli skeemat aktivoituvat, tulkitsevat ja valikoivat informaatiota joko tietoisesti tai tiedostamatta. Ulkoisesta tilanteesta muodostetaan malli, joka ohjaa tiedon etsintää automaattisina rutiineina. Kohteesta saadaan näytteitä ja vihjeitä, jotka muokkaavat ja tarkentavat havaintomallia eli skeemaa. Prosessointi on toiminnassa jatkuvasti, ja se on osin tietoisista, osin tiedostamatonta. (Näätänen, Laakso, Niemi & Peltola 2000, 13.)

Näkö on luultavasti meidän tärkein aistimme, joten sitä on tutkittu enemmän kuin kuuloaistia. Toinen syy on ärsykkeen esitysajan kontrolli, joka on helpompaa näkö- kuin kuuloärsykkeellä. (Eysenck 2012, 87.) Corbettan ja Shulmanin (2002) mukaan on olemassa kaksi valikoivaa tarkkaavaisuutta oh-

jaavaa visuaalista systeemiä: sisäsyntyinen ja päämääräsuuntautunut tahdonalainen (*top-down*) sekä tahdosta riippumaton, ärsykevetoinen ja ulkoinen systeemi (*bottom-up*). Aivotutkimusten meta-analyysi tukee kahden systeemin olemassaoloa. (Corbetta & Shulman 2002, 201.) Tarkkaavaisuuden sijaitsemista eri osissa aivoja tukevat myös O'Cravenin, Downingin ja Kanwisherin (1999) fMRI (*functional Magnetic Resonance Imaging*) -tutkimukset, joissa aivojen aktiivisuuden muutokset ilmenevät veren happipitoisuuksien muutoksina.

Posnerin (1980) mallissa on havaittujen tarkkaavaisuutta siirtävä eksogeeninen ja aikomuksia säätelevät endogeeninen systeemi. Hänen valokeila-analogiassaan (*spotlight*) näemme tarkasti sen, mikä osuu tarkkaavaisuutemme "valokeilaan". Tämä alue on näkökentässämme jokseenkin pieni. Hän väittää, että on olemassa salainen tarkkaavaisuus (*covert attention*), jossa tarkkaavaisuuden "valokeila" liikkuu avaruuden osasta toiseen ilman silmien liikettä. Lisäksi "valokeilan" laajuutta voidaan muuttaa. Eriksenin ja St. Jamesin (1986) zoom-objektiivianalogiassa oletetaan, että tarkkaavaisuus zoomautuu kohteeseen ja keila voi olla hyvin kapea kuten kirjain tai leveä kuten sana.

Kumpaan tarkkaavaisuus kohdistuu, objektiin vai paikkaan? O'Craven ym. (1999) esittivät koehenkilöille kaksi ärsykettä, kasvot ja talo, siten, että talon kuva näkyi kasvokuvan läpi samassa paikassa. Toinen ohjekteista liikkui hitaasti. Koehenkilöiden käskettiin tarkkailla joko liikkuvan ärsykkeen liikkeen suuntaa tai paikallaan pysyvän ärsykkeen paikkaa. fMRI:n tulosten perusteella tarkkaavaisuus on ennemminkin objekti- kuin paikkaperusteinen. (O'Craven ym. 1999, 585.)

Aivojen moniajo (*multitasking*) tarkoittaa tilannetta, jossa tarkkaavaisuuden resurssit jakautuvat kahden tehtävän kesken: kävelet ja luet kirjaa, katsot televisiota ja vahdit lasta. Kahnemanin (1973, 201) *ydinkapasiteettiteoriassa* (*central capacity*) kognitiivisella systeemillä on äärellinen määrä resursseja, joita tarkkaavaisuus allokoii kognitiivisille prosesseille. Kapasiteetti vaihtelee tehtävän vaikeusasteen ja motivaation mukaan. Tehtävä, joka vaatii eniten ydinkapasiteettia, häiritsee myös eniten kolmen muun tehtävän suorittamista (Bourke, Duncan & Nimmo-Smith 1996, 543-544). Ihmisen tarkkaavaisuuden kapasiteetin rajallisuuteen viittaa myös *perseptuaalinen kuormateoria* (*Perceptual Load Theory*). Prosessointi käyttää aina koko kapasiteetin, koska muutoin epäoleellinen ärsyke ottaisi osansa vapaasta kapasiteetista. (Lavie 1995, 452; Lavie & Tsal 1994, 185). Tärkeä multimediaoppimisen kannalta on myös Treismanin ja Daviesin (1973) havainto/tulos, että tehtävät häiritsivät toisiaan enemmän, jos molempien tehtävien ärsykkeet kohdistuvat samaan modaliteettiin kuten näkö tai kuulo (Eysenck & Keane 2005, 171). Niinpä Wickens (2008) haluaa *moniresurssi-teoriassaan* eriyttää perseptuaaliset ja kognitiiviset tehtävät. Prosessointi tarvitsee eri resursseja kuin valinta ja toiminnan toteuttaminen. Osa tiedon prosessoinnista vaatii tietoista ponnistelua ja osa on automaattista.

Shiffrin ja Schneider (1977) ja Schneider ja Shiffrin (1977) väittävät, että kontrolloiduilla prosesseilla on rajoitettu kapasiteetti, ne vaativat tarkkaavaisuutta ja niitä voidaan käyttää joustavasti olosuhteiden mukaan. Automaattisilla prosesseilla tilanne on päinvastoin. Opittua automaattista prosessia on vaikea

muokata jälkeenpäin. Loganin (1988) *instans*-teorian mukaan automaatiassa toistuva tarkkaavaisuuden kohdistaminen ärsykkeeseen ja sen prosessointi synnyttävät erillisiä muistijälkiä, joista osa on oikeita. Tarvittaessa ne voidaan nopeasti palauttaa mieleen. Logan väittää, että noviisin suorituskkyä ei rajoita resurssien vaan tiedon puute, joka poistuu vain harjoittelemalla. (Logan 1988, 492–495, 519.) fMRI-tutkimusten perusteella automaattisten prosessien kehittyessä työmuistin käyttö väheni, vasteet olivat nopeampia ja tarkempia sekä vaihtelivat vähemmän (Jansma, Ramsey, Slagter & Kahn 2001).

Norman ja Shallicen (1986) selittävät automaatiota skeemoilla, jotka kontrolloivat täysin automatisoituneita prosesseja. Vallitsevat prioriteetit ja ympäristön informaatio vaikuttavat saatavissa olevan skeeman valintaan, mikä osittain automaattisessa prosessoinnissa tapahtuu skeemojen välisessä konfliktinratkaisuprosessissa. Korkeamman tason valvontasysteemi vastaa joustavasta reagoinnista uusiin tilanteisiin ja on osallisena päätöksenteossa sekä virheiden etsinnässä. (Norman & Shallice 1986, 3–6.) Uusi tilanne vaatii uuden skeeman, minkä jälkeen skeema pannaan täytäntöön tai sitä hyödynnetään. Tehdyt virheet vaikuttavat uuden skeeman käyttöön. (Shallice, Burgess 1996, 1406–1407.)

Suorituskkyä voidaan parantaa harjoittelemalla. Tuloksena on automaattisia prosesseja, jotka ovat nopeita, tiedostamattomia eivätkä alenna muiden tehtävien suorituskapasiteettia. Sopiva tarkkaavaisuusalueen ulkopuolinen ärsyke laukaisee reaktion. (Eysenck ym. 2005, 178.)

Jakautuneen tarkkaavaisuuden (*divided attention*) lisäksi on vastaavanlainen käsite, joka on englanniksi *split attention*. Se voidaan määritellä seuraavasti:

Huomion kiinnittäminen kahteen (tai useampaan) ei-vierekkäiseen alueeseen visuaalisessa näkökentässä (Eysenck 2012, 423).

Jakautuneen tarkkaavaisuuden periaatteen mukaisesti - - - on tärkeää välttää materiaaleja, jotka vaativat oppilaita jakamaan huomionsa sekä sisäistämään tietoa, joka tulee useasta lähteestä (Ayres & Sweller 2014, 206).

- - - jossa visuaalinen tarkkaavaisuus on kohdistettava sekä kuvalliseen että sanalliseen aineistoon (Mayer 2009, 208).

Ayresin ja Swellerin (2014) mukaan tarkkaavaisuus joudutaan jakamaan useiden fyysikaalisesti ja ajallisesti erilaisten informaatiolähteiden kesken ja yhdistämään ne mielessä. Materiaalin ymmärtäminen edellyttää, että informaatiolähteet esitetään kootussa formaatissa. (Ayres & Sweller 2014, 206–207.) Tässä tutkimuksessa palataan jakautunut tarkkaavaisuus -periaatteeseen kognitiivisen kuormateorian ja multimediaoppimisen teorian yhteydessä.

2.3 Työmuisti

Eysenckin ym. (2005) mukaan muistiin liittyvät teoriat tarkastelevat sekä muistin arkkitehtuuria ja tässä arkkitehtuurissa tapahuvia prosesseja. Arkkitehtuuri

määrittelee muistisysteemin organisaation ja prosessit, jotka viittaavat niihin toimintoihin, joita systeemissä tapahtuu. (Eysenck ym. 2005, 189.)

Muistia on pyritty kuvaamaan muistimalleilla, jotka ovat ns. monivarastomalleja (*multi-store model*). Mallit jakavat muistin kolmeen osaan: sensorinen muisti, työ- ja säilömuisti (vrt. Atkinson & Shiffrin 1968, 92–93). Muistit eroavat Eysenck ym. (2005, 193) mukaan toisistaan ajallisen keston, kapasiteetin, unoh-tamismekanismien ja aivovaurion vaikutuksen suhteen. Tässä tutkimuksessa keskitytään työ- ja säilömuistiin, koska varsinkin työmuisti on tärkeä käsite kognitiivisessa kuormateoriassa ja multimediaoppimisen teoriassa.

Työmuisti voidaan määritellä seuraavasti:

Rajoitetun kapasiteetin muistivarasto, joka säilyttää ja käsittelee ääniä ja kuvia aktiivisessa tajunnassa (Mayer 2014, 68).

Muistivarasto, joka säilyttää ja käsittelee henkilön huomion keskiössä olevaa tietoa. Muistivarasto koostuu visuaalisen, auditivisen, propositionaalisen ja tilallisen ajattelumallin varastosta (Schnotz 2014, 99).

Kapasiteettirajoitteinen kognitiivinen järjestelmä, joka ylläpitää ja/tai käsittelee vastaanotettavaa tietoa ennen siirtoa säilömuistiin ja joka pystyy hakemaan (aktivoitua) tietoa säilömuistista. Työmuistin on esitetty koostuvan kahdesta alajärjestelmästä (fonologinen silmukka sanalliselle tiedolle sekä visuospatiaalinen luonnospöytä visuaaliselle tiedolle) sekä ohjausjärjestelmästä, joka hallinnoi alajärjestelmiä (ks. Baddeley 1986). (Butcher 2014, 198)

Yksilöllisiä eroja käsittelevä tutkimus tukee vallitsevaa ymmärrystä työmuistista yhdistelmänä rajallista sisältöä, jota säilytetään helposti saavutettavassa tilassa sekä kyseisen tiedon koodaamiseen ja ylläpitämiseen tähtäävää käsittelyä. --- (Ricker, AuBuchon & Cowan 2010, 580.) ---

--- työmuistia voidaan verrata aktivaatiokynnyksen ylittävään deklaratiivisen muistin osaan (Anderson, Reder & Lebiere 1996, 221).

Työmuisti on rakenne, jonka vastuulla on rajoittaa säilömuistiin vaikuttavia muutoksia, sillä työmuisti ei pysty käsittelemään suuria määriä uutta tietoa (Sweller 2010, 37).

Kaikki edelliset tutkijat viittaavat työmuistin rajoitettuun kapasiteettiin. Mayerin määritelmässä on tietoisuus. Schnotz kiinnittää huomiota tarkkaavaisuuden fokukseen sekä nimeää erityisesti propositionaalisen ja spatiaalisen mentaalimallin säilöt. Butcher viittaa hakutilanteessa säilömuistin aktivoituneeseen informaatioon samoin Anderson, Reder ja Lebiere. Ricker, AuBuchon ja Cowan korostavat informaation helppoa saatavuutta ja sen koodaamis- ja ylläpitoprosesseja. Sweller korostaa kapasiteettirajoituksen seurauksia. Kun työmuistiin mahtuu vähemmän informaatiota, niin muutokset säilömuistissa ovat pienemmät. Huomattava on, että Swellerin esittämä rajoitus koskee uutta tietoa.

Kun kysymyksessä on työmuistissa tapahtuva prosessointi, Cowan rajoittaa tarkkaavaisuuden fokuksessa olevien toisiinsa liittymättömien elementtien määrän 3–5 yksikköön, mutta rajaa voidaan muuttaa ryhmittelyllä (*chunking*) (Cowan 1999, 68). Tämä arvio on alempi kuin Millerin (1956) 7 ± 2 yksikköä.

Kuten edellä olevasta voidaan havaita, eri tutkijat painottavat työmuistin eri puolia. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan lähemmin kahta työmuistimallia. Niistä toinen on Baddelyn ja Hintchin (1974) työmuistimalli, jonka yhteenvedon esittävät Eysenck (2012, 127–136) sekä Eysenck ja Keane (2005, 195–204). Multi-mediaoppimisen teoria hyödyntää edellä mainittua mallia.

Miyaken ja Shahin (1999, 450) yhteenvedossa työmuisti ei ole rakenteellisesti erillinen ”laatikko” tai paikka ihmisen mielessä tai aivoissa, vaan työmuistiksi kutsuttu ilmiö syntyy eri aivoalueiden yhteistyön tuloksena. Työmuisti ei ole yksi yhtenäinen järjestelmä. Oleellinen osa työmuistin toiminnoista on toiminnan ohjausta (*executive control*). Työmuistin ylläpitofunktio palvelee monimutkaisia kognitiivisia prosesseja kuten kielen prosessointia, visuospatiaalista ajattelua, järjelyä, probleeman ratkaisua ja päätöksentekoa. Säilömuistin tiedolla on oleellinen osa työmuistin suorituskyvyssä.

2.4 Kognitiivinen kuormateoria

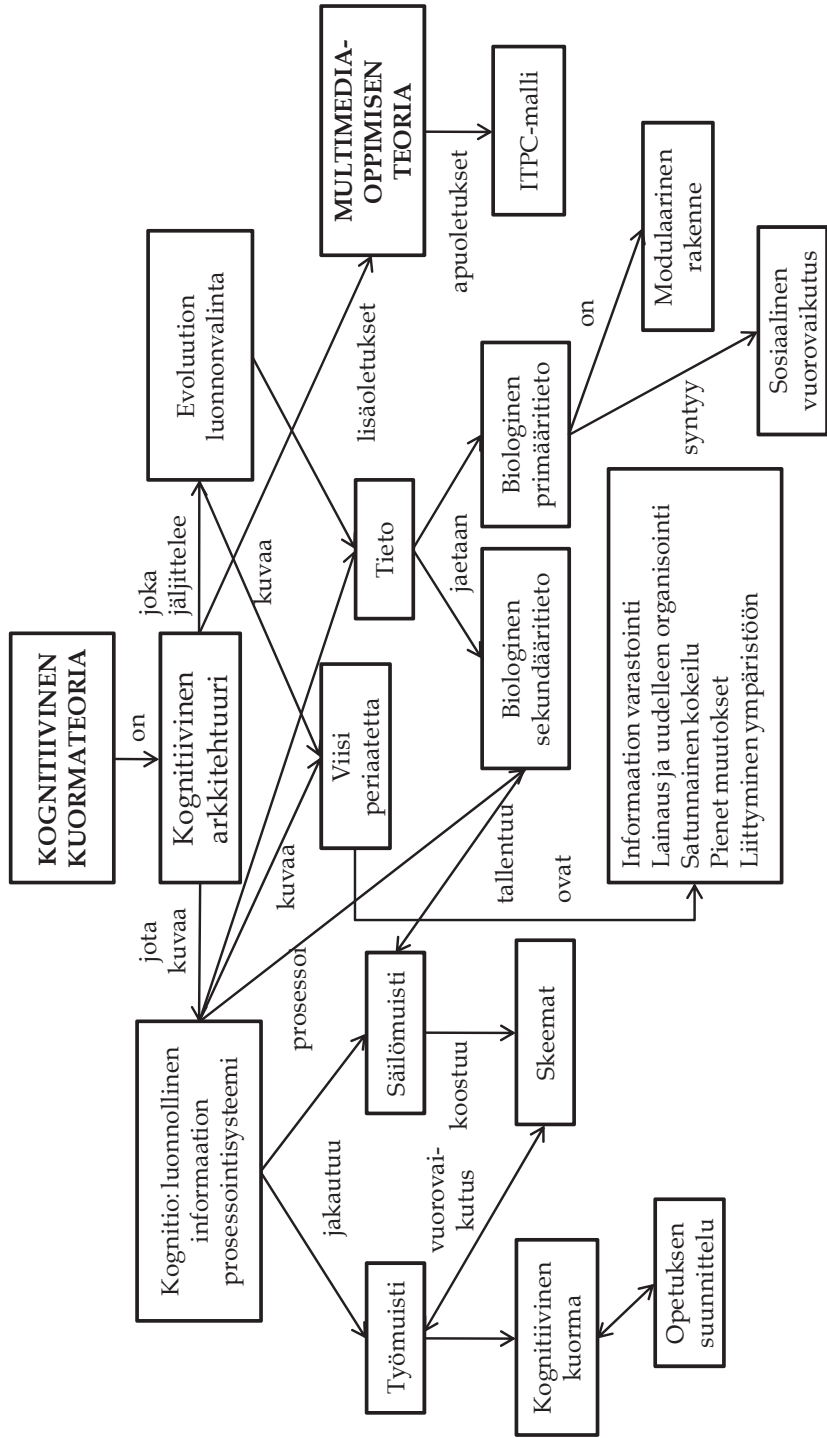
Clarkin, Nguyen ja Swellerin (2006) mukaan kognitiivinen kuormateoria on joukko universaaleja oppimisperiaatteita. Teoria soveltuu kaiken tyyppisten sisältöjen esittämiseen, mikä antaa periaatteet sekä niihin sisältyvät opetukselliset suuntaviivat. Teoria perustuu kokeelliseen näyttöön ja johtaa tehokkaaseen oppimiseen hyödyntäen rajoitettuja mentaalisia prosesseja parhaalla mahdollisella tavalla oppimisen maksimoimiseksi. (Clark, Nguyen & Sweller 2006, 7.) Moreno ja Park (2010, 11) korostavat, että kognitiivinen kuormateoria keskittyy tehtävän objektiivisiin ominaisuuksiin ja kuinka ne vaikuttavat kognitiiviseen kuormaan ja siten oppimiseen. Kuormateoriassa ei oteta huomioon muita oppimiseen vaikuttavia seikkoja kuten motivaatiota, metakognitiota ja itsesääntelyä (Moreno 2005, 3–5).

Psykologinen konstruktio on ominaisuus tai taito, joka voidaan paikantaa ihmisen aivoihin. Kognitiivisessa kuormateoriassa tällaisia konstruktioita ovat kognitiivinen kuorma ja oppiminen. Teoria kehitettiin selittämään miten opetuksen suunnittelu vaikuttaa edellä mainittuun kahteen seikkaan. (Moreno & Park 2010, 9.) Samalla se on opetusprosessien analyysin käsitteellinen viitekehys, joka perustuu tietoon ihmisen kognitiivisesta arkkitehtuurista. Viitekehys ei edellytä, että sen kukin teoreettinen konstruktio voidaan mitata. Myös skeemateoria ja produktiosysteemi sisältävät teoreettisia konstruktioita, joiden mittaaminen on vaikeaa. (Schnotz & Kürschner 2007, 500.) Esimerkkinä luonnontieteen teoreettisesta konstruktioista voidaan mainita geeni, joka alun perin oli teoreettinen käsite, ja jonka olemassaolo voitiin vasta myöhemmin kokeellisesti todistaa.

2.4.1 Luonnollinen informaation prosessointisysteemi

Schnotzin ym. (2007) mukaan tehokas opetus (*instruction*) sopeutetaan oppijan kognitiivisen arkkitehtuurin rakenteeseen ja toimintaan (Schnotz ym. 2007, 474).

Edellä mainittujen tutkijoiden analyysin perusteella kognitiiviseen kuormateoriaan liittyy kolme oletusta. Ensimmäisen mukaan kognitiivinen arkkitehtuuri koostuu rajattomasta säilömuistista ja työmuistista, jonka kapasiteetti on sekä ajallisesti että määrällisesti rajoitettu. Työmuistin rajoitus ei koske säilömuistista haettua tietoa. Toiseksi toisin kuin Baddeleyn mallissa, jota käsitellään myöhemmin, keskusyksikkönä toimivat säilömuistissa olevat kognitiiviset skeemat. Kolmanneksi työmuistin kognitiivista kuormaa alentavat säilömuistiin varastoituneet skeemat. Ne luokittelevat informaatioelementit yhdeksi kokonaisuudeksi, jota käsitellään työmuistissa yhtenä yksikkönä. (Schnotz ym. 2007, 474–475.)



KUVIO 2.1 Kognitiivisen kuormateorian arkkitehtuuri

Schnotzin ym. (2007) eivät pyri kumoamaan kognitiivista kuormateoriaa, mutta tuovat uusia näkökulmia ja tulkintoja, jotka ovat hyödyllisiä opetuksen suunnittelussa. Kuviossa 2.1 on esitetty toinen lähestymistapa, jossa kognitiivista kuormateoriaa verrataan evoluution luonnonvalintaan. Sweller (2010b) esittää, että ihmisen kognition prosessit muodostavat luonnollisen informaation prosessoinnin systeemin, joka jäljittelee biologisen evoluution luonnonvalintaa. Molemmat luovat uutta informaatiota, tallentavat sen tulevaa käyttöä varten ja pystyvät levittämään sitä rajattomasti sekä tilan että ajan suhteen. (Sweller 2010b, 29.) Swellerin mukaan tässä tarkastelutavassa informaatio voidaan jakaa biologiseen primääri- ja sekundääritietoon. Paas ja Sweller (2014) sekä Geary (2007) väittävät, että opetuksen suunnittelun näkökulmasta jako biologiseen sekä primääri- että sekundääritietoon on esimerkki evoluutioteorian sovelluksesta ihmisen kognitioon.

Primääritieto on modulaarista. Se on koottu riippumattomista kognitiivisista moduuleista, jotka tekevät mahdolliseksi hankkia tietoa. Kielen oppimiseen, kasvojen tunnistamiseen, sosiaaliseen kanssakäymiseen ja yleisiin probleeman ratkaisuun liittyviin strategioihin ei liity tietoista opiskelua. Riittää, kun olemme sosiaalisessa vuorovaikutuksessa ympäristömme kanssa. Sekundääritieto on kulttuurisidonnaista, joka saavutetaan opetuksen ja opiskelun kautta. Se edellyttää ponnistelua. Meitä ei opeteta puhumaan, mutta lukemaan oppiminen vaatii opetusta. Edellä kuvattu jako on kognitiivisen kuormateorian nykyinen lähtökohta. (Geary 2007, 4–5; Sweller 2010b, 31; Paas & Sweller 2014, 28.)

Biologinen evoluutio ja ihmisen kognitio ovat luonnollisia informaation prosessointisysteemejä (*natural information processing systems*), jotka järjestävät luonnollisten olioiden toiminnassa tarvittavaa informaatiota. Sekundääritiedon hankkimiseen liittyvä kognitiivinen arkkitehtuuri on keskeisessä osassa kognitiivisessa kuormateoriassa. (Sweller, J. & Sweller, S. 2006, 436.)

Kognitiivisen kuormateorian yhteydessä ei puhuta oletuksista vaan viidestä periaatteesta, jotka ovat taulukossa 2.1. Kuitenkin Sweller määrittelee työmuistin (luku 2.3) ja käyttää säilömuistin käsitettä kuvaillaan informaation talletusta.

Informaation *varastointiperiaatteessa* kiteytyy se, mikä on oleellista oppimisessa: kognitiivisen kuormateorian mukaan opetuksen päätarkoitus on auttaa opiskelijaa tallentamaan alakohtainen tieto säilömuistiin. (Sweller 2010b, 32).

Lähes kaikki tieto on saatu *”lainaamalla”* toisten ihmisten säilömuistista. Keinoina ovat jäljittely (mitä he tekevät), kuuntelu (mitä he sanovat) ja lukeminen (mitä he kirjoittavat). Tiedon siirto ei ole tarkkaa, vaan jokainen joutuu rakentamaan aikaisempaan tietoonsa nojautuen uuden skeeman. Se sisältää sekä uutta että säilömuistissa ollutta aikaisempaa informaatiota. (Sweller, J. & Sweller, S. 2006, 435–448; Sweller 2010b, 34.) Kuitenkin on huomattava, että hankittu tieto poikkeuksetta muuttuu. Uudesta informaatiosta tehdään representaatio, johon vaikuttaa säilömuistin aikaisempi sisältö. (Sweller 2010b, 33.)

TAULUKKO 2.1 Luonnollisen informaation prosessointisysteemin viisi periaatetta

Periaate	Kognitio	Tehtävä
Informaation varastointi	Säilömuisti	Säilyttää informaation määrittelemättömän ajan, ei rajoituksia, informaatio määrää lähes kaiken ihmisen kognitiivisen toiminnan
Lainaaminen ja uudelleen organisointi	Informaation siirto säilömuistiin	Sallii informaatiovaraston nopean rakentamisen "lainaamalla" informaatiota muilta ihmisiltä. Skeemojen konstruointi
Satunnaisuus syntyperiaatteena	Luo uusia ideoita	Luo uutta informaatiota
Variaatioiden tarkka rajaaminen	Työmuisti	Rajoittaa uuden informaation syntymistä informaatiovaraston jatkuvan toiminnan varmistamiseksi. Voi prosessoida (yhdistää) kerrallaan vain 4 uutta yksikköä. Syöttää ympäristöinformaatiota informaatiovarastoon.
Organisoidun tiedon linkittyminen ympäristön kanssa	Säilömuisti	Selittää kuinka suuri järjestäytyneen informaation määrä siirtyy säilömuistista työmuistiin tietyn toiminnan aikaansaamiseksi. Tämä takaa kyvyn toimia mutkikkaassa ympäristössä. Talletetun informaation käyttö

Huom. Lähde: Sweller, J. & Sweller, S. 2006, 436; Paas & Sweller 2014, 27–42

Ellei ratkaisijalla ole aikaisempaa skemaattista tietoa eri informaatioelementtien yhdistämisestä, niin ainoaksi keinoksi jää kussakin tehtävän vaiheessa *valita satunnaisesti* jokin eri ratkaisuvaihtoehtoista (*random generation*) ja testata joko mielessään tai paperilla sen tehokkuus. Tämä on eräs vaihtoehto *uuden tiedon* tuottamiseen. (Sweller, J. & Sweller, S. 2006, 435–448; Sweller 2010b, 35.)

Ellei aikaisempien tietojen perusteella ole mahdollista rajoittaa mahdollisten vaihtoehtojen lukumäärää, sovelletaan *tarkan rajaamisen periaatetta*. Jos tehtävän ratkaisu edellyttää systeemin käsittelevän kolmea elementtiä, niin ilman esitietoja on testattava $3! = 6$ mahdollista elementtien järjestystä parhaimman tehokkuuden löytämiseksi. Tämä on vielä työmuistin kapasiteetin rajoissa, mutta jos tehtävänä on 10 elementin kombinaatio ($10! = 3\,628\,800$), niin ajallisesti ilman esitietoja tämä on käytännössä mahdotonta. Tehtävä helpottuu, jos kahdeksan elementtiä voidaan yhdistää järkevällä tavalla yhdeksi kokonaisuudeksi, jolloin palataan kolmen elementin tapaukseen. Työmuistin rajoittunut kapasiteetti ja kesto estävät kombinatorisen "räjähdysen" uuden tiedon prosessoinnissa. Työmuistin kapasiteetin rajoitukset ovat syy säilömuistissa tapahtuviin pieniin muutoksiin. Rajoitukset eivät koske säilömuistista haettua aikaisempaa informaatiota. (Sweller, J. & Sweller, S. 2006, 435–448; Sweller 2010b, 37–38.)

Taulukon 2.1 viimeinen kohta *organisoidun tiedon linkittyminen* ympäristön kanssa ilmaisee, että säilömuistin järjestäytynyt tieto määrittelee, miten me olemme vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa. Tätä tietoa käytetään avuksi, kun organisoidaan ympäristöstä tulevaa tietoa ja määritellään, miten siihen tulee reagoida. Mahdolliset reaktiot voidaan testata mielessä, joten vältytään reaali-ilmassa tapahtuvalta testaamiselta. Kun luodaan vuorovaikutusta ympäristön kanssa, viitaten Ericssonin ja Kintschin (1995) pitkäkestoisen työmuistin

teoriaan, pitkäkestoinen työmuisti Swellerien mukaan tekee mahdolliseksi säilömuistin suuren tietomäärän käytön. (Sweller, J. & Sweller, S. 2006, 435–448.)

Tarina muistetaan helpommin kuin yksi sivu toisiinsa liittymättömiä sanoja. Tämän havaitun ilmiön nykyinen selitys on skeema, jota seuraavassa tarkastellaan lähemmin.

2.4.2 Skeema

Kognitiivisen kuormateorian säilömuistissa tieto esitetään skeemoina (kuvio 2.1), joiden rakenteesta on erilaisia näkemyksiä. Skeema on säilömuistin tietorakenne (Vuorinen, Tuunala & Mikkonen 1994, 75–76), yleistynyt tietorakenne (Nuckolls 1998, 141–143) ja sisäinen malli (Tynjälä 2000). Rumelhartin ja Ortonyn (1977) skeemassa on jo muuttujia, joilla voi olla valinnaisia arvoja. Derry (1996) käyttää kognitiivisen kentän käsitettä. Kentän muodostavat aktivoituvat muistiobjektit. Aktivaation laukaisee kokemus. Lisäksi Derryn muistiobjekteihin kuuluvat p-primitit, aritmeettiset skeemat ja objektiryhmät. Derryn skeemat ovat dynaamisia, joiden rakenteeseen ympäristö vaikuttaa. Winnin ja Snyderin (1996) skeema on myös dynaaminen. Sillä on järjestynyt rakenne, johon kuuluvia käsitteitä yhdistää propositioiden verkko.

Sweller (2010b, 33) määrittelee skeeman sen tehtävän kautta:

Skeema mahdollistaa useiden tiedon osien käsittelyn yhtenä kokonaisuutena sen käyttötavan mukaan (Sweller 2010b, 33).

Sweller (2010b) korostaa eräänä oppimismekanismina skeemojen rakentamista ja niiden tallentamista säilömuistiin. Lisäksi oppimiseen kuuluvat automaattiset skeemat, jolloin tiedon prosessointi työmuistissa on tiedostamatonta (Sweller 2010b, 34.) Skeemojen automatisointiin viittaavat luvussa 2.2 Shiffrin ym. (1977) ja Schneider ym. (1977), jotka väittävät, että opittua automaattista prosessia on vaikea muokata jälkeinpäin.

Kognitiivisessa kuormateoriassa skeemoilla on kaksi tehtävää: tiedon organisointi säilömuistissa ja työmuistin kapasiteetin laajennus (Sweller, van Merriënboer & Paas 1998, 255–256). Eksperttiys ei ole kyky, joka perustuu monien tietoelementtien samanaikaiseen prosessointiin työmuistissa, vaan alakohdainen tieto on säilömuistissa skeemoina, jotka ovat eksperttiyden lähtökohta. Työmuisti pystyy varastoimaan noin seitsemän elementtiä, mutta operaatiot voidaan kohdistaa vain 2–4 elementtiin kerrallaan. Työmuistin kapasiteettirajoitusta voidaan kiertää, koska hyvin organisoitunutta skeemaa käsitellään yhtenä yksikkönä. Tässä mielessä skeemat voivat toimia keskusyksikkönä. Kun skeema toistojen seurauksena on automatisoitunut, se ohjaa suoraan käyttäytymistä rasittamatta työmuistia. (van Merriënboer & Sweller 2005, 148–149.)

Sweller, van Merriënboer ja Paas (1998) korostavat taidon (*skilled performance*) skemaattisuutta. Kun skeema rakennetaan, niin informaatioelementit yhdistetään alkeisskeemoiksi, joista edelleen voidaan muodostaa korkeamman tason monimutkaisempia skeemoja. Harjoittelu automatisoi skeemoja, mistä

seuraa minimaalinen tietoinen ponnistelu: tutut tehtävät suoritetaan tarkasti ja joustavasti. (Sweller, van Merriënboer & Paas 1998, 255.)

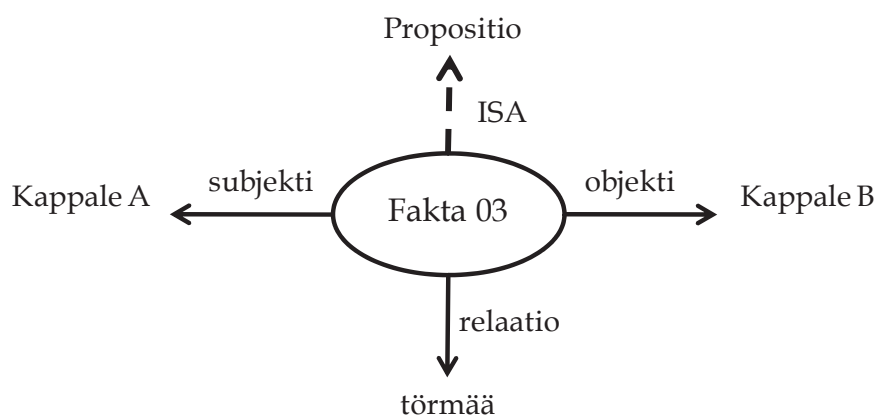
Chi, Feltovich ja Glaser (1981) tarkastelevat fysiikan tehtäviä. He eivät määrittele skeemaa mutta toteavat, että skeema sisältää sekä deklaratiivista että proseduraalista tietoa, joka sisältää tarkan ohjeen tiedon soveltamisesta. (Chi, Feltovich & Glaser 1981, 139–145, 150.) Samaan viittaavat Brünken, Plass ja Moreno (2010), jotka korostavat, että erityistaitojen opiskelussa pidetään tärkeänä skeemojen rakentamista ja niiden automatisointia. Heidän mukaan

-- skeema on monimutkainen kuvaava tietorakenne, joka sisältää tiettyyn aiheeseen tai prosessiin liittyvää selittävää tai menettelytapaa koskevaa tietoa-- (Brünken, Plass & Moreno 2010, 259).

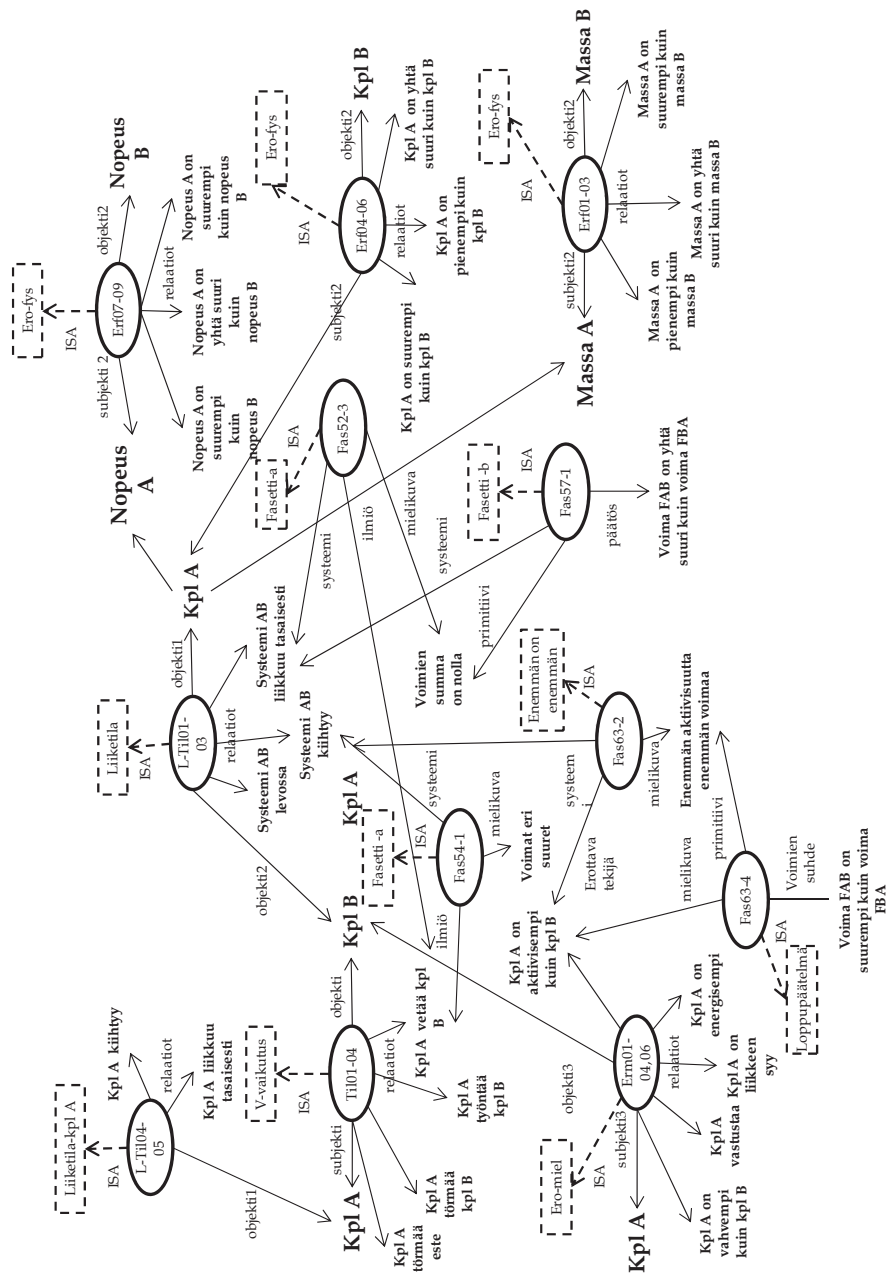
Kalyuga (2010) korostaa skeemojen merkitystä. Skeemojen kombinaatio muodostaa organisoituneen hierarkkisen tietorakenteen, joka on kognitiivisen kuormateorian päämekanismi, kun tutkitaan informaation merkitystä, ohjataan muistin toimintaa ja kytketään uusi tieto aikaisempaan tietoon. (Kalyuga 2010, 48.) Hän viittaa mieltämysyksikköön (*chunk*), jota hän pitää skeeman yleistettyinä esimerkkinä (Kalyuga 2010, 49).

Propositionaaliset verkot skeemojen kuvaajina

Lauseen merkitys voidaan ilmaista propositionilla, jota Anderson (2007, 35, 109) kutsuu mieltämysyksiköksi (*chunk*). Kuvio 2.2 esittää proposition ”kappale A törmää kappaleeseen B”, joka samalla kuvaa kappaleiden A ja B välistä relaatiota. Propositionilla voidaan esittää looginen väite, jossa subjekti on se, josta jotakin väitetään eli predikoidaan (lausutaan). Vastaavasti objekti on olio, joka tuottaa subjektin tunnistamaa informaatiota. Tällöin toinen määrite on subjekti ja toinen objekti. Edellisen esimerkin kappale A on subjekti ja kappale B objekti. Mieltämysyksikön kokoa Anderson (1993, 27) ei rajoittaisi.



KUVIO 2.2 Proposition ”kappale A törmää kappaleeseen B”



KUVIO 2.3 Päätelyprimitiiviestä ja faseteista muodostunut propositionaalinen verkko, joka perustuu liitteisiin 2 ja 3

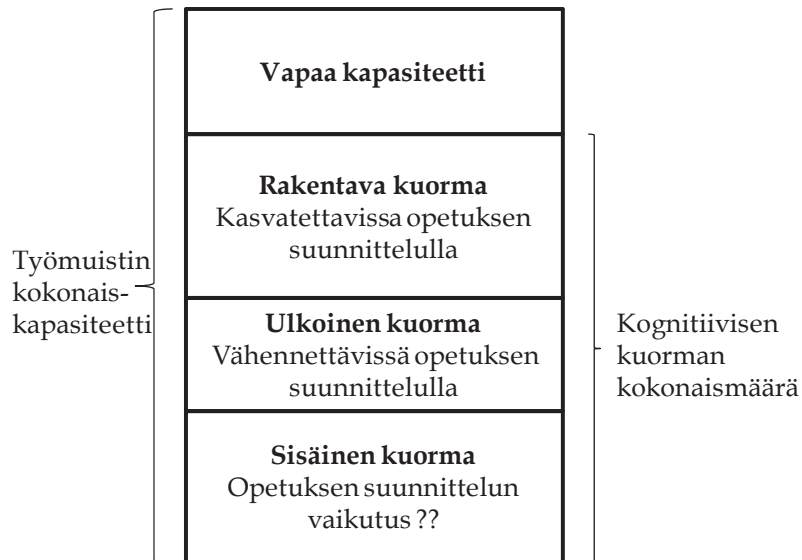
Kuvion 2.2 kaltaisia propositioneja voidaan pitää alkeisskeemoina, joista propositionaalinen verkko muodostuu. Santosa (2006) ja Winn sekä Snyder (1996) esittävät, että alkeisskeemat voidaan liittää toisiinsa yhteenkuuluviksi systeemeiksi, jotka tallentavat sekä kokemuksiemme yleistyksien, abstraktioiden, että opetetut faktat. Heidän mukaansa skeemassa on muuttujia, joiden arvot ovat valinnaisia. Näin ollen skeema on dynaaminen. Se voi muuttua joko kokemuksen, opetuksen, assimilaation tai akkommodaation kautta. Skeemat voivat osallistua tiedon uudelleen järjestelyyn ja ovat uuden tiedon tulkintakonteksti. (Santosa 2006, 110; Winn & Snyder 1996, 7.)

Kognitiivisen kuormateorian mukaan säilömuistin tieto on rakenteellista, ja skeemat ovat tämän rakenteen lähtökohta. Eräs tapa kuvata rakenteita on propositionaaliset verkot, joista on kaksi esimerkkiä. Liitteessä 1 on kuvattu propositionaalinen verkko, jossa fysiikan dynamiikan tehtävässä tarvittavat propositiot on ryhmitelty neljään luokkaan: tehtävän representaatio ja systeemin liike-tila, vuorovaikutukset ja voimat, vektorit ja N3. laki sekä viimeisenä N2. laki ja kinematiikka. Toisena esimerkkinä on kuviossa 2.3 esitetty propositionaalinen verkko, joka perustuu fasetti-viitekehukseen (liite 3). Minstrellin mukaan, kun oppilaat tulevat oppitunnille, he tuovat mukanaan joukon fasetteja, jotka ovat eräänlaisia tiedon palasia. Ne voivat olla erityisiä tai yleisiä ja voivat liittyä käsiteltävän asian sisältöön, strategioihin tai ajatteluun. (Minstrell (1991, 113).

Luvussa 2.3 käsiteltiin työmuistia yleisellä tasolla. Seuraavassa tarkastellaan työmuistin ja kognitiivisen kuorman keskinäistä suhdetta sekä kognitiiviseen kuormaan liittyviä ilmiöitä.

2.4.3 Sisäinen, ulkoinen ja rakentava kognitiivinen kuorma

Kaikki opittava materiaali kuormittaa työmuistia eli aiheuttaa kognitiivista kuormaa. Tämä kuorma voidaan jakaa kahteen toisistaan riippumattomaan luokkaan: sisäiseen ja ulkoiseen kuormaan. Lisäksi tulee rakentava kuorma, joka riippuu sisäisestä kuormasta.



KUVIO 2.4 Kognitiivisen kuorman jako (Moreno & Park 2010, 18)

Kuviossa 2.4 on kaaviollinen esitys kognitiivisen kuorman jakautumisesta sisäiseen, ulkoiseen ja rakentavaan kuormaan. Lisäksi kuviossa on kuorman kokonaismäärän ja työmuistin kokonaiskapasiteetin välinen suhde.

Ennen kuin käsitellään kognitiivisia kuormia erikseen, määritellään selityksissä käytetty elementin käsite. Pollock, Chandler ja Sweller (2002, 62) määrittelevät elementin informaatioksi, jonka oppija voi prosessoida työmuistissa yhtenä yksikkönä. Myöhemmin Sweller (2010a) kuvaa elementtiä tarkemmin. Elementti on jotakin, joka on opittava tai on opittu, kuten käsite tai proseduuri. Työmuistin kuormitus riippuu elementtien välisestä vuorovaikutuksesta, joka voi olla vahva tai heikko. Elementin koko riippuu informaation luonteesta ja oppijan tietorakenteesta. Jos tarkastellaan lukemaan oppimista, niin oppijalle elementti voi olla osa kirjainta, kirjain, sana tai sanojen kombinaatio. Taidon edistyessä yksinkertaisessa tekstissä kokonainen lause voi muodostaa elementin. (Sweller 2010a, 124.)

Sisäisessä kuormassa kriittinen tekijä on informaatioelementtien välinen vuorovaikutus. Jotta opittava materiaali ymmärrettäisiin ja opittaisiin, on työmuistissa prosessoitava samanaikaisesti tietty lukumäärä toisiinsa vaikuttavia informaatioelementtejä. Prosessoitavan informaation kompleksisuus riippuu opittavasta materiaalista. (Sweller 2010b, 41.) Schnotz ym. (2007, 502) tarkentavat: sisäinen kuorma on kiinteä mitä tulee määrättyyn tehtävään, asiantuntijuuteen ja koulutuksen päämääriin, mutta muuttuva suhteessa opetuksen suunnitteluun.

Ulkoisen kuorma on oppimisen näkökulmasta tarpeeton. Swellerin mukaan ulkoisen kuorman pääsyy on elementtien kasvanut vuorovaikutus, jonka aiheuttaa opetukselliset tekijät (Sweller 2010a, 125). Schnotz ym. (2007, 481) esittävät ulkoisen kuorman johtuvan

- työmuistin rajoittamasta relevantin informaation keskinäisestä vuorovaikutuksesta
- asiaankuuluvan informaation ylläpidosta ilman lisääntynyttä elementtien vuorovaikutusta
- irrelevantin informaation keskinäisestä vuorovaikutuksesta
- ajan ja ponnistelun tuhlauksesta ilman lisääntynyttä elementtien vuorovaikutusta.

Swellerin (2010a) esimerkki elementtien vahvasta vuorovaikutuksesta on lausekkeessa $(a+b)/c = d$ $a:n$ ratkaiseminen. Kaikkia elementtejä on tarkasteltava samanaikaisesti työmuistissa, koska niiden välillä on vahva vuorovaikutus. Tällöin työmuistin kognitiivinen kuorma on suuri. Ellei tarkastelua tehdä samanaikaisesti, niin tehtävää ei ymmärretä. Sitä vastoin kemian symbolien opiskelu aiheuttaa alhaisen kuormituksen, koska elementtien välinen vuorovaikutus on pieni, vaikkakin tehtävä sinänsä voi tuntua vaikealta. (Sweller 2010a, 124.)

Tarkastellaan muutamaa lisäesimerkkiä.

Tehtävä 1. Kappale, jonka massa on 10 kg, on vaakasuoralla kitkattomalla alustalla. Siihen vaikuttaa vaakasuora 10 N voima. Määritä kappaleen kiihtyvyys.

Tehtävän sisäinen kuorma on pieni, koska yhtä aikaa työmuistissa pidettävien elementtien määrä pieni.

Tehtävä 2. Rekan vetovaunun massa on 15000 kg ja perävaunun 7000 kg. Yhdistelmä lähtee levosta liikkeelle ja lisää nopeutta edeten 10 sekunnissa 58,5 m. Koukku, jolla perävaunu on kytketty vetovaunuun, kestää 10 kN:n vetovoiman. Pysyykö perävaunu vetovaunun mukana?

Tehtävästä johtuva sisäinen kuorma on suuri, koska kussakin ratkaisun vaiheessa työmuistissa olevien toisiinsa vaikuttavien elementtien määrä on suuri. Samanaikaisesti on pidettävä työmuistissa senhetkisen vaiheen ratkaisuun tarvittavat elementit ja ratkaisun lopullinen tavoite.

Tehtävä 3. Oppikirjassa on kuva ilman kuvatekstiä, ja kuvan selitys on seuraavalla sivulla muun tekstin joukossa.

Ulkoisen kuorma on suuri, koska kuvion ja tekstin vertailu kuluttaa työmuistin kapasiteettia.

Schnotz ym. (2007) korostavat, että oppijan pätevyyden taso ja opetuksen päämäärät määräävät, onko kuorma sisäistä vai ulkoista. He nimeävät muutamia ulkoisen kuorman syitä kuten liioiteltu relevantin informaation välinen vuorovaikutus, työmuistin ylläpitokuormitus tarpeettomilla elementeillä, ”pakotetaan” turha informaatio vuorovaikutukseen aikaisemman tiedon kanssa

sekä ajan ja ajatusponnistelun tuhaaminen, vaikka elementtien välinen vuoro-vaikutus olisikin vähäistä. He painottavat sisäisen kuorman vakioisuutta: sitä ei voi muuttaa tietyssä oppimistehtävässä suhteessa oppijan pätevyyyteen. Kun usein on pyrkimyksenä ulkoisen kuorman alentaminen, niin heidän näkemyksensä mukaan samassa yhteydessä sisäinen kuorma olisi sovitettava oppijan pätevyyden tason mukaiseksi. Tällöin voi käydä niin, että sisäinen kuorma kasvaa. (Schnotz ym. 2007, 485–486.)

Rakentava kuorma seuraa ponnistelua vaativasta oppimistapahtumasta. Tarkoituksena on skeemojen muodostaminen ja niiden automatisoiminen (Sweller ym. 1998, 264–265). Rakentava kuorma on se osa työmuistin kapasiteetista, joka on suunnattu sisäiseen kuormaan liittyvien informaatioelementtien prosessointiin (Sweller 2010a, 136).

Schnotz ym. (2007) esittävät rakentavan kuorman alustavaksi määritelmäksi seuraavaa:

Rakentava kuorma on kognitiivista kuormitusta johtuen työmuistin kognitiivisesta toiminnasta. Se tähtää tarkoituksenmukaiseen oppimiseen ja ylittää pelkän tehtävien suorittamisen. (Schnotz ym. 2007, 496.)

Kuormaa rajoittaa työmuistin kapasiteetti, sisäinen kuorma ja motivaatio. (Schnotz ym. 2007, 502.) Edellisessä määritelmässä on tärkeää tarkoituksellisuus ja ponnistelu. Seuraavat kognitiiviset toiminnot kuvaavat rakentavaa kuormaa:

- Sovelletaan tietoisesti jotakin oppimisstrategiaa, joka ei ole vielä automatisoitunut.
- Etsitään tietoisesti oppimateriaalissa esiintyviä rakenteita päämääränä skeemojen abstrahointi ja semanttisten makrorakenteiden luominen.
- Tehtävän ratkaiseminen helpottuu, kun järjestetään tehtävään liittyviä representaatioita uudelleen (oivallus, syvempi ymmärtäminen).
- Kognitiota ja oppimista valvovat metakognitiiviset prosessit. (Schnotz ym. 2007, 496)

Kuten edellä olevasta havaitaan, rakentava kuorma on tiettyjen täsmällisten toimintojen synnyttämää kuormaa. Edellä mainitut tutkijat korostavat, että tavanomainen tehtävän suorittaminen ei riitä, vaan sen *lisäksi* (korostus tutkijoiden) on oltava erityistä toimintaa, jonka tarkoituksena on oppimisen edistäminen (Schnotz ym. 2007, 497). He olettavat, että rakentavaa kuormaa rajoittavat työmuistin kapasiteetti, tehtävän luonne ja oppijan motivaatio. Oppija ei automaattisesti käytä vapaata työmuistin kapasiteettia ylimääräisiin toimintoihin. Lisäksi on huomattava, että oppimiseen liittyy myös tunneperäisiä näkökohtia. Oppimisympäristön muokkaamisen ohella oppijaa on kannustettava suuntaamaan ponnisteluaan ohi tavallisen tehtävän suorittamisen. Pelkkä oppimistehtävän suorittaminen ei riitä, vaan saatu kokemus ja informaatio toimivat rakentavan kuorman pohjana. Tähän viitaten Schnotz ym. (2007) tekevät uskottavan oletuksen: sisäinen kuorma rajoittaa rakentavaa kuormaa:

Vaikka erittäin vaikeita tehtäviä (suuri sisäinen kuorma) voidaankin ratkaista ilman syvällistä metakognitiivista pohdiskelua (pieni rakentava kuorma), yksinkertaista tehtävää (pieni sisäinen kuorma) ei sen sijaan ole mahdollista pohtia syvällisesti (suuri rakentava kuorma) (Schnotz ym. 2007, 497).

Kognitiivisen kuormateorian tutkijat olettavat, että kognitiiviset kuormat ovat additiivisia. Moreno ja Park (2010, 16) selostavat Swellerin (1993, 7) esittämää additiivisuushypoteesin aikaisempaa versiota, jossa viime mainittu tuo esille vain sisäisen ja ulkoisen kuorman sekä mainitsee kokonaiskuorman erittelemättä tarkemmin sen koostumusta. Paas, Renkl ja Sweller (2004) ilmaisevat additiivisuushypoteesin seuraavasti: jos tavoitteena on oppiminen, edellä mainittujen kolmen kuorman summa ei voi ylittää työmuistin kapasiteettia (Paas, Renkl & Sweller 2004, 2). Moreno ym. (2010, 18) kommentoivat Paasin ym. (2004, 2) additiivisuushypoteesia (kuvio 2.4) ja esittävät toisen version: Kuormien välinen relaatio ei ole symmetrinen. Sisäinen kuorma on peruskuorma, ja sitä voi muuttaa vain konstruoimalla lisäskeemoja ja automatisoimalla aikaisemmin hankittuja skeemoja. Kysymysmerkit kuviossa 2.4 liittyvät erimielisyyteen siitä, onko sisäinen kuorma vakio vai voiko sitä muuttaa vähentämällä elementtien välistä vuorovaikutusta, ilman että ymmärtäminen vähenee. Edellistä kannattavat Paas, Tuovinen, Tabbers ja van Gerven (2003, 65) ja jälkimmäistä Pollock, Chandler ja Sweller (2002, 61).

Schnotz ym. (2007, 470) tiivistävät kognitiiviseen kuormateoriaan liittyvät ongelmat seuraavasti:

- Kognitiivisten kuormien luonne ei ole riittävän selvä
- Mikä merkitys työmuistilla on oppimisessa?
- Rajoittavatko eri kognitiiviset kuormat toisiaan ja millä tavoilla?
- Miten kuormat liittyvät oppimisprosessiin?
- Miten kuormat voidaan mitata?

Schnotz ym.(2007) olettavat kuormien olevan ei-symmetrisiä, sisäinen kuorma voi olla suurempi kuin rakentava muttei päinvastoin, ja vapaata kapasiteettia voidaan käyttää vain rajoitetusti rakentavaan kuormaan. Rakentava kuorma voi ennustaa oppimista vain yhdistettynä sisäiseen kuormaan. Tarpeeton apu estää tekemästä oppimisen kannalta tärkeitä prosesseja itsestään. Niinpä Schnotz ym. olettavat, että rakentavan kuorman hyödyllisyys oppimiselle riippuu rakentavan ja sisäisen kuorman yhdistelmästä. Mutta voi olla, että pelkästään tehtävän suorittaminen (sisäinen kuorma) voi aikaansaada oppimista. (Schnotz ym. 2007, 497–498.)

2.4.4 Kognitiiviseen kuormaan liittyvät ilmiöt

Kognitiiviseen kuormaan liittyvien ilmiöiden ajatellaan syntyvän sisäisen, ulkoisen ja rakentavan kuorman yhteisvaikutuksesta. Ulkoisen kuorman vähentäminen vapauttaa työmuistin kapasiteettia, jota voidaan suunnata sisäisen kuorman käsittelyyn. Oppiminen helpottuu, jos vapautuva resurssi lisää raken-

tavaa kuormaa. Jos sisäinen kuorma on pieni, niin ulkoisella kuormalla ei ole merkitystä, koska työmuistilla on vapaata kapasiteettia käsitellä ”huonoa” opetusjärjestelyä. (Sweller 2010b, 44.)

Kognitiiviseen kuormaan liittyviä ilmiöitä on kaikkiaan 12 kappaletta. Ulkoiseen kuormaan liittyvien ilmiöiden lähteinä ovat seuraavat: malliesimerkit, täydennystehtävät, jakautunut tarkkaavaisuus (*split attention*), modaliteetti, ylimääräinen (tarpeeton) informaatio, tavoitevapaat tehtävät, proseduurin vaikeuttavuuden muutos, opetuksen vähentäminen. Sisäiseen kuormaan liittyvät elementtien vuorovaikutus ja vuorovaikuttavien elementtien erotus sekä rakentavaan kuormaan esimerkkien vaihtelevuus ja kuvittelu mielessä.

Malliesimerkki. Tavanomaisen tehtävän korvaaminen malliesimerkillä, joka käydään läpi huolellisesti (Renkl 2014). Ulkoinen kuorma alenee, kun tehtävän alku- ja tavoitetilan välistä eroa pienennetään hyödyllisten välivaiheiden kautta. Sweller (2010a) perustelee malliesimerkkien käyttöä sillä, että prosessissa poistuvat vaihtoehtoisten vaiheiden ja niihin liittyvien toimenpiteiden etsiminen, mikä vähentää toisiinsa vaikuttavien elementtien lukumäärää ja niiden välistä vuorovaikutusta. Lisäksi hän toteaa, että malliesimerkissä kussakin tehtävän vaiheessa toisiinsa vaikuttavat elementit ja kuhunkin vaiheeseen liittyvät toimenpiteet säilyvät, mutta nämä muodostavat sisäisen kuorman. Näin työmuistin kapasiteetin suuntaaminen kuhunkin tehtävän vaiheeseen ja siihen liittyviin toimenpiteisiin kasvattaa rakentavaa kuormaa. Tutkimuksissa malliesimerkki-ilmiö on havaittu useammin kuin muut ilmiöt. (Sweller 2010a, 129.)

Renkl ja Atkinson pitävät malliesimerkeissä ongelmana sitä, että ne käsittelevät sovelluksia, joihin liittyy jokin suhteellisen tarkka algoritmi. Tällaisia esimerkkejä on matematiikassa, fysiikassa ja ohjelmoinnissa. Tietty määrä vaihteita johtaa lopulliseen vastaukseen. Toistaiseksi algoritmia on vaikea soveltaa esimerkiksi matemaattiseen todistamiseen. (Renkl & Atkinson 2010, 106.)

Kimin ja Pakin malliesimerkkejä käsittelevässä tutkimuksessa (2002) ratkaistujen tehtävien lukumäärän ja käsitteellisen ymmärtämisen välinen korrelaatio oli heikko. Fysiikassa probleeman matemaattinen ratkaisu on tärkeää, mutta myös ymmärtäminen on välttämätöntä. (Kim & Pak 2002.)

Täydennystehtävät. Paasin ja van Merriënboerin (1994) mukaan tavanomainen tehtävä korvataan osittain ratkaistulla tehtävällä, jolloin osaratkaisun antaminen pienentää tehtäväävaruuden kokoa. Tämä alentaa ulkoista kuormaa suuntaamalla tarkkaavaisuutta alkutilaan ja hyödyllisiin toimenpiteisiin. Täydennystehtävät muistuttavat malliesimerkkejä sillä poikkeuksella, että osa ratkaisusta on esitetty ja loppuosa tehtävästä on ratkaistava itse. Paasin ym. (1994) mukaan hyöty on luultavasti siinä, että säästyy aikaa ja henkistä ponnistelua perinteiseen harjoitteluun verrattuna. He olettavat, että täydennystehtävien harjoittelu helpottaa skeemojen muodostumista, sääntöjen automatisoitumista ja edistää siirtovaikutusta. Työmuistia kuormittavien elementtien määrä vähennee. (Paas & van Merriënboer 1994, 132.)

Jakautunut tarkkaavaisuus (split attention). Useista lähteistä tulevan informaation ymmärtäminen paranee, jos informaatio esitetään kootusti. Ulkoinen kuorma alenee, koska mielessään ei tarvitse yhdistää eri lähteistä tulevaa in-

formaatiota. (Ayres & Sweller 2014.) Jakautunut tarkkaavaisuus -ilmiötä Ayres ja Sweller kuvaavat siten, että tarkkaavaisuus on jaettava ajallisesti ja paikallisesti toisistaan poikkeavien informaatiolähteiden kesken. Jotta ymmärtäminen olisi mahdollista, informaatiolähteiden mentaalinen integrointi työmuistissa on oleellista. (Ayres & Sweller 2014, 207, 215.) Tarkkaavaisuuden jakaminen lisää ulkoista kuormaa. Swellerin (2002) mukaan vertailu kuluttaa työmuistin kapasiteettia, mikä puolestaan hidastaa oppimista. Lisäksi Sweller korostaa, että ulkoista kognitiivista kuormaa voidaan vähentää, jos teksti sijoitetaan kuvioon tai käytetään opastavia nuolia, jolloin tämä ”edestakainen” liikkuminen poistuu. (Sweller 2002, 1503–1504; Sweller 2010a, 130.)

Modaliteetti. Useista lähteistä tulevan, erillisenä vaikeasti ymmärrettävän informaation ymmärtäminen paranee, jos käytetään kahta eri aistikanavaa (Low & Sweller, 2014). Ulkoinen kuorma alenee, koska multimodaalinen esitys käyttää sekä visuaalisen että auditiivisen työmuistin osaa. Oppiminen helpottuu, jos oppija voi siirtää osan kognitiivisesta prosessoinnista visuaalisesta kanavasta auditiiviseen kanavaan. (Mayer & Moreno 2003, 46.) Swellerin tulkinnan mukaan edellä kuvattu ilmiö eroaa muista kognitiiviseen kuormaan liittyvistä ilmiöistä siinä, että elementtien välinen vuorovaikutus pysyy muuttumattomana. Kun käytetään kuulo- ja näköaistiin liittyviä prosesseja, niin työmuistin kapasiteetti laajenee. Kuten kaikki kuormateoriaan liittyvät ilmiöt tämäkin esiintyy vain silloin, kun sisäinen kuorma on korkea ja elementtien välinen vuorovaikutus on suuri. (Sweller 2010a, 135.)

Ylimääräinen (tarpeeton) informaatio. Informaatio, joka ei liity skeeman rakentamiseen ja automatisoimiseen, häiritsee oppimista ja kannattaa poistaa (Sweller 2010a). Ylimääräinen informaatio -ilmiö esiintyy tapauksissa, joissa sama informaatio esitetään eri moodeissa. Jos kuvio voidaan ymmärtää ilman tekstiä, kuviota selittävän tekstin lisääminen vain kuormittaa työmuistia. Kuvioon liittyvän tekstin uudelleen prosessointi ei muuta säilömuistin sisältöä. (Sweller 2010a, 130.) Swellerin mukaan kuvan ja tekstin elementit ovat vuorovaikutuksessa keskenään, mistä seuraa, että oppija etsii niiden välisiä yhteyksiä. Tällöin rakentava kuorma jää alhaiseksi, koska työmuistissa ei ole vapaata kapasiteettia sisäiselle kuormalle. Oppiminen helpottuu, jos eliminoidaan selitys ja siten ulkoinen kuorma. Vuorovaikuttavat elementit kasvattavat rakentavaa kuormaa. (Sweller 2010a, 131.)

Tavoitevapaa tehtävä. Tavanomainen tehtävä korvataan tavoitevapaaalla tehtävällä, jossa oppija kohdistaa huomionsa vain alkutilanteeseen ja tarvittaviin operaattoreihin/liikkeisiin (Paas, Camp & Rikers 2001). Sweller korostaa, että tavoitevapaaassa tehtävässä kussakin tehtävän vaiheessa voidaan keskittyä etsimään operaattoria, jolla vaihetta voidaan muuttaa. Toisiinsa vaikuttavien elementtien lukumäärä vähenee. Lisäksi hän tähdentää, että rakentava kuorma pitäisi suunnata juuri tähän toimintaan. Tavoitevapaa probleemanratkaisutekniikka voi olla tehokas sellaisissa tehtävissä, joissa olettamuksesta seuraa rajoitettu määrä välivaiheita, ilman että tavoite on läsnä. (Sweller 2008; Sweller 2010a, 129.)

Proseduurin vaikuttavuuden muutos. Noviisille elintärkeä informaatio voi olla turhaa ekspertille. Kalyuga ja Renkl (2010) korostavat esitietojen merkitystä, mikä pitää ottaa huomioon opetuksessa: ohjaus, joka hyödyttää noviisia, voi haitata eksperttiä. Heidän selityksensä perustuu kognitiiviseen kuormateoriaan, jonka mukaan annettu ohjaus ja oppijan tiedot eivät ole tasapainossa. Sekä esitietojen puute että turha vertaaminen työmuistissa jo olemassa olevaan tietoon lisäävät ulkoista kognitiivista kuormaa. (Kalyuga & Renkl 2010, 209–210.)

Opastuksen vähentäminen. Taidon kasvaessa malliesimerkkien hyöty vähenee. Voidaan siirtyä täydennystehtäviin ja lopulta probleemoihin. Ongelmana on, milloin siirtyminen tapahtuu. Kalyuga ym. (2010) suosittelevat asteittaista siirtymistä. Malliesimerkkejä seuraavat täydennystehtävät ennen varsinaisia probleemoja. Vaikka luokkahuoneessa tehtyjen kokeilujen tulokset eivät täysin vastanneet laboratoriotuloksia, edellä mainitut tukijat silti suosittelevat asteittaista siirtymistä. (Kalyuga ym. 2010, 214.)

Elementtien vuorovaikutus. Kognitiiviseen kuormaan liittyvät ilmiöt esiintyvät vain silloin, kun oppimateriaalin elementtien välinen vuorovaikutus on suuri (Sweller 1994, Sweller & Chandler 1994). Opittava kokonaisuus muodostuu joukosta elementtejä, jotka muodostava noviisille sisäisen kuorman. Oppimisen edistytessä ja pätevyyden lisääntyessä edellä mainittu joukko muodostaa ulkoisen kuorman, koska elementtejä ei enää tarvita. Sweller (2010a) viittaa elementtien statukseen, joka oppimisen kannalta katsottuna on muuttunut. Näin ollen jako sisäiseen ja ulkoiseen kuormaan riippuu sekä oppimateriaalista että pätevyyden asteesta. Malliesimerkit ovat hyödyllisiä noviisille, mutta ekspertti ei hyödy niistä, koska tarvittavat proseduurit ovat jo säilömuistissa, ja niiden hakeminen kuormittaa työmuistia tarpeettomasti. (Sweller 2010a, 131.)

Pollock ym. (2002) näkevät kognitiivisessa kuormateoriassa olevan paradoksin: opittava materiaali voidaan ymmärtää heti, kun skeema on muodostunut, mutta ennen tätä pistettä elementtejä ei voi prosessoida samanaikaisesti ja ymmärtäminen ei ole mahdollista. He kiteyttävät: kuinka mutkikkaan skeeman elementtejä voidaan prosessoida työmuistissa ennen kuin skeema on muodostunut? Tämä tilanne tulee vastaan, jos oppijalla ei ole aikaisempia skeemoja, tai niitä on hyvin vähän. (Pollock ym. 2002, 62, 64.)

Vuorovaikuttavien elementtien erotus. Ratkaisuksi Pollock ym. (2002) esittävät, että aihealue jaetaan osiin ja osat opiskellaan erikseen. Osien opiskelu erikseen lisää ymmärtämistä, vaikka aluksi opittua ei ymmärrettäisikään. Oppiminen helpottuu, jos materiaalin vuorovaikuttavat elementit esitetään ensin erillisinä elementteinä ja myöhemmin vuorovaikutus on täysimääräistä. Tämä pätee, jos kyseessä on kompleksinen materiaali ja oppija on noviisi. Sen sijaan eroa ei havaittu, jos oppijalla oli aihealueesta jo aikaisempaa tietoa. Niinpä tutkijoiden mukaan ensiksi opetellaan ne elementit, jotka liittyvät käsitteisiin. Toisessa vaiheessa selitetään, miten eri elementit liittyvät toisiinsa. Tällä tavalla noviisin sisäistä kuormaa voidaan alentaa. (Pollock ym. 2002, 83.)

Sweller (1994) erottaa ymmärtämisen ja oppimisen. Ihminen kokee ymmärtäneensä opittavan materiaalin, jos tuloksena on skeemoja, joiden element-

tien välinen vuorovaikutus on vahva. Kun skeemat ovat automatisoituneet, materiaali on ymmärretty hyvin. (Sweller 1994, 311.)

Sweller ym. (1994) tarkastelevat sisäistä kuormaa. Kun skeemoja rakennetaan, lyhyessä ajassa samanaikaisesti työmuistissa pitää assimiloida suuri määrä toisiinsa vaikuttavia elementtejä, jolloin työmuisti kapasiteetti joutuu koetukselle. Ongelmana on, että erillään olevia elementtejä ei voi oppia toisistaan riippumatta. Elementtien vahva vuorovaikutus edellyttää vaiheiden samanaikaista prosessointia. Elementtien on assimiloitettava kokonaisuudeksi. Jos oppimateriaalin elementtien sisäinen vuorovaikutus on vahva, opetusmallista johtuvaa ulkoista kuormaa on alennettava. (Sweller ym. 1994, 188–189, 226.)

Jos tehtävään liittyy älyllinen komponentti sekä kaikessa rauhassa tapahtuvaa ajattelua ja muuta mentaalista toimintaa, niin fyysinen tekeminen ei ole paras mahdollinen keino. Monimutkaisten käsitteiden prosessoinnissa vuorovaikutus fyysisten laitteiden kanssa saattaa häiritä olennaisia kognitiivisia toimintoja. (Sweller ym. 1994, 228.)

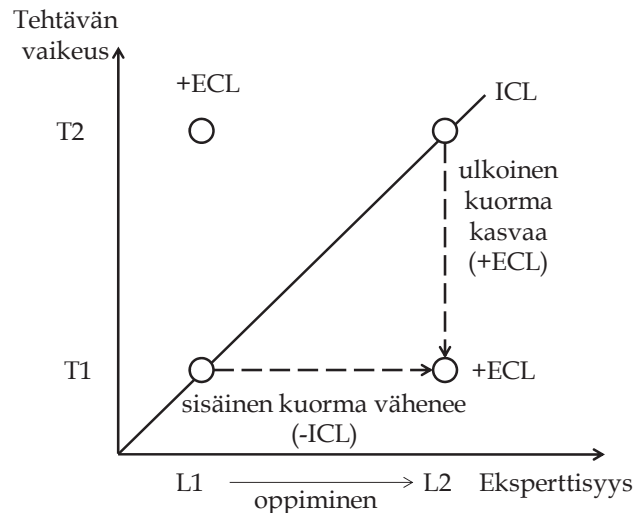
Esimerkkien vaihtelevuus. Paasin ja van Merriënboerin (1994) tutkimuksessa rakenteellisten piirteiden suurempi vaihtelevuus edisti siirtovaikutusta ja samalla lisäsi kognitiivista rakentavaa kuormaa edellyttäen, että ulkoinen kuorma minimoitiin (Paas & van Merriënboer 1994, 130–132). Tietyn aihealueen opiskelu johtaa välttämättä sisäiseen kognitiiviseen kuormaan, jota Sweller (2010a) käyttää selityspäätteena. Vaikeissa tehtävissä elementtien välinen vuorovaikutus on suuri. Jos se on liian suuri työmuistin käsiteltäväksi, kuorman alentaminen on välttämätöntä, vaikka se vaikeuttaisi hetkellisesti oleellisten käsitteiden ymmärtämistä. Jos opetusproseduurilla on alhainen sisäinen kuorma ja opiskelija ei onnistu käsittelemään oleellisia vuorovaikuttavia elementtejä, sisäistä kuormaa on lisättävä työmuistin kapasiteetin rajoissa. Vaihtelevuuden merkitys on siinä, että sisällyttämällä tehtävään sen kannalta tärkeitä vuorovaikuttavia elementtejä lisätään sisäistä kuormaa. (Sweller 2010a, 133–134.)

Käsitteitä ja prosedureja voidaan joko *tutkia tai kuvitella mielessään*. Ilmiö esiintyy silloin, kun oppija kykenee suuntamaan prosessoinnin sisäiseen kuormaan liittyviin elementteihin. Ensin tutkitaan proseduriin liittyvät vaiheet, minkä jälkeen sama prosessi kuvitellaan mielessä. Rakentava kuorma kasvaa, koska työmuistin sisäiseen kuormaan suunnatut resurssit on maksimoitu. Ilmiö esiintyy tietyn tason eksperteillä. (Sweller 2010a, 135; Leahy & Sweller 2005, 267.) Tähän ilmiöön liittyy läheisesti *oma selitys* -ilmiö (*self-explanation*): pyydetään oppilasta selittämään uusi käsite tai proseduri omin sanoin. Tällöin ulkoista kuormaa vähentämällä työmuistin resursseja suunnataan rakentavaan kuormaan. Molemmissa edellä mainituissa ilmiöissä ei muuteta opiskeltavaa materiaalia, vaan käsitellään sisäiseen kuormaan kuuluvia, informaation ytimen muodostavia vuorovaikuttavia elementtejä. (Sweller 2010a, 136.)

Paas ym. (2014) väittävät, että opetuksen suunnittelu on sattumaa ilman tietoa ihmisen kognitiivisesta arkkitehtuurista (Paas ym. 2014, 27). Kognitiiviseen kuormateoriaan liittyy muutamia käsitteellisiä ongelmia. Ne koskevat keuhellisia tuloksia, joiden selittäminen kognitiivisen kuormateorian perusteella on mahdollista poikkeavilla ja toisilleen vastakkaisilla tavoilla.

2.4.5 Pätevyyden ja tehtävän vaikeusasteen yhdistäminen

Ero sisäisen ja ulkoisen kuorman välillä riippuu mm. opetuksen päämääristä. Tehtävän vaikeusaste on sovitettava oppijan tasolle. Tämä edellyttää, että opetus voi ja opetuksen pitää muokata sisäistä kuormaa. (Schnotz ym. 2007, 479.)



KUVIO 2.5 Sisäinen kognitiivinen kuorma (ICL), kun oppimistehtävän vaikeusaste on sovitettu oppijan tason mukaan. Epäonnistunut sovitus johtaa ulkoiseen kuormaan (+ECL). (Schnotz & Kürschner 2007, 479)

Tehtävän vaikeusasteen ja asiantuntijuuden riippuvuuden idealisointi on kuviossa 2.5. Schnotz ym. (2007) tarkastelevat kahta ääripistettä (L1, T2) ja (L2, T1). Edellisessä pisteessä työmuisti on ylikuormitettu. Jälkimmäisessä pisteessä tehtävä on liian helppo, jolloin työmuistin kapasiteetti on vajaakäytössä ja oppija tarvitsee vaikeampia tehtäviä. Pisteiden (L1, T1) ja (L2, T2) kautta kulkevan suoran pisteet edustavat sisäistä kuormaa (ICL), ja kaikki muu lävistäjäsuoran ulkopuolella on ulkoista kuormaa (+ECL). Suoran yläpuolisella alueella tehtävä on liian vaikea, mikä edellä mainittujen tutkijoiden mukaan todennäköisesti johtuu informaatioelementtien liian suuresta vuorovaikutuksesta. Alapuolisella alueella oppija prosessoi turhaa apua tai ratkaisee liian helppoja tehtäviä, jotka eivät haasta kognitiivista kapasiteettia eivätkä hyödytä oppimista. Tällöin oppija tuhlaa aikaa ja energiaa. (Schnotz ym. 2007, 479.) (L1, T2) ja (L2, T1) tyyppi-esimerkkeinä aiheuttavat ulkoista kognitiivista kuormaa ja heikentävät oppimista.

Pisteessä (L2, T1) asiaankuulumattoman informaation vuorovaikutus ilmenee esimerkiksi kuvan ja siihen liittyvän tekstin yhteydessä, jolloin *oppijan on vaikea jättää huomiotta ymmärtämisen kannalta tarpeetonta tekstiä* (korostus tämän tutkimuksen tekijän). (Schnotz ym. 2007.) Kuvan ja tekstin prosessointi johtaa elementtien vuorovaikutuksen tarpeettomaan lisääntymiseen ja työmuistin vapaan kapasiteetin vähentymiseen. Kuitenkin edellä mainitut tutkijat väittävät,

että noviisi hyötyy kuvan ja tekstin yhdistämisestä, mutta ekspertille sama prosessointi aiheuttaa ulkoista kuormaa. Syy ei ole elementtien vuorovaikutuksessa, joka voi olla hyvinkin heikko, vaan ylimääräisestä ponnistelusta ja ajan tuhlauksesta. (Schnotz ym. 2007, 482–483.)

Tehtävän vaikeus voi ylittää oppijan pätevyyden tason (kuviossa 2.5 piste (L1, T2)), koska olennaista informaatiota on ylläpidettävä työmuistissa. Schnotz ym. selittävät kuorman syntyä siten, että oppijan on prosessoitava ja integroitava useasta eri lähteestä tulevaa informaatiota, jota on esitetty tarpeettomasti erillisessä formaatissa. Tästä seuraa tarkkaavaisuuden jakaminen eri lähteiden kesken. Kaikkia elementtejä ei voida pitää työmuistissa samanaikaisesti, koska työmuistilla on myös ajallinen rajoitus. (Schnotz ym. 2007, 481.)

Ulkoista kuormaa voi esiintyä myös silloin, kun informaatioelementtien välillä ei ole suurta vuorovaikutusta. Jos kuva on ymmärrettävissä ja jälkeensä luetaan siihen liittyvää erillään olevaa tekstiä, työmuisti prosessoi tarpeettonta informaatiota (Kalyuga, Chandler & Sweller 1998). Kuvan ja tekstin kombinaatiosta on hyötyä noviisille, muttei välttämättä ekspertille. Haittaa johtuu informaatiosta, jota joutuu prosessoimaan tarpeettomasti. Elementtien välinen vuorovaikutus voi olla kohtalainen tai jopa vähäinen. (Schnotz ym. 2007, 483.)

Kognitiiviseen kuormaan liittyvät ilmiöt voidaan sijoittaa kuvioon 2.5 koordinaattipisteinä. Piste (L1,T1) kuvaa noviisia, jonka oppimista malliesimerkki helpottaa esittämällä tehtävän ratkaisun eri vaiheet. Tässä tapauksessa itsenäisestä tehtävän tutkimisesta (T2) olisi vähemmän apua. Sitä vastoin ekspertti (L2,T2) hyötyy enemmän itsenäisestä tutkimisesta kuin malliesimerkistä (T1). Jakautunut tarkkaavaisuus -ilmiössä integroitu formaatti sopii noviisille (L1, T1) ja erillisformaatti eksperteille (L2, T2). Erillisformaatissa kuva ja teksti ovat erillään, jolloin yhteyksien etsiminen kuvan ja tekstin välillä synnyttää ulkoista kuormaa (Chandler & Sweller 1991, 328–331). Modaaliteetti-ilmiössä (L1, T1) mieluiten teksti ilmaistaan puhuttuna (T1) kuin visuaalisena (T2). Modaaliteetti häviää tai tulee negatiiviseksi (L2). Ylimääräinen informaatio voidaan ymmärtää erillään (L2, T2), mutta integroitu formaatti sopii noviisille (L1, T1). Proseduurin käänöksessä opetusformaatti T1 hyödyttää noviisia, muttei eksperttiä L2. (Schnotz ym. 2007, 480–481.)

Helpottamalla tehtäviä ja antamalla riittävästi apua edistetään oppimista. Käsitystä voidaan tarkastella sisäisen ja ulkoisen kognitiivisen kuorman näkökulmasta. Muutoksen vaikutusta havainnollistetaan kuviossa 2.5. Avun tarjoaminen tason L2 oppijalle muuttaa tehtävän vaikeusastetta T2:sta T1:een, mikä johtaa tarpeettomaan prosessointiin, ajan ja ajatusponnistelun tuhlaukseen toteavat Schnotz ym. (2007). Kun pätevyys kasvaa skeemojen kehittyessä tasolta L1 tasolle L2, niin vaikeusasteen T1 tehtävät eivät haasta oppijaa, koska tehtävät ovat liian helppoja tai apua on saatu liian paljon. He väittävät, että tason L2 oppija kärsii liian alhaisesta sisäisestä kuormasta. Kapasiteetti on vajaakäytössä, mikä vaikuttaa negatiivisesti oppimiseen. (Schnotz ym. 2007, 483–484.)

Paasin ym. (1994) tutkimuksessa suuri kontekstin vaihtelu edisti oppimista enemmän kuin pieni vaihtelu, mikä tulkittiin johtuvan rakentavasta kognitiivisesta kuormasta. Schnotz ym. (2007) väittävät, että malliesimerkit vaativat

sekä tehtävän että siihen liittyvän kontekstin ymmärtämistä. Suurempi sisäinen kuorma (ei rakentava) seuraa siitä, että kontekstin muutos vaatii aina uuden ymmärtämisprosessin ja kuvauksen uuteen kontekstiin. (Schnotz ym. 2007, 489.) Valinta malliesimerkin ja varsinaisen probleeman välillä pitäisi tehdä vasta sen jälkeen, kun oppijan pätevyyden taso on määritetty (Kalyuga, Chandler, Tuovinen & Sweller 2001, 587).

Schnotz ym. (2007) erottavat oppimistehtävän suorittamisen ja oppimisen. Oppiminen on aktiivinen kognitiivinen prosessi, jossa työmuistin sisältö muunnetaan jollakin operaatiolla tilasta toiseen. Tehtävänä voi olla esimerkiksi tekstin ymmärtäminen ja matemaattisen yhtälön ratkaiseminen. Prosessissa operoidaan työmuistissa olevilla mentaalisilla representaatioilla ja muutetaan säilömuistin sisältöä. Tehtävän suorittaminen ei välttämättä takaa oppimista. Työmuistissa tapahtuva prosessointi laukaisee jollakin todennäköisyydellä säilömuistissa tapahtuvan muutoksen. (Schnotz ym. 2007, 491–492.)

On myös erotettava ymmärtäminen ja oppiminen: ymmärtämisprosessissa rakennetaan työmuistissa mentaalinen representaatio, johon *ei välttämättä* (tutkijan korostus) liity säilömuistin sisällön muutosta, joka on oppimisessa välttämätöntä. (Schnotz ym. 2007, 492.) Voimme oppia kertotaulun, mutta emme ymmärrä, miten sitä käytetään. Paas ja Sweller (2014) esittävät, että ymmärtäminen laajasti ottaen on säilömuistin lisämuutos. Uusi materiaali on ymmärretty, kun kaikkia asiaan kuuluvia elementtejä kyetään yhtä aikaa prosessoimaan työmuistissa. (Paas & Sweller 2014, 36.)

Schnotz ym. (2007) kiinnittävät huomiota auttamiseen. Ulkoinen kuorma seuraa siitä työmuistin ponnistelusta, joka on suunnattu epäsuotuisten olosuhteiden voittamiseen. Kun opiskellaan, niin työmuistissa on pidettävä yhtä aikaa niitä kognitiivisia elementtejä, joita tarvitaan tehtävän eri vaiheissa, mikä puolestaan synnyttää sisäisen kuorman. Molemmat kuormat suuntautuvat suoritukseen. Sitä vastoin rakentava kognitiivinen kuorma suuntautuu oppimiseen, jonka tarkoituksena on skeeman rakentaminen ja automatisoiminen. Kun annetaan apua, on oltava tarkkana: autetaanko tehtävän suorittamisessa vai oppimisessa. (Schnotz ym. 2007, 492–493.)

2.4.6 Kognitiivisen kuorman mittaaminen

Kognitiivisen kuorman mittaamisessa on käytetty muun muassa kyselylomakkeeseen perustuvaa omakohtaista arviota (Paas, Merriënboer & Adam 1994; Kalyuga, Chandler & Sweller 1999). Brünken, Seufert ja Paasin (2010) mukaan on epäselvää mitkä erityiset seikat oppimistilanteessa aiheuttivat kognitiivista kuormaa, mitä kognitiivista kuormaa arviointiasteikko mittaa, ja miten tulos liittyy oppimiseen. Ei tiedetä tarkkaan, mistä prosesseista havaittu kuorma johtuu. (Brünken, Seufert & Paas 2010, 183.) Epäsuoriin objektiivisiin mittauksiin kuuluvat mm. fysiologisten reaktioiden mittaukset kuten ihon vastuksen muutokset, pupillin koon, silmän liikkeiden ja sydämen syketaajuuden vaihtelut. Mittaustuloksilla on vain epäsuora yhteys kognitiiviseen kuormaan (Prieto, Sharma, Kidzinski & Dillenbourg 2017, 2). Lupaava suora tutkimusmenetelmä perustuu aivojen kuvantamiseen fMRI-tekniikalla. Ongelmana on autenttisissa

tilanteissa mittausjärjestelyjen vaikeus erityisesti mutkikkaissa oppimistehtävissä. (Brüncken, Plass & Leutner 2003, 56.)

Brüncken ym. (2010, 197) mukaan ei ole menetelmää, jolla voitaisiin erottaa kuormat toisistaan. Samaan päätyvät myös Schnotz ym. (2007), jotka korostavat kognitiivisen kuormateorian hyötyä viitekehysenä, joka ohjaa tutkimusta ja opetusta. He väittävät, että teoreettinen viitekehys on hyödyllinen, vaikka siihen liittyvää psykologista konstruktia ei välttämättä pystytä suoraan mittaamaan. (Schnotz ym. 2007, 500.)

2.5 Multimediaoppimisen teoria

Oppiiko ihminen paremmin, kun viestinnässä käytetään sanoja ja kuvia vai pelkästään sanoja? Mayer ja Moreno määrittelevät tietokoneperusteisen multimediaoppimisympäristön: se koostuu sanoista (puhuttu tai kirjoitettu) ja kuvista (animaatio, video, valokuva, kuvitus). Multimediaesityksessä sanat joko nähdään tai kuullaan, kuvat nähdään. (Mayer & Moreno 2010, 131.) Mayerin (2009) mukaan sanat ja kuvat voivat liittyä oppimiseen, informaation esittämiseen ja viestintään, opetukseen sekä tiedon siirron teknologiaan. Hän esittää eri vaihtoehdot: multimediaesityksestä joko ei opita mitään, toistetaan ulkoa esitetty asia, muttei pystytä soveltamaan tai asia ymmärretään ja pystytään soveltamaan opittua uudessa tilanteessa. Viimemainitussa tapauksessa oppija on kognitiivisessa mielessä aktiivinen ja pyrkii rakentamaan koherentin mentaalisen representaation eli luomaan merkityksen lukemastaan tekstistä. Ulkoinen aktiivisuus ei välttämättä ole merkinä sisäisestä aktiivisuudesta. Jos esitystä ei suunnitella, niin joko tietorakenne ei muutu, on sirpaloitunut tai tieto on liittynyt vanhaan tietorakenteeseen. (Mayer 2009, 5, 19–21.)

Mayer (2009) jaoittelee multimediaoppimisen kolmeen osaan. Se voi olla vasteen vahvistamista, jolloin oppilas on passiivinen ja opettajan tehtävänä on joko palkita tai antaa negatiivinen palaute. Opetukseen kuuluvat erilaiset drilliharjoitukset ja toistot. Multimediaoppiminen voi olla myös informaation lisäämistä muistiin: oppilas on passiivinen ja opettaja on informaation jakaja. Tieto on hyödyke, joka siirretään paikasta toiseen, ja multimedia on väline, joka siirtää tietoa. Kolmas näkökanta korostaa kognitiivista apuneuvoa, joka auttaa rakentamaan esitetystä informaatiosta koherentin mentaalisen representaation. Multimediaesityksen tavoitteena on informaation esittäminen, prosessin ohjaaminen, tarkkaavaisuuden suuntaaminen, materiaalin järjestäminen ja tiedon liittäminen aikaisempaan tietoon. (Mayer 2009, 15–19.)

Edellä oleva voitaisiin tiivistää kahteen pääteoriaan. *Informaation lähetys* -hypoteesiin liittyy oletus, jonka mukaan informaatio siirretään esityksestä ja sijoitetaan oppijan muistiin. Metaforat olisivat ”radiolähetys” tai ”tallennus nauhurille”. Hypoteesi esittää, että koska puhutulla ja kirjoitetulla sanalla on sama informaatio, niin sanojen modaaliteetilla ei ole merkitystä. Esimerkiksi animaatiossa ei ole merkitystä sillä, yhdistetäänkö kuva ja puhuttu teksti vai kuva ja sen alla puhuttu teksti kirjoitettuna (Mayer 2009, 204–205.) Mayer sitä

vastoin korostaa multimediaoppimisen teoriassa *kaksoiskoodaus-hypoteesia*: ihmisellä on kaksi aistikanavaa, joista visuaalisessa prosessoidaan kuvat ja nähty teksti sekä auditiivisessa puhutut sanat (Mayer 2009, 204–205.)

Moderni fysiikan opetus täyttää jo nyt multimediaoppimisen tunnusmerkit, joihin kuuluvat demonstraatiot, kuvaajien reaali-aikainen esitys valkokankaalla tai näyttöpäätteellä, iPad-oppikirjat, oppikirjojen runsas kuvitus jne. Perinteisiä opetuksessa käytettyjä multimediaesityksiä ovat liitutaulu ja opettajan luento sekä oppikirja, jossa on kuvitus. Tässä tutkimuksessa vertaillaan kahta oppikirjaa kognitiivisen kuormateorian ja multimediaoppimisen teorian viitekehyksessä ja pohditaan saatujen tulosten vaikutusta opetuksen suunnitteluun.

Kognitiivisesta kuormateoriasta voidaan johtaa multimediaoppimisen teoria tekemällä lisäoletuksia. Ne koskevat informaation siirtymistä työmuistiin, työmuistin rajoitettua kapasiteettia ja prosessointia. Seuraavassa tarkastellaan kutakin edellä mainittua erikseen.

2.5.1 Multimediaoppimisen määritelmiä ja oletukset

Opittavan materiaalin prosessointi kuormittaa työmuistia, koska koherenssi edellyttää, että työmuistissa ovat yhtä aikaa tarvittavat elementit. Seuraavassa tarkastellaan kognitiivista kuormateoriaa ja multimediaoppimisen teoriaa (*Cognitive Theory of Multimedia Learning, CTML*) määrittelyjen näkökulmasta.

Ulkoinen kognitiivinen kuorma: Kognitiivinen kuorma, jonka aiheuttavat epäolennaiset vuorovaikutukselliset elementit (ks. elementtien vuorovaikutus), jotka voidaan poistaa muuttamalla opetuksen suunnittelua (Paas & Sweller 2014, 40).

Epäoleellinen prosessointi: Kognitiivista käsittelyä oppimisen aikana, joka ei palvele opetuksellista tavoitetta ja joka johtuu heikosti suunnitellusta opetuksesta (Mayer 2014, 68).

Sisäinen kognitiivinen kuorma: Kognitiivinen kuorma, jonka aiheuttavat olennaiset vuorovaikutuksen elementit (ks. elementtien vuorovaikutus). Vuorovaikutuksensa johdosta ne tulee käsitellä samanaikaisesti, mikä synnyttää työmuistissa raskaan kuormituksen (Paas & Sweller 2014, 40).

Keskeinen prosessointi: Oppimisen aikana tapahtuvaa kognitiivista prosessointia, jota tarvitaan keskeisten esitettyjen materiaalien työstämiseen työmuistissa. Prosessin käynnistää materiaalin monimutkaisuus (Mayer 2014, 67).

Rakentava kognitiivinen kuorma: Työmuistin resurssit, jotka keskitetään ulkoisten vuorovaikutuselementtien sijaan sisäisiin (Paas & Sweller 2014, 40).

Tuottava prosessointi: Oppimisen aikana tapahtuvaa kognitiivista prosessointia, jonka tarkoitus on jäsentää oppitunnin keskeistä aineistoa ja jonka laukaisee oppijan motivaatio käyttää omaa panostustaan (Mayer 2014, 68).

Näiden määritelmien ero koskee elementtejä ja prosesseja. Kognitiivisessa kuormateoriassa elementtien vuorovaikutus synnyttää työmuistin kuorman. Tämä voi olla suuri, jonka syynä on opetuksen järjestely (ulkoinen kuorma) tai opittavan aiheen elementtien samanaikainen prosessointi (sisäinen kuorma). Jos työmuistin resursseja suunnataan sisäisen kuorman käsittelyyn, niin samalla

edistetään rakentavaa kuormaa. (Paas & Sweller 2014, 40.) Sitä vastoin Mayerin (2014, 67–68) lähtökohtana ovat oppimisen aikana tapahtuvat prosessit. Hän viittaa opetuksen huonoon suunnitteluun (epäoleellinen prosessointi), oppimateriaalin kompleksisuuteen (keskeinen prosessointi) ja opiskelijan motivaatioon ymmärtää esitetty materiaali (tuottava prosessointi). Myös Schnotz ym. (2007, 496) viittaavat motivaatioon, mutta lisäksi he korostavat oppimisen intentionaalisuutta ja suoritusta, joka ylittää tavanomaisen suorituksen.

TAULUKKO 2.2 Multimediaoppimisen teorian pääoletukset

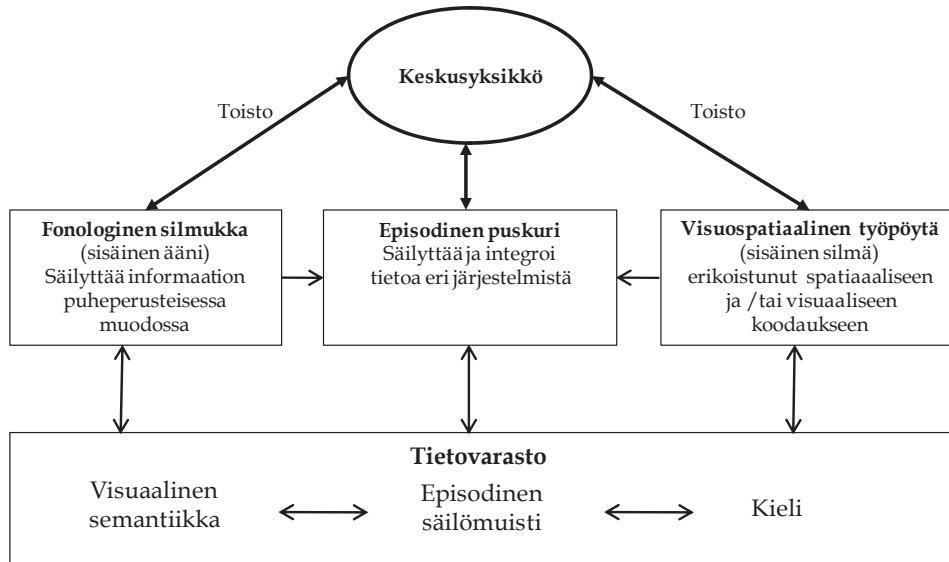
Oletus	Kuvaus
Kaksi aistikanavaa	Informaation prosessointi tapahtuu kahdessa erillisessä aistikanavassa: sanat ja kuvat visuaalisessa kanavassa, puhutut sanat auditiivisessa kanavassa (Baddeley 1992; Baddeley & Logie 1999). Kaksoiskoodaus (Paivio 2006)
Rajoitettu kapasiteetti	Ihmisen kognitiivinen arkkitehtuuri muodostuu rajoittamattomasta säilömuistista ja työmuistista, jonka kapasiteetti on rajoitettu sekä määrän että ajan suhteen. Rajoitus koskee uutta tietoa (Paas, van Gog, Sweller 2010, 117). Rajoitettu kapasiteetti (Chandler & Sweller 1991; Baddeley 1992)
Aktiivinen prosessointi	Oppija aktiivisesti konstruoi oman tietonsa (Clark, Nguyen & Sweller 2006). Tuleva informaatio muokataan ja integroidaan aikaisempaan tietoon koherentiksi mentaaliseksi representatioksi (Mayer, Moreno, Boire & Vagge 1999)

Huom. Lähde: Mayer & Moreno 2003, 44; Schnotz & Kürschner 2007, 474–475; Mayer 2014.

Kun kognitiivinen kuormateoria esittää ne seikat, jotka synnyttävät työmuistin kuorman, niin multimediaoppimisen teoria esittää, millainen kirjoitetun ja/tai puhutun tekstin sekä kuvituksen suhteen tulisi olla, jotta kognitiivinen kuorma työmuistissa olisi mahdollisimman pieni: ensin diagnoosi ja sitten lääkkeet.

Mayer (2009, 2014) kiteyttää opetuksen suunnittelun tehtävän: on kehitettävä tekniikoita, joilla voidaan alentaa epäoleellista, hallita keskeistä ja edistää tuottavaa prosessointia. Hän esittää kaksi vaatimusta multimediaesityksen (sanat ja kuvat) suunnittelulle: esitettävän materiaalin rakenteen on oltava koherentti ja multimediaesityksen pitää opastaa oppijaa miten koherentti rakenne muodostetaan (Mayer 2009, 266; Mayer 2014, 51).

Mayerin (2009, 64–67) mukaan multimediaoppimisen teoriaan sisältyy kolme oletusta, jotka ovat taulukossa 2.2. Paivion (2006) kaksoiskoodusteorian mukaan ihmisellä on kaksi erillistä aistikanavaa, joista toinen prosessoi verbaalisen ja toinen visuaalisen informaation. Tähän liittyen Eysenckin (2012, 128) yhteenvedossa, jossa selostetaan Baddeleyn ja Hitchin (1974) työmuistimallin viimeistä versiota (kuvio 2.6), avainkomponentti on *keskusyksikkö*. Se on aisteista riippumaton (*modality-free*) ja muistuttaa tarkkaavaisuutta. Keskusyksikön tehtävänä on tehtävän asettaminen, ajan jakaminen kaksoistehtävissä, tarkkaavaisuuden kohdentaminen tiettyyn ärsykkeeseen, kun muut hylätään, ja säilömuistin hetkellinen aktivointi. Kapasiteetti on rajoitettu. Kaksoistehtävässä pidetään mielessä samanaikaisesti esimerkiksi numerosarjaa ja suoritetaan päätte-lytehtävää.



KUVIO 2.6 Baddeleyn työmuistimalli (Baddeley 2002, 93; Eysenck 2012, 128)

Kuviossa 2.6 fonologisella silmukalla, episodisella puskurilla ja visuospatiaalisella työpöydällä on rajoitettu kapasiteetti, ja ne ovat suhteellisen riippumattomia toisistaan. Kuvion alin osa edustaa kiteytynyttä tietämystä ja kolme muuta keskusyksikköön liittyvää osaa ns. joustavaa tiedonkäsittelyä. (Eysenck 2012, 128.)

Fonologinen silmukka säilyttää sanojen esitysjärjestyksen ja informaation fonologisessa muodossa. Puhuttu sana pääsee suoraan fonologiseen taltioon ("sisäinen korva"). Sitä vastoin visuaalisesti esitetty sana pääsee fonologiseen taltioon äänettömän toiston kautta. Ilman kontrolliprosessia muistijälki kestää noin puolestatoista kahteen sekuntiin. (Eysenck & Keane 2005, 198.)

Visuospatiaalinen työpöytä on erikoistunut spatiaaliseen ja visuaaliseen koodaukseen. Logie väittää (1995, 90–91), että visuospatiaalinen työpöytä voidaan jakaa kahteen osaan: visuaaliseen kätköön (*visual cache*), joka varastoi värin ja muodon informaation sekä sisäiseen kirjuriin (*inner scribe*), joka prosessoi spatiaalista ja liikeinformaatiota. Lisäksi sisäinen kirjuri aktivoi uudelleen visuaalisen varaston sisältöjä ja siirtää informaatiota visuaalisesta kätköstä keskusyksikköön (tarkkaavaisuutta muistuttava systeemi).

Fonologinen silmukka ja visuospatiaalinen työpöytä ovat erikoistuneet prosessoimaan ja tallentamaan tietynkaltaista informaatiota. Sen sijaan keskusyksikkö tekee mahdolliseksi yleisen prosessoinnin, mutta se tarvitsee välivarasto. *Episodinen puskuri* muodostaa väliaikaisen varastosysteemin, joka voi säilyttää ja integroida informaatiota säilömuistista, fonologisesta silmukasta ja visuospatiaaliselta työpöydältä. Kahdella viimemainitulla ovat eri koodit. Episodisella puskurilla on rajallinen kapasiteetti, ja se integroi erilaisen koodin omaavan informaation yhtenäiseksi multidimensionaaliseksi representaatioksi,

jolla on yhtenäinen koodi. Samalla puskurin toimii eri järjestelmien rajapintana. Puskurin toiminta on edelleen hieman epäselvä. (Eysenck ym. 2005, 195, 204; Eysenck 2012, 135–136.)

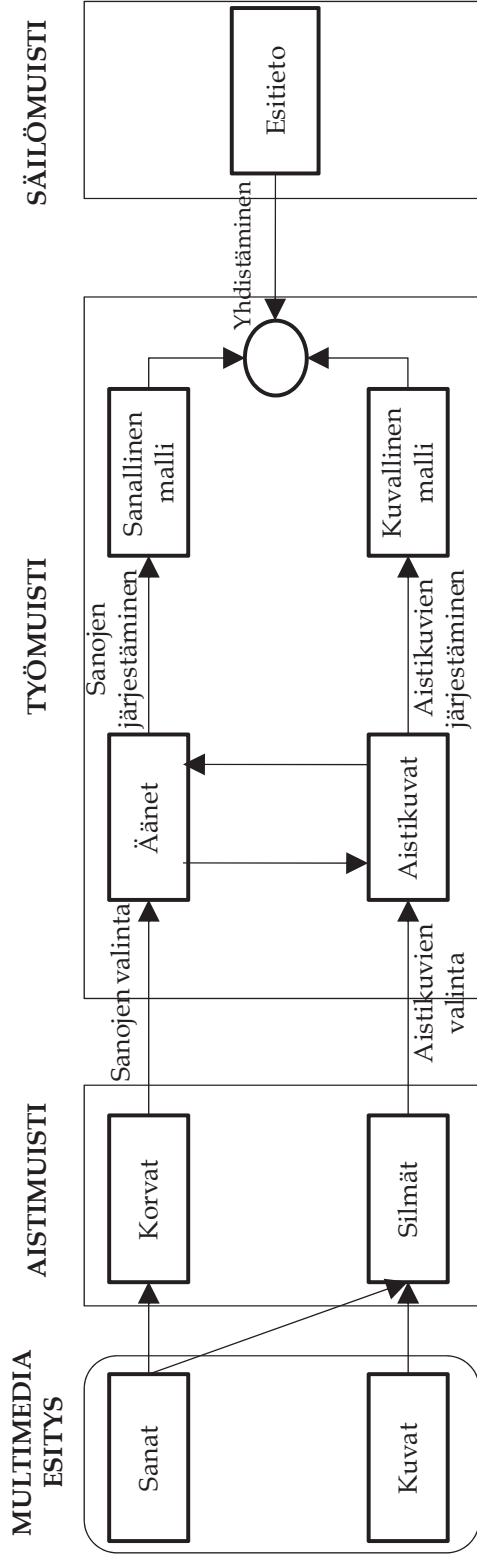
Oppija on *aktiivinen tiedon prosessoija*. Clark, Nguyen ja Sweller (2006) määrittelevät myös aikaisemman tiedon aktivaation, mikä tapahtuu, kun olemassa oleva tieto siirretään työmuistiin. Tehokas oppiminen edellyttää tarkkaavaisuutta, aikaisemman tiedon aktivaatiota, pohtimista ja kertaamista sekä asianmukaista koodausta ja kykyä hakea relevantti tieto säilömuistista. (Clark, Nguyen & Sweller 2006, 32, 40.)

2.5.2 Sanat ja kuvat työmuistissa

Ennen kuin ulkoisesta representaatiosta on muodostunut säilömuistiin sisäinen representaatio, prosessiin sisältyy seuraavat päävaiheet (kuvio 2.7, vrt. kuvio 2.6): relevanttien sanojen ja kuvien valinta työmuistiin, molempien muokkaaminen sanalliseksi ja kuvalliseksi mentaalimalliksi ja lopuksi mallien integrointi työmuistissa aikaisempaan tietoon. (Mayer 2009, 72–76.)

Aktiivisen kognitiivisen prosessoinnin tuloksena on mentaalimalli (tietorakenne), johon on tallennettu esitetyn materiaalin avainideat ja niiden väliset relaatiot. Toisin sanoen tuloksena on koherentti mentaalinen representaatio. Mayer (2009, 69) erottaa viisi erilaista representaatiota. Prosessi, joka selittää syy-seuraus ketjun (vuokaavio). Lisäksi ovat vertailu (matriisi), yleistys (puumalli) ja luettelo (lista). Viimeisenä on luokittelu, joka jakaa tietyn joukon ja sen osajoukot (sotilasarvot).

Sanojen valinta. Puhuttujen sanojen virrasta tarkkaavaisuus kohdistetaan vain osaan sanoja, joiden prosessointi alkaa auditiivisessa kanavassa. Kirjoitetut sanat menevät ensin visuaaliseen kanavaan ja äännetään mentaalisesti sekä si-joitetaan auditiiviseen kanavaan. Näin muodostuu äänitietokanta. Nuolet kuviossa 2.7 äänten ja aistikuvien välillä kuvaavat tilannetta, jossa äänistä voidaan muodostaa aistikuvia ja kääntäen. (Mayer 2014, 54.)



KUVIO 2.7 Multimediaoppimisen kognitiivisen teorian prosessit (Mayer 2009, 61)

Kuvien valinta. Tarkkaavaisuus pitää kohdistaa vain osaan aistikuvavirtaa, josta valitaan asiaankuuluvat kuvat. Ne siirtyvät osaksi visuaalista tietokantaa. Osa aistikuvista voidaan sisäisen puheen avulla siirtää äänitietokantaan. (Mayer 2014, 55.)

Sanojen ja aistikuvien järjestäminen. Prosessointi tapahtuu molemmissa kanavissa yhtä aikaa, jolloin muodostetaan kuvaus sanaa kuvaavan äänen ja sen merkityksen välille. Kuva- ja äänitietokannasta muodostetaan koherentit representaatiot, sanalliset ja kuvalliset mallit, joiden rakenteen on oltava yksinkertainen ja oleellisen sisältävä. Koska ymmärtäminen on tärkeää, lähtökohtana ovat multimediaesityksen eri vaiheiden välille syntyvät syy-seuraus-keijut. (Mayer 2014, 56–57.)

Sana- ja kuvaperusteisen mallin yhdistäminen. Sana- ja kuvamallin vastaavat osat yhdistetään. Tämä tapahtuu visuaalisessa ja verbaalisessa työmuistissa, ja on erittäin vaativa kognitiivinen prosessi. Sitä auttaa säilömuistissa oleva tieto. Sen perusteella voidaan selittää vaiheesta toiseen siirtyminen ja samalla yhdistää sanat ja kuvat. Multimediaesityksen osat prosessoidaan segmentti kerrallaan, joten kuviossa 2.7 oleva koko prosessi tapahtuu useita kertoja. (Mayer 2014, 57.)

Kalyuga (2010) korostaa uuden oppimisessa aikaisempien tietorakenteiden merkitystä: ne ovat tärkein oppimiseen vaikuttava tekijä. Jotta opetus ymmärrettäisiin, opiskelijan on instantioitava asiaan kuuluvat tutut skeemat. Nämä tekevät mahdolliseksi uuden tiedon assimiloitumisen aikaisempaan tietorakenteeseen. (Kalyuga 2010, 59.)

Mayer (2009, 2014) tarkastelee visuaalisen ja auditivisen kanavan välistä eroa. Jos korostetaan *esitysmoodia*, niin otetaan huomioon *ärsykkeen formaatti*: verbaalinen kuten puhuttu tai painettu sana vai ei-verbaalinen kuten kuva, video, animaatio tai taustäänä. Toinen kanava prosessoi verbaalisen ja toinen kuvallisen materiaalin ja ei-verbaaliset äänet. (Mayer 2009, 9–10; 2014, 48–49; Paivio 2006.) Oppija kykenee käyttämään *kahta eri koodaussysteemiä*.

Jos korostetaan *aistimodaliteettia*, niin huomio kiinnitetään *prosessoinnin reittiin*: silmät vai korvat. Edelliseen tuleva informaatio on peräisin kuvasta, videolta, animaatiosta tai painetusta sanasta jälkimmäiseen tuleva puhutusta sanasta tai taustäänistä. Toinen kanava prosessoi visuaalisen ja toinen auditivisen materiaalin. Mallissa korostetaan ärsykkeen esitysmuotoa työmuistissa. (Mayer 2009, 9–10; 2014, 48–49; Baddeley 2002.)

Mayer (2014) esittää, että ero multimediaoppimisen kannalta on siinä, missä alustavasti prosessoidaan painetut sanat (näytön tai kirjan teksti) ja taustäänäet. Jos näkökanta on esitysmoodissa, niin näytön teksti alustavasti prosessoidaan verbaalisessa kanavassa ja taustäänäet sekä ei-verbaalinen musiikki ei-verbaalisessa kanavassa. Jos taas näkökantana on aistimodaliteetti, niin näytön teksti alustavasti prosessoidaan visuaalisessa kanavassa ja taustäänäet auditivisessa kanavassa. (Mayer 2014, 48.) Lisäksi hän korostaa, että tärkeämpää on kiinnittää huomiota oppijaan kuin viestimeen. (Mayer 2009, 8.)

Mayer (2014, 48) itse soveltaa aistimodaliteettia, kun pitää tehdä ero visuaalisesti ja auditivisesti esitetyn materiaalin välillä. Sitä vastoin esitysmoodia

sovelletaan, kun tehdään ero työmuistissa olevien visuaalisten ja verbaalisten mallien konstruktion välillä.

Edellisestä seuraa, että oppimisympäristölle asetetaan kolme vaatimusta: epäolennaisen (*extraneous*) prosessoinnin vähentäminen, keskeisen (*essential*) prosessoinnin hallinta ja tuottavan (*generative*) prosessoinnin edistäminen. Koska tässä tutkimuksessa arvioidaan oppikirjan merkitystä, niin seuraavassa keskitytään epäolennaisen prosessointiin. Keskeistä ja tuottavaa prosessointia käsitellään lyhyesti.

2.5.3 Epäolennainen prosessointi

Epäolennaiseen prosessointiin liittyy läheisesti tekstin ja kuvituksen koordinointi, esitettävän materiaalin määrä ja rakenne. Periaatteessa esityksen pitäisi olla sellainen, että

- 1) Avainideat (prosessin askeleet) korostetaan sekä tekstissä että kuvissa.
- 2) Asiaan kuulumaton aines minimoidaan sekä tekstissä että kuvissa. Ei tarpeettomia yksityiskohtia eikä värejä.
- 3) Toisiinsa liittyvät teksti ja kuvat asetetaan samalle sivulle lähekkäin.
- 4) Teksti ja kuvat esitetään siten, että niistä on helppo muodostaa mielikuva.
- 5) Esitettävällä materiaalilla on oltava selvä rakenne (syy-seuraus-ketjut).
- 6) Tekstin ja kuvien esitystavan on oltava tuttu, jotta aikaisempaa kokemusta voidaan hyödyntää.
- 7) Avainasiat ja -piirteet sekä tekstissä että kuvituksessa on esitettävä siten, että johdonmukaisuus säilyy ja muistaminen helpottuu. (Levin & Mayer 1993.)

Edellisen lisäksi Mayer myöhemmin (2009, 69) painottaa multim mediasuunnittelussa esitettävän materiaalin rakenteen koherenttisuutta ja esityksen kykyä muodostaa koherentti rakenne. Jos materiaali on esitetty epäselvästi, niin se ei pysty ohjaamaan asianmukaisen mentaalimallin rakentumista. Lisäksi Mayer (2009) jatkaa, että syynä on tarkkaavaisuuden suuntautuminen epäoleelliseen informaatioon, jolloin epäolennainen ja keskeinen prosessointi ylittää kognitiivisen kapasiteetin (Mayer 2009, 86). Epäolennainen prosessointi vähenee, jos noudatetaan seuraavia viittä periaatetta: koherenssi-, opestin-, redundanssi-, spatiaalinen ja ajallinen jatkuvuus- periaate. Tarkastellaan ensimmäiseksi koherenssiperiaatetta.

Koherenssiperiaate

Epäolennaisen materiaalin pois jättäminen tukee tehokasta oppimista paremmin kuin sen sisältäminen. (1) Oppiminen on tehokkaampaa, kun mielenkiintoiset mutta epäolennaiset sanat ja kuvat poistetaan multimediaesityksestä; (2) oppiminen on tehokkaampaa, kun mielenkiintoiset mutta epäolennaiset äänet ja musiikki poistetaan multimediaesityksestä; sekä (3) oppiminen on tehokkaampaa, kun tarpeettomat sanat ja symbolit poistetaan multimediaesityksestä. (Mayer 2009, 89.)

Koherenssiperiaate 1. Irrelevantteja tekstejä ja kuvia ovat ne, jotka eivät edistä syy-seuraus-ketjun rakentumista. Vireysteoria mukaan oppii paremmin, jos materiaali tarjotaan emotionaalisesti houkuttelevana. Taustalla on informaation lähetys -hypoteesi: opettaja siirtää tietoa ”oppilaan päähän”. Houkuttelevat yksityiskohtia ohjaavat tarkkaavaisuuden pois relevantista materiaalista. (Mayer 2009, 93.) Mayerin mukaan, jos oppija ei ole tarkkana, hän voi luulla, että relevantti asia on houkuttelevien yksityiskohtien joukossa. Hän voi tällöin yrittää muodostaa koherenttia kaikesta saatavilla olevasta materiaalista. Koherenssiperiaate sopii erityisesti oppilaille, joiden työmuistin kapasiteetti on alhainen ja opiskelukyky ei ole parhain mahdollinen. (Mayer 2009, 95.)

Koherenssiperiaate 2. Lisätty musiikki ja muut äänet häiritsevät prosessia, jonka tarkoituksena on tulevan multimediananomman ymmärtäminen. (Mayer 2009, 99.)

Koherenssiperiaate 3. Tämä on ehkä tärkein periaate, joka koskee oppikirjojen laatijoita. Tekstistä poistetaan tarpeettomat sanat ja symbolit. Lisäksi Mayer suosittelee yhteenvedoja tärkeimmistä syy-seuraus-ketjun askelista, koska avainsanat ovat kuvatekstissä, ne ovat järjestyksessä ja lähellä vastaavaa kuvitusta. Yhteenvedosta oppilaat myös ymmärtävät paremmin. Kun ensin on ymmärretty opittavan asian pääkohdat yhteenvedosta, niin kiinnostavia yksityiskohtia voidaan lisätä myöhemmin. (Mayer 2009, 102–103.) Oppikirjojen analyysissä koherenssiperiaate on erittäin tärkeä.

Opastinperiaate

Oppiminen on tehokkaampaa, kun keskeisen sisällön jäsentymistä korostetaan vihjeillä (Mayer 2009, 108).

Kun halutaan osoittaa tekstissä oleellinen materiaali, käytetään opastimia, jotka osoitetaan erilaisilla fonteilla. Opastimia voivat olla ovat jäsentelyvirke tai -virkkeet, muutamasta lauseesta koostuva yhteenvedo, lyhyt otsikko kuten selitettävä lause kappaleen alussa, osoitinsana (yksi, kaksi jne) ja ratkaisun vaiheiden numerointi. Opastimia ovat myös graafiset järjestimet kuten käsitekartat, jotka helpottavat opittavan materiaalin rakenteen hahmottamista. Mayer (2009) korostaa, että opastimen käyttö on erityisen hyödyllistä, jos niitä käytetään säästevästi. Värien liikkakäyttö voi tehdä levottoman vaikutuksen. Opastinperiaate koskee tilanteita, joissa oppijan lukutaito on heikko, opittava materiaali on huonosti järjestetty tai sisältää ylimääräistä materiaalia. (Mayer 2009, 108–116.) Tarkkaavaisuuden suuntaaminen avainelementteihin alentaa epäolennaisia prosessointia ja edistää niiden yhdistämistä työmuistissa koherentiksi mentaalimalliksi.

Redundanssiperiaate

Grafiikan ja kerronnan yhdistelmä on oppimisen kannalta tehokkaampi kuin grafiikan, kerronnan ja painetun tekstin yhdistelmä (Mayer 2009, 118).

Mayerin (2009) mukaan selostettua animaatiota ei tarvitse tukea näytöllä olevalla tekstillä. Sama koskee paperilla esitettyä matematiikkaa. Poikkeuksena on opiskelija, jolle asia esitetään vieraalla kielellä, kuulossa on vikaa tai sanat ovat vaikeita kuten tekniset termit. Näytöllä oleva teksti prosessoidaan visuaalisessa kanavassa ja visuaalinen tarkkaavaisuus joudutaan jakamaan, jolloin teksti pakottaa oppijan etsimään animaation ja tekstin välisiä vastaavuuksia. Turhan tekstin poisto vapauttaa kapasiteettia asiaankuuluvaan prosessointiin. Mayer (2009) esittää, että periaate ei sovellu kovin hyvin tilanteisiin, joissa lyhyt kuvateksti on heti kuvion vieressä, puhuttu teksti on esitetty ennen painettua tekstiä, grafiikka puuttuu ja sanalliset osuudet ovat lyhyitä (Mayer 2009, 118).

Mayer (2009) ei kannata väitettä, että ihmisillä on erilaisia tapoja oppia. Käsitys perustuu informaation lähetys -hypoteesiin, jossa oppiminen katsotaan informaation siirroksi. Jos yksi kanava on tukossa, niin voidaan käyttää toista. Tästä seuraa, että informaatio pitää esittää eri formaateissa, jotta oppija voisi valita hänelle parhaiten sopivan tavan. Multimediaoppimisen teoriaan perustuvat tutkimukset eivät tue edellistä hypoteesia. (Mayer 2009, 119–125.)

Spatiaalisen jatkuvuuden periaate

Opiskelija oppii paremmin, kun toisiinsa liittyvät sanat ja kuvat esitetään kirjan sivulla tai näyttöruudulla lähellä toisiaan (Mayer 2009, 135).

Jos kuvassa ei ole sanoja tai kuvan alla oleva selittävä teksti puuttuu, niin selitystä joudutaan etsimään tekstistä, mikä lisää kognitiivista kuormaa. Jos sen sijaan kuvassa on sanoja, visuaalista etsintää ei tarvita ja kognitiivinen kuorma vähenee. Lisäksi kirjan sivulla tilaa on rajoitetusti, joten sanoman tiivistäminen on tehtävä harkiten. (Mayer 2009, 135–136.) Spatiaalisen jatkuvuuden periaate voidaan johtaa jaetun tarkkaavaisuuden periaatteesta (Ayres & Sweller 2014, 206–207).

Mayerin (2009) mukaan visuaalista etsintää voidaan oleellisesti vähentää, jos

- kuva ja sitä selittävä teksti ovat vierekkäin
- poimitaan tekstistä tärkeitä pieniä lauseita ja muodostetaan niistä kuvan alla oleva selite tai kuvateksti
- tekstistä poimitaan oleellisia sanoja, jotka sijoitetaan itse kuvaan sitä selittämään. (Mayer 2009, 138.)

Edellisen mukaan uusia sanoja ei ole lisätty, mutta asiaan kuuluvat sanat ja kuvat ovat vierekkäin.

Sanojen ja kuvien erottamien perustuu informaation lähetys -hypoteesiin, jota Mayer (2009) epäilee. Hypoteesin mukaan esitysmoodin vaihtelu kuten kuvat, puhe, painettu sana ja saman informaation esittäminen eri aikaan antavat oppijalle useita mahdollisuuksia muistiin tallentamiseen. Tietoa lisätään, ei prosessoida. Oppija on passiivinen, ei aktiivinen. Tämä näkemys on vastakkainen multimediaoppimisen teoriaan nähden. Animaatiossa Mayerin mukaan gra-

fiikka ja teksti pitäisi sijoittaa mahdollisimman lähelle toisiaan. Esimerkiksi 10 kuvan animaatiossa voi teksti olla itse kuvassa, ei kuvan alla. (Mayer 2009, 140.)

Mayer esittää muutamia poikkeuksia: kuvio voidaan ymmärtää ilman sanoja, jos kyseessä on ekspertti ja opittava materiaali on helppoa. Mayer mukaan periaate soveltuu tilanteisiin, joissa opittava materiaali on vierasta ja mutkikasta sekä kuviota on vaikea ymmärtää ilman sanoja. Lisäksi spatiaalisen jatkuvuuden ilmiö näyttäisi ilmenevän voimakkaimmin kirja- kuin tietokoneperusteisessa oppimisympäristössä. (Mayer 2009, 135, 144, 148.)

Ajallisen jatkuvuuden periaate

Opiskelija oppii paremmin, kun toisiinsa liittyvät sanat ja kuvat esitetään yhtä aikaa, ei erikseen (Mayer 2009, 153).

Mayer näkee spatiaalisen ja ajallisen jatkuvuuden välisen ero siinä, kuka kontrolloi prosessointia. Spatiaalisessa jatkuvuudessa opetuksen suunnittelija ei voi kontrolloida mihin lukija katseensa kohdistaa: valitseeko hän ensin tekstin vai kuvat. Sitä vastoin tietokoneperusteisessa animaatiossa materiaalia prosessoidaan sekä silmillä (kuvat) että korvilla (kerronta). Opetuksen suunnittelija voi valita esitetäänkö ensin sanat ja sitten kuvat vai päinvastoin. (Mayer 2009, 160.)

Mayer esittää, että animaatio ja siihen liittyvä selostus on esitettävä samanaikaisesti. Sama koskee sanoja ja kuvia. Samanaikainen esittäminen auttaa integroimaan verbaalisen ja kuvallisen materiaalin ilman, että niitä joudutaan pitämään pitkiä aikoja työmuistissa. Mayer korostaa, että periaate on vähemmän soveltuva, jos opittavan jakson osat ovat pikemminkin lyhyitä kuin pitkiä. Lisäksi ilmiötä ei havaita, jos oppija pystyy kontrolloimaan animaation nopeutta ja kuvien järjestystä. (Mayer 2009, 153–157, 166.)

Oppikirjan analyysiin soveltuvat koherenssi-, opastin- ja spatiaalisen jatkuvuuden periaatteet. PowerPoint-animaatioiden suunnittelussa ovat hyödyllisiä redundanssi- ja ajallisen jatkuvuuden periaatteet.

2.5.4 Keskeinen prosessointi

Keskeisessä prosessoinnissa kuorma voi ylittää kognitiivisen kapasiteetin joko molemmissa kanavissa tai visuaalisessa kanavassa (Mayer 2009, 172). Tällöin ongelmana on, kyetäänkö mentaalisesti organisoimaan ja integroimaan oleellinen materiaali olemassa olevaan tietoon eli oppimaan materiaali. Mayerin ym. (2010, 143–148) mukaan seuraavat kolme periaatetta voivat edistää oppimista: segmentointi, ennakkoharjoittelu ja modaaliteetti.

Segmentointi

Oppiminen on tehokkaampaa, kun multimediasisältö esitetään käyttäjän hallitsemisessa osioissa jatkuvan kokonaisuuden sijaan (Mayer 2009, 175).

Tässä Mayer (2009) korostaa, että vaikean asian selitys kannattaa pilkkoa osiin. Tämä koskee sekä selostettua animaatiota että videota. Sisäistä kuormaa voi-

daan hallita, jos oppija pystyy itse määräämään esitysnopeuden. Mentaaliset representaatiot syntyvät vaiheittain. Periaate soveltuu todennäköisemmin, kun opittava materiaali on mutkikasta, esitysnopeus on suuri ja opittava aihe ei ole tuttu. (Mayer 2009, 175, 185.)

Matematiikassa malliesimerkkien vaiheistus hyödytti eniten oppilaita, joiden esitiedot olivat puutteelliset. Hyvät esitiedot omaavat oppilaat oppivat paremmin vaiheistamattomista malliesimerkeistä. Segmentin on muodostettava koherentti käsitteellinen yksikkö. (Ayres 2006, 287; Mayer 2009, 185, 188.)

Ennakkovalmentautuminen

Multimediasisältö opettaa tehokkaammin, kun oppija tuntee sen keskeiset käsitteet nimeltä ja ominaisuuksiltaan (Mayer 2009, 189).

Suuren sisäisen kuorman voi aiheuttaa opittavan materiaalin mutkikkuus. Mayer (2009) tähdentää, että tutustuminen aiheeseen auttaa rakentamaan säilömuistiin opittavasta materiaalista alkeellisia mentaalimalleja, jolloin uuden materiaalin omaksuminen helpottuu. Soveltuvuus on kuten segmentoitumisperiaatteessa. Hän korostaa oppijan esitietojen merkitystä. Merkittävin yksityinen tieto oppijasta on hänen esitietojensa määrä opittavasta alueesta. Ennakkovalmentautuminen hyödyttää eniten juuri niitä oppilaita, joiden esitiedot ovat vähäisimmät. (Mayer 2009, 193–194.)

Modaliteetti

Kuvista ja puheesta koostuva esitys johtaa syvällisempään oppimiseen kuin kuvista ja painetusta tekstistä koostuva (Mayer 2009, 200).

Low ja Sweller (2014) korostavat jakautunut tarkkaavaisuus -ilmiötä, joka liittyy modaliteettiin. Modaliteetti-ilmiön ennakkoehtona on, että tarkkaavaisuus on jakautunut. Lisäksi ilmiötä ei näy, jos redundanssia ilmenee. Ylimääräiset kirjoitetut ja puhutut sanat kuluttavat työmuistin kapasiteettia ja siten vaikeuttavat oppimista. Kuitenkin jos tekstimuotoinen informaatio on ymmärtämisen kannalta oleellista, saattaa olla hyödyllistä sen esittäminen mieluiten puhuttuna kuin kirjoitettuna. Jakautunut tarkkaavaisuus -ilmiö näkyy silloin, kun kahdesta tai useammasta lähteestä tulevaa informaatiota joudutaan prosessoimaan, jotta ymmärrettäisiin tuleva sanoma. (Low & Sweller 2014, 227, 234.)

Low'n ym. (2014) mukaan työmuistin kapasiteettia voidaan kasvattaa, jos osa tulevasta informaatiosta esitetään visuaalisessa ja osa auditiivisessa muodossa. Kirjoitettu teksti kilpailee kuvan kanssa visuaalisessa kanavassa työmuistin resursseista ennen siirtymistään auditiiviseen kanavaan, mitä ilmentää nuoli kuviossa 2.7 aistikuvat-äännet välillä. Suorituskyky paranee, jos tarkkaavaisuus voidaan jakaa visuaalisen ja auditiivisen kanavan kesken. (Low ym. 2014, 227–228, 233.) Työmuistin kapasiteettirajoitus koskee uutta tietoa, mutta ei säilömuistista tuotua (Kalyuga & Sweller 2014, 248). Kognitiivisessa kuormateoriassa säilömuistin tieto ohjaa työmuistin informaation prosessointia, ja mahdollinen oppiminen on tämän prosessin seuraus.

Low ym. (2014) korostavat, että modaliteetti-ilmio esiintyy silloin, kun asian ymmärtämisen kannalta puhuttu ja kirjoitettu informaation on välttämätöntä. He ohjeistavat: työmuistin kuormitusta voidaan vähentää, jos tekstin sijasta käytetään kerrontaa ja oppija itse voi säätää esityksen nopeutta. Kuitenkaan kahdesta kanavasta ei ole hyötyä, jos informaatio koostuu pitkästä tekstistä, on mutkikasta ja tuntematonta. (Low ym. 2014, 237–239.)

Prosessointi helpottuu, jos informaation fyysinen integrointi tehdään ennen kuin informaatio kohtaa näkö- ja kuuloaistit. Tällöin mentaalista yhdistämistä työmuistissa ei tarvita, tai se helpottuu oleellisesti. (Low ym. 2014, 235.)

Käänteisessä modaliteetti-ilmiossa oppija oppii paremmin tekstistä ja kuvista kuin puhutusta tekstistä ja kuvista. Schnotzin (2014) mukaan teksti pitää esittää kirjoitettuna, koska oppija voi silloin paremmin kontrolloida kognitiivisia prosesseja. Ehtona on, että teksti on vaikeaa, kuvat eivät ole animaatioissa eivätkä liian mutkikkaita. Lisäksi opiskeluun käytettävää aikaa ei ole liikaa rajoitettu. (Schnotz 2014, 91.)

2.5.5 Tuottava prosessointi

Tuottavassa prosessoinnissa kognitiivista kapasiteettia on enemmän kuin keskeinen ja tuottava prosessointi tarvitsee (Mayer 2009, 222). Epäolennainen prosessointi ei edistä ydinasian tai uuden asian ymmärtämistä. Keskeinen prosessointi tapahtuu työmuistissa, ja sen tehtävänä on uuden informaation valinta, jonka tuottava prosessointi organisoii mentaalisesti koherentiksi rakenteeksi ja integroi aikaisempaan tietoon. Tuottava prosessointi lisää rakentavaa kuormaa, jota tarvitaan skeemojen muodostamiseen ja niiden automatisointiin. (Moreno & Mayer 2010, 153.) Tuottavaan prosessointiin kuuluvat multimedia-, persoonointi, ääni- ja kuvaperiaate.

Multimediaiperiaate

Sanojen ja kuvien yhdistelmä opettaa tehokkaammin kuin pelkät sanat (Mayer 2009, 223).

Moreno ym. (2010) viittaavat multimediaoppimisen teoriaan, jonka mukaan syväoppiminen edellyttää sellaista kognitiivista toimintaa, joka koostuu

- relevantin informaation valinnasta oppimateriaalista
- informaation mentaalisesta organisoimisesta koherentiksi rakenteeksi ja
- näin syntyneen uuden muokatun informaation integroinnista olemassa olevaan tietoon. (Moreno ym. 2010, 154.)

Tässä yhteydessä Mayer (2009) korostaa sitoutumista. Oppijalla voi olla työmuistissa vapaata kapasiteettia, mutta motivaatio puuttuu. Multimediaesityksen tarkoituksena on edistää tuottavaa prosessointia, koska silloin on työmuistissa yhtä aikaa sekä kuvallinen että sanallinen esitys. (Mayer 2009, 224.)

Teoreettisesti tässä on kysymys verbaalisen ja visuaalisen mentaalimallin yhdistämisestä. Multimediaailmiöstä seuraa modaliteetti-ilmio, ei päinvastoin. Ilmiö vai periaate? Mayer (2009) käyttää käsitettä periaate ja Schnotz (2014) käsitettä ilmiö. Esitysformaatti (sanat ja kuvat vai pelkästään sanat) vaikuttaa ihmisen oppimiseen ja synnyttää modaliteetti-ilmion, jossa informaatio saadaan kahta aistikanavaa pitkin (näkö ja kuulo).

Onko sanojen ja kuvien informaatioarvo sama? Mayerin (2009) mukaan vastaus on myönteinen, jos uskoo informaation lähetys -hypoteesiin, mutta kielteinen, jos uskoo multimediaoppimisen teoriaan. Hän tähdentää, että sanat ja kuvat ovat kaksi kvalitatiivisesti erilaista tiedon representaatiojärjestelmiä. Jos tieto ajatellaan hyödykkeeksi, joka toimitetaan sanojen ja kuvien välityksellä ihmisen muistiin, niin jommankumman lisääminen esitykseen ei tuo mitään uutta talletettavaa. Tällöin kuvien lisääminen tekstiin lisää vain turhaa prosessointia. Informaation formaatin muutoksesta ei ole mitään hyötyä. Opettaja jakaa tietoa, ja oppilas tallettaa sen säilömuistiinsa. (Mayer 2009, 227.) Koska kysymyksessä on Mayerin näkemys, niin voisi olettaa, että hän pohdiskelee asiaa opetuksen suunnittelun näkökulmasta.

Noviisi hyötyy multimediaperiaatteesta enemmän kuin ekspertti. Ekspertille hyöty on vähäisempää, koska asiaankuuluvat skeemat ohjaavat verbaalisen informaation ymmärtämistä, jota lisätty visuaalisuus ei lisää. Noviisi tarvitsee enemmän ohjausta, kun yhdistetään kuvallista ja verbaalista informaatiota. Syynä voi olla, että oppijan tiedot aihepiiristä ovat vajaat tai hänen spatiaalisessa kyvykkyydessä on puutteita. (Moreno ym. 2010, 157; Mayer 2009, 223.)

Personointi-, ääni- ja kuvaperiaate

Multimediaesitys opettaa tehokkaammin, kun siinä käytetty kieli on kirjakielen sijaan puhetyylistä (Mayer 2009, 242).

Ihmisiäni kertojana on oppimisen kannalta tehokkaampi kuin koneääni (Mayer 2009, 242).

Puhujan kuvan esittäminen ruudulla ei välttämättä paranna oppimista (Mayer 2009, 242).

Personointiperiaate. Synnytetään oppilaassa tunne, että hän on osa oppimisympäristöä, ei havainnoija. Oppijan on koettava viestintä henkilökohtaisena. Periaatetta voidaan käyttää, jos oppija on aloittelija. Lisäksi periaate on tehokkain, kun sitä ei sovelleta liikaa. (Mayer 2009, 242.)

Ystävällinen ihmisääni vastakohtana koneäänelle. Ideana on, että koetaan jonkun puhuvan suoraan kuuntelijalle. Mayerin (2009) mukaan toistaiseksi tutkimustuloksia on vähän, ja ongelmaksi voi nousta tunne puhuvan äänen aidosta läsnäolosta. Hän myös korostaa sosiaalisen vuorovaikutuksen tärkeyttä opetuksessa. *Kuvaperiaatteessa* on kysymys animoidusta agentista näytöllä eli ”puhuvasta päästä”. Esitutkimusten perusteella näyttäisi siltä, että puhujan kuvan lisääminen näytölle ei välttämättä edistä multimediaoppimista siinä määrin

kuin voisi olettaa. Tosin näytöllä oleva henkilö voi toimia ikään kuin osoitin, mutta näyttöä hyödyllisyydestä on vähän. (Mayer 2009, 255–261.)

Edellä mainittujen lisäksi on *ohjatun vuorovaikutuksen periaate*, joka johtaa syvempään ymmärtämiseen, mitä passiivinen prosessointi vastaavan materiaalin kanssa ei tee. Säännöt ja periaatteet opitaan paremmin ohjauksen alaisena kuin pelkästään keksimällä (*pure-discovery methods*). Kun ohjaus puuttuu, oppija voi tuskastua, ja pahimmillaan ennakkokäsitykset vahvistuvat. Lisäksi ohjauksen puute kuluttaa työmuistin kapasiteettia, joka on tarpeen, kun uusia skeemoja rakennetaan. (Moreno ym. 2010, 160–163.)

Viimeisenä ovat *palaute- ja reflektointiperiaatteet*. Palautteen pitäisi sisältää sekä oikein/väärin-ilmaisun ja lisäksi selityksen. Johonkin periaatteeseen (esim. N2. laki) perustuva selitys edistää skeemojen muodostumista. Lisäksi selittävä palaute parantaa suorituskkyä, mikä puolestaan lisää motivaatiota, sitouttaa tehtävän suorittamiseen ja lisää sinnikkyyttä. (Moreno ym. 2010, 163–166.)

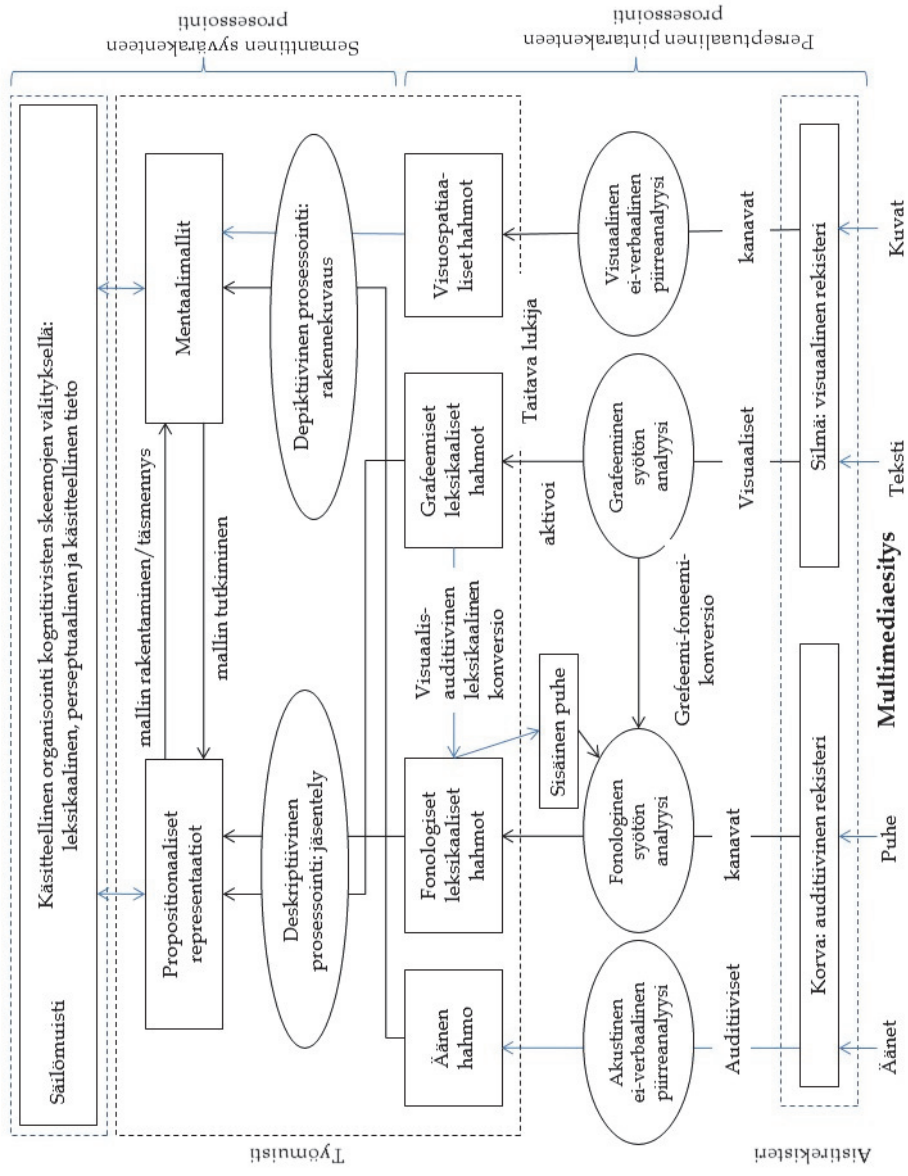
Moreno ym. (2010) korostavat merkityksellistä oppimista. Sitä edistää, jos oppijaa ohjataan refleктоimaan omia oikeita vastauksiaan. Tämä perustuu ajatukselle, että jos multimediaoppimisessa ympäristö ohjaa aktiivisesti ja antaa palautetta, niin syvälinen oppiminen riippuu siitä, missä määrin oppija suuntaa kognitiivisia resurssejaan reflektoidakseen toimiaan ja palautetta. Tästä on esimerkkinä malliesimerkki, jonka reflektointi edistää oppimista. (Moreno ym. 2010, 166–169.)

2.5.6 Multimediaoppimisen integroiva malli

Seuraavassa käytetään multimediaoppimisen integroivasta mallista lyhennettä ITPC-malli (*Integrative Model of Text and Picture Comprehension*). Se yhdistää käsitteitä Atkinsonin ja Shiffrin (1968) muistin monivarastomallista, Baddeleyn (1986, 2000) työmuistimallista ja Paivion (1986) kaksoiskoodauksesta. Malli integroi tekstin ja kuvien ymmärtämiseen liittyvät monet mentaaliset representatiot (Kosslyn 1994, van Dijk & Kintsch 1983) ja sanojen tunnistamiseen ja lukemiseen liittyvät neuropsykologiset mallit (Ellis & Young 1996). Seuraavassa kuvaan ITPC-mallia Horzin ja Schnotzin (2010) ja Schnotzin (2014) esittämien ajatusten perusteella.

Termi multimedia merkitsee eri asioita eri tasoilla. Schnotz (2014) erottaa kolme tasoa: teknologinen, esityksen formaatti ja aistimodaliteetti. Teknologisella tasolla informaatiota voidaan välittää tietokoneen näytön, valkokankaan, kaiuttimien tai näiden yhdistelmien välityksellä. Esityksen formaatti voi olla kuva tai teksti tai näiden yhdistelmä. Informaatio siirtyy aivoihin joko silmien tai kuulon tai näiden yhtäaikaisen toiminnan välityksellä. (Schnotz 2014, 72.)

Schnotz (2014) jakaa myös informaation käsittelyn perseptuaaliseen ja kognitiiviseen osaan. Perseptuaalisella tasolla aistikanavassa prosessointi siirtää tietoa ympäristöstä työmuistiin, jossa kognitiivinen prosessi muokkaa informaatiota verbaalisessa ja piktoraalisessa kanavassa. Informaatiota vaihdetaan työmuistin ja säilömuistin välillä. (Schnotz 2014, 72.) Hän tiivistää ITPC-mallin oletukset seuraavasti (vrt. kuvio 2.8):



KUVIO 2.8

Multimediaoppimisen integroiva malli (*Integrative Model of Text and Picture Comprehension, ITPC*) (Schnotz 2014, 83–87)

- Kognitiivinen arkkitehtuuri koostuu kolmesta osasta. Mentaalispesifiset aistirekisterit muodostavat syöttösystemin, jolla on suuri kapasiteetti ja lyhyt kesto. Kaksi muuta ovat työmuisti ja säilömuisti. Edellisen kapasiteetti ja aika ovat rajoitetut ja jälkimmäisen rajoittamattomat.
- Kirjoitettu tai puhuttu teksti muodostaa verbaalin informaation, kuvat tai äänikuvat kuvallisen informaation. Molemmat informaation muodot siirtyvät joko visuaalista tai auditiivista kanavaa pitkin työmuistiin. Molempien kanavien informaation prosessoinnin ja siirron kapasiteetti on rajoitettu.
- Semanttinen prosessointi tapahtuu kahdessa alisysteemissä: deskriptiivisessä ja depiktiivisessä. Puhuttu tai kirjoitettu teksti siirtyy deskriptiiviseen prosessointiin, visuaaliset ja auditiiviset kuvat depiktiiviseen prosessointiin.
- Tekstin ja kuvan ymmärtäminen on aktiivinen prosessi, jossa yhdistetään verbaalinen ja piktoraalinen informaatio aikaisempaan tietoon koherentiksi rakenteeksi. (Schnotz 2014, 83.)

Kuvion 2.8 vasen puoli kuvaa deskriptiivistä ja oikea puoli depiktiivistä representaatioiden haaraa. Visuaalinen kanava jakautuu kahteen osaan. Toisessa osassa tapahtuu grafeeminen analyysi ja toisessa ei-verbaalinen visuaalinen piirreanalyysi. Vastavalla tavalla auditiivisessa kanavassa ei-puhutusta äänestä analysoidaan ei-verbaaliset piirteet ja toisessa kanavassa puhutusta tekstistä fonologiset piirteet eli hahmotetaan äänteet: mistä tavuista tai äänneistä puhuttu sana muodostuu.

Horz ja Schnotz (2010) sekä Schnotz (2014) kuvaavat prosessia seuraavasti: Deskriptiivinen representaatio koostuu kirjoitusmerkeistä eli grafeemeista. Kirjoitusmerkkien järjestys määrää, mitä ne esittävät, ja järjestys on tulkittava. Kirjoitetun tekstin informaatio siirtyy aistirekisteriin ja edelleen visuaaliseen kanavaan. Sanan tunnistaminen tapahtuu grafeemien muodostaman hahmon perusteella ilman merkitystulkintaa. Analyysin (tunnistaminen) tulos siirtyy työmuistissa osaan, jossa ovat grafeemiset leksikaaliset hahmot. Tämän jälkeen näiden hahmojen prosessointi voi siirtyä suoraan verbaaliseen kanavaan, jossa tapahtuu deskriptiivinen semanttinen prosessointi. Tuloksena on propositionaalinen representaatio, joka laukaisee mentaalimallin rakentamisen tai sen yksityiskohtien täsmennyksen. (Horz & Schnotz 2010, 232, 235, 236; Schnotz 2014, 84–85.)

Horz ja Schnotz (2010) korostavat informaation esitysmuodon erilaisuutta. Depiktiivinen esitys koostuu kuvista kuten valokuvista, piirroksista, pylväsgraafiikasta ja kartoista. Nämä koostuvat ikoneista, jotka muistuttavat esikuvaansa. Informaatio voidaan suoraan lukea ulkoisesta representaatiosta. Kuvien ja tekstin merkkisysteemit ovat erilaiset. Perseptuaalinen prosessointi sisältää graafisten olioiden tunnistamisen ja erottelun sekä niiden hahmolakien mukaisen visuaalisen järjestämisen. Tämä representaatioformaatin ero on integroivan mallin ydin. (Horz & Schnotz 2010, 232, 235, 236.)

Ensivaiheessa Horzin (2010) mukaan ulkoisesta kuvasta muodostuu visuaaliseen rekisteriin aistikuva. Piirteet analysoidaan visuaalisessa kanavassa ja siirretään visuaaliseen työmuistiin, johon muodostuu kuvan perseptuaalinen representaatio. Tämä osa työmuistista vastaa Baddeleyn työmuistimallissa visuospatiaalista muistilehtiötä. Skeemat ohjaavat mentaalimallin rakentamista. Graafiset oliot (vino suora) kuvataan mentaaliksi olioiksi ("nopeus ajan hetkellä t ") ja sanallinen relaatio "jyrkempi kuin" muuttuu semanttiseen muotoon "nopeampi kuin". Ulkoisen kuvan ymmärtäminen on analoginen rakenteen kuvaus, joka muodostetaan visuospatiaalisen relaatioiden muodostaman systeemin ja semanttisten relaatioiden systeemien välille. Abstraktien loogisten kuvien ja diagrammien ymmärtäminen edellyttää alakohtaisia skeemoja. (Horz & Schnotz 2010, 234–236.)

Äänikuvan informaatio kulkee auditiivisen kanavan läpi, jossa sitä analysoidaan. Tuloksena on auditiivisessa työmuistissa oleva sisäinen äänen representaatio, joka ohjataan piktoraaliseen kanavaan. Top-down-aktivaatiossa eli skeemalähtöisessä aktivaatiossa prosessoinnin lähtökohtana ovat sisäiset mallit, jotka ohjaavat aistielimiin tulevan informaation käsittelyä. Sitä vastoin bottom-up-aktivaatiossa prosessoinnin lähtökohtana ovat havainnot. Molempia tarvitaan, jos ärsyke on epäselvä. (Horz ym. 2010, 234–236.)

Tekstin ymmärtämisessä on kolme vaihetta (Horzin ym. 2010): mentaalisen representaation konstruointi tekstin pintarakenteesta, semanttisen sisällön propositionaalisen representaation luominen (tekstikanta) ja lopuksi tekstikannan pohjalta käsiteltävän aiheen mentaalimallin rakentaminen. Bottom-up-aktivaation synnyttämä subsemanttinen prosessointi saa aikaan pintatekstirakenteen, joka on koherentin propositionaalisen representaation lähtökohtana. Top-down aktivaatio valitsee oleellisen informaation ja organisoii sen työmuistiin koherentiksi pintatekstirakenteen mentaaliseksi representaatioksi. Propositionaalinen representaatio puolestaan käynnistää mentaalimallin rakentamisen. Ohjaavina rakenteina he pitävät kognitiivisia skeemoja, jotka säätelevät propositionaalisten representaatioiden ja mentaalimallien välistä vuorovaikutusta. Kun mentaalimalli on valmis, siitä voidaan skeema-vetoisilla prosessilla saada uutta informaatiota, joka koodataan propositionaaliseen muotoon ja siten tarkentaa propositionaalista representaatiota. (Horz ym. 2010, 234–236.)

Tekstin ymmärtämisen lähtökohta vuorovaikutuksessa on propositionaalinen representaatio, kuvien ymmärtämisessä mentaalimalli.

Horz ym. (2010) korostavat ITPC-mallissa tekstin ja kuvien ymmärtämisen epäsymmetrisyyttä. Oppimisympäristössä grafiikka vaikuttaa mentaalimalliin suoraviivaisemmin kuin teksti. Sitä vastoin teksti vaikuttaa propositionaaliseen representaatioon suoraviivaisemmin kuin grafiikka. Heidän mukaan tästä seuraa, että oppimistavoitteen päämäärä, mentaalimalli vai propositionaaliset representaatiot, määrää lisätäänkö rakentavaa kuormaa painottamalla grafiikkaa vai tekstiä. (Horz ym. 2010, 235.)

Taulukoon 2.3 on koottuna multimediaoppimiseen liittyvien tutkimustulosten efektikoot, jotka osoittavat multimediaoppimisen helpottavan oppimista. Ryhmien välisen eron mittana on käytetty efektikokoa, jota mitataan Cohenin

(1988) *d*:llä. Testauksessa käytettiin sekä retentio- että transfer-testejä. Retentio-testissä testattavan pitää kirjoittaa kaikki, mitä muistaa esitetystä asiasta, ja transfer-testissä on vastattava muutamaaan kysymykseen, jotka testaavat asian ymmärtämistä.

Tarkastellaan esimerkkinä koherenssiperiaatetta. Kontrolliryhmä ei saanut käsittelyä, mutta koeryhmän esitykseen lisättiin ylimääräisiä sekä mielenkiintoisia sanoja ja/tai kuvia (koherenssi 1), musiikkia tai ääniä (koherenssi 2). Viimeisessä koesarjassa kontrolliryhmä luki lyhyen yhteenvedon käsitellystä aiheesta, josta ilmenivät syy-seuraus-ketjut. Koeryhmän tekstissä olivat samat sanat ja kuvat, mutta siihen oli lisätty ylimääräistä tietoa asianomaisesta aiheesta (koherenssi 3). Kaikkiaan testejä oli 14 kpl, ja jokaisesta testistä laskettiin efektikoko. Näiden 14 testin efektikokojen mediaani oli 0,97. Kaikissa näissä testeissä kontrolliryhmän (ei ylimääräistä informaatiota) transfer-testin tulos oli parempi kuin koeryhmän.

TAULUKKO 2.3 Multimediaperiaatteiden efektikoot suuruusjärjestyksessä. Merkintä *x/y* tarkoittaa, että on tehty *y* tutkimusta, joista *x*:ssä multimediaperiaatetta soveltavan ryhmän transfer-testin tulos oli parempi

Multimediaperiaate	Testit	Efektikoko	Tulkinta
Multimedia	11/11	1,39	suuri
Ajallinen jatkuvuus	8/8	1,31	suuri
Spatiaalinen jatkuvuus	5/5	1,19	suuri
Personointi	11/11	1,11	suuri
Modaliteetti	11/11	1,02	suuri
Segmentointi	3/3	0,98	suuri
Koherenssi	14/14	0,97	suuri
Ennakkovalmentautuminen	5/5	0,85	suuri
Ääni (ihminen/kone)	3/3	0,78	keskisuuri
Redundanssi	5/5	0,72	keskisuuri
Osoitin	5/6	0,52	keskisuuri
Puhuva pää näytössä	5/5	0,22	pieni
	Mediaani	0,975	suuri
Palaute ¹⁾	4/?	1,24	suuri
Ohjattu toiminta ¹⁾	4/?	0,83	suuri
Reflektointi ¹⁾	4/?	0,77	keskisuuri
	Mediaani	0,83	suuri

Huom: Lähde: Mayer (2009, 267–268); 1) Moreno & Mayer (2010, 162, 164, 168)

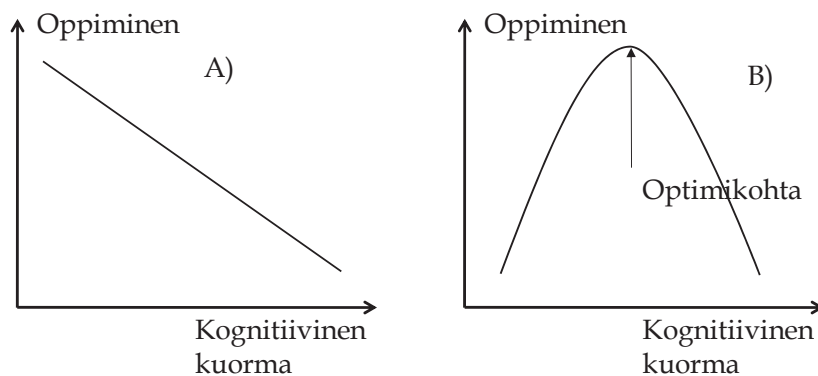
Palautteen, ohjatun toiminnan ja reflektoinnin periaatteita ei ole vielä tutkittu riittävästi, joten efektikokoihin on suhtauduttava varovasti. Tutkimusta tehdään paljon, mutta koeasetelmien on oltava huolellisesti suunniteltuja. Sen sijaan multimedia-, personointi-, modaliteetti- ja koherenssiperiaatteita on tutkittu paljon, ja tuloksiin voi luottaa.

Yhteenveto

Brünken, Plass ja Moreno (2010) väittävät, että kognitiiviselta kuormateorialta puuttuu informaation prosessoinnin teoreettinen käsitteellistäminen ja se, miten tieto esitetään. He pitävät ITPC-mallia edistyksellisempänä, koska mallissa tehdään täsmällisemmät oletukset mentaalisten representaatioiden syntyprosesseista. Mutta edellä mainitut tutkijat myöntävät, että kognitiivisen kuorman, siihen liittyvien prosessien ja mentaalisten representaatioiden välinen suhde on epäselvä. (Brünken, Plass & Moreno 2010, 258.) Sekä kognitiivinen kuormateoria että multimediaoppimisen teoria ovat molemmat kvalitatiivisen tason teorioita siinä mielessä, että niiltä puuttuu kognition rakenteen konkretisointi. Ilmiöiden kuvailussa käytetään käsitteitä representaatio, tietorakenne, skeema, elementti ja mentaalimalli, joiden perusteella kognition laskennallinen mallintaminen ei ole mahdollista. Tässä tutkimuksessa ei käsitellä laskennallista mallintamista.

2.5.7 Kognitiivisen kuormateorian ja multimediaoppimisen teorian kritiikkiä

Brünken, Plass ym. (2010) kritisoivat, että oppimisessa kognitiivinen kuormateoria ei erottele selkeästi toisistaan perseptuaalisia, tarkkaavaisuuteen ja työmuistiin liittyviä prosesseja. He osuvat asian ytimeen, kun myöntävät, että työmuistin arkkitehtuurista ja sen merkityksestä kognitiiviseen kuormaan ei ole tarkkoja oletuksia. Lisäksi heidän mielestään on epäselvää, mikä vaikutus kognitiiviseen kuormaan on motivaatiolla, tunteisiin liittyvillä ja metakognitiivisilla tekijöillä. (Brünken, Plass ym. 2010, 261–262.)



KUVIO 2.9 Kognitiivisen kuorman vaikutus oppimiseen

Tämän tutkimuksen tekijän kokemuksen perusteella yleinen käsitys on, että tehtävän helpottaminen edistää oppimista. Mutta kuten luvuissa 2.4.4 ja 2.4.5 esitettiin, oppijan esitiedot vaikuttavat asiaan. Kuviossa 2.9 osassa A kognitiivisen kuorman lisääminen heikentää oppimista. Brünken, Plass ym. (2010) esittä-

vät mallia, jossa kuvaaja ei ole lineaarinen, vaan käännetyn U-kirjaimen muotoinen kuten kuviossa 2.9 B. Kullakin oppijalla on hänelle sopiva kuorma. Alhainen kuorma haittaa, mutta kuorman lisääminen parantaa oppimista kunnes saavutetaan optimikohta. Sen jälkeen kuorma ylittää oppijan kognitiivisen kapasiteetin, ja oppimisen tehokkuus laskee kuorman lisääntyessä. (Brünken, Plass ym. 2010, 255.)

Brünkenin ja Plassin ym. (2010) mielestä ulkoisen ja rakentavan kuorman määritelmät ovat kehämäisiä. Tästä seuraa, että ne eivät pysty selittämään ja ennustamaan oppimista. Jos tutkimus osoittaa, että oppimistulokset eivät tyydytä, niin syynä on puutteellisen opetuksen suunnittelun aiheuttama ulkoinen kuorma. Jos taas oppimistulokset ovat hyviä, niin syynä on ulkoisen kuorman väheneminen ja rakentavan kuorman kasvaminen, vaikka ulkoista kuormaa ei ole edes mitattu. (Brünken, Plass ym. 2010, 257.) Edellä mainitut tutkijat kiinnittävät huomiota myös mielenkiintoiseen ongelmaan: mikä vaikutus on lisätyllä kuvalla kognitiiviseen kuormaan? He myöntävät, että kuvan vaikutusta oppimiseen ei pystytä vielä selittämään. Vähentääkö kuvan lisääminen kognitiivista kuormaa, lisääkö se rakentavaa kuormaa vai vähentääkö se ulkoista kuormaa? Yksi vaihtoehto on, että kuvan lisääminen helpottaa mentaalisen representaation rakentamista. (Brünken, Plass ym. 2010, 260.)

Clark ja Feldon (2014) kohdistavat kritiikkinsä tietokoneen avulla tapahtuvaan opetukseen. Heillä käsite multimedia tarkoittaa tietokoneen kykyä tarjota sekä realistinen että hyvin rakennettu auditiivinen ja visuaalinen esitys, joka koostuu tekstistä, kuvista, animaatioista ja videoista. Lisäksi oppija voi olla vuorovaikutuksessa tietokoneen kanssa. He eivät ole vakuuttuneita siitä, että multimedia/-median

- parantaa oppimista enemmän kuin opettaja, oppikirja tai televisio
- motivoi enemmän kuin muut opetukseen käytetyt mediat
- käyttämät animoidut pedagogiset hahmot edistävät oppimista
- maksimoi oppimisen sovittamalla oppimistyylin oppilaan mukaan
- hyödyttää enemmän eksperttiä kuin noviisia, jonka esitetietojen lähtötaso on keskinkertainen
- tarjoaa oppijalle mahdollisuuden määrätä opiskeltavan aineksen järjestystä ja sisältöä
- edistää kriittistä ja korkeamman tason ajattelua
- edistää rikkaassa informaatioympäristössä satunnaista oppimista
- edistää vuorovaikutusta
- tekee mahdolliseksi autenttiset aktiviteetit ja oppimisympäristöt. (Clark & Feldon 2014, 151–165.)

Clark ja Feldon (2014) viittaavat jokaisen aikakauden kommunikaatioteknologiaan, jonka tarkoituksena oli edistää oppimista ja motivoida opiskelijaa. Tällaisia teknologioita olivat radio, elokuva, televisio, älypuhelin ja tietokone. Kuvaavaa on heidän toteamuksensa

Uudet teknologiat vaikuttavat houkuttelevan aina äänekkään kannattajajoukon, joka ei tunne aikaisempia virheitä ja on täten altis toistamaan niitä (Clark & Feldon 2014, 167).

Lisäksi he ihmettelevät

- - - onko kannattavaa investoida kalliiden multimediaopetusohjelmien kehittämiseen, vaikka halvemmat viestimet tarjoaisivat samat oppimishyödyt (Clark & Feldon 2014, 153).

Seuraavassa luvussa tarkastellaan esimerkkinä vuorovaikutuskaavion muokkausta voimakuvioksi. Prosessissa sovelletaan edellä kuvattua teoreettista viitekehystä.

2.5.8 Vuorovaikutuskaavion muokkaus voimakuvioksi

Opiskelun tarkoituksena on opittavan materiaalin ymmärtäminen. Mayerin (2009) mukaan kognitiivisen prosessin tuloksena pitäisi olla koherentti representaatio. Hän korostaa, että aktiivinen opiskelu on mentaalimallin (tai tietorakenteen) rakentamista. Rakennetussa *mentaalimallissa* (korostus Mayerin) ovat esitetyn oppimateriaalin avainosat ja niiden väliset relaatiot. Lisäksi hän tähdentää materiaalin oppimista ohjaavaa merkitystä. (Mayer 2009, 67–69.) Seuraavassa sovelletaan teoreettista viitekehystä fysiikan oppikirjan esimerkkiin. Välivaiheet kuvataan propositionaalisilla verkoilla teoreettisen viitekehysten mukaan.

Kun kappaleen liiketila ja/tai muoto muuttuu, niin ilmiötä selitetään käsitteellä vuorovaikutus. Vuorovaikutuksessa

- kaksi kappaletta vaikuttavat toisiinsa
- vaikutukset havaitaan molemmissa kappaleissa yhtä aikaa

Vuorovaikutukset voidaan luokitella syntymekanismien perusteella gravitaatio-, sähkömagneettinen, vahva ja heikko vuorovaikutus, ja ne aiheuttavat joko työntöjä tai vetoja. Luokittelun perusteena voivat olla myös ominaisuudet, jolloin puhutaan kosketus- ja etävuorovaikutuksista.

Dynamiikkaan liittyy kaksi vuorovaikutusta koskevaa lakia:

Dynamiikan peruslaki eli N2. laki: Kappaleeseen vaikuttava kokonaisvoima F antaa kappaleelle, jonka massa on m , kiihtyvyyden a siten, että $\Sigma F = ma$.

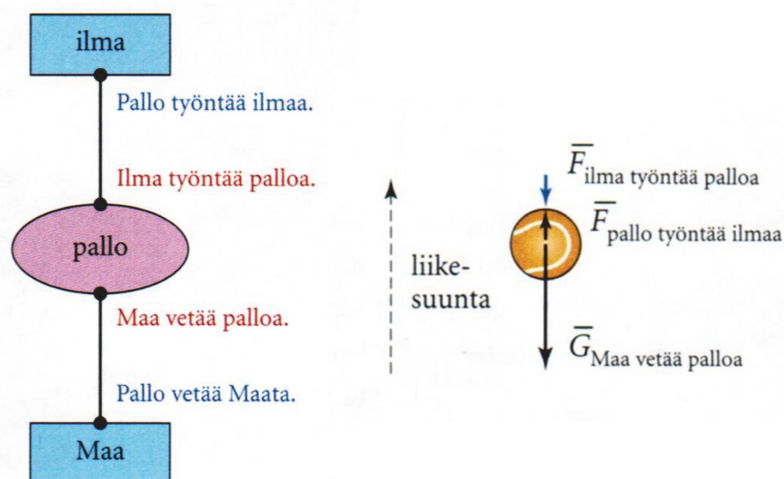
N3. laki: Kahden kappaleen vuorovaikutuksesta syntyvät voima ja vastavoima, jotka ovat yhtä suuret ja kohdistuvat eri kappaleisiin.

Vuorovaikutuskaavion propositionaalinen verkko

Työmuistin kapasiteetti on rajallinen sekä määrällisesti että ajallisesti. Kaikkea tulevaa informaatiota ei ole mahdollista prosessoida. Tarkkaavaisuus pitää

kohdistaa vain kuvion tärkeimpiin osiin ja niiden välittömässä läheisyydessä olevaan tekstiin (*koherenssi*). Tästä seuraa, että kuvio ei saa olla mutkikas, vaan siinä saa olla vain tärkein informaatio. Kuvion laatijan on suunnattava oppijan tarkkaavaisuus opittavan asian kannalta vain oleelliseen. Näin tapahtuu vuorovaikutuskaaviossa. Kun kuviossa on vain oleellinen tieto, niin tärkeän tiedon valinta informaatiovirrasta helpottuu.

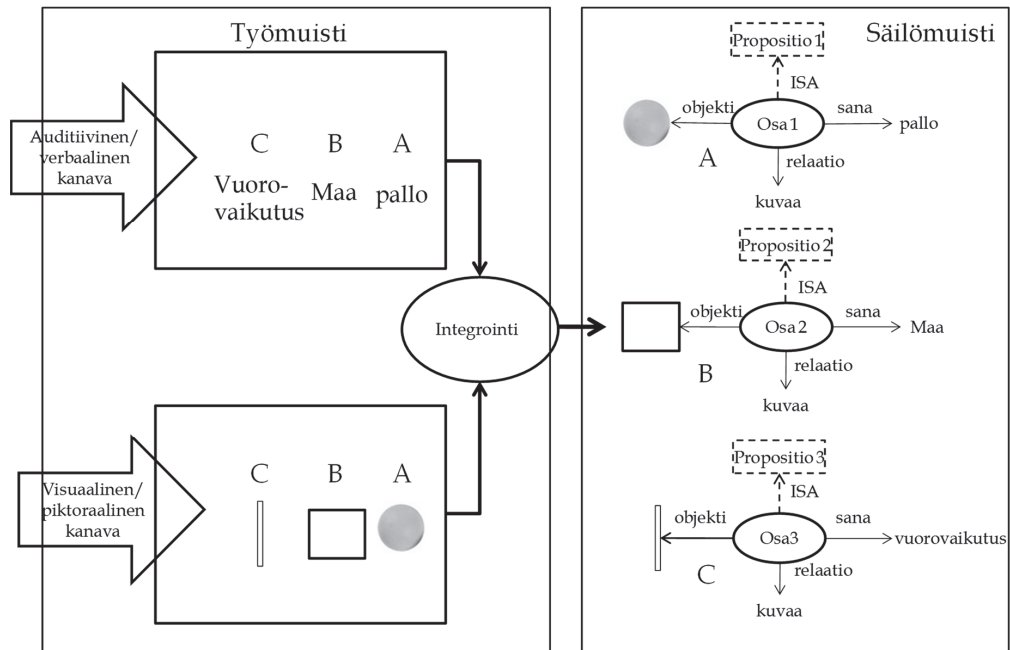
Tarkastellaan seuraavassa kuvion 2.10 perusteella voimakuvion muodostumista. Kuvioissa, mikäli kysymyksessä ovat kappaleet, kappaleiden välistä vuorovaikutusta kuvataan niitä yhdistävällä vuorovaikutusviivalla. Vuorovaikutuksen voimakkuus ilmaistaan käsitteellä voima, joka on vektorisuure. Sillä on sekä suunta että suuruus, ja voimakuviossa sitä esittää nuoli.



KUVIO 2.10 Vuorovaikutuskaavio ja siitä johdettu voimakuvio (Physica 1 2004, 84)

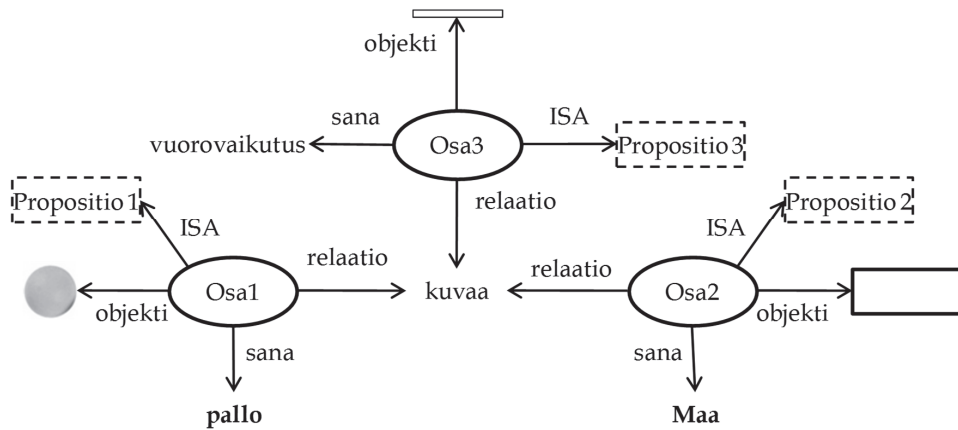
Ulkoisesta representaatiosta muodostuu työmuistiin valinnan ja organisoinnin jälkeen mentaalinen representaatio. Kun vuorovaikutuskaavio on yksinkertainen, niin siitä muodostuva mentaalimalli on mahdollisesti myös yksinkertainen.

Kuviossa 2.11 on Physica 1:n sivulla 84 olevan kuvan vasemman puoleisen kuvion objektien "pallo", "Maa" ja niitä yhdistävän vuorovaikutusta kuvaavan "viivan" muunnos propositioksi kuvioiden 2.2, 2.7 perusteella. Vuorovaikutuskaavion tekstistä on helppo muodostaa kolmen sanan mittaisia propositioita. Sama koskee voimakuviossa olevia voimavektorin alaindeksinä olevia lauseita. Oletetaan seuraavassa, että opettaja puhuu ja piirtää tai esittää PowerPoint-animaation, jossa vuorovaikutuskaavion osat tulevat esille yksi kerrallaan: ensin pallo ja samalla lausutaan sana "pallo" tai animaatiossa ilmestyy pallon sisään teksti "pallo". Sama toistetaan muiden elementtien kohdalla, jolloin saadaan kolme propositiota A, B ja C.



KUVIO 2.11 Propositiot Osa 1, Osa 2 ja Osa 3

Edellinen vaihe voidaan toistaa, jolloin saadaan kuvion 2.12 mukainen käsitteitä ja olioita toisiinsa liittävä propositionaalinen verkko, jossa yhdistävänä osana on termi "kuvaa".



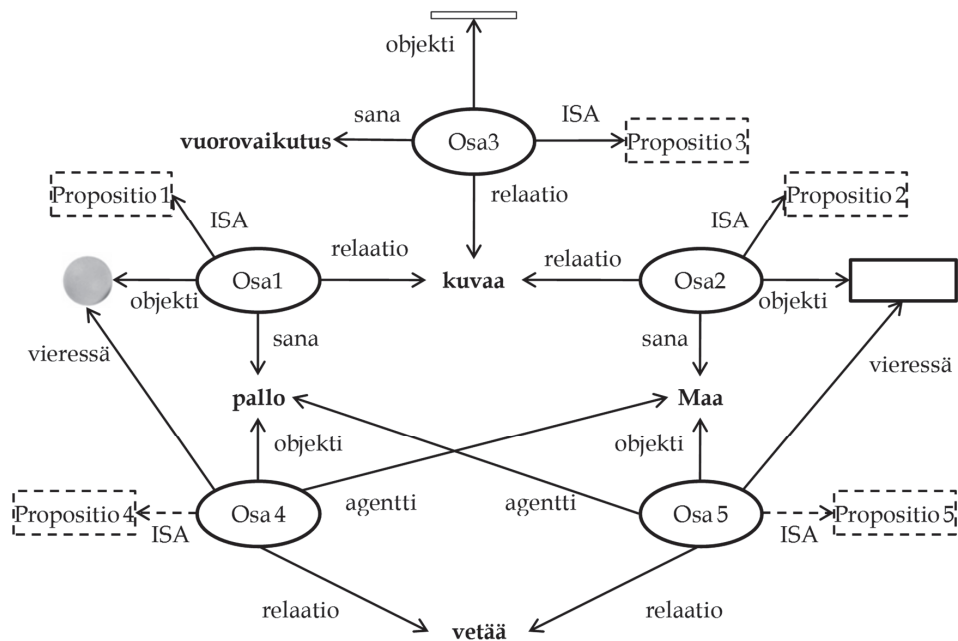
KUVIO 2.12 Kolmen proposition muodostama verkko

Vuorovaikutuskaaviossa elementtien vieressä on lyhyt lause muotoa "Maa vetää palloa" ja "Pallo vetää maata". Opettaja voi kirjoittaa piirroksessa pallon viereen lauseen "Maa vetää palloa" tai sama lause ilmestyy animaatiossa pallon viereen. Kun tarkkaavaisuus kohdistetaan elementteihin "Pallo" ja "Maa", niin

nämä elementit ja niihin liittyvät propositiot muodostavat aikaisemman tiedon, johon uusi tieto "Maa vetää palloa" ja "Pallo vetää Maata" liitetään.

Puhuttu menee suoraan auditiiviseen kanavaan, kirjoitettu kierrätetään visuaalisen kanavan kautta. ITPC-mallissa visuaalinen kanava jakautuu kahdeksi osaksi, joista toiseen menee kuva ja toiseen teksti. Koska teksti on yksinkertaista, niin sanat voivat mennä suoraan semanttiseen prosessointiin ja muodostaa propositionaalisen esityksen sekä liittyä kuvaan mentaaliseksi malliksi. Grafeemit tulkitaan ja analysoidaan ennen kuin niistä muodostetaan propositionaalinen esitys. Puhuttu teksti menee tässäkin mallissa suoraan auditiiviseen kanavaan.

Integrointia varten säilömuistista on haettava työmuistiin propositio Osa1, jonka objekti "pallo" on tarkkaavaisuuden fokuksessa. Työmuistissa tähän liitetään muodostettava uusi propositio Osa4, jossa on paikkaa ilmaiseva määritteet, ja joka ilmoittaa, mihin kohtaan vuorovaikutuskaaviossa propositio Osa4 "Maa vetää palloa" sijoitetaan. Sama toistetaan propositiolla Osa2, johon liittyy Osa5. Vuorovaikutuskaaviossa lause "Maa vetää palloa" voidaan kuvata siten, että koko lause korvataan symbolilla G, mutta selitetään alaindeksin tekstillä, mistä vuorovaikutuksesta tämä voima syntyy. Voidaan ajatella, että prosessin tuloksena kuvioista 2.12 muodostuu nyt kuvion 2.13 kaltainen propositionaalinen verkko.



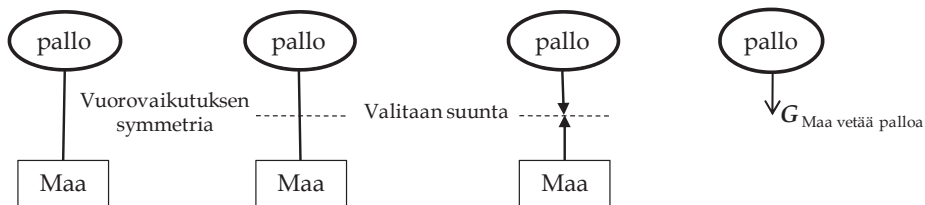
KUVIO 2.13

Kuvioon 2.12 liitetyt propositiot "Maa vetää palloa" ja "Pallo vetää Maata". Edellinen sijoittuu kuviossa pallon viereen ja jälkimmäinen Maata kuvaavan suorakaiteen viereen.

Kun tulevan visuaalisen ja verbaalisen informaation esitystapa on jo lyhyttä, ja valintavaiheessa ei ole turhia sanoja, niin mentaalimallin muodostaminen on helpompaa (*koherenssiperiaate*). Ulkoinen kuorma on vähäisempää, koska tärkeimmät sanat ovat jo tulevassa informaatioissa eikä sanavalintaan tarvitse fokusoida tarkkaavaisuutta liian paljon. Ylimääräiset sanat on poistettu.

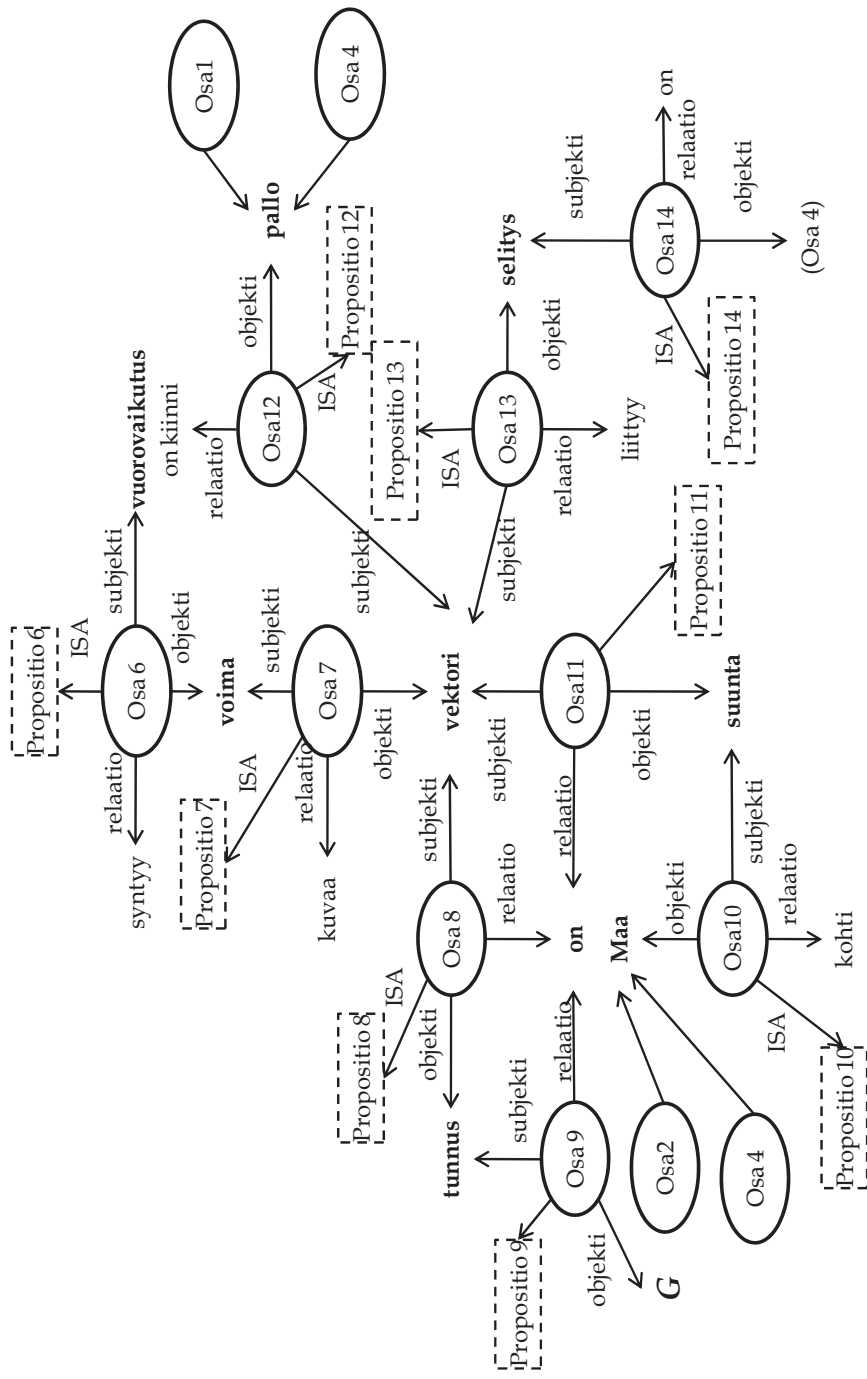
Muunto voimakuvioksi

Oikea voimakuvio on välttämätön edellytys dynamiikan tehtävän ratkaisemiseksi. Vuorovaikutuskaaviosta voidaan muokata voimakuvio. Proseduuri on esitetty kuviossa 2.14. Vuorovaikutusta kuvaavan viivan katkaisu keskeltä auttaa hahmottamaan symmetrian ja voimien yhtä suuruuden. Kun kappaleet vetävät toisiaan, niin vektorit ovat vetäjään päin ja työnnössä päinvastoin.



KUVIO 2.14 Vuorovaikutuskaavion muokkaus voimakuvioksi

Voimakuviota varten kootaan seuraavat propositiot (kuvio 2.14): Vuorovaikutuksessa syntyy voima (Osa6), voimaa kuvaa vektori (Osa7), vektorilla on tunnus G (Osa8 ja Osa9), vektori on kiinni pallon kuvassa (Osa12), vektorin suunta on Maahan (Osa10 ja Osa11), vektoriin liittyy selitys (Osa13) ja selitys on mieltämisyksikkö (Osa14). Propositioiden muodostama semanttinen verkko on kuviossa 2.15.



KUVIO 2.15 Voimakuvioon liittyvät propositiot

Jos proseduuri on automatisoitunut skeemaksi, vuorovaikutuskaaviota ei tarvita. Oppilas voi mielessään ennen voimakuviota laatia vuorovaikutuskaavion ja sen perusteella voimakuvion. Oleellista multimediaoppimisen teoriassa on tarkkaavaisuuden fokuointi, sanojen ja kuvien valinta sekä niiden yhdistäminen työmuistissa. Koska vuorovaikutuskaaviossa ovat jo valmiina tärkeimmät sanat, niin ei tarvitse valita sanoja suuresta joukosta ja päätellä niiden tärkeyttä. Kun teksti on lyhyttä, niin joku toinen on jo "auttanut" päättämään sanojen tärkeyden. Oppijan ei itse tarvitse tiivistää sanomaa, mikä on välttämätöntä, jos teksti ei ole koherenttia.

Kun työmuistissa on yhtä aikaa voimakuvio ja voimaan liittyvät selittävät alaindeksit, niin on helpompaa rakentaa propositioita. Tämä säästää työmuistin kapasiteettia, koska tarkkaavaisuuden fokus kohdistuu relevantteihin sanoihin. Kuvio 2.15 on eräänlainen käsittekartta tai skeema vuorovaikutuskaavion yhdestä osasta. Näistä osaskeemoista muodostuu kokonaisuus, jonka perusteella voidaan tarvittava ongelma ratkaista.

Kognitiivisen kuormateorian mukaan opetuksen tarkoituksena on skeemojen rakentaminen ja niiden automatisointi. Mutta skeemojen automatisoinnilla on hinta, joka näkyy päätöksenteon ristiriitatilanteissa.

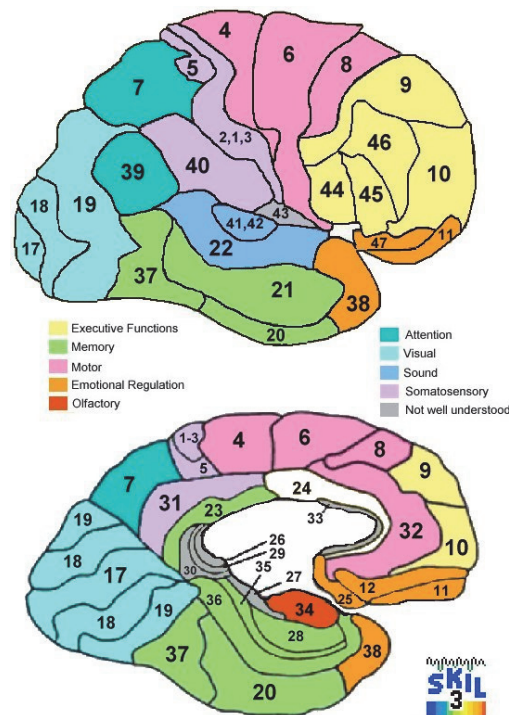
2.6 Skeemojen pysyvyys

Dynamiikan opetuksen tarkoituksena on ennakkokäsitysten muuttaminen newtonilaisiksi käsityksiksi. Muutokseen liittyviä malleja on runsaasti, ne ovat hypoteettisia ja keskenään ristiriitaisia (Masson, Potvin, Riopel, Brault Foisy & Lafortune 2012, 21.) diSessa (2006, 266) kiteyttää nykytilanteen seuraavasti:

Laajalti hyväksytyjä, selkeästi ilmaistuja sekä testattuja käsitteellisen muutoksen teorioita ei oikeastaan ole. Sen sijaan (käsitteellisen muutoksen tutkimuksen) aihealue koostuu useista näkökulmista, jotka yhdistelevät maalaisjärkeä ja teoreettisia ajatuksia useasta eri näkökulmasta.

Fysiikan opetuksessa käsitteellinen muutos on tärkeä, mutta kuten edellisestä sitaatista ilmenee, teoreettisia ideoita on monia. Teknologia saattaa tarjota uusia mahdollisuuksia teorioiden testaukseen. Massonin ym. (2012) mukaan fMRI-kuvantaminen tekee mahdolliseksi tutkia ilmiön yhteydessä esiintyviä aivoalueiden aktivaation muutoksia. Ne ilmenevät veren happipitoisuuden muutoksina tarkastelun kohteena olevassa aivojen osassa. Saadun aineiston perusteella voidaan kyseenalaistaa kognitiivisen konfliktin käyttö käsitteellisessä muutoksessa. (Masson ym. 2012, 20–24.)

Dunbar, Fugelsang ja Stein (2007) sekä Petitto ja Dunbar (2009) haastavat perusidean, jossa käsitteellinen muutos seuraa joko aikaisemman tiedon uudelleen rakentamisesta tai eliminoinnista. Tarkastellaan seuraavassa muutamia aivokuvantamiseen liittyviä tutkimuksia, jotka valaisevat kausaalisen päättelyn ja käsitteellisen muutoksen suhdetta.



KUVIO 2.16 Brodmannin alueet BA 6, 7, 9, 24, 32. Brodmannin atlas http://www.brainm.com/software/pubs/dg/BA_10-20_ROI_Talairach/functions.htm

Fugelsangin ja Dunbarin (2005) kokeessa näytettiin kuvaa, jossa oli punainen pilleri hymyilevien kasvojen vieressä (lääke tehoaa) tai neutraali ilme (lääke ei tehoa) sekä sama koe sinisillä pillereillä. Koehenkilöiden piti arvioida lääkityksen tehokkuutta asteikolla 1–3 ja tulkita dataa suhteessa hypoteesiin, joka oli yhdenmukainen tai ristiriidassa odotusten kanssa. Tekniikkana oli fMRI-kuvaukset. Jos data oli yhdenmukainen koehenkilön oman kausaalisen teorian kanssa, lisääntyi aktivaatio *caudate*- ja *parahippocampal gyrus* -alueissa suhteessa perustasoon. Sitä vastoin jos oma teoria oli ristiriidassa esitetyn datan kanssa, lisääntyi aktivaatio vasemmassa *dorsolateral prefrontal cortex* (DLPFC, BA 9) -alueessa, *anterior cingulate cortex* (BA 24/32) -dorsaalialueissa ja *precuneus* (BA 7) -alueessa. *Precuneus*-alueen aktivoituminen viittaisi siihen, että koehenkilö suuntaisi tarkkaavaisuuttaan pois tehtävästä. (Fugelsang & Dunbarin 2005, 1209.) Kuviossa 2.16 on kaaviokuva Brodmannin alueista, joihin edellä on viitattu.

Dunbar ym. (2007) testasivat ennakkokäsityksiin liittyviä muutoksia newtonilaiseen mekaniikkaan liittyvillä tehtävillä, kun käsitteellisen muutoksen mittana on *anterior cingulate cortex*:in aktivaation muutos. Kokeilussa toisen ryhmän muodostivat opiskelijat, jotka eivät olleet opiskelleet lukio- tai college-tason kursseja. Toisessa ryhmässä opiskelijat olivat suorittaneet vähintään viisi college-tason kurssia. Opiskelijoille näytettiin video, missä pallot putosivat koh-

ti maan pintaa. Toisessa tapauksessa suuri ja pieni pallo putosivat samalla nopeudella newtonilaisen dynamiikan ja toisessa suuremman pallon nopeus oli suurempi kuin pienemmän pallon ei-newtonilaisen näkemyksen mukaan. Ilmanvastusta ei otettu huomioon. Lisäksi koehenkilöt tekivät FCI-testin, jolla tutkittiin heidän newtonilaiseen mekaniikkaan liittyviä ennakkokäsityksiään. Kummassakin ryhmässä datan ja ennakkokäsityksen välinen ristiriita aktivoi *anterior cingulate cortex* -alueita. Edes 96 testikerran jälkeen ei havaittu oppimiseen liittyvissä aivoalueissa aktiivisuuden tasojen kohoamista. Sitä vastoin alueet, jotka liittyvät virheiden havaitsemiseen ja vasteen inhibitioon, pysyivät rekrytoituina koko datan kokoamisen ajan. Mielenkiintoinen piirre oli, että puolet ei-fyysikoista piti nopeuksien yhtä suuruutta oikeana, vaikka samalla aivokuvantaminen osoitti suhteellisen suurta aktivaatiota *anterior cingulate cortex* -alueessa. Edellä mainitut tutkijat esittävät, että opiskelijoiden tietorakenteessa ei ole tapahtunut syvällistä muutosta, mikä tarvitaan oikean vastauksen antamiseen oikeista syistä. Heidän hypoteesinsa on, että oppilas voi antaa oikean vastauksen, ilman että ymmärtää mistä on oikein kysymys. FCI-testin tulosten perusteella vain fysiikan opiskelijoilla oli tapahtunut käsiterakenteessa syvällistä muutosta. Tulokset osoittavat, että pientenkin käsitteellisten muutosten aikaan saaminen on vaikeaa. (Dunbar ym. 2007, 199–202.)

Dunbar ym. (2007) viittaavat standarditeoriaan, jonka mukaan esittämällä riittävän paljon dataa, joka on ristiriidassa oppilaiden ennakkokäsitysten kanssa, saadaan heidät hylkäämään virheelliset teoriansa ja uudelleen organisoimaan tietorakennettaan. Edellä mainitut tutkijat viittaavat yleisellä tasolla nykyiseen käsitykseen, jonka mukaan opetuksen avainpäämäärä on käsitteellinen tiedon uudelleen organisointi. Kuitenkin jos otetaan huomioon fMRI-tutkimusten tulokset, niin edelleen ennakkokäsitykset ovat olemassa. Näyttäisi olevan niin, että pikemminkin vanhat teoriat aktiivisesti inhiboidaan kuin uudelleen organisoidaan ja omaksutaan uudeksi teoriaksi. (Dunbar ym. 2007, 202.)

Tähän samaan kysymykseen Petitto ja Dunbar palaavat ja esittävät, että yksi käsitteen representaation mitta on aktivaation lisääntyminen *medial frontal cortex* -alueessa (= *medial prefrontal cortex* ja *anterior cingulate cortex*, ACC). Käsitteellisen ymmärtämisen ilmaisimena ovat *medial frontal cortex* -alueen aktivaation tasot. He korostavat, että

opiskelijat eivät ole järjestäneet tietoaan uudelleen ja saattavat sen sijaan rajoittaa vanhaa tietoaan, aktivoiden samalla uudempaa newtonilaista tietoaan. (Petitto & Dunbar 2009, 17).

Ristiriitatilanteeseen Masson ym. (2012, 22–23) ovat hahmotelleet seuraavan tapahtumien kulun: aivot

- 1) havaitsevat *anterior cingulate gyrus*:n avulla ristiriidan
- 2) käyttävät vasemmanpuoleista *dorsolateral prefrontal cortex*:ia ja pysäyttävät tehtävän vaatiman tarkkaavaisuuden ikään kuin data olisi merkityksetöntä, koska se käsitetään virheelliseksi
- 3) aktivoivat *precuneus*:n, jotta tarkkaavaisuus suuntautuisi pois tehtävästä.

Edellä mainittujen tutkijoiden keskeinen hypoteesi on, että ekspertti aktivoi aivoissa enemmän *anterior cingulate cortex*:ia ristiriidan havaitsemiseen ja *prefrontal cortex*:ia kognitiiviseen kontrolliin kuin noviisi. Inhibition oppiminen tekee mahdolliseksi käsitteellisen muutoksen. (Masson ym. 2012, 25.)

Luvussa 2.5 käsiteltiin multimediaoppimisen teoriaa, jonka pääkysymys on, oppiiko ihminen paremmin sanoista ja kuvista kuin pelkästään sanoista. Kuitenkin tapa, jolla idea tekstinä esitetään, vaikuttaa ymmärtämiseen erityisesti oppikirjoissa. Seuraavassa luvussa tarkastellaan, mihin seikkoihin oppikirjan teksteissä pitäisi kiinnittää huomiota.

2.7 Tekstin luettavuus

Kirjoitettu teksti on helppoa, jos lukija voi vaivatta lukea sitä ja ymmärtää lukemansa. DuBay määrittelee luettavuuden seuraavasti:

Luettavuus viittaa lukemisen helppouteen, johon vaikuttavat sisältöön, tyyliin ja aiemman tiedon pätevään organisointiin liittyvät tekijät, kuten myös yleisön lukutaito, kiinnostus sekä motivaatio (DuBay 2006, 6).

Luonnollisessa kielessä ymmärtäminen riippuu sanaston mutkikkuudesta, syntaktista ja esitysmuodosta. Tekstin selvyys liittyy kirjaimiin ja merkkeihin sekä niiden välisiin eroihin. Helppous kuvaa tekstin luettavuutta, jota voidaan mitata indekseillä. Indeksit antaa arvion tekstin ymmärtämiseen tarvittavan koulutuksen määrästä, joka ilmaistaan lukuvuosina. Tässä tutkimuksessa analysoidaan oppikirjojen luettavuutta lähinnä dynamiikan opetuksen näkökulmasta.

Fysiikan oppikirjan teksti muodostuu virkkeistä, joiden lauseista osa ilmaisevat syitä ja seurauksia. Liian monimutkainen lauserakenne vaikeuttaa ymmärtämistä. Tähän on myös Karvonen (1994) viitannut, kun hän huomauttaa, että työmuistin kapasiteetti Millerin (1956) mukaan on 7 ± 2 hahmotusyksikköä.

TAULUKKO 2.4 Keskimääräiset sanapituudet (merkkit/sana), lausepituudet (sanat/lause) ja virkepituudet (sanat/virke) koko Parolessa, sanomalehdissä, tietokirjoissa ja romaaneissa

Lähde	Sanapituus	Lausepituus	Virkepituus
Parole	8,5	6,8	11,1
Sanomalehdet	8,7	7,1	11,2
Tietokirjat	8,8	7,2	12,7
Romaanit	7,4	5,1	9,8

Huom. Lähde: Heikkinen, Lehtinen & Lounela 2001. Parole korpus on EU:n LE-PAROLE-hankkeen tekstipankki, joka koostuu kunkin unionin kielen vähintään 20 miljoonasta sanasta.

Heikkisen, Lehtisen ja Lounelan (2001) kokoamassa taulukossa 2.4 ovat sanapituus, lausepituus ja virkepituus. Näistä kaksi ensimmäistä sopivat hyvin Millerin informaatioyksikön pituuteen. Fysiikan oppikirjoissa ei voi olla pitkiä selityksiä, koska kirjoista tulisi liian laajoja. Jos lauseista tehdään liian lyhyitä, niin edellisen perusteella merkityksen ymmärtäminen vaikeutuu. Wiion (1973, 137) ohje tilastoihin perustuen on, että ymmärtämistä helpottavat lyhyet ja tavalliset sanat, lyhyet lauseet sekä adjektiivien ja adverbien pieni määrä.

Luettavuusindeksit

Luettavuusindeksi voidaan määritellä seuraavasti:

Luettavuuskaava (-indeksi) on periaatteeltaan matemaattinen yhtälö, joka johdetaan regressioanalyysistä. Toimenpiteen tarkoituksena on etsiä yhtälö, joka parhaiten kuvaa kahden muuttajan välistä suhdetta. Muuttujat mittaavat ihmisen vaikeutta lukea tiettyä tekstiä. Indeksiksi on kyseisen tekstin kielellisten ominaisuuksien mitta. (McLaughlin 1969, 640.)

Eri indekseillä on yhteisiä muuttujia kuten kirjainten ja sanojen lukumäärä, sanapituus kirjaimina, lausepituus sanoina ja virkepituus lauseina. Yleensä nämä indeksit antavat arvon, joka kuvaa lukijan keskimääräistä luokkatasoa. Luokkataso tarkoittaa, että koulua käynyt henkilö ymmärtää tekstiä. Taso ilmaistaan kukin maan koulujärjestelmän mukaan, Suomessa asteikolla 1–12. Virtaluoto ja Väyrynen (2000, 100) esittävät, että ulkomaisia luettavuusindeksejä voidaan soveltaa myös suomen kieleen ja he olettavat, että kaikkia kieliä koskevat samat lainalaisuudet ainakin jossakin määrin. Wiio (1994) on eri mieltä. Luettavuusindeksit perustuvat kunkin kielen rakenteeseen ja kielellisiin ominaisuuksiin. (Wiio 1994, 138.) Viimemainittuja kuvaa muun muassa sanaluokkajakauma, joka perustuu kirjoitetun kielen teksteistä otettuihin näytteisiin. Nämä on koottu Korpukseksi.

Suomessa Parole koostuu lähinnä 90-luvun teksteistä. Taulukoon 2.5 on koottu sanomalehtien, tietokirjojen ja romaanien sanaluokkajakauma.

TAULUKKO 2.5 Suomen Parolen sanaluokkajakauma (%)

Sanaluokka	Parole	Sanomalehdet	Tietokirjat	Romaanit
Substantiivit	42,1	45,0	39,6	29,4
Verbit	22,6	21,6	22,4	28,5
Adjektiivit	8,8	8,7	10,6	7,3
Adverbit	7,4	7,2	7,0	9,4
Pronominit	7,0	5,4	8,4	13,5
Numeraalit	3,6	4,1	2,8	0,9
Muut	8,5	8,0	9,2	11,0
	100	100	100	100

Huom. Lähde: Heikkinen, Lehtinen & Lounela 2001.

Suomen kieleen soveltuvat Wiion luettavuusindeksit I ja II (1973, 1974). Ensimmäinen indekseistä on

$$LT = 2,7 + 0,3 PS. \quad (2.1)$$

PS kuvaa 100 sanan joukossa olevien yli kolmitavuisten sanojen lukumäärää (nelitavuiset tai sitä pitemmät sanat). Wiio (1968) esittää Suomen kielen tilastollisessa erittelyssään, että vaikean tekstin tärkein muuttuja on pitkien sanojen lukumäärä (Wiio 1994, 138). Tähän Karvonen lisää, että mitä helpompi lause, sitä mutkikkaampi on semanttinen sisältö. Luettavuusindeksi kasvaa, jos merkityksiä ilmaistaan lausepareilla, joita yhdistävät kytkentäilmaukset: mutta, koska, joten, vaikka. Sama koskee virkkeitä yhdistäviä ilmauksia: toisaalta, samoin, lisäksi, sitä vastoin. (Karvonen 1994.)

Tarkempi analyysi saadaan, kun muodostetaan määräsuhde MS, jossa osoittajassa ovat adjektiivien ja adverbien summa, nimittäjässä verbien ja substantiivien summa:

$$LT = 0,33PS + 7MS - 0,68 \quad (2.2)$$

Taulukossa 2.5 on sanaluokkajakauma, jonka perusteella voidaan arvioida 100 sanan otoksesta termin $7MS - 0,68$ suurusluokka on Parolella $LT = 0,33PS + 1,07$, sanomalehdillä $LT = 0,33PS + 0,99$, tietokirjoilla $LT = 0,33PS + 1,31$ ja romaaneilla $LT = 0,33PS + 1,34$. Jos otetaan huomioon muut kuin pitkät sanat, niin vähentävä vaikutus on suhteessa Wiion yksinkertaisempaan luettavuusindeksiin sanomalehdillä noin puolitoista lukuvuotta ja tietokirjoilla hieman yli yksi lukuvuosi.

Tässä tutkimuksessa on käytetty molempia Wiion indeksejä (Wiio 1973, 1974), ARI (*Automated Readability Index*; Smith & Senter 1967) -, GFS (*Gunning Fog Score*; DuBay 2006, 61)- ja GI (*Gulpease Index*; Lucisano & Piemontese 1988) - indeksejä. Indeksien lausekkeet ovat

$$ARI = 4,71 \cdot \left(\frac{\text{kirjaimet}}{\text{sanat}} \right) + 0,5 \cdot \left(\frac{\text{sanat}}{\text{lauseet}} \right) - 21,43 \quad (2.3)$$

$$GFS = 0,4 \cdot \left[\left(\frac{\text{sanat}}{\text{lauseet}} \right) + 100 \cdot \left(\frac{\text{pitkät sanat}}{\text{sanat}} \right) \right] \quad (2.4)$$

$$GI = 89 + 300 \cdot \frac{\text{lauseet}}{\text{sanat}} - 10 \cdot \frac{\text{kirjaimet}}{\text{sanat}}. \quad (2.5)$$

Lausekkeet voidaan muokata seuraavaan muotoon:

$$\text{ARI} = 4,71 \cdot (\text{sanapituus kirjaimina}) + 0,5 \cdot (\text{lausepituus sanoina}) - 21,43 \quad (2.6)$$

$$\text{GFS} = 0,4 \cdot [(\text{lausepituus sanoina}) + \text{pitkät sanat \%} - \text{osuus}] \quad (2.7)$$

$$\text{GI} = 89 + \frac{300}{\text{lausepituus sanoina}} \cdot - 10 \cdot \text{sanapituus kirjaimina} \quad (2.8)$$

Luettavuuden mittaaminen

Edellä oli muutamia indeksejä, joilla luettavuutta voidaan arvioida. DuBay väittää, että luettavuusindeksit antavat objektiivisen ennusteen tekstin vaikeudesta (DuBay 2004, 3). Vaikeus ei kuitenkaan ole pelkästään tekstin vaikeutta, vaan lukemiseen liittyy myös ymmärtäminen. Heikkinen (2005) viittaa Wiioon (2000), joka on omiin ja muiden tutkimuksiin perustuen listannut seuraavat ymmärrettävyyden osatekijät: havainnollisuus, samaistuminen, kieliasu, ideatiheys, ulkoasu ja motivaatio. Bailin ja Grafstein (2001) uskovat, että luettavuutta ei voi kuvata yksikertaisella indeksillä. Ymmärtämistä vaikeuttavat kielioppivirheet, tyyli ja lukijan taustatiedot. Viimemainituissa on kysymys tekstin ja lukijan vuorovaikutuksesta. Ymmärtäminen edellyttää, että tekstin on oltava koherenttia eli osien on liityttävä loogisesti toisiinsa. (Bailin & Grafstein 2001, 292–296.) Ymmärtämisen vaikeuteen viittaa myös Klare (2000). Sitä vaikeuttaa, jos luku-aika on rajoitettu, teksti ei ole tuttua ja opiskelijalla on vakiintunut tapa oppia. Klare korostaa, että indeksit mittaavat tyylin vaikeutta, mutta sitäkin puutteellisesti. Ne eivät ota huomioon lukemistarkoitusta, kypsyyttä ja älykkyyttä. Lisäksi tekstin tason on vastattava lukijan tasoa. (Klare 2000, 24–25.)

Klare (1976) kiinnittää huomiota myös sanojen vaikeuteen. Siihen liittyvä muuttuja on sisältösanojen osuus. Sisältösanoja ovat sellaiset sanat, joilla on oma selkeä peruseritys. Merkitystä on näiden sanojen esiintyvyydellä, tuttuudella ja pituudella. Lisäksi sanojen vaikeuteen vaikuttavat niiden konkreettisuus tai abstraktisuus, sekä miten sanat assosioituvat muihin käsitesanoihin. Lauserakenteessa on otettava huomioon aktiivilauseen muuttuminen nominilauseeksi (onnistui vs. onnistuminen), lauseen pituus, aktiivi vai passiivi, myönteinen vai kielteinen sekä sivulause vai päälause. (Klare 1976, 148.) Bailin ja Grafstein korostavat, että teksti ei ole pelkistettävissä funktioksi, joka riippuu sanapituudesta ja lausepituudesta. Luettavuus riippuu siitä, miten lauseet on yhdistetty, ja niiden keskinäisestä suhteesta. Toistaiseksi puuttuvat universaaliset kriteerit, joihin tekstin luettavuutta mittaavat indeksit perustuisivat. (Bailin & Grafstein 2001, 297–299.)

Kognitiivisen kuormateorian ja multimediaoppimisen teorian perusteella voidaan laatia sekä oppikirjat että oppitunnit siten, että ne toteuttavat molempien teorioiden tärkeimmät periaatteet. Kuten luvussa 1.1. esitettiin, fysiikka koetaan vaikeana oppiaineena. Opiskelijalla on odotuksia sekä oman opiskelun että opetuksen suhteen. Teoreettisen viitekehyksen viimeisessä luvussa esitetään seikkoja, joita fysiikan opiskeluohjeissa ja oppitunnilla tulisi korostaa.

2.8 Minäkuvan vaikutus opiskeluun

Opettajan mahdollisuudet vaikuttaa opiskelijan minäkuvaan ovat rajalliset, koska minäkuva on rakentunut koko elämän ajan. Taustalla ovat vakiintuneet ajatusmallit, mutta opettaja voi yrittää vaikuttaa opiskelijan käsitykseen itsestään ja hänen oppimiskäsitykseensä (*conception of learning*) tuomalla uusia näkemyksiä ponnistelun ja älykkyyden merkityksestä opiskelun tuloksellisuuteen. Tähän samaan viittaavat Lin, Tsai ja Liang (2012), jotka toteavat, että se, mitä oppitunnilla tehdään, määrää, millaisena oppilas näkee fysiikan opetuksen. Oppilaan oppimiskäsitys fysiikassa voidaan johtaa hänen oppimiskokemuksiinsa (Lin, Tsai & Liang 2012, 400).

2.8.1 Minäpystyvyys ja oppimiskäsitys

Yksi menestyksellisen opiskelun lähtökohta on uskomus omasta kyvykkyydestä. Bandura (1994, 1) määrittelee *minäpystyvyyden* (*self-efficacy*) seuraavasti:

Koettu minäpystyvyys määritellään uskomuksena omiin kykyihin saavuttaa määritellyn tasoinen suoritus, joka vaikuttaa elämää muovaaviin tapahtumiin. Minäpystyvyyteen liittyvät uskomukset määrittelevät henkilön tunteita, ajattelua, itsemotivointia ja käytöstä.

Banduran (1994) mukaan ihmiset, joilla on vahva luottamus omiin kykyihinsä, eivät pelkää ottaa riskejä kohdatessaan vaikeita tehtäviä. He kokevat ne haasteina, eivät pelkää epäonnistumisia, vaan jatkavat ponnistelua. Kun he epäonnistuvat, syy on tiedon puutteessa, puuttuvissa taidoissa tai riittämättömässä ponnistelussa. Edellisen vastakohtana ovat ne, jotka eivät luota omiin kykyihinsä. He sitoutuvat heikosti asettamiinsa päämääriin ja välttelevät vaikeita tehtäviä. Kun he epäonnistuvat, syy on useimmiten omassa persoonassa ja sen puutteissa. Vaikeudet kohdatessaan he luovuttavat nopeasti. Riittämätön suoritus katsotaan lahjakkuuden puutteeksi. (Bandura 1994, 2.)

Heikko luottamus omiin kykyihin heijastuu oppimiskäsityksiin. 120 taiwanilaisen lukiolaisen oppimiskäsitykset luonnontieteestä (matematiikka, fysiikka, kemia ja biologia) jakautuivat siten, että tärkeinä pidettiin tiedon lisäämistä (20%), laskemista ja ymmärtämistä (19,2 %), testeihin valmistautumista (15,8 %), soveltamista (14,2 %) ja muistamista sekä näkemistä asiat uudella tavalla (5,8 %). (Tsai 2004, 1742.) Myöhemmin Lin, Tsai ja Liang (2012) ryhmittelivät 15–18-vuotiaiden taiwanilaisten opiskelijoiden oppimiskäsitykset kahteen ryhmään: *tuottava* (*reproductive*) ja *rakentava* (*constructive*) profiili. Edelliseen kuuluivat ne opiskelijat, jotka katsovat, että oppiminen on muistamista, testiin valmistautumista ja oppikirjan tehtävien laskemista eli oppiminen on pinnallista. Jälkimmäisen ryhmän opiskelijoilla tärkeää on tiedon lisääminen, ymmärtäminen sekä uusien näkökulmien omaksuminen. (Lin, Tsai & Liang 2012, 512; vrt. Marshall, Summer & Woolnough 1999, 295–303).

Fysiikassa taiwanilaisilla yliopisto-opiskelijoilla havaittiin klusterianalyysissä myös kolmas profiili. Se kuvasi *siirtymää* (*transitional*) tuottavasta rakenta-

vaan profiiliin. Siirtymäprofiilin omaavien mielestä fysiikka ei ole vain tehtävien ratkaisemista ja laskemista vaan myös käsitteiden ja tiedon ymmärtämistä. (Lin, Liang & Tsai 2015, 615–616.) Niiden, joilla oli vahva näkemys käsitteiden ymmärtämisen merkityksestä (*rakentava* profiili), minäpystyvyys oli parempi myös muissa klustereissa (probleeman ratkaisu ja kriittinen ajattelu, laboratoriotyöt, kyky soveltaa fysiikkaa arkielämässä ja tieteellinen keskustelu opiskelijatovereiden kanssa) verrattuna niihin, jotka omasivat *tuottavan* profiilin. Minäpystyvyyden suhteen järjestys pienimmästä suurimpaan on tuottava, siirtymä- ja rakentava profiili. (Lin, Liang & Tsai 2015, 617.)

Edellisten havaintojen lisäksi Ferlan, Valcken ja Schuytenin (2008) mukaan tuottavan oppimiskäsityksen omaavat opiskelijat kokivat opiskelustaan puuttuvan suunnan ja hyväksyivät todennäköisesti ulkoisten tekijöiden sääntelyn. Tällöin opettaja tai oppikirjan ohjasi opiskelua. Minäpystyvät opiskelijat säätelivät paremmin opiskeluprosessia ja omaksuivat todennäköisemmin syväoppimisen strategian. (Ferla, Valcke & Schuyten 2008, 274–274.)

Profiilit heijastava opiskelijan käsityksiä omasta pystyvyydestä, joka vaikuttaa siihen, millaisia tavoitteita hän asettaa opiskelun suhteen. Tällöin puhutaan tavoiteorientaatioista, jotka syntyvät sosiaalisesta vuorovaikutuksesta ympäristön kanssa.

2.8.2 Yksilön käsitys älykkyydestä ja sen vaikutus tavoiteorientaatioon

Tavoiteorientaatiot voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: saavutus-, oppimis- ja välttämisorientaatio. Lukin (2013) väitöskirjassaan luonnehtii orientaatioita seuraavasti: *Oppimisorientaation* omaava opiskelija on aktiivinen. Hän hankkii uusia tietoja ja taitoja sekä haluaa ymmärtää. Hän uskaltaa yrittää ratkaista vaikeita tehtäviä ja onnistumiset ovat seurausta omasta yrittämisestä. Kyvyt ovat hankittava ominaisuus, ja kyvyt voivat lisääntyä. Myös *suoritusorientaation* omaava opiskelija on aktiivinen, mutta korostaa kykyjä oppimista selittävinä tekijöinä. Kyvykkyys on pysyvä ominaisuus, joka ei lisäännä. Hänelle sosiaalinen arvostus on tärkeää, ja hän pelkää näyttää ”tyhmältä”. *Välttämisorientaation* omaava pelkää sosiaalista vertailua ja välttää haasteita. Menestyminen riippuu ulkoisista tekijöistä, ja välttely on keino suojella itseä. Koulutyö ei kiinnosta. (Lukin 2013, 21–22.)

Oppilaan suorituksiin vaikuttaa hänen käsityksensä älykkyydestä. Pysyvän älykkyyden teorian mukaan (entiteettiteoria, E-teoria, *entity theory*) älykkyys käsitetään vakioksi, jota on määrätty määrä ja jota ei voi muuttaa. Muuttuvan älykkyyden teoriassa (inkrementaaliteoria, I-teoria, *incremental theory*) älykkyyttä voidaan opiskelulla muokata ja lisätä. (Dweck & Leggett 1988, 259; Dweck 2000, 2–4.)

Älykkyyskäsitteet vaikuttavat tavoiteorientaatioon. E-teoreetikot suosivat suoritusorientaatiota. Heidän tavoitteena on saada positiivinen ja välttää negatiivinen arvio kyvyistä (Dweck & Leggett 1988, 259). He kokevat, että tehtävät mittaavat heidän älykkyyttään. Epäonnistumisen syy on älykkyyden puute. (Dweck & Leggett 1988, 259; Dweck 2000, 16.) Jos oppilaan sisäinen kysymys on ”Onko lahjakkuuteni riittävä?”, niin tehtävän lopputulos määrää vastauksen.

Jos tehtävässä epäonnistutaan, niin tämä laukaisee lamaannuttavan reaktion (*helpless*). (Dweck & Leggett 1988, 260.)

I-teoreetikot ovat oppimisorientoituneet. He kokevat ongelman haasteeksi, joka voidaan ratkaista ponnistelemalla kovemmin, kehittämällä uusia ratkaisustrategioita ja keskittymällä esillä olevaan tehtävään. Tarkkailu kohdistuu omaan suoritukseen, ennusteet tulevasta ovat positiivisia, koetut tunteet ovat myönteisiä. Oppimisorientoituneilta puuttuu lähes täysin negatiivisuus. (Dweck & Leggett 1988, 258.)

Tehtävien valinnassa on myös eroja. Oppimisorientoituneille heidän nykyisellä kyvykkyydellä ei ollut juurikaan merkitystä. He valitsivat haastavat tehtävät. Sen sijaan jos kyvykkyys oli todettu korkeaksi, suoritusorientoitunut valitsi haastavat tehtävät, jotka sallivat saada palautetta pätevyydestä. Jos kyvykkyys oli todettu matalaksi, valinta kohdistui helpompiin tehtäviin, jolloin välttyi saamasta arviota omasta epätäydellisyydestään. Valtaosa koehenkilöistä, jotka olivat suoritusorientoituneita, eivät halunneet käyttää tilaisuutta oppia uutta. (Dweck & Leggett 1988, 259; Elliot & Dweck 1988, 10.)

Mielenkiintoista on, että suoritusorientoituneet yrittivät pitää mielikuvaa osaamisesta yllä keinotekoisesti: 2/3 yritti muuttaa tehtävän sääntöjä, suunnata huomion muihin seikkoihin yms. (Dweck & Leggett 1988, 257.)

Dweck (2000) korostaa tavoitteen voimaa. Jos tavoitellaan opintomenestystä, se koetaan lahjakkuuden mittauksena. Jos tavoitellaan uusien asioiden oppimista, tarkkaavaisuus kohdistuu uusiin oppimisstrategioihin. Tavoitteet synnyttävät vasteita, jotka ilmenevät joko avuttomuutena, voimattomuutena tai haluna ponnistella enemmän. (Dweck 2000, 15–17.)

Edellä selostetut tutkimustulokset ovat laboratoriotutkimuksia ja koskivat USA:n koululaisia, joiden luokka-asteet vastaavat suomalaisessa koulujärjestelmässä lähinnä peruskoulun ala- ja yläkoulua. Seuraava tutkimus (Robins & Pals 2002) testasi Dweckin älykkyysteoriaa (vrt Elliot & Dweck 1988) collegeympäristössä, jossa opintomenestyksellä on tärkeä merkitys itsearvostukselle ja koko elämän kestäville tavoitteille. Tutkimuksessa testattiin minäteoria, tavoiteorientaatiot ja vasteet epäonnistuessa. Opiskelijat, jotka uskoivat, että he voivat (eivät voi) lisätä älykkyyttään, pyrkivät pitämään tämän orientaation tutkimuksen aikana. Tulokset tukevat oletusta, että implisiittiset teoriat ovat pysyviä uskomuksia. E-teoreetikoilla oli parempi koulumenestys (SAT, *Scholastic Aptitude Test*, USA), mutta se ei muuttunut collegessa paremmiksi suorituksiksi (GPA, *Grade Point Average*, USA). (Robins & Pals 2002, 321–323.)

Tämän tutkimuksen kannalta merkittävää on Dweckin (2000, 24–26) referaatti Hongin, Chin, Dweckin ja Linnin (1998) tutkimuksesta, joka koski college-opiskelijoita. Tarkoituksena oli vaikuttaa opiskelijoiden älykkyysteorioihin esi-informaatiolla. Tutkimuksessa käytettiin kahta artikkelia, jotka luettiin ennen tutkimusta. Toisen artikkelin mukaan kuuluisien henkilöiden lahjakkuus oli synnynnäistä (pysyvän älykkyuden teoria), ja toinen korosti oman ponnistelu ja ympäristön merkitystä (muuttuvan älykkyuden teoria). Tulosten perusteella on mahdollista vaikuttaa henkilön älykkyyskäsitteeseen. Ne, joille uskeltiin älyn olevan vakion, alkoivat vältellä oppimistilaisuuksia. Sitä vastoin ne,

joille uskoteltiin älyn olevan muokattavissa, alkoivat ottaa vastaan haasteita, vaikeita tehtäviä sekä tilaisuuksia kehittää omia taitoja. (Dweck 2000, 26.) Tämä näyttäisi tukevan käsitystä, että opettajan viestinnällä ja kannustuksella on merkitystä opiskelijan käsityksille omista kyvyistä.

Tirri (2017) viittaa haastattelussaan Dweckin tutkimuksiin. Tirrin mukaan on kaksi ajattelutapaa: kasvun ajattelutapa (Dweckillä oppimisorientoituneet) ja muuttumaton ajattelutapa (suoritusorientoituneet). Tirri korostaa kasvun ajattelutavassa, että ihminen ei ole syntynyt tietyillä muuttumattomilla ominaisuuksilla varustettuna. Jos hän yrittää, hänellä on kasvun mahdollisuus. Älykkyys kehittyy. Palautteen pitäisi kohdistua prosessiin, ei persoonaan. Oleellista on ponnistelun korostaminen ja se, että oppimiseen kuuluvat virheet, joista ei tule lannistua. (Tirri 2017.)

Yhteenveto

Teoreettinen viitekehys alkaa kognitiivisesta arkkitehtuurista. Kognitiivinen kuormateoria on arkkitehtuuri, joka koostuu työmuistista ja säilömuistista, ja jonka informaation prosessointisysteemin viisi periaatetta ovat: informaation varastointi säilömuistiin, lainaaminen ja uudelleen organisointi, satunnaisuus syntyperiaatteena, variaatioiden tarkka rajaaminen ja organisoidun tiedon linkittyminen ympäristön kanssa. Jos opittava materiaali on kompleksista, ymmärtäminen edellyttää, että työmuistissa on yhtä aikaa pidettävä useita toistensa kanssa vuorovaikutuksessa olevia elementtejä. Mitä enemmän on prosessoitavia elementtejä, sitä suurempi on kognitiivinen kuorma. Teoria luokittelee työmuistin kuormituksen kolmeen osaan: sisäinen, ulkoinen ja rakentava kuorma. Jos opetusjärjestelyt ja oppimateriaali ovat epäasianmukaiset, niin sisäistä kuormaa synnyttävien elementtien lisäksi on prosessoitava myös ”turhia” elementtejä, mikä vie osan työmuistin kapasiteetista ja ilmenee ulkoisena kuormana. Mitä enemmän prosessoidaan sisäiseen kuormaan liittyviä elementtejä, sitä enemmän jää tilaa rakentavalle kuormalle. Rakentava kuorma on välttämätöntä, kun muokataan uusia skeemoja.

Multimediaoppimisen teoria esittää opetuksen suunnittelussa tarvittavat periaatteet, joiden tarkoituksena on vähentää epäoleellista, hallita keskeistä ja edistää tuottavaa prosessointia. Tähän liittyy oppikirjojen esitystavan tarkastelu, jota voidaan analysoida joko luettavuusindeksin tai multimediamiaperiaatteiden näkökulmasta.

Viimeisenä tarkasteltiin käsitystä älykkyyden vakioisuudesta ja sen vaikutusta oppimisorientaatioon. Fysiikka koetaan vaikeana oppiaineena, ja käsitys omasta pystyvyydestä vaikuttaa orientaatioon ja sitä kautta opiskelumenestykseen.

Seuraavassa asetetaan tutkimuskysymykset, minkä jälkeen perehdytään itse empiiriseen tutkimukseen.

3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA TUTKIMUSKY- SYMYSKSET

Lukion fysiikan opetussuunnitelmat muuttuivat vuonna 2004. Lukioasetuksen 4 §:n mukaan - - - ”Osa opinnoista voidaan edellyttää opiskeltavaksi itsenäisesti.” Tällöin oppikirjan merkitys on huomattava, ja tämä koskee erityisesti fysiikkaa, koska sen tietorakenne on hierarkkinen. Dynamiikan opiskelu itsenäisesti edellyttää N2. ja N3. lain hallitsemista. Suppeammassa mielessä jokainen opiskelija joutuu opiskelemaan itsenäisesti, sillä koko oppituntia ei voida käyttää uuden asian opettamiseen, ja menestyminen opinnoissa vaatii asiaan perehtymistä myös kouluajan ulkopuolella. Kappaleen liikeyhtälön muodostaminen edellyttää, että voimakuvio on oikein muodostettu. Tämä puolestaan riippuu kappaleeseen kohdistuvien vuorovaikutusten tunnistamisesta. Oppikirjan esitystavan on otettava huomioon ihmisen kognitio ja erityisesti työmuistin kapasiteettirajoitukset.

Opetussuunnitelmauudistusten yhteydessä (2004) koulussamme vaihdettiin oppikirja. Uusi oppikirjasarja *Physica* poikkesi aikaisemmasta Fotonioppikirjasarjasta mm. runsaamman kuvituksen suhteen. Lisäksi dynamiikan tehtävän ratkaisu edellyttää oikean voimakuvion muodostamista. Sen esivaihe on vuorovaikutuskaavio (Mäkyne 2014), jota käytetään *Physica*-sarjassa. Tutkijan aikaisemmillä kursseilla oli käytetty systeemikaaviota (Utriainen 2004, 222), joka oli jaettu monisteena, mutta moniste ei näyttänyt toimivan.

Edellisessä tutkimuksessani (2004) tarkastelin hahmottavan ja mallintavan lähestymistavan vaikutusta dynamiikan ja kinematiikan opetuksen tuloksellisuuteen. Aikaisempi N2. ja N3. lain oppimistulosten tarkastelu osoitti, että edelleen näiden lakien osaamisessa oli puutteita. Samoja ongelmia oli havainnut myös Savinainen ja Clement (Savinainen 2004, 89; Clement 1982): Oppilaalla on omat käsityksensä fysiikan ilmiöistä, jotka ovat tallentuneet abstrakteina kognitiivisina tietoelementteinä. Niitä ovat päättelyprimitiivit (*Reasoning Primitives*), jotka kuvaavat oppilaan intuitiivista tajua fysikaalisista mekanismeista tai ovat fysikaalisiin ilmiöihin liittyviä jokapäiväisten kokemusten abstraktioita. (Tuminaro 2004, 46; diSessa 1993, 105, 114.) Opiskelija tuo oppitunnille mukanaan nämä käsitykset.

Mekaniikkaan liittyvien ennakkokäsitysten ongelma on jatkuva. Opetuksen lähtökohdaksi voidaan ottaa yleisimmät ennakkokäsitykset, niiden selvittäminen ja muokkaaminen newtonilaisiksi käsityksiksi. Oppimisen myötä moni virheellinen käsitys voi korjaantua ilman suoraa puuttumista. Luvussa 1.3 esitettiin joukko testejä, joilla nämä ennakkokäsitykset voidaan tunnistaa. Ongelmana on, miten opetus pitäisi suunnitella ja millaista materiaalia pitäisi käyttää, jotta käsitteellinen muutos onnistuisi mahdollisimman hyvin.

Edellä kuvattujen ja käytännön opetustyössä havaittujen ongelmien perusteella voitiin asettaa opetukselle seuraava tavoite, jonka tarkoituksena oli

- 1) edistää N2. ja N3. lakiin liittyvien tehtävien kvalitatiivista osaamista ja liikeyhtälön kirjoittamista hyödyntämällä vuorovaikutuskaaviota.

Seuraavien tutkimuskysymysten tavoitteena oli selvittää vuorovaikutuskaavion ja oppikirjojen esitystapaerojen mahdollista vaikutusta mekaniikan oppimiseen.

Tutkimuskysymys 1: Millaisia dynamiikan esitystaperoja on oppikirjojen välillä, kun tarkastellaan

- a) tekstin luettavuutta
- b) fysikaalisten termien osuuksia päätekstissä
- c) tekstin ja kuvien suhdetta
- d) kuvien luokittelua?

Tutkimuskysymys 2: Miten N2. ja N3. lain kvalitatiiviseen osaaminen erosi koe- ja kontrolliryhmässä?

- a) Millainen on opetuksen vaikuttavuus, kun sitä mitataan Haken FCI-testistä lasketulla sekä normeeratulla kasvutekijällä $\langle g \rangle$ että henkilökohtaisella kasvutekijällä g .
- b) Miten ryhmien välinen mahdollinen ero ilmeni, kun tarkastellaan FCI- , FMCE- ja TUG-K-testejä kokonaisuutena?
- c) Miten ryhmien välinen mahdollinen ero ilmeni, kun tarkastellaan FCI- , FMCE- ja TUG-K-testejä N2. lain kontekstissa?

Tutkimuskysymys 3: Miten opiskelijat osasivat ratkaista mekaniikan perustietoja edellyttäviä lyhyitä tehtäviä?

- a) Millaisia eroja havaittiin koeryhmän ja kolmannen vuosikurssin kertauskurssin suorittaneiden opiskelijoiden välillä mekaniikan perustietoja mittaavassa MBT-testissä
- b) Millaisia eroja oli edellä mainittujen ryhmien MBT-testin N2. lain tuloksissa
- c) Millaisia eroja oli koe- ja kontrolliryhmän välillä tasaisessa ympyräliikkeessä N2. lain mukaisen liikeyhtälön muodostamisessa?

Toinen käytännön opetustyössä kohdattu ongelma oli opiskelijan käsitys omasta kyvykkyydestään. Tällä on vaikutusta myös odotuksiin siitä, mitä fysiikan

kurssilla tapahtuu (Redish, Saul & Steinberg 1998; Sharma, S., Ahluwalia & Sharma, S. K. 2013; Hammer 1991). Niinpä opetukselle asetettiin myös toinen tavoite, jonka tarkoituksena oli

- 2) yrittää vaikuttaa opiskelijan omiin menestymisen odotuksiin mekaniikan kursseilla FY4 ja FY5.

Edellisen tavoitteen toteuttamiseksi laadittiin kurssisuunnitelma, jossa painotettiin tulevan oppitunnin aiheeseen tutustumista (Mayer 2009, 189) ja ponnistelun, ei älykkyyden, merkitystä (Dweck 1999, 2000). Epäonnistumiselle annettiin uusi merkitys: ponnistelun vähyys, ei älyn puute. (Dweck & Leggett 1988, 259, 262, 264, 267; Dweck 2000, 56–57.) Opiskelijan minäkäsitykseen, joka koskee älykkyyden vakioisuutta, voidaan vaikuttaa kuten Aronson, Fried ja Cood (2002) ovat college-opiskelijoiden kohdalla osoittaneet.

Tavoitteen 2) saavuttamista tutkittiin seuraavalla kysymyksellä:

Tutkimuskysymys 4: Miten odotukset muuttuivat Fysiikka luonnontieteenä -kurssin jälkeen, kun tarkastellaan

- a) eksperttivastaajien klusterikohtaisia odotuksia
- b) klustereiden sisällä tapahtuneita muutoksia?

Opiskelijoille tehdyn kyselyn ja MPEX-testin tulokset antavat vastauksen tutkimuskysymykseen.

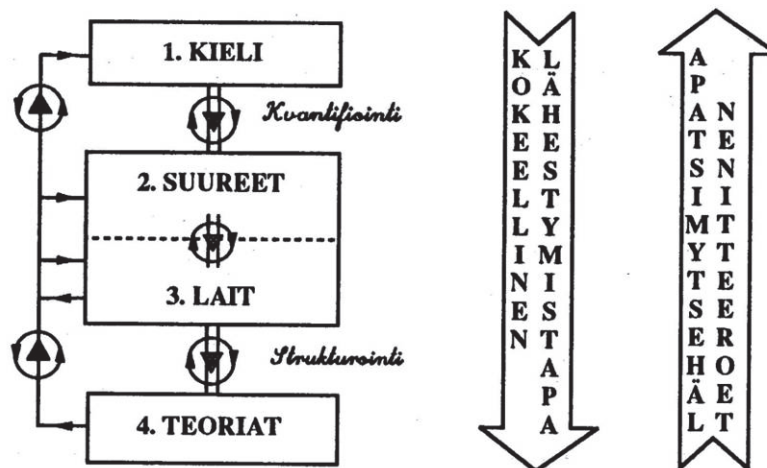
Opetuskokeilussa sekä koe- että kontrolliryhmässä sovellettiin vuorovai-
kutteista opetusmallia (Hake 1998) ja hahmottavaa lähestymistapaa (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994; Kurki-Suonio, K. 2013). Koeryhmässä oli 18 ja kontrolliryhmässä 19 opiskelijaa, ja opiskelijat työskentelivät oppitunnilla 3–4 hengen ryhmissä.

4 TUTKIMUKSEN KONTEKSTI JA MENETELMÄT

Tässä luvussa aluksi tutustutaan hahmottavaan lähestymistapaan, joka on eräs fysiikan opetuksen didaktinen periaate. Fysiikan käsitteet ovat hahmoja, jossa empiria ja teoria yhdistyvät. Alusta lähtien kaikki kytetään havaintoihin ja pyritään siihen, että ymmärretään ilmiöiden ja laskennallisen esityksen välinen yhteys. Lisäksi tässä luvussa esitellään tutkimusprosessin eri vaiheet, opetusmalli ja kokeiluun osallistuneet ryhmät.

4.1 Hahmottava lähestymistapa

Fysiikassa käsite rakenne on hierarkkinen. Hahmottavassa lähestymistavassa opetuksen suunta on empiriasta teoriaan, kuten kuviosta 4.1 ilmenee. Perushahmotus tapahtuu kielen tasolla, josta kvantifioimalla edetään suureiden ja lakien tasolle sekä lopuksi strukturoinnin kautta päädytään kvantitatiivisen ymmärtämisen ja selittävien mallien tasolle. Ilmiöstä edetään teoriaan. Eteneminen ei ole lineaarista, vaan muodostuu esittämisen ja selittämisen vastakkaisuuntaisista prosesseista.



KUVIO 4.1 Opetuksen eteneminen käsittehierarkiassa (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 253)

Kurki-Suonioiden mukaan (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 143) ”-- fysikaalinen käsite on hahmo, Gestalt, prosessi, jossa empiria ja teoria yhdistyvät yhdeksi, jatkuvasti kehittyväksi merkitykseksi.”

4.1.1 Opetusfilosofia

Kurki-Suonio (2013) korostaa, että hahmottava lähestymistapa on käytännöllinen opetusfilosofia. Hän painottaa kahta ideaa: intuition keskeistä roolia käsitteen muodostumisessa ja tieteen historian osuutta opetuksessa. Käsitteiden merkitys ja fysiikan käsiterakenne ymmärretään hahmoiksi. Historia opettaa meille, kuinka oikeat hahmot tajuttiin. Kurki-Suonion mukaan fysiikassa ymmärtäminen tarkoittaa tietoisuutta käsitteiden empiirisestä merkityksestä. Empiria synnyttää mielessämme intuitiivisen hahmon, jota ei voi johtaa aksiomista tai oletuksista. Hän painottaa, että käsitteet otetaan käyttöön merkitysten representaatioina. Siinä mieli ja luonto ovat vuorovaikutuksessa. Luonto tuottaa aistiärsyksiä aistihavaintoja. Vain mieli on aktiivinen ja säätelee tietoisuuteen tulevaa informaatiovirtaa. Kurki-Suonio korostaa myös *tarkkaavaisuuden suuntaamisen merkitystä* (korostus tutkijan). Kun luonnolle esitetään kysymys, niin empiria antaa vastauksen. (Kurki-Suonio, K. 2013, 61.)

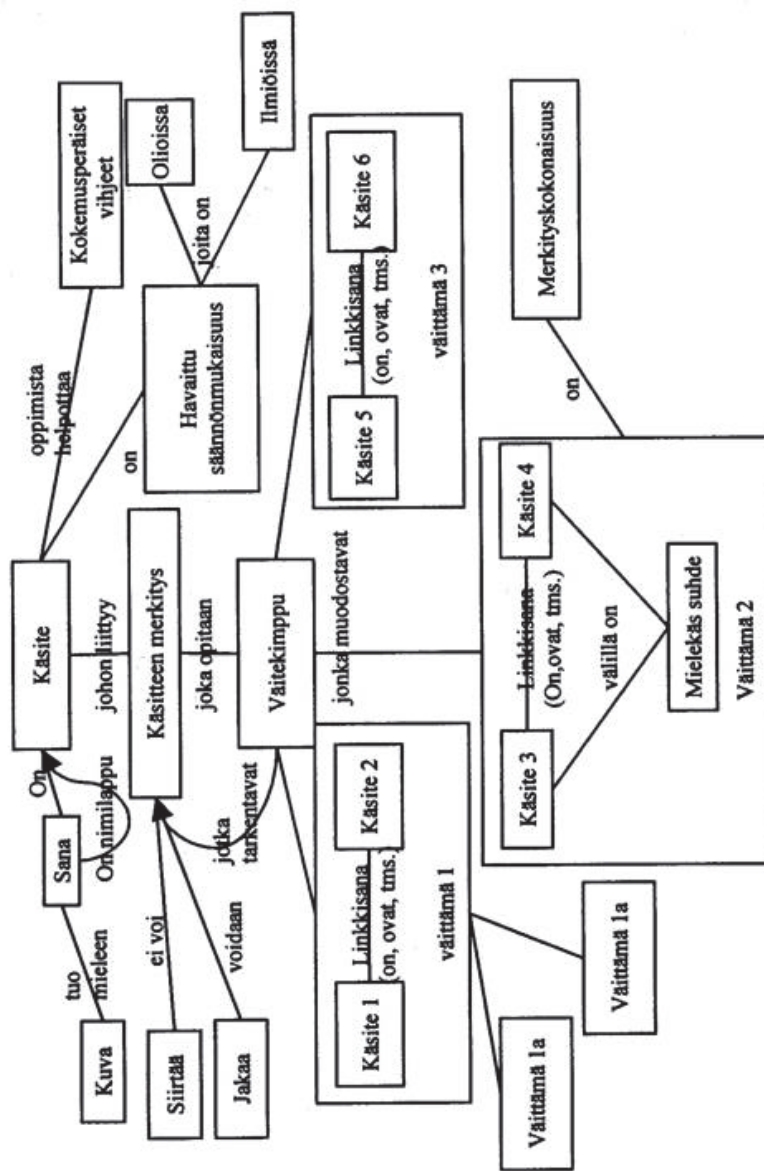
Kurki-Suoniolle (2013) tiede ja oppiminen ovat samankaltaisen prosessin ilmentymiä. Molemmilla on hierarkkisesti etenevä hahmotusprosessi. Tämä opetusfilosofia käyttää opettajalle tuttuja arkielämän käsitteitä. Oppiminen on hahmojen havaitsemista, ja käsitteet voidaan oppia hahmoina. Ne syntyvät, jos havainnossa on riittävä määrä johdonmukaisuutta. Hahmot assimiloituvat mieleen uutena elementtinä. Tämän prosessin luonnollinen jatkumo on tiede. Uusien hahmojen synnyssä Kurki-Suonio korostaa mielen rakenteen kumulatiivis-

ta luonnetta. Hänellä on selkeä näkemys oppimisen luonteesta: ulkoluku on lineaarista, hahmottaminen eksponentiaalista. (Kurki-Suonio, K. 2013, 62.)

Merkitykset ovat ensin

Käsite on olioissa ja ilmiöissä havaittu säännönmukaisuus, jota merkitään sopivalla kielellisellä ilmauksella (Novak & Cowin 1984, 7). Käsitteeseen liittyy sen merkitys, joka voidaan esittää väitekimppuina. Väitteen muoto voi olla propositio, joka ilmaisee käsitteiden välisen relaation. Merkityksen rakentuminen on esitetty kuviossa 4.2. Kurki-Suonioille (1994, 1998) käsite on hahmotusprosessin tulos. Merkitys syntyy havaintojen perusteella. Tällä tavalla syntyneessä käsitteessä on teoreettisena komponenttina mielikuva ja empiirisenä havainto. Kurki-Suoniot (1994, 1998) korostavat, että pelkkä sana ei ole käsite vaan tiettyyn mielikuvaan liitetty hahmo. Hahmo käsitteistyy kielen kautta. Hahmotusprosessissa luodaan ne kielelliset ilmaisut, joilla voidaan ilmaista mielikuvat. (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 141; Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1998.) Ryhmätyössä vahvistetaan ja varmistetaan, että käsite tai termi synnyttää meissä saman mielikuvan (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 144-146). Käsite ei ole koskaan valmis, vaan tieteellinen ja teknologinen vuorovaikutus muuttaa käsitteen määritelmää. Käsite ja siihen liittyvä merkitys ovat erottamattomia, koska käsite on tietyn prosessin tulos. (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 143.)

Merkityksen rakentuminen



Empiirinen käsitteenmuodostus

Ymmärtäminen ja hyöty jakavat tieteenluomisen prosessin kahteen osaan: tieteelliseen ja teknologiseen. Tieteellisen ydinprosessin suunta on luonnosta teoriaan. Ymmärtämisen ydinkysymys on ”Miten”. Meidän on ensin selvitettävä ”Miten”, jotta voimme edes jotenkin vastata kysymykseen ”Miksi”. Empiria on ydin. Kaikki ymmärtämiseen liittyvät kysymykset edellyttävät havaitsemista ja ilmiöiden lainalaisuuksien selvittämistä. Luokittelun perusteena ovat oliot, ilmiöt ja niitä koskevat ominaisuudet. (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 145.) Syitä ei voi löytää ennen ilmiötä hallitsevien säännönmukaisuuksien löytämistä.

Kurki-Suonioiden (1994) näkemyksen mukaan ymmärtäminen on luonteeltaan kvalitatiivista. He korostavat alkuvaiheen prosesseja. Niiden tuloksena syntyy hahmokokonaisuuksia ja kausaalimalleja. Kvantifioinnin tuloksena on suureita, lakeja ja teorioita. Nämä täsmentävät ymmärtämistä. (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 268.)

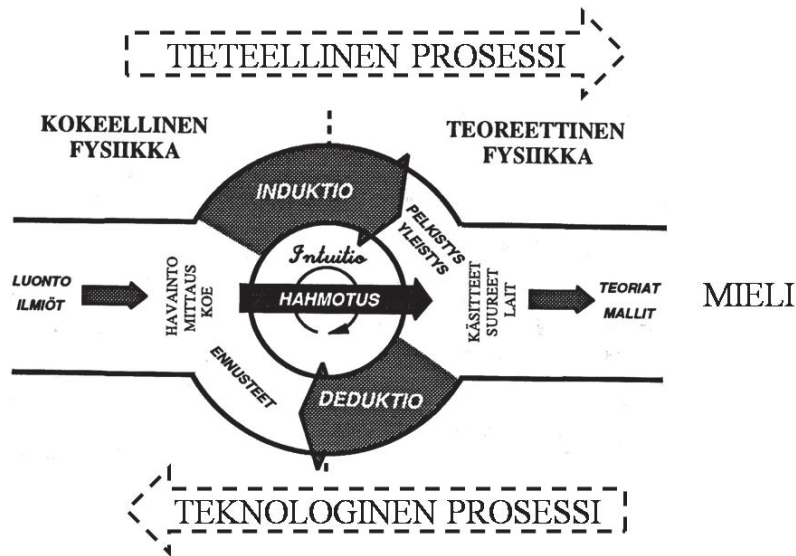
Mallintavassa lähestymistavassa (Hestenes 1987, 443; Hestenes 1996) empiria on malleja testaavaa ja todentavaa. Sitä vastoin Kurki-Suoniot (1994) edustavat vastakkaista näkemystä. Heidän mielestään teorian tehtävä on kokeen selittäminen: koetta ei käytetä teorian peruskäsitteiden empiriseen hahmottamiseen. Selittämisen lähtökohta on aina kieli ja teoria. (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 144–146, 270.) Selittämisprosessin empiriassa testataan mallin ja luonnon välistä vastaavuutta. Mallien rakentamisen lähtökohta on teoria.

Opetuksessa Kurki-Suoniot (1994) painottavat tieteellistä prosessia, jossa luodaan hahmokokonaisuuksien kausaalisia malleja. Heidän näkemyksensä on myös konstrukttiivinen. Oppilaan omat tiedot, mielikuvat ja kokemukset ovat lähtökohtana. Tämä merkitsee, että ennakkokäsitysten muokkaaminen tieteen käsitysten mukaiseksi opettaa oppilasta luottamaan omaan ajatteluunsa. Kun teoria ymmärretään, tulee mahdolliseksi teknologisessa prosessissa tapahtuva soveltaminen. Opetuksessa tämä voi olla erilaisten laitteiden ja koneiden toimintaperiaatteiden tutkimista ja selittämistä. (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 267–268, 270.)

Hahmottavassa lähestymistavassa fysiikkaa ei jaeta teoreettiseen ja kokeelliseen osaan, vaan Kurki-Suoniot (1994) korostavat yhdistävää dualismia. Kun käsite ymmärretään hahmona, niin se ei ole stabiili vaan muuttuu jatkuvasti. Syy on kokeellisuuden ja teorian kehitys, joita on vaikea erottaa toisistaan. (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 143.)

4.1.2 Rakenteellinen fysiikan opetus

Kurki-Suoniot (1994, 249) määrittelevät lähestymistavan, joka on ” – – tietyn suunnitelman tai strategian noudattamista pyrittäessä kohti tavoitetta.” Kuviossa 4.3 he esittävät hahmottamisen kaksisuuntaisen logiikan.



KUVIO 4.3 Hahmottamisen kaksisuuntainen logiikka (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 149)

Havaintotieto on raaka-ainetta, josta jalostetaan käsitteitä, lakeja ja teorioita. Geneettinen lähestymistapa, joka liittyy hahmottamisen kaksisuuntaiseen logiikkaan, korostaa käsitteiden ja lakien syntyhistoriaa sekä ideoiden ja intuition merkitystä. Pelkästään loogisesti päätelemällä tuloksia ei saavuteta. (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 149–152, 249–252.)

Kurki-Suoniot näkevät (1994) empirian merkityksen siinä, että se auttaa näkemään käsitteiden ja mallien epätäydellisyyden. Niillä on oma pätevyysalueensa, ja malli on aina reaali maailman epätäydellinen kuvaus. (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 252–255.)

Laskemista Kurki-Suoniot (1994) pitävät fysiikan ehkä alimpänä vaikeusasteena. Vaikeinta on saada oppilaan mentaalimalli vastaamaan sekä kokeellista todellisuutta että siihen liittyvää matemaattista struktuuria. Kurki-Suoniot kuvaavat probleeman ratkaisun vaiheet taulukossa 4.1. Tämä vaiheistus auttaa hahmottamaan ne eri vaiheet, jotka sisältyvät fysiikan laskennallisen probleeman ratkaisuun. (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 246.)

TAULUKKO 4.1 Probleeman ratkaisu hahmottavassa lähestymistavassa

Ratkaisun eri vaiheet
1. <i>Ilmiö:</i> Todetaan systeemi, ympäristö, mitä tapahtuu, mikä vaikuttaa ja miten.
2. <i>Suureet, lait</i> Nimetään ilmiötä koskevat lait sekä käytettävät periaatteet ja teoria. Kirjoitetaan lait yleisessä muodossa yhtälöinä, ja selitetään tunnusten merkitys.
3. Todetaan edellytykset, joilla lait jne. pätevät.
4. Tarkistetaan, miksi ja miten hyvin nämä edellytykset toteutuvat tehtävän tilanteessa (sekä tehtävän asettelun että tulosten perusteella).
5. <i>Malli:</i> Kirjoitetaan lait tehtävän tilannetta ja käytettyä mallia vastaavaan erityiseen muotoon. Valitaan koordinaatisto, positiiviset suunnat, nollakohdat.
6. Tarkastellaan, mitä tekijöitä on jätetty ottamatta huomioon, millainen on niiden vaikutus ja miten oikeutettuja niiden huomiotta jättäminen on.
7. Tarkastellaan, ovatko tulokset mahdollisia ja järkeviä tehtävässä käsitellyn ilmiön ja tilanteen kannalta.

Huom. Lähde: Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 315

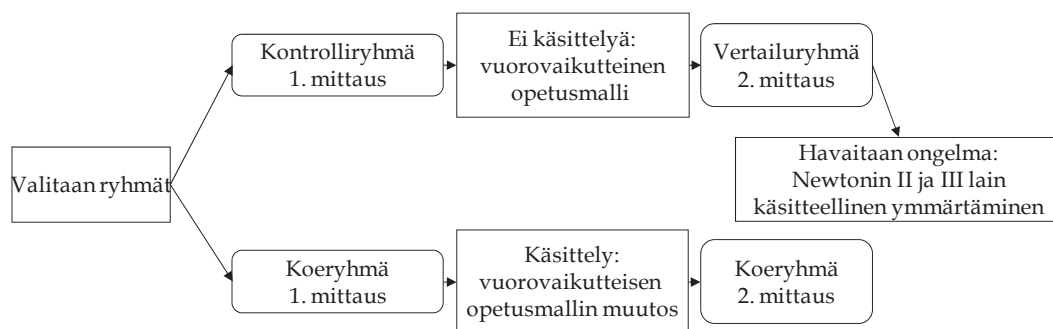
Koska fysiikan käsitejärjestelmä on vahvasti hierarkkinen, niin hierarkkinen verkko Kurki-Suonioiden (1994) mukaan sitoo opetuksen ja käsitteiden käyttöönoton järjestyksen, ja tämän he katsovat koskevan erityisesti kvantitatiivista tasoa. Sen sijaan kvalitatiivisella tasolla järjestys ei ole niin oleellista. (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 269–274.) Kuviossa 4.1 on esitetty hahmottavassa lähestymistavassa opetuksen etenemissuunta. Sen sijaan siihen, miten käytännössä opetus teknisesti toteutetaan, ei lähestymistapa anna ohjeita. Kuviossa 4.1 olevat suunnatut silmukat esittävät kuvion 4.3 hahmottamisen kaksisuuntaista logiikkaa.

Lukion opetuksessa Kurki-Suoniot (1994) korostavat rakenteellisia kokonaisuuksia. Oppilaalle pitäisi kehittyä kyky ajatella kuten fyysikko: nähdä yleiset luonnonlait yksittäisissä ilmiöissä ja kyky ymmärtää ilmiöiden sekä laskennallisen esityksen välinen yhteys. Oleellisia asiakokonaisuuksia olisivat dynaamiset periaatteet, kuten liikeyhtälön ja vuorovaikutuksen ideat, suuret säilymlait, energia- ja impulssiperiaate, yhdentävät käsitteet, kuten hiukkanen, vuorovaikutus, kenttä, systeemi, voima ja energia. (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 246–249.)

4.2 Koehenkilöt ja tutkimusasetelma

Tämä tutkimus on jatkoa liseniaatintutkimukseeni (Utraisen 2004) ja noudattaa pääpiirteittäin siinä käytettyä tutkimusasetelmaa. Taulukossa 4.2 esitettyä koeasetelmaa voidaan kutsua myös puoli- eli kvasikokeelliseksi koeasetelmaksi, koska ryhmät ovat muotoutuneet oppilaiden valintojen perusteella eikä satunnaistamisen kautta. Ei-satunnaistetun kokeen asetelma ilmenee kuvioista 4.4.

Taanila pitää kuviossa 4.4 esitettyä asetelmaa erittäin heikkona, ellei etukäteismittausta ole tehty (Taanila 2012, 14). Mutta Metsämuuronen (2006, 1255) toteaa, että jos ryhmät alkumittauksen perusteella ovat samalla tasolla, niin ryhmiä voidaan käsitellä kuten satunnaistettuja ryhmiä.



KUVIO 4.4 Ei-satunnaistettu koe

TAULUKKO 4.2 Tutkimusasetelman koejärjestelyt: O = testi, X = käsittely (opetus)

Ryhmä	1.vuosikurssi, alkumittaus	2.vuosikurssi alkumittaus	2.vuosikurssi, loppumittaus
Kontrolliryhmä	O _{FCI-e} , O _{loppukoe}	X1	O _{FCI-j} , O _{FMCE} O _{TUG-K} , 2) O _{MBT}
Koeryhmä	O _{FCI-e} , O _{loppukoe}	X2 1) O _{MPEX-e}	O _{FCI-j} , O _{FMCE} , O _{MPEX-j} 3) O _{TUG-K} , 4) O _{MBT}

Huom. e on esitesti ja j on jälkitesti. FCI ja FMCE testaavat newtonilaiseen mekaniikkaan liittyviä ennakkokäsityksiä, MPEX luotaa opiskelijoiden odotuksia. TUG-K testaa kykyä tulkita kinematiikan kuvaajia. 1) Toisen vuosikurssin alussa 2) Kolmannella vuosikurssilla kertaamisen jälkeen. 3) Testi pidetty kinematiikan opetuksen jälkeen, koska kinematiikka ja dynamiikka opetettiin erikseen. 4) Toisella vuosikurssilla Pyöriminen ja gravitaatio -kurssin jälkeen

Kokeiluun osallistuivat lukion toisen vuosikurssin oppilaat. Kontrolliryhmää kutsutaan F-ryhmäksi (Fotoni-oppikirja). Opiskelijoiden ikä oli noin 17 vuotta. Kurssin opiskelijoiden lukumäärä oli 19, joista poikia oli 13 ja tyttöjä 6 kappaletta.

Koeryhmässä nimeltään P (Physica-oppikirja) ikäjakauma oli vertailuryhmän kaltainen. Poikia oli 10 ja tyttöjä 8. Ryhmiin valikoitumiseen vaikuttivat ainevalinnat ja lukujärjestystekniset syyt.

Tutkimushetkellä lukion opetussuunnitelmissa mekaniikan kurssi oli jaettu kahteen osaan. F-ryhmässä kurssien nimet olivat Mekaniikka 1 ja 2 (vuoden 1994 opetussuunnitelma) ja P-ryhmässä Liikkeen lait sekä Pyöriminen ja gravi-

taatio (vuoden 2004 opetussuunnitelma). Tässä opetuskokeilussa ei ollut mukana statiikkaa. Sama koskee P-ryhmää.

Lisäksi MBT-testissä oli P-ryhmän vertailuryhmänä vuosien 2003–2006 ylioppilaskokelaista ja F-ryhmän viidestä fysiikan kertauskurssiin osallistuneesta abiturientista muodostettu A-ryhmä, jonka koko oli 53 opiskelijaa. MBT-testissä F-ryhmän viiden opiskelijan tulosten vertaaminen P-ryhmän 18 opiskelijan tuloksiin voisi vääristää testitulosten perusteella tehtyjä johtopäätöksiä.

Kokeilulukio oli 250 opiskelijan maaseutulukio. Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että lukioon pääsyn keskiarvokynnys oli noin 7. Kuuselan mukaan lukio voi saavuttaa hyviä oppimistuloksia, vaikka keskiarvokynnys olisikin matala (Kuusela 2003). Molemmilla ryhmillä oli opetusta viisi viikkoa, ja kuudes viikko oli koeviikko.

Taulukossa 4.2 olevan koejärjestelyn validiteettia arvioidaan erikseen luvussa 6. Molempien ryhmien opettajana toimi tutkija. Koko ajan pyrittiin tietoisesti välttämään testitehtäviä muistuttavia tehtäviä. N3. lain osalta tämä oli hieman vaikeaa, koska kysymys on kahden kappaleen välisestä vuorovaikutuksesta ja eri tehtävätyypit muistuttavat toisiaan.

Tutkimusasetelman lähtökohta oli, että N2. lain osaamisessa oli puutteita, joita koeryhmän opetuksessa ryhdyttiin korjaamaan. Koska ryhmiä muodostettaessa satunnaistaminen ei ollut mahdollista, jouduttiin käyttämään ei-satunnaistettua koeasetelmaa.

Tällä asetelmalla pystytään kontrolloimaan molempien ryhmien lähtötaso esitesteillä. Fysiikan opetuksen tutkimus on kuvannut hyvin tarkkaan N2. ja N3. lakiin liittyvät ennakkokäsitykset. Näin ollen vertailukohtana toimivat testikysymysten oikeat vastaukset, jotka ovat yksikäsitteiset mekaniikan luonteesta johtuen.

F-ryhmän FCI-esitesti oli ensimmäisen kurssin alussa syyskuussa 2004 ja lopputesti mekaniikan kurssin loppukokeessa marraskuussa 2005. Vastaavasti P-ryhmällä olivat alkutestit syyskuussa ja marraskuussa 2005 sekä lopputesti joulukuussa 2006. Kokeilu kohdistui toisen vuosikurssin mekaniikan kurssiin, mutta lähtökohdat edellä mainituille opinnoille ovat ensimmäisellä vuosikursilla.

Shadish, Cook ja Campbell (2002) asettavat kolme ehtoa, jotta puolikokeellisen koeasetelman perusteella voidaan tehdä päteviä päätelmiä. Syyn on oltava ennen seurausta (aikatekijä). Toiseksi syyn ja seurauksen on kovarioitava eli kaksi ilmiötä liittyvät toisiinsa, ja kolmanneksi vaihtoehdotiset selitykset eivät ole uskottavia. (Shadish, Cook & Campbell 2002, 105; Metsämuuronen 2006, 407–408.)

FCI- testillä etukäteismittaus on tehty, samoin MPEX-testillä Sen sijaan TUG-K-, FMCE- ja MBT-testeillä näin ei ole. TUG-K-testi mittaa oppilaan kykyä tulkita kuvaajia, ja ilman riittävää harjoittelua tulokset ovat lähinnä hyviä arvauksia. FMCE-testin kysymyksistä osa on samoja kuin FCI-testissä, ja testin alkupuolen kysymyksiin vastaaminen mittaa todellista osaamista vasta dynamiikan opetuksen jälkeen. MBT-testi on vaativampi kuin FCI-testi, koska testissä mitataan mekaniikan perustaitoja. Tämän testi käyttöä voi harkita vasta me-

kaniikan kurssien jälkeen, kuten tässä tutkimuksessa on tehty. FMCE-testillä ei ole ennakkotestiä, mutta ei ole uskottavaa, että oppilaan Newtonin toiseen ja kolmanteen lakiin liittyvät ennakkokäsitykset poistuvat ilman opetusta vain kypsytymisen ja ympäristöstä tulevan informaation kuten television, sosiaalisen median ja yleistajuisten kirjallisten esitysten kautta (Vrt. Shadish, Cook & Campbell 2002, 107).

Jos tarkastellaan dynamiikan opetusta, niin

- dynamiikan oppiminen on seurausta opettamisesta, syy edeltää seurausta.
- ilmiöt ovat samanaikaisia. Kun opetetaan N2. ja N3. lakia, niin on tutkittava niitä oppilaita, joille opetusta on annettu. Ilmiöillä on paikallinen yhteys.
- Looginen riippumattomuus: Opettaminen on ”äiti” ja oppiminen on ”lapsi”.

Onko tuloksia mahdollista selittää muuten kuin opetuksen kautta? Luvussa 2.6 fMRI-kvantamistutkimukset osoittivat, että ihmisen taipumus pitää omat ennakkokäsityksensä on vahva, ja niiden muuttaminen on vaikeaa ilman tehokasta opetusta. Voi olla lahjakkaita yksilöitä, jotka pystyvät opiskelemaan ilman luokkaopetusta, mutta nämä yksilöt lienevät harvinaisuuksia.

Fysiikka oppiaineena on erikoisasemassa. Sen oppimiseen on käytännössä mahdollisuus vain koulussa. Vaikka esimerkiksi televisiossa on luonto-ohjelmia, ne eivät lisää newtonilaisen mekaniikan ymmärtämistä eivätkä vähennä fysiikkaan liittyviä ennakkokäsityksiä. Kansantajuiset fysiikan ilmiöitä selittävät kirjat (Mäkelä & Suvanto 1983; Keskinen, Manninen, Miettinen & Oja 1985; Grimvall 1993; Mäkelä & Suvanto 1999,) poikkeuksena Jääkiekon fysiikka (Haché 2002) eivät kuitenkaan riitä, jos tarkoituksena on syvällisemmin perehtyä fysiikkaan. Ne ovat hyödyllisiä kiinnostuksen herättäjiä ja tärkeää oheislukemistoa.

Jos Taanilan lausumaa koeasetelmasta pidetään fysiikan opetuksen tutkimuksen ohjeena, niin tämä tutkimus ei täytä hänen asettamiaan kriteereitä. Hän käyttää esimerkkinä oppimateriaaliin liittyvää tutkimusta, jossa oppilaat testataan ennen ja jälkeen intervention. Jos tulokset ovat paremmat uutta materiaalia käyttäneillä oppilailta, niin tämän voidaan ajatella johtuvan uudesta materiaalista. Taanila esittää kaksi tekijää, jotka saattavat vaikuttaa kokeilun lopputulokseen. Kouluttaja voi olla innostunut uuden materiaalin käytöstä, ja oppilaiden keskinäisen vuorovaikutuksen seurauksena oppimateriaalin vaikutus voi siirtyä vertailuryhmään. (Taanila 2012, 14.) Tätä ongelmaa ei ole, koska tässä tutkimuksessa ryhmät opiskelivat eri lukuvuosina samaa aihetta. Yleensä tietojen vaihto ryhmien kesken on vähäistä, vaikka se usein olisi toivottavaa.

Tämä tutkimus on sekä interventio- että toimintatutkimus – jälkimmäinen siinä mielessä, että sekä tutkija että opettaja ovat sama henkilö. Syrjälä, Ahonen, Syrjäläinen ja Saari (1994, 31–33) nimittävät interventiotutkimusta myös tekniseksi tutkimukseksi, koska projekti käynnistyi opettajan toimesta, ei oppilaiden.

Cohenin, Manionin ja Morrisonin (2000, 226) mukaan toimintatutkimus on paikallaan, kun pyritään löytämään ratkaisu tietyssä tilanteessa havaittuun ongelmaan tai kehittämään olemassa olevaa käytäntöä paremmaksi. Redish (1994) ei väheksy pienen otoksen tutkimuksia. Ne voivat antaa arvokasta tietoa jatkotutkimuksia ajatellen. Tämä tutkimus voi antaa viitteitä opetusmallin vaikutuksesta oppilaiden kykyyn ratkaista fysiikan probleemoja.

Tutkimuksessa ei ole pyritty testaamaan jotakin teoriaa tai hypoteesia vaan tarkastelemaan, miten opetusta pitäisi muuttaa, jotta N2. lain soveltaminen onnistuisi paremmin. Testeissä mitattiin erityisesti voimaan ja kiihtyvyyteen liittyviä käsityksiä. On mahdollista, että saatavan tiedon perusteella opetuskäytäntöjä voidaan muuttaa.

Tähän tutkimukseen liittyvää materiaalia, joka koski liikeyhtälön ratkaisua, on esitetty aikaisemmin (Utriainen 2014, 41–48). Testitulosten samankaltaisuus aikaisempiin tutkimuksiin lisää validisuutta. Kaikki testeihin liittyvät alkuperäiset vastaukset ja yhteenvedot ovat tallessa. Sisäisen ja ulkoisen validiteetin uhkia käsitellään pohdinnan yhteydessä.

4.3 Kurssisuunnitelmat ja opetusmalli

Taulukossa 4.3 ovat F-ryhmän kokeilukurssien rakenne ja sisältö. Käsitteellä etenevä opetus tarkoitetaan tässä tutkimuksessa opetusta, jossa oppitunti käyteen joko uuden asian opettamiseen tai laskuharjoitteluun. Koeviikolla tai mahdollisesti kurssin lopussa kertaukseen kulunutta aikaa ei lasketa mukaan.

F-ryhmän oppikirja oli Fotoni 4 (Eskola, Ketolainen & Stenman 2001). Kirjan tekijät ilmoittavat käyttävänsä hahmottavaa lähestymistapaa, mikä oli kirjan valinnan pääkriteeri kirjan ilmestyessä. Taulukossa 4.4 on P-ryhmän kurssisuunnitelma. P-ryhmän oppikirja oli Physica 4 Liikkeen lait (Hatakka, Saari, Sirviö, Viiri & Yrjänäinen 2005).

Taulukossa 4.5 on esitetty opetusmallin samankaltaisuudet ja eroavuudet. Liikkeen lait -kurssiin kuuluivat lisäksi Työ ja energia sekä Energian säilyminen, joihin käytettiin yhteensä seitsemän oppituntia (6-jaksojärjestelmä, 60 minuutin oppitunti). F-ryhmällä kertauksiin, testeihin ja kokeisiin kului kahdeksan oppituntia ja vastaavasti P-ryhmällä viisi oppituntia.

Tutkimusaineisto kerättiin opetuksen yhteydessä. Kurssin alussa opiskelijoille kerrottiin, että testit kuuluvat normaaliin opetukseen ja ne eivät vaikuta arvosanoihin. Tällä poistettiin testijännitystä. Kuitenkin korostettiin, että testit pitää ottaa ”tosissaan”, jotta osaamisen tasosta saadaan luotettavaa tietoa.

TAULUKKO 4.3 F-ryhmän Mekaniikka 1:n kurssisuunnitelma

Aihepiiri	Sisältö	Oppitunnit
Aloitus	Kertaus: perushahmotus, vuorovaikutuksen ominaisuudet, miten fysiikkaa opiskellaan	1
Vapaa kappale	N1. laki, tasainen liike, keskinopeus, kuvaajat	2
Vuorovaikutuksen symmetrisyys, törmäykset	Hidas massa, liikemäärä, impulssi, liikemäärän säilymlaki, kimmoisa ja kimmoton törmäys	4
Tasainen vuorovaikutus	Hetkellinen nopeus, keskikiiktyvyys, hetkellinen kiihtyvyys, tasaisesti kiihtyvä liike, liikeopin perusprobleema, laskuharjoitus, kertaus	4
Hetkellinen vuorovaikutus	Voima, N2. laki	2
Vaikutus-vastavaikutus	N3. laki, voimien yhteisvaikutus, komponentit, dynamiikan peruslaki liikeyhtälönä, liikemäärä, impulssiperiaate, laskuharjoitus	5
Voimien lait	Voiman mittaaminen, Galilein painovoimalaki, pinnan tukivoima, langan jännitys, kitka	3
Dynamiikan perusprobleema	Systemikaavio, kappaleen liikeyhtälö, kytketyt kappaleet, harjoituksia	5

TAULUKKO 4.4 P-ryhmän Liikkeen lait kurssisuunnitelma

Aihepiiri	Sisältö	Oppitunnit
Aloitus	Kertaustesti, MPEX-testi, fysiikan opiskeluohjeet	1
Liike	Paikka, siirtymä, matka, keskinopeus ja -vauhti, hetkellinen nopeus, tasainen liike, suhteellinen liike	3
Muuttuva liike	Keskikiiktyvyys, hetkellinen kiihtyvyys, tasaisesti kiihtyvä liike, liikkeen tutkiminen, tasaisesti kiihtyvä liike mallina	4
Liikemäärän säilymlait, Newtonin lait	Massan hitaus, N1. laki, impulssi = liikemäärän muutos, liikemäärä, liikemäärän säilymlaki, voima liikemäärän muutosnopeutena, N2. laki (dynamiikan peruslaki), N3. laki, voiman impulssi, impulssiperiaate, muuttuvan voiman impulssi, dynamiikan laskutehtävien ratkaiseminen, voiman komponentit, kalteva taso	8
Vastusvoimia ja noste	Kitka, väliaineen vastus, noste ja Arkhimedein laki	3
Voima- ja liikeprobleemat	Kytkeytyt kappaleet, kokonaisvoiman ja liiketilän välinen yhteys, törmäysprobleemoja	3

P-ryhmä oppilaat arvioivat kurssin aikana omaa opiskeluaan ja sitä, miten vaikeana he kokivat opiskeltavan asian. Arviointi sisälsi oman tuntityöskentelyn ja arvion siitä, miten opin asian. Lomakkeet palautettiin opettajalle kurssin päätyttyä. Kurssien tiukka aikataulu 6-jakso-järjestelmässä aiheuttaa sen, että joissakin tapauksissa on käytettävä kerrottua empiriaa. Esimerkiksi P-ryhmällä massanhitatus-mittaus tehtiin ensin demonstraationa, jonka jälkeen seuraavilla oppitunneilla saatuja tuloksia käytettiin hyväksi, kun johdettiin liikemäärän säilymislakia. Oppilaille muodostuu selkeä kuva fysiikasta empiirisenä tieteenä. Fysiikan lait eivät tule tyhjästä, vaan niillä on kokeellinen pohja.

Opiskelijaryhmien koko oli 3-4 oppilasta. Keskusteluissa keskinäinen vuorovaikutus lisääntyy, ujut opiskelijat voivat osallistua toimintaan ja erilaiset ajatusmallit tuleva esille. Ryhmä voi sopia keskenään, kuka antaa palautteen. Tärkeää on huomata opiskeluohjeet (liite 4), joissa korostetaan oppitunnille valmistautumista, aivojen harjoittelua verrataan lihasten harjoitteluun ja oikeaa asennetta.

Demonstraatioissa vaiheistus on seuraava (Sokoloff & Thornton 1997):

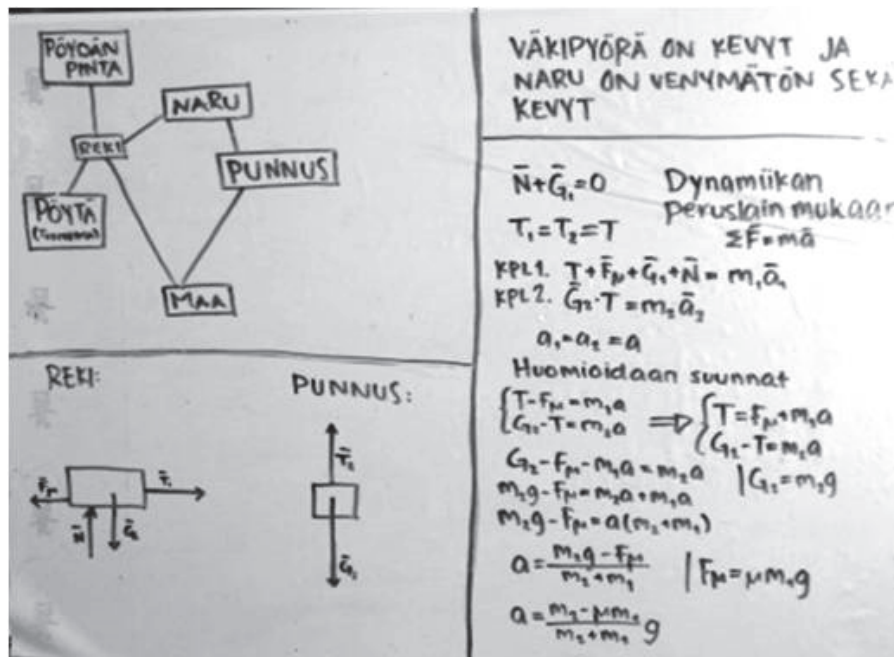
1. Esitellään demonstraatio ja tehdään se kuvitteellisesti. Mittausta ei tässä vaiheessa suoriteta.
2. Opiskelijoille jaetaan kaksi paperia, joista toiseen merkitään oma ja toiseen ryhmän yhteisesti neuvottelema ennuste kokeen lopputuloksesta.
3. Jokainen opiskelija merkitsee oman ennusteensa paperille, ja paperit kerätään pois.
4. Ryhmät keskustelevat kunkin esittämästä ennusteesta.
5. Ryhmän yhteisesti sopima ennuste palautetaan.
6. Suoritetaan demonstraatio mittaustuloksia hyväksi käyttäen.
7. Keskustellaan tuloksista demonstraation kontekstissa.

Molemmissa ryhmissä käytettiin opetusmallina hahmottavaa lähestymistapaa, mutta F-ryhmässä kinematiikka niveltyy dynamiikkaan toisin kuin P-ryhmässä, jossa ne opetetaan erillään. P-ryhmä käytti probleeman ratkaisussa Minnesota-mallia, jossa on viisi vaihetta: muodostetaan mielikuva tehtävän ratkaisusta, kuvataan tehtävään liittyvä fysiikka kuvioina/kuvaajina, suureina ja suureyhtälöinä, ratkaistaan suureyhtälöt, sijoitetaan arvot ja arvioidaan ratkaisun järkevyyden. Kukin vaihe jakautuu vielä osavaiheisiin. (Heller, Keith & Anderson 1992).

Minnesota-mallin probleeman ratkaisua voidaan harjoitella ryhmissä rihvelitaululla. Se on valkoinen tussitaulu, jolle ryhmä esittää tehtävän ratkaisun. Kuviossa 4.5 on esimerkki erään P-ryhmän ratkaisusta, joka koski modifioitua Adwoodin pudotinta. Rihvelitaululla näkyvät vuorovaikutuskaavio, voimakuvio, oletukset, liikeyhtälöt ja valmis ratkaisu. Kun ryhmät ovat valmiit, taulut esitellään luokan edessä. Tämän jälkeen opettaja esittelee malliratkaisun. Jatko-tehtävänä tähän voidaan liittää kitkakertoimen määrittäminen ja mittaus, jolloin voidaan verrata mallin antamaa ennustetta ja mittaustulosta.

TAULUKKO 4.5 Fysiikan dynamiikan kurssien opetusmallien erot

Aihe	F-ryhmä	P-ryhmä
Opetussuunnitelma	1994	2004
Oppikirja	<i>Fotoni 1 ja 4</i>	<i>Physica 1, 4 ja 5</i>
Opetustapa	vuorovaikutteinen	vuorovaikutteinen
Ryhmät	3-4 henkeä	3-4 henkeä
Fysiikan opetuksen didaktinen periaate	hahmottava lähestymistapa	hahmottava lähestymistapa
Opettaja	sama	sama
Kinematiikka ja dynamiikka	<i>lomittain</i>	<i>erillään</i>
Uusien käsitteiden käyttöönotto	kokeellisesti	kokeellisesti
Dynamiikan opetusjärjestys	Massan hitaus, liikemäärän muutos, liikemäärä, voima liikemäärän muutosnopeutena, N2. ja N3. laki	Massan hitaus, liikemäärän muutos, liikemäärä, voima liikemäärän muutosnopeutena, N2. ja N3. laki
N3. lain opetus	Laws, Sokoloff & Thornton (1999)	Laws, Sokoloff & Thornton (1999)
Vuorovaikutusten kuvaus	<i>systeemikaavio</i> (monisteena) ja voimakuvio	<i>vuorovaikutuskaavio</i> (kirjassa) ja voimakuvio
Jaettu lisämateriaali	Java-applettien osoitteita, monisteina: - oppituntien yhteenvetoja - käsitekarttoja - oppituntien PowerPoint-dioja - yhteenvetokuvio	Java-applettien osoitteita, monisteina: - oppituntien yhteenvetoja - oppituntien PowerPoint-dioja - <i>dynamiikan tehtävään ratkaisun eri vaiheet</i>
Harjoittelu	Kaksi palautettavaa dynamiikan probleemaa, jotka arvosteltiin.	N2. lain mukaisen liikeyhtälön laatiminen 13:ssa eri kontekstissa. Tehtävät palautettiin arvioitaviksi.
Opiskeluohjeet	Tavanomaiset - läksyt luetaan - tehdään kotitehtävät	<i>Ennen oppituntia tutustutaan (Liite 4)</i> - <i>tulevaan aiheeseen</i> - <i>oppikirjan käsitekarttaan</i> - <i>aiheen otsikoihin</i> - <i>kirjan tekstiin</i> <i>Lisäksi korostettiin, että</i> - <i>aivot ovat lihas, jota harjoittelu vahvistaa</i> - <i>ponnistellaan suorituskyyvyn ylärajoille</i> - <i>käytetään sisua</i> - <i>tehdään kirjallinen itsearviointi</i>



KUVIO 4.5 Opiskelijaryhmän N2. lain harjoitus rihvelitaululla

Seuraavassa luvussa esitellään ne tavat, joilla tutkimuskysymyksiin haetaan vastauksia.

4.4 Tiedonhankinta

Tutkimusongelmien ratkaiseminen edellyttää, että opetusryhmästä hankitaan tietoa erilaisilla menetelmillä, jolloin saadaan monipuolisempi kuva. Kvalitatiivista ja kvantitatiivista osaamista on tutkittu 1.vuosikurssin loppukokeella, käsitesteillä ja asenteita kyselyllä sekä MPEX-testillä. Lisätietoa saadaan analysoimalla oppikirjoja.

4.4.1 Käsitetestit

FCI-voimakäsitystesti (The Force Concept Inventory). Testi ei mittaa älykkyyttä, vaan pyrkii luotaamaan suorittajan uskomusjärjestelmää. FCI-voimakäsitystestin ovat kehittäneet Hestenes, Wells ja Swackhamer (Hestenes, Wells & Swackhamer 1992, 141-158; Halloun, Hake, Mosca & Hestenes versio 1995).

Kuviossa 4.6 on esimerkki FCI-testin tehtävästä 17. Newtonilaisen mekaniikan keskeinen käsite on voima. Testissä voiman ennakkokäsitykset on jaettu kuuteen luokkaan. Suurin osa testin kysymyksistä, joita on 30, liittyy voimaan ja sen vaikutuksiin. Jokaisessa kysymyksessä on viisi vaihtoehtoa, ja vain yksi

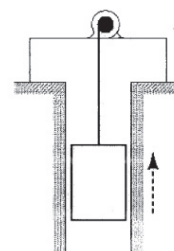
on oikea, joka edustaa newtonilaista käsitystä. Muut neljä vaihtoehtoa liittyy vallitseviin ennakkokäsityksiin. Testauksessa käytettiin testin suomalaista käännöstä (Koponen, Jauhiainen & Lavonen 2000). Taulukossa 4.6 on esitetty ne tehtävät, jotka koskevat N2. lakia.

TAULUKKO 4.6 FCI-testin N2. lakiin liittyvät tehtävät

Tehtävä	Konteksti	Dynamiikka
17	Hissi	Liike vakionopeudella: Vajjerin jännitysvoiman ja painovoiman suhde
22	Raketti ulkoavaruudessa	Vakiovoiman vaikutus vauhtiin
25	Laatikon työntö lattialla	Vakionopeus: työntövoiman suhde panoon/kokonaisvoimaan
26	Laatikon työntö lattialla	Työntövoiman kaksinkertaistamisen vaikutus nopeuteen
27	Laatikon työntö lattialla	Työntövoiman lopetuksen vaikutus laatikon liikkeeseen

17. Kuvan mukaisessa tilanteessa hissikori nousee ylöspäin teräsvaijerin varassa. **Oleta, että kaikki kitkan kaltaiset liikettä vastustavat voimat ovat niin pieniä, että niiden vaikutus voidaan jättää huomiotta.** Kun hissikori liikkuu ylöspäin **vakionopeudella**.

- ylöspäin vaikuttava teräsvaijerin jännitysvoima on suurempi kuin alaspäin vaikuttava painovoima.
- ylöspäin vaikuttava teräsvaijerin jännitysvoima on yhtä suuri kuin alaspäin vaikuttava painovoima.
- ylöspäin vaikuttava teräsvaijerin jännitysvoima on pienempi kuin alaspäin vaikuttava painovoima.
- ylöspäin vaikuttava teräsvaijerin jännitysvoima on suurempi kuin alaspäin vaikuttava painovoima ja ilmanpaineen vaikutus yhteensä.
- hissi menee ylöspäin, koska vajjeri lyhenee eikä sen takia, että voima välittyy hissiin vajjerin kautta.



KUVIO 4.6 FCI-testin tehtävä 17 (suom. Koponen, Jauhiainen & Lavonen 2000)

Hestenesin (n.d.) raportissa Findings of the Modeling Workshop Project (1994–00) todettiin, että esitestin pistemäärät ovat säännönmukaisesti alhaiset (26 %), mikä on hieman enemmän kuin arvaamalla saatu pistemäärä (20 %). Jos testin tulos ylittää kynnyksarvon, joka on 60 % maksimipisteistä, katsotaan oppilaan menestyvän probleemanratkaisussa. Testin tulos 85 % osoittaa newtonilaisen mekaniikan hallintaa. Hestenes havaitsi myös, että jos käytetään perinteisiä

opetusmenetelmiä, opettajan pätevyydellä ei ole vaikutusta jälkitestin pistemäärään. Myös perinteisesti opettujen ryhmien kasvutekijä on pieni.

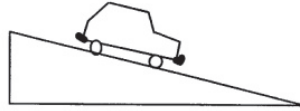
FMCE-testi (The Force and Motion Conceptual Evaluation). Thornton ja Sokoloff (1998) ovat kehittäneet testin, joka mittaa Newtonin lakien ymmärtämistä. Testiin liittyy myös kinematiikan tehtäviä. Kysymyksiä on 47. Näistä valittiin taulukossa 4.7 olevat N2. lakia koskevat kysymykset. Kuviossa 4.7 on esimerkki tehtävistä 8–10.

Thornton, Kuhl, Cummings ja Marx (2009) tutkivat FCI-testin ja FMCE-testin sekä esitestin että jälkitestin oikeiden vastausten osuuksien suhdetta (FCI (%)/FMCE (%)). Tutkimus tehtiin Rensselaer Polytechnic Institutessa vuosina 1998–2006. Vertailuryhmänä oli yhdistetty ryhmä, joka koostuu sekä esitestin että jälkitestin opiskelijoista. Opiskelijat olivat eri yliopistoista, ja opetusmallit olivat joko tutkimukseen perustuvia tai perinteisiä (ks. Redish 2003). Yleishavaintona oli, että FCI- ja FMCE-esitestien korrelaatio oli 0,74 ja jälkitestien 0,78 ja yhdistetty esi- ja jälkitestien korrelaatio 0,78. Edellä mainitut tutkijat väittävät, että FMCE-testi voi olla parempi Newtonin lakien ymmärtämistä mittaava testi kuin FCI-testi, koska kysymykset FMCE-testissä kohdistuvat suppeampaan aihealueeseen. Mutta on huomattava, että jos on samanlainen opetusmalli ja lasketaan normeerattu kasvutekijä, niin kasvutekijä saa erilaiset arvot. FCI-testin keskimääräiset kasvutekijät ovat yleensä pienemmät kuin FMCE-testin vastaavat arvot. (Thornton, Kuhl, Cummings & Marx 2009, 4.) Tämä seikka on otettava huomioon, jos ryhmiä verrataan toisiinsa normeeratun kasvutekijän suhteen.

TAULUKKO 4.7 FMCE-testin N2. lakiin liittyvät tehtävät

Tehtävä	Konteksti	Dynamiikka
1, 3, 4, 6, 7	Reki	Voiman suunta ja nopeuden muutos
8, 9, 10	Auton liike luiskalla	Kokonaisvoima kasvaa tai on vakio tai pienenee
11, 12, 13	Rahan heitto	Voiman suunta ja voiman muutos
16, 18, 19, 20	Auto	Auton liike ja tF -kuvaaja

Kysymykset 8-10 viittaavat leikkiautoon, jota tönäistään nopeasti siten, että se lähtee liikkumaan ylöspäin ramppia. Leikkiauto liikkuu ensin ylöspäin, saavuttaa korkeimman kohdan ja liikkuu sitten takaisin alaspäin. *Kitka ja ilmanvastus ovat niin pieniä, että ne voidaan jättää huomiotta.*



Valitse seuraavista vaihtoehdoista (A:sta G:hen) **kokonaisvoiman** kuvaus, joka vastaa tehtävien tilanteita. Vastaa **J**, jos ajattelet, että mikään kohta ei ole oikein.

- A** Kokonaisvoima on **vakio** ja sen suunta on alas ramppia. **E** Kokonaisvoima on **vakio** ja sen suunta on ylös ramppia.
 B Kokonaisvoima **kasvaa** ja sen suunta on alas ramppia. **F** Kokonaisvoima **kasvaa** ja sen suunta on ylös ramppia.
 C Kokonaisvoima **pienenee** ja sen suunta on alas ramppia. **G** Kokonaisvoima **pienenee** ja sen suunta on ylös ramppia.
 D Kokonaisvoima on nolla.

- ____ 8. Auto liikkuu ylös ramppia (tönäisyn jälkeen).
 ____ 9. Auto on korkeimmassa kohdassaan.
 ____ 10. Auto liikkuu ramppia alaspäin.

KUVIO 4.7 FMCE-testin tehtävät 8–10

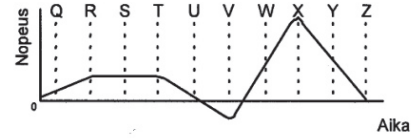
TUG-K-testi (The Test of Understanding Graphs-Kinematics). Testin on kehittänyt Beichner (1994). Tutkimuksessa käytettiin version 2.6 Antti Savinaisen ja Kauko Kauhasen suomennosta (2002). Kysymykset (21) mittaavat oppilaan kykyä tulkitä kinematiikan kuvaajia. Taito on fysiikan opiskelijalle tärkeä, koska valtaosa informaatiosta esitetään erilaisten kuvaajien avulla. Taulukkoon 4.8 valitut tehtävät liittyvät kiihtyvyyteen, ja kuviossa 4.8 on esimerkki tehtävästä 2.

TAULUKKO 4.8 TUG-K-testin N2. laki ja kiihtyvyys

Tehtävä	Kuvaaja	Liike
2	<i>tv</i> -kuvaaja	Milloin hidastuvuus on suurin?
6	<i>tv</i> -kuvaaja	Hetkellinen kiihtyvyys kuvaajas-ta
9	<i>ts</i> -kuvaaja	Oikean kuvaajan valinta: kiihdytys ja tasainen liike
10	<i>ta</i> -kuvaaja	Pienin nopeuden muutos 3 sekunnissa
19	<i>ts</i> , <i>tv</i> , <i>ta</i> -kuvaaja	Tasaisesti kiihtyvä liike: kuvaajan / kuvaajien valinta

2. Milloin hidastuvuus on suurin?

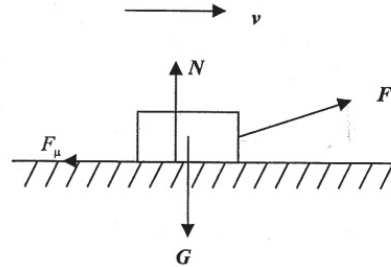
- (A) välillä R:stä T:hen
 (B) välillä T:stä V:hen
 (C) kohdassa V
 (D) kohdassa X
 (E) välillä X:stä Z:aan



KUVIO 4.8 TUG-K-testin tehtävä 2

TUG-K-testistä on olemassa uudempi versio (Zavala, Tejada, Barniol & Beichner 2017).

7. Kappale on karkealla vaakasuoralla pinnalla ja sitä vedetään **vakionopeudella** voimalla F . Kuvaan piirretyt nuolet osoittavat oikein kappaleeseen vaikuttavien voimien suunnat, mutta eivät välttämättä niiden suuruuksia. Mikä seuraavista voimia G , F_μ , N ja F koskevista väittämistä on tosi?



- a) $F = F_\mu$ ja $N = G$
 b) $F = F_\mu$ ja $N > G$
 c) $F > F_\mu$ ja $N < G$
 d) $F < F_\mu$ ja $N = G$
 e) Ei mikään edellisistä vaihtoehdoista.

KUVIO 4.9 MBT-testin tehtävä 7

MBT-testi (The Mechanics Base Line Test). Testi (Hestenes & Wells, 1992) mittaa sitä, kuinka hyvin oppilas pystyy yhdistämään mekaniikan käsitteet ja probleeman ratkaisun. Tehtäviä on 26, ja mukana on myös ympyräliike. Tämän vuoksi mittaus voidaan suorittaa joko abiturienteille kertauksen yhteydessä tai toisella vuosikurssilla, kun kyseiset asiat on opiskeltu. Yhdessä FCI-testin kanssa saadaan monipuolinen kuva osaamisen tasosta. Vastausvaihtoehdot kuvaavat oppilaiden tyypillisesti tekemiä virheitä, jotka saattavat johtua joko puutteellisesta käsitteiden ymmärtämisestä tai huolimattomuudesta. Tehtäviä ei voi ratkaista yksinkertaisesti kaavaan sijoittamalla. Hestenes ja Wells suosittelevatkin, että testi tehdään opetusjakson jälkeen. Taulukkoon 4.9 on koottu sellaiset tehtävät, jotka liittyvät N2. lakiin. Tehtävien kokonaismäärä on 26. Kuviossa 4.9 on esimerkki testin tehtävästä.

TAULUKKO 4.9 MBT-testin N2. lakiin liittyvät tehtävät

Tehtävä	Konteksti	Dynamiikka
3	Kuvaajat	tv -kuvaajan perusteella pääteltävä tF -kuvaaja
4, 5	Kappale liikuu kourussa	Kiihtyvyyden suunta kourun seinämällä/pohjalla
7	Kappaleen veto	Vakionopeus: kitkan, painon, tukivoiman ja vetovoiman väliset suuruussuhteet
8	Sylinteri pyörivällä levyllä	Vektoreiden F , a ja v suunnat toisiinsa nähden
9	Sylinteri pyörivällä levyllä	Laskutehtävä: sylinterin pysyminen levyllä, liikeyhtälö
12	Poika keinussa	Laskutehtävä: köyden jännitys alimmassa kohdassa
13	Toisiinsa kytketyt kappaleet hissin katossa	Laskutehtävä: vakionopeudella köyden alimpaan kappaleeseen kohdistama voima
17	Toisiinsa kytketyt autot	Laskutehtävä: systeemin kiihtyvyys, kun hinattavan massa kasvaa kaksinkertaiseksi
18	Henkilö hississä	Laskutehtävä: Lattian henkilön kohdistama voima hidastuvassa liikkeessä
19	Kiekon liukuminen	Resultantti tunnetaan, määritettävä toinen voima
21	Kiekon liukuminen	Päätely: kinematiikan ja dynamiikan yhdistäminen

Tasainen ympyräliike

Tasainen ympyräliike kuului kurseihin Mekaniikka 2 ja Pyöriminen ja gravitaatio. Periaatteessa tasaisen ympyräliikkeen liikeyhtälön muodostaminen ei eroa etenemisliikkeen vastaavasta. Tarkoituksena oli tutkia kontekstin muutoksen vaikutusta siirryttäessä etenemisliikkeestä tasaiseen ympyräliikkeeseen.

Jokaiseen kurssin loppukokeeseen sisältyi osio, jossa oli ns. perustehtäviä 14 kpl ja suoritusaikaa yksi tunti. Seuraavassa on kaksi tehtävää. Kuviossa 4.10 pitää piirtää voimakuvio ja kirjoittaa dynamiikan peruslain mukainen liikeyhtälö.

Pallo kiertää tasaista vauhtia pystytasossa. Kirjoita pallon liikeyhtälö, kun se on alimmassa pisteessä. Pallon massa on m ja narun pituus l



KUVIO 4.10 Tasaisen ympyräliikkeen tehtävä: pallo narussa

Seuraavaan tehtävään ei kuulunut kuviota. Tehtävä synnyttää mielikuvan, joka pitää ilmaista paperilla kuviona ja liikeyhtälönä. Tarkoituksena on testata transfer-ilmiötä.

Auto ajaa vaakasuoraa kaarretta, jonka säde on r , nopeudella v . Auton massa on m ja lepokitkakerroin μ . Piirrä autoon vaikuttavat voimat ja kirjoita dynamiikan peruslain mukainen liikeyhtälö.

4.4.2 Opiskelijan fysiikan kurssin odotukset ja oman työskentelyn arviointi

Kun opiskelijat tulevat fysiikan kurssille, heillä on asenteita, uskomuksia ja oletuksia siitä, mitä asioita ja millaisia taitoja he oppivat sekä mitä he oletavat tekevänsä kurssin aikana (Redish, Saul & Steinberg 1998, 212–213). Lisäksi näkemys tieteellisen informaation luonteesta vaikuttaa kuullun informaation tulkintaan. Kaikki edellinen on koottu käsitteeksi *kognitiiviset odotukset*, jonka Redish, Saul ja Steinberg (1998, 213) määrittelevät seuraavasti:

Keskitymme ilmiöön, jota voidaan kutsua opiskelijoiden kognitiivisiksi odotuksiksi. Nämä ovat odotuksia koskien fysiikan oppimisprosessin ymmärrystä sekä fysiikan tiedon rakentumista, ei niinkään fysiikan varsinaista sisältöä.

Määritelmän mukaan kohteena on opiskelija, ei se, mitä opettaja tekee. Fokus on kognitiivisissa asenteissa. Onko fysiikka koherentti rakenne vai joukko toisiinsa liittyviä faktoja (Redish, Saul & Steinberg 1998, 212–213)? Opettajalla on ”piilo-opetus suunnitelma”, jota ei ole kirjattu mihinkään, mutta jonka perusteella yritämme välittää näkemystämme siitä, mitä fysiikka on.

MPEX-testissä fysiikkaan liittyvät odotukset jakautuvat kuuteen klusteriin (Redish, Saul & Steinberg 1998, 214):

- 1) *Riippumattomuus*: Tieto joko annetaan tai se rakennetaan uudelleen saadun informaation perusteella.
- 2) *Koherenssi*: Fysiikan tieto muodostaa joko koherentin systeemin tai muodostuu irrallisista paloista.
- 3) *Käsitteet*: Fysiikka koostuu kaavoista tai kaavojen taustalla olevista käsitteistä.
- 4) *Kytkeä reaalimaailmaan*: Luokkahuoneessa opetettu fysiikka ei liity ulkopuoliseen maailmaan tai yhteys on olemassa.
- 5) *Matematiikan merkitys*: Matematiikkaa käytetään vain luvuilla laskemiseen tai se on keino kuvata fysikaalisia ilmiöitä.
- 6) *Ponnistelu*: Uskomukset siitä millaista toimintaa ja työtä vaaditaan, jotta fysiikkaa voitaisiin ymmärtää. Oletetaanko, että opiskelijat ajattelevat ja arvioivat omaa tekemistään saatavilla olevan materiaalin ja palautteen perusteella vai ei?

TAULUKKO 4.10 Oppilaan MPEX-testin odotusten klusterit

Klusteri	Ekspertti: suositeltava asenne	Noviisi: ei suositeltava asenne	MPEX-osio
Itsenäisyys	Ottaa vastuun oman ymmärryksen kehittämisestä.	Ilman arviointia käyttää auktoriteettien, opettajien ja kirjojen tarjoamaa tietoa.	1, 8, 13, 14, 17, 27
Johdonmukaisuus	Uskoo, että fysiikkaa pitää tarkastella johdonmukaisena, käsitteiden verkostona.	Uskoo, että fysiikkaa voidaan käsitellä joukkona erillisiä faktoja tai "tiedon paloin".	12, 15, 16, 21, 29
Käsitteet	Korostaa taustalla olevien ideoitten ja käsitteiden ymmärtämistä.	Fokus on ulkoa muistamisessa ja kaavojen käytössä.	4, 19, 26, 27, 32
Kytkeä reaalimaailmaan	Uskoo, että fysiikassa opitut ideat ovat relevantteja ja hyödyllisiä reaalimaailmassa.	Uskoo, että fysiikassa opituilla ideoilla ei ole käyttöä luokkahuoneen ulkopuolella.	10, 18, 22, 25
Matematiikan merkitys fysiikassa	Pitää matematiikkaa kätevästä tapana esittää fysiikaalisia ilmiöitä.	Näkee fysiikan ja matematiikan erillisinä, joiden välillä ei ole keskinäistä yhteyttä.	2, 6, 8, 16, 20
Ponnistelu	Ponnistelee käyttäköseen hyväksyttävällä saatavilla olevaa informaatiota. Yrittää ymmärtää sitä.	Ei yritä käyttää saatavilla olevaa informaatiota tehokkaasti.	3, 6, 7, 24, 31

Huom. Lähteet: Redish, Saul & Steinberg 1998, 215

Osion Likert-asteikko on 5-portainen: 1 täysin eri mieltä, 2 eri mieltä, 3 en osaa sanoa, 4 samaa mieltä ja 5 täysin samaa mieltä. Redishin ym.(1998) julkaisussa käydään tarkasti läpi testin luotettavuusmäärittelyt. Testi voidaan tehdä noin puolessa tunnissa, ja tarkoitus on, että analysointi suoritetaan tietokoneella. Tuloksista ei voida päätellä luotettavasti yksityisen oppilaan käsityksiä, vaan tarkoitus on selvittää oppilasjoukossa vallitsevia näkemyksiä fysiikan opiskelusta (Redish, Saul & Steinberg 1998, 222). Kysymykset ovat liitteessä 5 ja odotukset ryhmiteltyinä taulukossa 4.10. MPEX-testin lisäksi tehtiin liitteessä 6 oleva kysely suhtautumisesta omaan työskentelyyn (Kauppila 2004, 46–49).

4.4.3 Fotoni- ja Physica-sarjojen oppikirjat

Oppitunnin ulkopuolinen opiskelu asettaa oppikirjalle tiettyjä vaatimuksia. Opettajan ohjausta ei ole, joten opiskelija joutuu itse pohtimaan mahdollisia

vaikeita kysymyksiä. Oppikirjan tulisi olla niin rakennettu, että itseopiskelu olisi mahdollisimman tehokasta. Kognitiivinen kuormateoria ja multimediaoppimisen teoria antavat vertaisarvioituihin tutkimuksiin perustuen hyvät lähtökohdat oppikirjan suunnitteluun.

Oppikirjalla on kaksi käyttäjää: opettaja ja opiskelija. Kirja, joka sopii opettajalle, ei välttämättä sovi opiskelijalle ja päinvastoin. Tästä seuraa, että oppikirjan arvioiminen on vaikeaa. Puolueettomia kriteereitä ei ole. Kognitiivinen kuormateoria ja siihen perustuva multimediaoppimisen teoria tarjoavat kvalitatiivisen lähtökohdan, kun arvioidaan tekstin ja kuvituksen vuorovaikutusta sekä niiden vaikutusta työmuistiin. Työmuistin sekä ajallinen että määrällinen kapasiteetti asettaa rajat oppikirjan tekstin tehokkaalle omaksumiselle. Yhdistämällä sekä luettavuus että kognitiiviset prosessit saadaan tarkempi kuva oppikirjan merkityksestä opiskelijalle itsenäisenä tiedon lähteenä.

Ensimmäisen vuosikurssin oppikirjana oli Fotoni 1 Fysiikka luonnontieteenä. Kirjan tekijät esittävät, että "Kirjasarjamme käyttää hahmottavaa, kokeellista lähestymistapaa, mikä auttaa opiskelijaa ymmärtämään, miten ja mistä luonnon lainalaisuudet voidaan määrittää. Tällä tavalla fysiikan oppirakennelma kiinnitetään vankasti kokeelliseen perustaansa. Opiskelija oppii laajasti fysiikan keskeiset menetelmät kokeellisesta työskentelystä teoreettisten probleemien ratkaisuun - - ". Toisaalta haluamme tarjota perusteellisen mekaniikan kokonaisuuden, joka antaa vankan pohjan myöhemmille syventäville fysiikan opinnoille." (Eskola ym. 2000.)

F-ryhmän toisen vuosikurssin oppikirja Fotoni 4 Mekaniikka 1 noudattaa samaa esitysperiaatetta kuin ensimmäisen vuosikurssin oppikirja. Kirjan tekijät ovat asettaneet kurssille seuraavat tavoitteet (s. 2): " - - opitaan jatkossa välttämätön fysiikan ilmiöiden täsmällinen mallintaminen. Kurssissa otetaan ratkaiseva askel ilmiöiden toteamisesta niiden täsmälliseen teoreettiseen kuvaamiseen. - - tavoitteen saavuttamiseksi - - esimerkkejä on runsaasti, ja niitä käsitellään yksityiskohtaisesti. Näin ollen opiskelijat voivat perehtyä niihin myös itsenäisesti ja oppia fysikaalisten probleemien kunnollisen ratkaisutekniikan." (Eskola ym. 2001.)

P-ryhmän ensimmäisen vuosikurssin oppikirjana olivat Physica 1 Fysiikka luonnontieteenä ja toisen vuosikurssin Physica 4 Liikkeen lait sekä Physica 5 Pyöriminen ja gravitaatio. Kirjan tekijöiden mukaan "Physica-sarjaa laadittaessa on erityisesti huomioitu mallien merkitys fysiikassa. On tärkeää oppia ymmärtämään, milloin käsitellään tutkittavaa ilmiötä ja milloin sitä kuvaavaa mallia. Myös kirjan kuvitusta käytetään monessa kohdassa mallina. " - - "Käsitteiden oikeaan määrittelyyn ja niiden täsmälliseen käyttämiseen on Physica-sarjassa kiinnitetty paljon huomiota. - - "Physica-sarjan yhtenä tärkeänä tavoitteena on harjaannuttaa vastaamaan myös fysiikan sanallisiin ongelmiin." (Hatakka ym. 2004, 3.) Toisen vuosikurssin oppikirjan tavoitteesta todetaan, että "Fysiikan syventävien kurssien yhtenä keskeisenä tavoitteena on antaa valmiuksia lukion jälkeisiin opintoihin luonnontieteellisillä ja luonnontieteitä soveltavilla aloilla." (Hatakka ym. 2004, 3.)

4.5 Tutkimusaineiston analyysi

McDermottin ja Redishin (1999) mielestä ongelmana opetuksen tutkimuksessa on muuttujien suuri määrä. Kontrolloidun kokeen suoritus on vaikeaa. ”Mittaväline” on vahvassa vuorovaikutuksessa tutkittavien kanssa: miten eliminoidaan mittavälineen vaikutus. Oppilaan ajattelun selvittäminen edellyttää oppilaaseen kohdistuvaa voimakasta vaikuttamista. Ellei selvitetä oppilaan ajattelua, tilastollisen käsittelyn perusteella tehtävät päätelmät voivat johtaa harhaan. (McDermott & Redish 1999.)

Kun tuloksia yleistetään, on oltava huolellinen. Ryhmäkoolla voi olla merkittävä vaikutus. Pienessä ryhmässä voidaan havaita sellaista, mikä jäisi suuressa ryhmässä havaitsematta. (McDermott ym. 1999.)

4.5.1 Haken normeerattu kasvutekijä $\langle g \rangle$, henkilökohtainen kasvutekijä g ja Cohenin d

FCI-testin kysymysten validiteetti ja reliabiliteetti on varsin huolellisesti tarkastettu sekä USA:ssa (Hake 1998) että Suomessa (Koponen ym. 2000), ja TUG-K- ja FMCE-testien validiteetin ja reliabiliteetin osalta viitataan sekä Beichnerin (1994) että Thorntonin ja Sokoloffin (1998, 344–345) artikkeleihin.

Opetuksen tehokkuutta voidaan mitata normeeratulla kasvutekijällä $\langle g \rangle$ (Hake 1998, 2002a):

$$\langle g \rangle = \frac{\% \langle S_f \rangle - \% \langle S_i \rangle}{100\% - \text{esitesti}\%} = \frac{\% \langle G \rangle}{\% \langle G \rangle_{\text{Max}}} \quad (4.1)$$

Kaaviossa $\% \langle S_i \rangle$ on ryhmän FCI-esitesti pistemäärien keskiarvo ja $\% \langle S_f \rangle$ vastaavan jälkitestin pistemäärien keskiarvo prosentteina maksimipistemäärästä ($\langle \rangle$ -merkki tarkoittaa koko ryhmän keskiarvoa). Normeerattu kasvutekijä kuvaa absoluuttisen kasvun $\langle G \rangle$ suhdetta mahdolliseen kasvuun $\langle G \rangle_{\text{Max}}$. Kurssit ryhmitellään kasvutekijän perusteella kolmeen luokkaan: ”High- g ”-kurssit: $\langle g \rangle \geq 0,7$; ”Medium- g ”-kurssit: $0,3 \leq \langle g \rangle < 0,7$ ja ”Low- g ”-kurssit: $\langle g \rangle < 0,3$.

Yksityisen opiskelijan kasvutekijä määritellään seuraavasti (Hake 2002b):

$$g = \frac{\text{jälkitestin } \% - \text{esitesti } \%}{100 - \text{esitesti } \%} \quad (4.2)$$

Jälkitestin $\%$ tai esitesti $\%$ ilmaisee opiskelijan saaman pistemäärän prosentteina FCI-testin maksimipisteistä.

Perinteisillä menetelmillä opettajien kurssien kasvutekijöiden keskiarvojen keskiarvo on $\langle \langle g \rangle \rangle = 0,23 \pm 0,04$ s.d. ja vuorovaikutteisilla menetelmillä $\langle \langle g \rangle \rangle = 0,48 \pm 0,14$ s.d., missä s.d. on keskihajonta. (Hake 1998.)

TAULUKKO 4.11 Cohenin d :n ja efektikoko-korrelaation yhteys ja tulkinta

Cohenin standardi	Efektikoko (Cohenin d)	Niiden kontrolliryhmän jäsenten prosentuaalinen osuus, jotka voisivat olla koeryhmän keskiarvon alapuolella.	Ei päällekkäisten havaintojen prosentuaalinen osuus (%)	r	r^2
	3	99,9	99	0,83	0,692
	2,5	99	90	0,78	0,610
	2	98	81	0,71	0,500
	1	84	55	0,45	0,200
Suuri	0,8	79	47	0,37	0,138
Keskisuuri	0,5	69	33	0,24	0,059
Pieni	0,2	58	15	0,10	0,010

Huom. Lähde: taulukko (Metsämuuronen 2006, 472); tulkinta Cohenin (1988, 24) mukaan

p -arvon yhteydessä on tapana raportoida efektikoko, joka kertoo, kuinka suuri yhteys, selitys tai ero on ryhmien välillä. Efektikoko laskettaessa pyritään selvittämään, kuinka paljon kaksi jakaumaa peittää toisiaan. Jos jakaumat ovat lähes erilliset, efektikoko on suuri. (Metsämuuronen 2006, 462–463.) Tässä tutkimuksessa käytetään efektikoon mittana Cohenin d :tä (Cohen 1988, 10), joka voidaan määrittää suureyhtälöistä

$$d = \frac{\langle S_{\text{post}} \rangle - \langle S_{\text{pre}} \rangle}{\sigma_{\text{pooled}}}, \quad \sigma_{\text{pooled}} = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{pre}}^2 + \sigma_{\text{post}}^2}{2}} \quad (4.3)$$

missä $\langle S_{\text{post}} \rangle$ ja $\langle S_{\text{pre}} \rangle$ ovat ryhmän opiskelijoiden FCI-jälki- ja esitestin pistemäärien keskiarvot ja σ_{post} sekä σ_{pre} vastaavat keskihajonnat.

Metsämuuronen viittaa Cohenin (1988) laskemiin ei-päällekkäisten havaintojen prosentuaalisiin osuuksiin, joista osa on taulukossa 4.11. Efektikoon rajat ovat vain karkea mitta, kun arvioidaan tuloksia. (Metsämuuronen 2006, 472.) Kahden jakauman keskiarvojen ero voi olla yhtä suuri, mutta riippuen jakaumien leveyksistä peitto voi olla eri suuri ja siten efektikoko erilainen.

Mielenkiintoista taulukon 4.11 mukaan on, että 0,37 korrelaatiolla selityksaste on 13,8 %, mutta efektikoko on 0,8, joka voidaan tulkita suureksi. Ei-päällekkäisten havaintojen osuus on 47 %. Vasta 0,1:n korrelaatiolla eli efektikoolla 0,2 ilmiö luokiteltaisiin pieneksi. (Metsämuuronen 2006, 472.)

Efektikoolle d voidaan laskea myös 95 %:n luottamusväli. Hedgesin ja Olkinin (1985, 86) mukaan väli saadaan lausekkeista

$$\sigma(d) = \sqrt{\frac{N_E + N_C}{N_E N_C} + \frac{d^2}{2(N_E + N_C)}} \quad (4.4)$$

missä N_E on koeryhmän ja N_C kontrolliryhmän koko. 95 %:n luottamusväli on

$$[d - 1,96\sigma(d), d + 1,96\sigma(d)] \quad (4.5)$$

Tässä laskentatavassa oletetaan, että koe- ja kontrolliryhmä ovat otos normaali-jakautuneesta populaatiosta. Tähän liittyvä taulukko on liitteessä 10.

4.5.2 Keskiarvojen eron testaaminen ja ristiintaulukon analysointi

Keskiarvojen erojen testaamisen yhteydessä on päätettävä käytetäänkö parametrista vai parametrilöntä testiä. Edellisessä tehdään oletus taustalla olevasta jakaumasta, jälkimmäisessä ei ole taustaoletusta. (Metsämuuronen 2006, 900.)

Tässä kokeilussa käytetään t -testiä, kun tutkitaan eroaako F-ryhmän taitotasoa P-ryhmän taitotasosta. Oletetaan, että ryhmät ovat riippumattomia. Koska otoskoot ovat 19 ja 18 opiskelijaa, niin t -testin oletukset, $N > 20-30$ ja normaali-jakautunut populaatio, saattavat olla uhattuina. Tämän vuoksi käytetään myös Mann-Whitneyn U -testiä. Tämän testin oletukset ovat: otoskoko $N < 20-30$, populaation jakaumasta ei ole tietoa ja mittaus on ordinaali- tai intervalliasteikollinen. (Metsämuuronen 2006, 378.) Metsämuuronen (2006, 1066) suosittaa U -testiä aina, kun epäillä t -testin edellytysten olemassaoloa. Kahden ryhmän vertailussa varianssien eron selvittäminen voidaan tehdä F-jakaumalla.

χ^2 -testiä on käytetty tilanteissa, joissa halutaan saada selville, onko joillakin tilastomuuttujilla yhteyttä toisiinsa, eli riippuvatko muuttujien arvot toisistaan. Testissä verrataan havaittuja arvoja sellaisiin teoreettisiin arvoihin, jotka saadaan, kun oletetaan, että mitään yhteyttä ei ole. Jakauma ei ole symmetrinen vaan riippuu vapausasteiden lukumäärästä. Fisherin tarkkaa nelikentän testiä suositellaan, jos ryhmän koko on alle 40 ja joissakin soluissa oletettu frekvenssi voi jäädä alle viiden. (Metsämuuronen 2006, 351.)

Olkoon kahden ryhmän prosentiosuudet p_1 ja p_2 sekä vastaavat otoskoot N_1 ja N_2 . Vertailua varten suoritetaan standardointi eli lasketaan z -piste (Spiegel 1972, 171):

$$z = \frac{p_1 - p_2}{s_d}; s_d = \sqrt{P_e Q_e \frac{N_1 + N_2}{N_1 N_2}}; P_e = \frac{N_1 p_1 + N_2 p_2}{N_1 + N_2}; Q_e = 100 - P_e. \quad (4.6)$$

Tutkimuksen tulokset on laskettu Excel-tilukkolaskentaohjelmalla. U -testin laskennassa on käytetty laskentaohjelmaa, joka löytyy osoitteesta <http://vassarstats.net/utest.html>. Sama koskee Fisherin tarkkaa testiä.

4.5.3 Fysiikan kurssin odotukset

MPEX-testin luotettavuutta voidaan perustella taulukon 4.12 perusteella. Siinä kalibrintiryhmän muodostivat insinööriopiskelijat (College, $N = 445$), fysiikkaolympialaisten ryhmä (USIPOT, $N = 56$), lukion opettajat ($N = 26$), collegen ja yliopiston opettajat ($N = 56$) sekä collegen ja yliopistojen opettajat, jotka käyttivät opetuksessa vuorovaikutteista opetusmallia ($N = 19$).

TAULUKKO 4.12 MPEX-testi. Vertailuryhminä olevat oppilaitokset

Oppilaitos	Opetusmalli	N
University of Maryland, College Park (UMCP)	Perinteisiä luentoja, ohjattua ryhmäopetusta resitaation sijaan	445
University of Minnesota, Minneapolis (UMN)	Luennot, laboratoriot ja probleeman ratkaisua ryhmissä	467
Ohio State University, Columbus (OSU)	Luennot, laboratoriot ja probleeman ratkaisua ryhmissä	445
Dickinson College (DC)	Workshop-fysiikka	115
A small public liberal arts university (LA)	Workshop-fysiikka	12
A medium sized public two-year college (TYC)	Perinteinen opetus	44

Huom. Lähde: Redish, Saul & Steinberg 1998, 214

Kaikki taulukossa 4.12 olevat opiskelijat suorittivat sekä esi- että jälkitestin. Taulukossa 4.10 esitetyt ekspertti- ja noviisivastaajien asenteita koskevat väitteet ovat taulukon 4.12 asiantuntijoiden hyväksymiä. Tarkistuksen periaatteena oli, että vastauksen piti olla sellainen, jonka kokenut opettaja toivoisi hyvän opiskelijan antavan. (Redish, Saul & Steinberg 1998, 215–216.)

TAULUKKO 4.13 Eksperttiryhmän antamat vastaukset MPEX-testin eri osioiden kysymyksiin. Jos vastaajat eivät ole samaa mieltä > 80 %:n tasolla, vastaus on merkitty sulkuihin. Samaa mieltä tai täysin samaa mieltä on "Sa", ja eri mieltä tai täysin eri mieltä on "Er".

1	Er	8	Er	15	Er	22	Er	29	Er
2	Er	9	(Er)	16	Er	23	Er	30	Sa
3	Sa	10	Er	17	Er	24	Er	31	Sa
4	Er	11	Sa	18	Sa	25	Sa	32	Sa
5	Sa	12	Er	19	Er	26	Sa	33	Er
6	Sa	13	Er	20	Er	27	Er	34	(Sa)
7	(Sa)	14	Er	21	Er	28	Er		

Huom. Lähde: Redish, Saul & Steinberg 1998, 216

Redish, Saul ja Steinberg (1998) korostavat aikaisemman koulutuksen merkitystä fysiikan opiskelussa. Jos aikaisemmin on vaadittu vain kaavojen osaamista ilman ymmärrystä niiden merkityksestä, niin myöhemmin opiskelijat ovat ehkä haluttomia muuttamaan odotuksiaan fysiikan opetuksesta ja tarvittavista taidoista. (Redish, Saul & Steinberg 1998, 222.)

Ryhmän suosittellemaa asennetta pidettiin ekspertin asenteena, ja noviisin asenne oli tälle asenteelle vastakkainen. Taulukossa 4.13 ovat eksperttien antamat "oikeat" vastaukset.

4.5.4 Oppikirjojen arviointi

Oppikirjoja voidaan arvioida luettavuuden, kognitiivisen kuormateorian ja multimediaoppimisen teorian näkökulmasta (luvut 2.4, 2.5 ja 2.7).

5.1 Vuorovaikutukset selittävät liikettä

A) Liikkeen muutokset selitetään fyysikassa kappaleiden välisillä vuorovaikutuksilla. Potkaisuhetkellä pelaajan jalka ja pallon ovat vuorovaikutuksessa, jossa molempien liikkeet muuttuvat yhtä aikaa. Jos kosketushetki kuvattaisiin videolle, siitä voitaisiin havaita sekä pallon että kengän muodon muuttuvan.

Vuorovaikutus

Vuorovaikutuksessa kaksi kappaletta vaikuttavat toisiinsa ja vaikutukset havaitaan molemmissa kappaleissa yhtä aikaa.

Vuorovaikutus voi muuttaa kappaleen liikettä ja muotoa.

Liikkeen muutos näkyy selvästi molemmissa kappaleissa, jos niiden massat ovat suuruudeltaan suunnilleen yhtä suuret. Herkkäliikkeisillä tuoleilla istuvien oppilaiden yrittäessä saada toisiaan liikkeelle molempien liike muuttuu. Sen sijaan Maan ja Kuun vuorovaikutus näkyy selvemmin Kuun liikkeen muutoksessa, sillä Kuun massa on Maan massaa selvästi pienempi.

B) Liikkeen muutokset se kappaleiden välisillä vuorovaikutuksilla. Potkaisuhetkellä pelaajan jalka ja pallon ovat vuorovaikutuksessa, jossa molempien liikkeet muuttuvat yhtä aikaa. Jos kosketushetki kuvattaisiin videolle, siitä voitaisiin havaita sekä pallon että kengän muodon muuttuvan.

Liikkeen muutos näkyy selvästi molemmissa kappaleissa, jos niiden massat ovat suuruudeltaan suunnilleen yhtä suuret. Herkkäliikkeisillä tuoleilla istuvien oppilaiden yrittäessä saada toisiaan liikkeelle molempien liike muuttuu. Sen sijaan Maan ja Kuun vuorovaikutus näkyy selvemmin Kuun liikkeen muutoksessa, sillä Kuun massa on Maan massaa selvästi pienempi.

Vuorovaikutukset luokitellaan niiden ominaisuuksien mukaan **kosketusvuorovaikutuksiin** ja **etävuorovaikutuksiin**. Potku on esimerkiksi kosketusvuorovaikutuksesta. Kuun ja Maan välillä on etävuorovaikutus, sillä Maa ja Kuu eivät ole kosketuksissa toisiinsa, vaikka ne vaikuttavat toisiinsa.

Vuorovaikutuskaavio hahmottaa tilanteita

Kappaleet ovat lähes aina vuorovaikutuksessa useiden muiden kappaleiden kanssa.

Mitä vuorovaikutukset aiheuttavat?

Vuorovaikutuksista aiheutuu yleensä joko työntöjä tai vetoja.

Kappaleiden välisiä vuorovaikutuksia voidaan havainnollistaa vuorovaikutuskaavion avulla.

Maan etävuorovaikutus

Kaikki Maan pinnalla ja sen läheisyydessä olevat kappaleet ovat etävuorovaikutuksessa Maan kanssa.

5.1 Vuorovaikutukset selittävät liikettä 79

1. Onko kappale etävuorovaikutuksessa jonkin kappaleen kanssa?
Pallo on etävuorovaikutuksessa Maan kanssa.

KUVIO 4.11 Oppikirjan sivun kuva A) ja sen yhteenveto B) (Physica1, 79)

Oppikirjan luettavuuden tekninen suoritus on tehty mahdollisimman automaattiseksi, mikä tapahtuu seuraavasti:

- 1) Skannataan kirjan sivu ja tallennetaan se jpeg-tiedostoksi, kuvio 4.9 A)
- 2) Haetaan sivun jpeg-tiedosto Paint-ohjelmaan, jossa pääteksti voidaan rajata ja kopioida PowerPoint-dialle.
- 3) Kun riittävä määrä päätekstin rajauksia on dialla, rajaukset liitetään yhteen ja talletetaan jpeg-kuvana, kuvio 4.9 B).
- 4) Haetaan ohjelma FREE ONLINE OCR SERVICE (kuvio 4.12) <http://www.onlineocr.net/>) ja viedään siihen kuvion 4.9 B)- tiedosto. Ohjelma muuntaa kuvan tekstin Word-tiedostoksi:

CONVERT SCANNED PDF TO WORD

Extract text from PDF and images (JPG, BMP, TIFF, GIF) and convert into editable Word, Excel and Text output formats

1 STEP - Upload file **2 STEP - Select language and output format** **3 STEP - Convert**

Select file... FINNISH Microsoft Word (docx) CONVERT

XP79_80.jpg

Download Output File

Liikkeen muutokset selitetään fysiikassa kappaleiden välisillä vuorovaikutuksil-la. Potkaisuhetkellä pelaajan jalka ja pal-lo ovat vuorovaikutuksessa, jossa molempien liikkeet muuttuvat yhtä aikaa. Jos kosketushetki kuvattaisiin videolle, siitä voitaisiin havaita sekä pallon että kengän muodon muuttuvan. Liikkeen muutos näkyy selvästi molemmissa kappaleissa, jos niiden massat ovat suuruudel-taan suunnilleen yhtä suuret. Herkkäliikkeisil-lä tuoleilla istuvien oppilaiden yrittäessä saa-da toisiaan liikkeelle molempien liike muut-tuu. Sen sijaan Maan ja Kuun vuorovaikutus näkyy selvemmin Kuun liikkeen muutoksessa, sillä Kuun massa on Maan massaa selvästi pie-nempi. Vuorovaikutukset luokitellaan niiden omi-naisuuksien mukaan kosketusvuorovaikutuk-siin ja etävuorovaikutuksiin. Potku on esi-merkki kosketusvuorovaikutuksesta. Kuun ja Maan välillä on etävuorovaikutus, sillä Maa ja Kuu eivät ole kosketuksissa toisiinsa, vaikka ne vaikuttavat toisiinsa.

KUVIO 4.12 Free Online Service -ohjelma muuttaa kuvan Word-tiedostoksi

Liikkeen muutokset selitetään fysiikassa kappaleiden välisillä vuorovaikutuksil-la. Potkaisuhetkellä pelaajan jalka ja pal-lo ovat vuorovaikutuksessa, jossa molempien liikkeet muuttuvat yhtä aikaa. Jos kosketushetki kuvattaisiin videolle, siitä voitaisiin havaita sekä pallon että kengän muodon muuttuvan. Liikkeen muutos näkyy selvästi molemmissa kappaleissa, jos niiden massat ovat suuruudel-taan suunnilleen yhtä suuret. Herkkäliikkeisil-lä tuoleilla istuvien oppilaiden yrittäessä saa-da toisiaan liikkeelle molempien liike muut-tuu. Sen sijaan Maan ja Kuun vuorovaikutus näkyy selvemmin Kuun liikkeen muutoksessa, sillä Kuun massa on Maan massaa selvästi pie-nempi.

Physica 1 Word		Physica 1 Oikofix	
Rakenne		Tilastotietoja tekstistä	
Tilasto:		Virkkeitä	10
Sivuja	1	Sanoja	137
Sanoja	137	...joista sanastossa	136
Merkkejä (ei välilyöntejä)	976	Tavuja	374
Merkkejä (myös välilyönnit)	1 112	Kirjaimia	956
Kappaleita	3	Välimerkkejä	20
Rivejä	13	Luettavuus (Wiion luokkataso)	7,3

KUVIO 4.13 Wordin ja Oikofixin päättekstin tilastot

Edellä oleva teksti korjataan ja kopioidaan tiedosto OIKOFIX-oikolukuohjelmaan <https://oikofix.com/>. Ohjelmassa teksti analysoidaan ja saadaan "Tilastotietoja tekstistä". Samantyyppinen tieto saadaan Wordin "Tarkista sanamäärä" -toiminnolla, joka antaa tietoja tekstin rakenteesta muttei Wiion indeksiä. Esimerkki on kuviossa 4.13.

Kun muokataan hakuheitoja, päätekstin Word-tiedostoihin voidaan tehdä hakuja "Etsi"-toiminnolla eri termeistä ja käsitteistä. Kaiken edellä olevan tarkoituksena on vähentää inhimillisen virheen mahdollisuutta. Tulosten tulkinta jää tutkijan tehtäväksi.

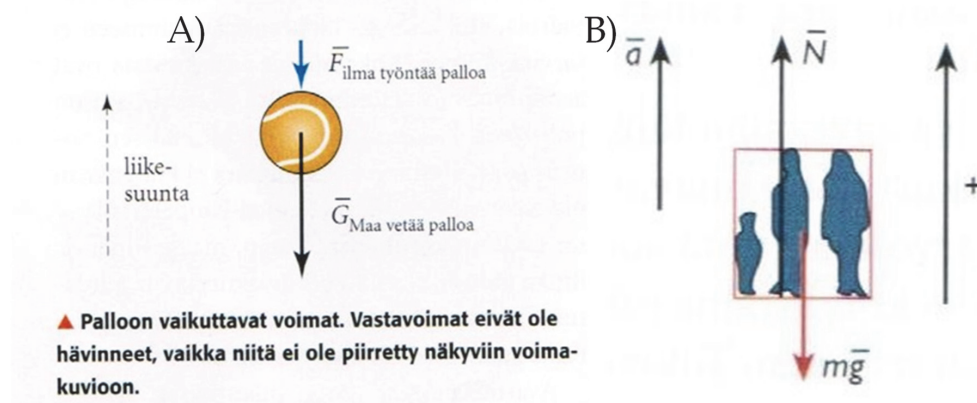
Luvussa 2.7 olivat luettavuutta kuvaavat Wiion indeksi I ja II: $LT = 2,7 + 0,3 PS$ ja $LT = 0,33PS + 7MS - 0,68$. Lisäksi edellisen antamiin arvoihin voidaan verrata indeksien ARI, GFS ja GI antamia arvoja.

Luettavuus ei ota huomioon fysiikan oppikirjojen luonnetta ainoana eksaktin luonnontieteen tietolähteenä. Koska oppitunnilla opiskellaan vain osa asioista, niin itseopiskelu on välttämätöntä. Tällöin oppikirjan tulisi tukea koherentin tietorakenteen syntymistä ja toisaalta motivoida opiskelua sinänsä. Arvioinnissa käytettiin teoreettisesta viitekehiksestä kognitiivista kuormateoriaa ja siihen liittyvää multimediaoppimisen teoriaa, josta hyödynnetään vain koherenssi-, opastin- ja spatiaalisen jatkuvuuden periaatteita. Muita periaatteita käytetään tulkinnassa tarpeen mukaan. Koherenssiperiaatteen toteutumista voidaan arvioida sanojen ja kuvien lukumäärän perusteella. Opastinperiaate koskee käsittekarttoja ja erilaisia katseensuuntaajia kuten otsikot sekä informaatiolaatikat. Sen sijaan spatiaalisen jatkuvuuden periaate koskee kuvien ja niihin liittyvien tekstien suhdetta, joiden analyysia tarkennetaan seuraavassa.

Kuvien luokittelu

Tehokas esitys kirjassa koostuu kolmesta osasta:

- Informaatio koostuu tekstistä ja kuvista
- Teksti ja siihen liittyvä kuva ovat lähekkäin
- Syy-seuraus -selitykset ovat ilman ylimääräistä tekstiä ja kuvitusta. (Mayer 2009, 278).



KUVIO 4.14 Spatiaalisen jatkuvuuden integroitu A) (Physica 1, 85) ja erotettu muoto B) (Fotoni 4, 101)

TAULUKKO 4.14 Spatiaalinen jatkuvuus

Esityksen muoto	Kuvaus
Täysin integroitu	Avainsanat kuviossa ja selittävä teksti kuvan alla, jossa on päätekstin lause, kuvio 4.14 A)
Osittain integroitu	Selittävä teksti kuvan alla tai vieressä.
Erotettu	Kuvion selitys tekstissä, kuvion selitys puuttuu tai kuvateksti puuttuu, kuvio 4.14 B)

TAULUKKO 4.15 Kuvien luokittelu Levinin mukaan

Tehtäväluokka	Kuvaus
Somistava	Kuvista puuttuvat toimijat, objektit ja tekstissä olevat tapahtumat. Ne eivät millään tavalla liity tekstiin. Kuvan ilmeinen tarkoitus on lisätä mielenkiintoa, viihdyttää.
Esittävä	Kuva tekee tekstistä konkreettisempaa, jonka seurauksena syntyy muistijälkiä. Kuva osittain "peittää" tekstin. Kuvassa ovat toimijat, objektit ja toiminnot, jotka esiintyvät tekstissä. Esimerkkeinä ovat taulukot, grafiikka, taksonomia, alleviivaukset, jaksotus, yhteenvedot.
Tulkitseva	Kuva lisää ymmärrystä selkiyttämällä tekstissä olevia kappaleita, abstrakteja käsitteitä tai ideoita. Ilman tätä tulkintaa tekstiä olisi vaikea prosessoida.

Huom. Vrt. Levin (1981, 13, 18, 20)

TAULUKKO 4.16 Kuvien luokittelu Pozzerin ja Rothin mukaan

Tehtäväluokka	Kuvaus
Somistava (<i>Decorative</i>)	Kuvateksti puuttuu. Päätekstissä ei ole viittauksia kuvaan. Kun kuvaa halutaan ymmärtää, päätekstistä täytyy etsiä vihjeitä. Jos vihjeet puuttuvat, kuva luokitellaan somistavaksi.
Soveltava	Kuva havainnollistaa tai soveltaa tekstissä esitettyjä asioita esimerkiksi arjenläheisen esimerkin avulla. Lukija tarvitsee aina oppikirjatekstiä kokonaisvaltaisen ymmärryksen saavuttamiseksi kuvan esittämästä aiheesta.
Esittävä (<i>Illustrative</i>)	<i>Kuvateksti ei tarjoa lisäinformaatiota suhteessa päätekstiin. Kuvassa esitetään luokan tai käsitteen havainnollinen esimerkki, ja kuva on päätekstin visuaalinen representaatio.</i> Ilmiö tai objekti nimetään, mutta kuva ja siihen liittyvä kuvateksti eivät tarjoa uusia kognitiivisia työkaluja ymmärtämiseen. Visuaalinen informaatio ei muuta päätekstin sanomaa.
Selittävä (<i>Explanatory</i>)	Kuvateksti selittää tai luokittelee kuvan esityksen: nimeää objektin tai ilmiön ja lisää informaatiota objektista tai ilmiöstä. Kuvassa on informaatiota, jota ei ole kuvatekstissä tai päätekstissä.
Täydentävä (<i>Complementary</i>)	Kuvateksti antaa uutta informaatiota, jota ei ole aikaisemmin mainittu, päätekstin aiheesta. Viitteitä ovat sanat "esimerkiksi" ..., josta jatketaan propositioilla, joiden sisältöä ei ole päätekstissä (uusi tieto).

Huom. Pozzer & Roth (2003, 1094, 1098–1103). Tehtäväluokkaa soveltava ei ole em. tutkijoiden luokittelussa.

Taulukossa 4.14 on spatiaalisen jatkuvuuden kriteerit ja kuviossa 4.14 on esimerkki täysin ja osittain integroidusta sekä erotetusta muodosta.

Toisena kuvien luokittelun lähtökohtana on taulukko 4.15 (Levin 1981). Levin ei kiinnitä huomiota kuvateksteihin, joten tämä luokittelu sopii Fotoni-sarjaan. Esiluokittelun perusteella Fotoni-sarjasta puuttuivat organisoiva ja muuttuva luokka (Levin 1981). Organisoiva kuva esittää tekstin rakenteen ja antaa tekstille koherenssia. Muutoin teksti voi tuntua epäselvältä. Muuttuvassa luokassa kuvan tarkoitus on lisätä tekstin muistettavuutta muokkaamalla kuva muistisäännön muotoon.

Pozzer ja Roth (2003, 1090, 1111) korostavat, että kuvatekstin tehtävänä on opastaa, mitä kuvasta pitäisi etsiä, johdattaa kuvan jäsentelyyn ja helpottaa tulokintaa: kuvan pitää vahvistaa tekstiä. Edellisen pohjalta on laadittu taulukko 4.16, jossa on kuvien tehtäväpohjainen luokittelu ja kuvaus.

TAULUKKO 4.17 Kuvien luokittelu visuaalisen vastineen perusteella

Tehtäväluokka	Kuvaus
Somistava (<i>Decorative</i>)	Kuvateksti puuttuu. Päätekstissä ei ole viittauksia kuvaan. Kun kuvaa halutaan ymmärtää, päätekstistä täytyy etsiä vihjeitä. Jos vihjeet puuttuvat, kuva luokitellaan somistavaksi.
Soveltava	Reaalimaailmaan liittyvä, useimmiten valokuva, näköispiirros tai taulukko, johon <i>ei liity visuaalisia vastineita</i> . Kuvatekstin perusteella kokonaisvaltainen ymmärtäminen on vaikeaa ilman oppikirjan päätekstiä.
Esittävä (<i>Illustrative</i>) Havaintoesimerkki	Kuva on päätekstin visuaalinen representaatio ja muodostuu päätekstin ja kuvatekstin visuaalisista vastineista, mutta ei sisällä päätekstistä ja kuvatekstistä riippumattomia visuaalisia elementtejä. Kuva ja siihen liittyvä kuvateksti eivät tarjoa uusia kognitiivisia työkaluja ymmärtämiseen.
Selittävä (<i>Explanatory</i>)	Kuva, johon on <u>lisätty</u> teksti tai propositiot, jotka eivät ole päätekstin tai kuvatekstin visuaalisia vastineita. Lisätyt visuaaliset elementit edistävät päätekstin sanoman ymmärtämistä.
Täydentävä (<i>Complementary</i>)	Kuvan kuvateksti antaa uutta informaatiota, jota ei ole aikaisemmin mainittu päätekstissä. Viitteenä voi olla sana "esimerkiksi". Tästä jatketaan propositioilla, joiden sisältöä ei ole päätekstissä (uusi tieto).

Pozzer ja Roth (2003) ovat luokitelleet kuvat siten, että muodostuu ketju pääteksti→kuvateksti→kuva. Tämä voidaan kytkeä multimediaoppimisen teorian spatiaalisen jatkuvuuden periaatteeseen. Luokittelua voidaan jossakin määrin helpottaa, jos otetaan käyttöön *visuaalisen vastineen* käsite. Päätekstin käsite/termi voi olla kuvatekstissä, ja sen vastine on kuvassa. Kuviossa 4.15 ovat yleisimmät tekstissä olevat ilmaukset ja niiden visuaaliset vastineet.

Pozzerin ja Rothin mukaan kuvatekstin tehtävä on

- tunnistaa objekti ja ilmiö
- kytkeä pääteksti ja kuva toisiinsa
- omata riittävän määrän informaatiota, jotta perseptuaalinen analyysi ja kuvan tulkinta onnistuisi.

Lisäksi jokaiseen kuvaan pitäisi liittää numero tai muu vastaava, joka liittää sen päätekstiin. (Pozzer & Roth 2003, 1097, 1110–1111.)

Taulukko 4.17 eroaa taulukosta 4.16, kun tarkastellaan tehtäväluokkia soveltava, esittävä ja selittävä. Esittävän ja selittävän kuvan eroa tarkennetaan kuvion 4.15 avulla. Esittävä kuva koostuu päätekstin visuaalisista vastineista, mutta toisin kuin selittävä kuva, esittävässä kuvassa ei ole lisättyjä visuaalisia vastineita. Kuvien välisen eron tulkinta konkretisoituu visuaalisen vastineen etsintään.

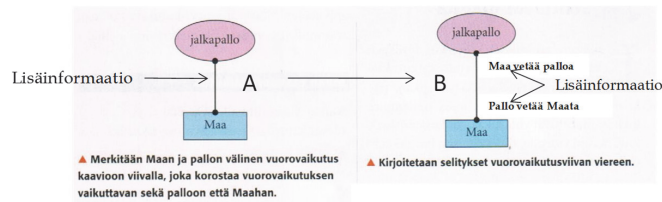
Kappale	Valokuva, piirros
Vuorovaikutus (kuvataan olioita yhdistävällä viivalla)	
Propositio	"Maa vetää kappaletta"
Vuorovaikutuskaavio (sisältää propositiot)	
Vektori, suunta (+/-), suuntainen	
Voima, tukivoima, paino, jännitysvoima, kitkavoima, F , N , G , T , F_{μ}	
Voimakuvio	
Veto/vetää	
Työntö/työntää/isku	
Voima vaikuttaa, kohdistaa	Ks. edellä
Vektorit: suurempi/pienempi, sama suuruus, erisuuntaiset	
Nopeus, kiihtyvyys, v , a	
Kokonaisvoima, summavektori, kokonaisvoima nolla	$\sum F, F_{\text{kok}}, \sum F_{\text{kok}}, \sum F_{\text{kok}} = 0$
Newtonin II laki	$\sum F_{\text{kok}} = ma$
Voima vs. vastavoima, $F_{AB} = -F_{BA}$, alaindeksit A ja B voivat olla propositioita	

KUVIO 4.15 Visuaaliset vastineet. Kuviossa vasemmalla puolella kirjan tekstissä tai kuvatekstissä oleva termi tai käsite. Oikealla puolella kirjan kuvassa oleva visuaalinen vastine tai elementti (Physica-sarjan oppikirja)

Tarkastellaan muutamaa esimerkkiä kuvion 4.15 ja taulukon 4.17 pohjalta. Kuviossa 4.16 pääteksti, kuvateksti ja kuva liittyvät yhteen. Päätekstiä ja kuvatekstiä yhdistävät sanat "jalkapallo", "vuorovaikutus" ja "Maa". Nämä kytkevät yhteen päätekstin ja kuvan A. Lisäinformaatiota kuvassa ilmaisee jana, jota ei mainita päätekstissä mutta joka on lisätty kuvaan. Janan merkitys ilmaistaan kuvatekstillä "- - - joka korostaa vuorovaikutuksen vaikuttavan sekä palloon että Maahan". Vuorovaikutuksen visuaalinen vastine kuvassa on jana. Kuviossa 4.15 olevan taulukon perusteella kuva A on *esittävä*. Kuvassa B ovat propositiot "Maa vetää palloa" ja "pallo vetää Maata", jotka ovat lisäinformaatiota vuorovaikutuksen kohdistumisesta. Näitä propositioita ei ole pää- eikä kuvatekstissä, joten kuva tulkitaan *selittäväksi*.

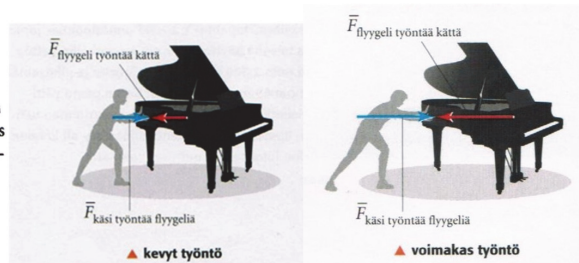
Tarkastellaan jalkapallon vuorovaikutuksia hetkellä, jolla jalka osuu palloon, mutta pallo on yhä kosketuksissa maanpinnan kanssa.

- Tarkastelun kohteena oleva kappale merkitään soikioon kaavion keskelle ja kappaleet, joiden kanssa se on vuorovaikutuksessa, suorakulmioihin kaavion reunoille.
- Kartoitetaan kappaleen vuorovaikutukset ympäristön kanssa vastaamalla kahteen kysymyseen.



KUVIO 4.16 Kuvien ero: esittävä A ja selittävä B (Physica 1, 80)

Voimat \vec{F} käsi työntää flyygeliä ja \vec{F} flyygeli työntää kättä ovat voima ja vastavoima, joten niiden suuruus on sama, mutta suunta vastakkainen, ja ne vaikuttavat eri kappaleisiin.



KUVIO 4.17 Esittävä kuvasarja (Physica 1, 81)

Esittävän ja selittävän kuvan välinen ero on siinä, onko kuvaan lisätty sellaisia visuaalisia elementtejä, joita ei ole pää- eikä kuvatekstissä. Physica 1:ssä ja 4:ssä vuorovaikutuskaaviossa tällaisia lisättyjä elementtejä ovat esimerkiksi propositiot kuten "Maa vetää Kuuta".

Päätekstissä on aikaisemmin käsitelty vuorovaikutuksen voimakkuutta, jota kuvaa voima. Sitä kuvataan vektorilla, jonka pituus ilmaisee voiman suuruuden. Lisäksi päätekstissä on ollut infolaatikossa N3. laki. Kuviossa 4.17 kuvat ovat *esittäviä*. Infolaatikon ja kuvatekstin visuaaliset vastineet voima ja vastavoima, voimien alaindeksit, yhtäsuuruus, työntö, suurempi/pienempi (vektorien suuruus) esiintyvät sekä kuvassa että päätekstissä.

Avaruusaluksen vuorovaikutukset tähtien kanssa eivät ole merkittäviä niin kauan kuin alus liikkuu riittävän kaukana kaikista taivaan-kappaleista. Se ei siis tarvitse rakettien työntövoimaa tasaisen nopeuden ylläpitämiseen. Työntövoimaa tarvitaan avaruudessa ainoastaan nopeuden muuttamiseen eli kiihdyttämiseen ja jarruttamiseen sekä kääntämiseen.

◀ Polttoaineen palaminen ja siitä syntyvät suurella nopeudella purkautuvat pakokaasut saavat aikaan rakettiin kohdistuvan työntövoiman. Matka avaruudessa saattaa kestää kuukausia. Miten aluksen polttoaine riittää moiseen matkaan?



KUVIO 4.18 Soveltava kuva (Physica 1, 86)

Kuviossa 4.18 päätekstissä mainitaan ”työntövoima”. Kuvatekstin ensimmäinen lause antaa lisäinformaatiota työntövoimasta, jota ei ole päätekstissä. Päätekstiä ja kuvatekstiä yhdistävä tekijä on ”työntövoima”, jonka synty selitetään. Kuva ei sisällä kuvion 4.15 visuaalisia vastineita. Kuva luokitellaan *soveltavaksi*.

Newtonin I laista seuraa, että kappaleen nopeuden muuttamiseen tarvitaan aina vuorovaikutus toisen kappaleen kanssa eli tästä vuorovaikutuksesta aiheutuva voima. Pelaajan on potkaistava jalkapalloa, jotta se lähtisi liikkeelle, ja maalivahdin on tartuttava palloon kiinni, että pallo pysähtyisi ennen maaliviivaa. Myös kappaleen ominaisuudet vaikuttavat sen saamaan kiihtyvyyteen. Kevyen jalkapallon nopeutta on helppo muuttaa, mutta raskaan keilapallon liikkeen muuttaminen on huomattavasti vaikeampaa.



Kumpaa potkaisisit mieluummin?

KUVIO 4.19 Soveltava kuva (Physica 1, 87)

Mitä suurempi massa kappaleella on, sitä vaikeampi sitä on saada liikkeelle tai pysäyttää, jos se on jo liikkeessä. Massan vaikutus nähdään korostetusti törmäystilanteissa, joissa kevyt ja raskas kappale törmäävät toisiinsa. Hento hyökkääjä ja raskas puolustaja vaikuttavat taklaus-tilanteessa toisiinsa Newtonin III lain mukaisesti yhtä suurilla mutta vastakkaisuuntaisilla voimilla. Hyökkääjän nopeus muuttuu törmäyshetkellä huomattavasti enemmän, sillä hänen massansa on pienempi kuin puolustajan massa.

▶ Raskas puolustaja pystyy pysäyttämään nopeasti juoksevan hyökkääjän. Hyökkääjän nopeus muuttuu enemmän törmäyksessä kuin puolustajan nopeus.



KUVIO 4.20 Soveltava kuva (Physica 1, 87)

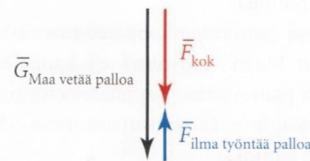
Kuvio 4.19 on vaikea luokitaa, koska kuvateksti esittää kysymyksen ”Kumpaa potkaisisit mieluummin?” Yleisen elämänkokemuksen perusteella vastaus on helppo, mutta kuvateksti ei johdattele tarkastelemaan kappaleiden massoja. Vastaus löytyy päätekstistä. Kuva havainnollistaa päätekstissä oleva asiaa. Ilman oppikirjan tekstiä on erittäin vaikea antaa fysikaalisesti perusteltua vastausta esitettyyn kysymykseen. Tämän kuvan voisi luokitella *soveltavaksi*. Kuvaan ei liity visuaalisia vastineita.

Kuvio 4.20 on valokuva. Kuvatekstin toinen lause on sama kuin päätekstissä, mikä ohjaa tarkkaavaisuutta ja kuvan tulkintaa. Kaikki oleellinen on lausuttu päätekstissä. Kuva ei sisällä visuaalisia vastineita ja luokitellaan *soveltavaksi*.

Kaksi vektoria lasketaan yhteen siten, että toinen vektori piirretään suuntansa ja suuruutensa säilyttäen alkamaan ensimmäisen loppupisteestä, ja lopuksi yhdistetään ensimmäisen vektorin alkupiste toisen vektorin loppupisteeseen. Summavektorin suunta on jälkimmäisen vektorin loppupisteeseen.

Summavektoria kutsutaan kappaleeseen vaikuttavaksi kokonaisvoimaksi.

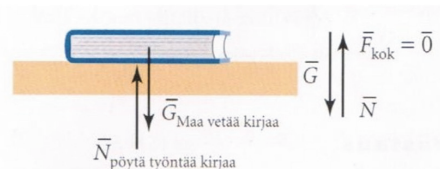
$$\vec{F}_{\text{kok}} = \vec{G} + \vec{F}_i$$



▲ Kokonaisvoima saadaan laskemalla kappaleeseen vaikuttavien voimien vektorisumma.

KUVIO 4.21 Esittävä kuva (Physica 1, 89)

Kappaleeseen vaikuttava kokonaisvoima voi olla myös nolla. Tällainen tilanne on esimerkiksi paikallaan pöydällä olevan kirjan tapauksessa.



▲ Paikallaan pöydällä olevaan kirjaan vaikuttava kokonaisvoima on nolla.

KUVIO 4.22 Esittävä kuva (Physica 1,89)

Kuviossa 4.21 kokonaisvoiman laskeminen tulkitaan *esittäväksi*. Se koostuu pää- ja kuvatekstin visuaalisista vastineista. Sama koskee kuvioita 4.22.

5 TUTKIMUKSEN TULOKSET

Vuonna 2004 tuli voimaan uusi lukion opetussuunnitelma ja samassa yhteydessä koulussamme vaihdettiin oppikirja, mikä teki mahdolliseksi oppikirjojen vertailun. Ensimmäiseksi tarkastellaan oppikirjoja ja sen jälkeen FCI-, FMCE-, TUG-K-testien tuloksia yleisesti ja toisessa vaiheessa erityisesti N2. lain kontekstissa. MBT-testi mittaa mekaniikan perustaitoja. Pelkkä suureyhtälön löytäminen ja arvojen sijoittaminen ei riitä. On osattava laatia voimakuvio ja ratkaista liikeyhtälö. Lisäksi transfer-testinä on tasaiseen ympyräliikkeeseen liittyvät kaksi tehtävää. Liitteissä 7a–c ovat tulosten pääosien yhteenvedot. Viimeisenä ovat oppilaiden fysiikkaan kohdistuvien odotusten tulokset.

5.1 Oppikirjojen erot

Luvussa 4.5.4 on esitetty ne menetelmät, joilla voidaan verrata kahden oppikirjasarjan dynamiikan aihealueen esitystapoja. Seuraavassa ei palata enää menetelmien tarkempaan kuvaukseen, vaan esitetään tulokset. Tulokset käsittelevät luettavuusindeksiä ja siihen liittyviä kysymyksiä. Lisäksi esitystapoja verrataan multimediaoppimisen koherenssi, opastin ja spatiaalisen jatkuvuuden viitekehksessä.

Luettavuusindeksi ja informaation jakautuminen

Lähtökohta on, että fysiikan oppikirjojen kieli ei voi poiketa toisistaan kovin paljon. Oppikirjan sivun tila on rajoitettu, ja tekstin pitää sisältää tietyt käsitteet ja niiden määritelmät. Määritelmien lauseet ovat samanlaisia eikä niiden lauserakenne voi poiketa toisistaan kovin paljon. Taulukoissa 5.1 ja 5.2 tarkastellaan päätekstin sana- ja kuvatiheyttä sekä sanojen jakautumista päätekstin, infolaatikon ja kuvatekstin välillä. Sarja tarkoittaa kirjoja Fotoni/Physica 1 ja 4.

Taulukossa 5.1 pakollisen kurssin Fotoni 1:n sanatiheys (sanat/sivu) on 11,7 % suurempi kuin Physica 1:n sanatiheys. Ero kasvaa 75,3 %:ksi toisen vuosikurssin oppikirjassa. Kokonaisuutena Fotoni-sarjan sanatiheys on 42,5 % suurempi. Selitys löytyy taulukosta 5.2. Päätekstin, infolaatikon ja kuvatekstin sanojen yhteismäärässä N on vain 11,8 %:n ero suhteessa Fotoni-sarjaan, mutta sanojen jakauma edellisiin ryhmiin poikkeaa. Physica-sarjassa tärkeä informaatio on jaettu päätekstin, infolaatikoiden ja kuvatekstin kesken taulukon 5.2 osoittamalla tavalla.

TAULUKKO 5.1 Fotoni- ja Physica-sarjan päätekstin sanatiheys ja kuvatiheys oppikirjan dynamiikan tekstisivuilla.

Muuttuja	Fotoni 1	Physica 1	Fotoni 4	Physica 4	Fotoni-sarja	Physica-sarja
Sanat/sivu	115	103	128	73	124	87
Kuvat/sivu	1,43	2,55	1,38	2,56	1,40	2,55

Huom. Fotoni 1 sivut 86, 87, 89, 90, 91, 93; Fotoni 4 sivut 35–41, 46, 48, 99, 100, 101, 104. Physica 1 sivut 79–81, 83–90; Physica 4 sivut 50–56, 60, 61, 154, 155, 158. Tässä sarja tarkoittaa oppikirjoja Fotoni 1 ja 4 sekä Physica 1 ja 4.

TAULUKKO 5.2 Sanojen jakauma (%) eri tekstityyppeihin Fotoni- ja Physica-sarjoissa

Ryhmä	Fotoni 1	Physica 1	Fotoni 4	Physica 4	Fotoni-sarja	Physica-sarja
Pääteksti	85,0	71,9	95,4	68,5	92,0	70,4
Infolaatikko	10,7	13,0	4,6	9,1	6,6	11,2
Kuvateksti	4,3	15,1	0,0	22,4	1,4	18,4
	100	100	100	100	100	100
Sanojen lukumäärä N	814	1571	1742	1286	2556	2857

TAULUKKO 5.3 Taulukon 5.2 prosenttiosuuksien eron merkitsevyys

Oppikirja	Pääteksti		Infolaatikko		Kuvateksti	
	\underline{z}	\underline{p}	\underline{z}	\underline{p}	\underline{z}	\underline{p}
Fotoni 1 vs. Physica 1	7,1342	<0,000001	-1,6254	0,1041	-7,8574	<0,000001
Fotoni 4 vs. Physica 4	19,8907	<0,0000	-4,8941	0,0000	-20,7636	<0,0000
Fotoni-sarja vs. Physica-sarja	20,1746	<0,000001	-5,9743	<0,000001	-20,5103	<0,000001

Taulukon 5.3 perusteella prosenttilukujen ero, lukuun ottamatta Fotoni 1:n ja Physica 1:n infolaatikoiden välistä eroa, on tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,0000$). Fotoni-sarja ei käytä kuvatekstejä eikä juurikaan infolaatikoita.

TAULUKKO 5.4 Päätekstin 100 sanan näytteiden keskiarvot ja -hajonnat

Oppikirja	Kirjaimet (kpl)	Lauseet	Sanapituus (kirjaimet/sana)	Lausepituus (sanat/lause)	Pitkät sanat (kpl)	100 sanan näytteet
Fotoni 1	761,86 (82,15)	13,86 (2,67)	7,62 (0,82)	7,42 (1,23)	17,29 (5,22)	7
Physica 1	744,36 (58,12)	14,82 (2,18)	7,44 (0,58)	6,89 (1,06)	15,27 (5,02)	11
Fotoni 4	785,63 (21,23)	14,75 (1,84)	7,86 (0,21)	6,89 (0,95)	19,44 (4,77)	16
Physica 4	772,56 (52,34)	15,00 (2,78)	7,73 (0,52)	6,88 (1,30)	19,67 (5,96)	9
Infolaatikko, Fotoni1 (87 sanaa)	716	13	8,23	6,69	30	0
Infolaatikko, Physica 1 ja 4	737,25 (55,49)	13,50 (0,58)	7,37 (0,55)	7,42 (0,32)	18,75 (7,23)	3
Kuvateksti Physica 1 ja 4	798,00 (28,13)	15,50 (1,76)	7,98 (0,28)	6,52 (0,76)	20,33 (3,93)	6
Parole 1)			8,50	6,80		
Sanoma-lehdet 1)			8,70	7,10		
Tietokirjat 1)			8,80	7,20		
Romaanit 1)			7,40	5,10		
Keskiarvo 1)			8,4	6,6		

Huom. Fotoni 1 sivut 86, 87, 89–91, 93; Physica 1 sivut 79–81, 83–90; Fotoni 4 sivut 35–41, 46, 48, 99, 100, 104; Physica 4 sivut 50–56, 60, 61, 154, 155, 158. Infolaatikot, Physica 1 sivut 79, 81, 85–90; Physica 4 51, 53–55. Kuvateksti, lauseet ilman verbiä poistettu; Physica1 sivut 78, 79–81, 83–89, 91; Physica 4 sivut 50–52, 54, 58, 154, 158, 159. Fotoni 1:ssä oli vain kahdella kuvalla kuvateksti, Fotoni 4:ssä kuvatekstejä ei ollut. 1) Lähde: Heikkinen, Lehtinen & Lounela 2001.

Taulukossa 5.4 pääteksti on jaettu 100 sanan näytteisiin, koska Wiion ja muut luettavuusindeksit perustuvat edellä mainittuun sanojen lukumäärään. Näytteiden lukumäärä riippuu tekstin pituudesta, ja näytteen sanojen lukumäärä saadaan automaattisesti joko Wordin tai OIKOFIX:n avulla. Näytteestä laskeaan lauseet, mutta on huomattava seuraava sähköpostiviesti, joka koskee lauseen vastiketta: ”Merkityksen perusteella jakso ’ajoneuvon jarruttaessa’ on hyvin lausemainen. Lause kuitenkin yleensä määritellään niin, että siinä on finiitimuotoinen verbi, joten lauseenvastikkeita ei pidetä lauseina” (Sähköpostiviesti, Kotus_lista_kielikello kielikello@kotus.fi). Pitkät sanat (PS) ovat Wiion mukaan nelitavuisia tai sitä pitempiä sanoja. Sanan pitää olla perusmuodossa. Tavujen määrän voi tarkistaa osoitteesta <http://www.ioni.org/ta-vut-ta-ja/>.

Taulukossa 5.4 esimerkiksi Fotoni 1:n päätekstistä on peräkkäin otettu seitsemän 100 sanan näytettä, vastaavasti Physica 1:stä 11 näytettä. Näistä on laskettu keskiarvot ja -hajonnat kyseisille muuttujille. Taulukossa 5.5 on verrattu oppikirjoja keskenään annettujen muuttujien suhteen ja voidaan todeta, että tilastollisesti Fotoni- ja Physica-sarja eivät poikkea toisistaan.

TAULUKKO 5.5 100 sanan näytteet dynamiikan osa-alueesta

Muuttuja	Fotoni 1 vs. Physica 1, $df = 16$;		Fotoni 4 vs. Physica 4, $df = 23$	
	\bar{t}	\bar{p}	\bar{t}	\bar{p}
Kirjaimet	0,530	0,603	0,891	0,382
Lauseet	0,841	0,413	0,271	0,789
Sanapituus	0,531	0,603	0,891	0,382
Lausepituus	0,971	0,346	0,030	0,976
Pitkät sanat	0,820	0,424	0,110	0,913

Taulukossa 5.6 on Wiion indeksi I ja II. Wiion indeksi I voidaan joko laskea tai saada OIKOFIX-ohjelmasta. Suoritettiin seuraava tarkistus. Lasketaan indeksin arvo kaikille näytteille lausekkeella $LT = 2,7 + 0,3 \cdot PS$ ja verrataan sitä OIKOFIX-ohjelmasta saatuun arvoon. Ero laskettu vs. mitattu arvo: Fotoni 1, $t = 0,764$, $df = 12$, $p = 0,473$; Physica 1, $t = 0,770$, $df = 20$, $p = 0,468$; Fotoni 4, $t = 0,339$, $df = 30$, $p = 0,750$; Physica 4, $t = 0,395$, $df = 16$, $p = 0,969$. Edellisen perusteella Wiion indeksin laskemisessa voidaan käyttää edellä mainittua lauseketta.

TAULUKKO 5.6 Taulukon 5.4 perusteella lasketut luettavuusindeksit

Oppikirja	Wiio I	Wiio II	ARI	GFS	GI
Fotoni 1	7,89	7,01	18,16	9,88	53,25
Physica 1	7,28	6,35	17,07	8,86	58,12
Fotoni 4	8,53	7,72	19,02	10,53	53,98
Physica 4	8,60	7,80	18,40	10,62	55,37
Infolaatikko, Fotoni 1	7,80	6,92	17,68	9,30	60,60
Infolaatikko, Physica 1 ja 4	8,33	7,50	17,00	10,47	55,72
Kuvateksti Physica 1 ja 4	8,80	8,02	19,42	10,74	55,21
Parole			22,0		48,1
Sanomalehdet			23,1		44,3
Tietokirjat			23,6		42,7
Romaanit			16,0		73,8

Huom. Mitä pienempi indeksi sitä helppolukuisempi on teksti paitsi GI:llä, jolla tilanne on päinvastoin. Wiio I ja II, ARI (*Automated Readability Index*), GFS (*Gunning Fog Score*) ja GI (*Gulpease Index*)

Luvun 2.7 perusteella Wiion II indeksille saadaan arvio $LT = 0,33PS + 1,31$. Tämän mukaan vähentävä vaikutus suhteessa Wiion yksinkertaisempaan indeksiin I on tietokirjoilla hieman yli yksi lukuvuosi.

Taulukossa 5.7 lasketaan oppikirjojen indeksien ero ja verrataan sitä pienempään indeksiin. Taulukon 5.7 perusteella oppikirjat eivät eroa toisistaan luettavuusindeksin suhteen. Lähinnä on kysymys siitä antavatko eri indeksit samansuuntaista tietoa suhteessa Wiion molempiin indekseihin, ja näin näyttäisi käyvän.

TAULUKKO 5.7 Taulukon 5.6 indeksien ero (%) suhteessa pienempään indeksiin ja pisteytys

Oppikirja	Wiio I		Wiio II		ARI		GFS		GI	
	%	<i>P</i>	%	<i>P</i>	%	<i>P</i>	%	<i>P</i>	%	<i>P</i>
Fotoni 1	8,3	1	10,5	0	6,4	1	11,5	0	0	1
Physica 1	0	1	0	2	0	1	0	2	9,1	1
Fotoni 4	0	1	0	1	3,4	1	0	1	0	1
Physica 4	0,8	1	1,0	1	0	1	0,8	1	2,6	1
Infolaatikko, Fotoni 1	0	1	0	1	4,0	1	0	2	8,8	1
Infolaatikko, Physica 1 ja 4	6,7	1	8,3	1	0	1	12,5	0	0	1
Yhteensä										
Fotoni-sarja		3		2		3		3		3
Physica- sarja		3		4		3		3		3

Huom. Määritellään pisterajat seuraavasti: Pisteet *P* ovat tasan, jos erotus on $\leq 10\%$. Jos erotus $\in]10\%, 50\%]$, niin annetaan 2 pistettä helppolukuisammalle. Muulloin annetaan 3 pistettä.

N2. lakiin liittyvät sellaiset käsitteet kuin vuorovaikutus, voima, kiihtyvyys ja massa sekä toisena ryhmänä kappale, liike, suunta ja vektori. Tekstissä nämä synnyttävät assosiaatioita, ja ne vahvistuvat mitä useimmin nämä käsitteet ilmenevät. Taulukossa 5.8 on vertailu suoritettu päätekstiin ja taulukossa 5.9 suhteessa tutkittujen termien kokonaismäärään.

Taulukossa 5.8 näkyy termien painotukset päätekstissä. Physica 1 painottaa vuorovaikutusta ensimmäisellä ($p = 0,0000$) ja Fotoni 4 toisella vuosikurssilla ($p = 0,0001$). Ensimmäisellä vuosikurssilla Physica 1:ssä vuorovaikutus on kappaleiden välillä ($p = 0,022$), ja sitä kuvataan vektorilla ($p = 0,0095$). Fotoni 4 korostaa termiä suunta ($p = 0,0058$).

Taulukossa 5.9 tarkastellaan termien osuuksia niiden kokonaismäärästä. Edelleen Physica 1:ssä termien vuorovaikutus ($p = 0,0011$) ja vektorit ($p = 0,040$) osuus on suurempi kuin Fotoni 1:ssä. Physica 1:ssä ei korosteta termiä liike ku-

ten Fotoni 1:ssä ($p = 0,011$). Toisella vuosikurssilla Fotoni 4:ssä korostuu termi vuorovaikutus ($p = 0,0001$) ja Physica 4:ssä voima ($p = 0,043$). Edelleen termin suunta käyttö on Fotoni 4:ssä yleisempää ($p = 0,043$).

TAULUKKO 5.8 Fysiikan termien osuudet (%) päätekstissä

Termi	F1	Ph1	z	p	F4	Ph4	z	p
Vuorovaikutus	1,16	4,69	-4,070	<u>0,0000</u>	7,41	1,93	5,602	<u>0,0000</u>
Voima	4,48	4,34	0,145	0,145	10,2	8,51	1,263	0,207
Kiihtyvyys	1,88	1,33	0,928	0,353	2,15	1,36	1,328	0,184
Massa	1,59	1,06	0,979	0,328	0,43	0,34	0,323	0,747
Kappale	3,03	5,31	-2,287	<u>0,022</u>	8,96	7,04	1,573	0,116
Liike	1,73	0,89	1,611	0,107	3,19	2,38	1,082	0,279
Suunta	0,58	1,42	-1,666	0,096	1,38	0,23	2,756	<u>0,0058</u>
Vektori	0,29	1,59	-2,592	<u>0,0095</u>	0,43	0,57	-0,439	0,661
Yhteensä	14,74	20,62	-3,145	<u>0,002</u>	34,11	22,36	5,793	<u>0,0000</u>
Lukumäärä N	692	1130			1161	881		

Huom. F = Fotoni, Ph = Physica, tulosten laskenta <http://vassarstats.net/index.html>

TAULUKKO 5.9 Fysiikan termien osuudet (%) suhteessa niiden kokonaismäärään

Termi	F1	Ph1	z	p	F4	Ph4	z	p
Vuorovaikutus	7,84	22,75	-3,253	<u>0,0011</u>	21,72	8,63	3,962	<u>0,0001</u>
Voima	30,39	21,03	1,850	0,064	29,80	38,07	-2,025	<u>0,043</u>
Kiihtyvyys	12,75	6,44	1,920	0,055	6,31	6,09	0,105	0,916
Massa	10,78	5,15	1,877	0,061	1,26	1,52	-0,259	0,796
Kappale	20,59	25,75	-1,016	0,310	26,26	31,47	-1,331	0,183
Liike	11,76	4,29	2,541	<u>0,011</u>	9,34	10,66	-0,508	0,611
Suunta	3,92	6,87	-1,047	0,295	4,04	1,02	2,023	<u>0,043</u>
Vektori	1,96	7,73	-2,049	<u>0,040</u>	1,26	2,54	-1,136	0,256
Yhteensä	100	100			100	100		
Lukumäärä N	102	233			396	197		

Huom. Tulosten laskenta <http://vassarstats.net/index.html>

Taulukossa 5.10 käsitellään kokonaisuutena termien esiintyvyyttä päätekstissä ja niiden keskinäisiä suhteellisia osuuksia. Fotoni 1:ssä ja Fotoni 4:ssä käytetään termejä vuorovaikutus ($p = 0,014$), voima ($p = 0,023$) ja liike ($p = 0,016$) enemmän kuin Physica-sarjassa. Poikkeuksen muodostaa vektori-termin käyttö Physica 1:ssä ($p = 0,007$) ja Physica 4:ssä ($p = 0,0007$). Se oli ainoa termi, jonka suhteen Fotoni- ja Physica-sarja poikkesivat tilastollisesti toisella vuosikurssilla.

Päätekstissä havaittujen erojen selitystä voi hakea taulukosta 5.2, jossa informaatio jaetaan päätekstin, infolaatikon ja kuvatekstin kesken. Fotoni-sarjassa

päätökstien osuus on 92 % ja Physica-sarjassa 70,4 %. Selittävä teksti on päätöksissä, kuten taulukoista 5.1–5.2 ilmenee.

TAULUKKO 5.10 Termien osuudet oppikirjoissa Fotoni 1 ja 4 sekä Physica 1 ja 4

Termi	Osuus päätökstien sanamäärästä (%)				Osuus termien määrästä (%)			
	Fotoni 1 ja 4	Physica 1 ja 4	<i>z</i>	<i>p</i>	Fotoni 1 ja 4	Physica 1 ja 4	<i>z</i>	<i>p</i>
Vuorovaikutus	5,07	3,48	2,452	<u>0,014</u>	18,88	16,28	1,034	0,301
Voima	8,04	6,17	2,272	<u>0,023</u>	29,92	28,84	0,361	0,718
Kiihtyvyyys	2,05	1,34	1,710	0,087	7,63	6,28	0,804	0,421
Massa	0,86	0,74	0,409	0,682	3,21	3,49	-0,233	0,816
Kappale	6,74	6,07	0,862	0,389	25,10	28,37	-1,125	0,261
Liike	2,64	1,54	2,405	<u>0,016</u>	9,84	7,21	1,423	0,154
Suunta	1,08	0,89	0,580	0,562	4,02	4,19	-0,130	0,896
Vektori	0,38	1,14	-2,710	<u>0,007</u>	1,41	5,35	-3,387	<u>0,0007</u>
Yhteensä	26,88	21,38	3,988	<u>0,000</u>	100	100		
Lukumäärä <i>N</i>	1853	2011			498	430		

Oppikirjoja voidaan verrata kuvan ja tekstin vuorovaikutuksen suhteen. Seuraavassa tarkastellaan multimediaoppimisen teorian periaatteiden toteutumista vertailtavien kirjasarjojen dynamiikan aihealueessa.

Koherenssiperiaate

Pitkät tekstit eivät välttämättä ole hyödyksi. Pitkän tekstin mittana voidaan pitää myös sanamäärää. Taulukoissa 5.9 ja 5.10 vertailu joudutaan tekemään päätökstien sanamäärään, koska Fotoni-sarjassa ei ole kuvatekstejä ja infolaatikon sanat on jouduttu poimimaan Fotoni 1:ssä osin dynamiikan aihealueen ulkopuolelta. Silti sanoja saatiin vain 87.

TAULUKKO 5.11 Newtonin II ja III lain esittelyyn käytetyn tekstin jakauma (%) oppikirjoissa

Termi	F 1	Ph 1	<i>z</i>	<i>p</i>	F 4	Ph 4	<i>z</i>	<i>p</i>
Newtonin II laki	61,35	37,74	7,875	<u><0,0000</u>	52,30	48,00	1,988	<u>0,0468</u>
Vuorovaikutus	24,36	45,28	-7,294	<u><0,0000</u>	19,32	19,96	-0,374	0,708
Malliesimerkki	13,98	16,98	-1,390	0,165	28,38	32,04	-1,848	0,0646
Yhteensä	100	100			100	100		
Lukumäärä <i>N</i>	665	477			1367	877		

Huom. F = Fotoni, Ph = Physica

TAULUKKO 5.12 Newtonin II ja III lain esittelyyn käytetyn tekstin jakauma (%) oppikirjasarjassa

Termi	Fotoni 1 ja 4	Physica 1 ja 4	z	p
Newtonin II laki	55,27	44,39	6,203	<0,0000
Vuorovaikutus	21,06	28,88	-5,202	<0,0000
Malliesimerkki	23,67	26,73	-2,020	0,043
Yhteensä	100	100		
Lukumäärä N	2032	1354		

Huom. F = Fotoni, Ph = Physica

Yleisesti voidaan todeta, että fysiikan oppikirjoissa ei ole tekstin lomassa turhia sanoja ja kuvia. Dynamiikan aihealueen päätarkoitus on esittää N2. ja N3. lakiin liittyvät tärkeät periaatteet ja probleemanratkaisun proseduuri. Mayerin (2009, 104–105) tutkimusten perusteella koherenssi 3 (poistetaan tarpeettomat sanat ja symbolit) toteutuu, jos opittava materiaali esitetään lyhyesti ilman kvantitatiivisia yksityiskohtia kuten mittaustuloksia ja laskuja. Tätä taustaa vasten taulukon 5.11 mukaan saman asian esittelyyn Fotoni 1 käyttää 39,4 % ja Fotoni 4 55,9 % enemmän sanoja kuin Physica 1 ja Physica 4. Kun otetaan huomioon molempien kirjasarjojen käyttämä päätekstin sanamäärä, niin Fotoni-sarja käyttää taulukon 5.12 mukaan 50 % enemmän sanoja.

Taulukosta 5.11 ilmenee, että sanojen käytön jakauma on N2. lain kontekstissa erilaista. Päätekstin sanojen kokonaismäärästä suurin osa Fotoni 1:ssä käytetään N2. lain demonstraatioon ($p < 0,0000$). Sitä vastoin Physica 1:ssä sanojen pienemmästä kokonaismäärästä suurin osa käytetään vuorovaikutuksen esittelyyn ($p < 0,0000$). Physica 1 käyttää päätekstin pienemmän sanamäärän ”tehokkaammin” vuorovaikutuksen kuvaamiseen. N2. lain demonstraation selostaminen mittaustuloksineen ei välttämättä edistä oppimista (vrt. Mayer 2009, 104).

Physica-sarjassa osa tärkeästä tekstistä on infolaatikoissa ja kuvatesteissä. Näin päätekstin kappaleista tulee lyhyempiä. Toisaalta taulukon 5.6 perusteella infolaatikoiden luettavuusindeksit Physica-sarjassa ovat korkeammat kuin Fotoni-sarjassa, mikä viittaa vaikeampaan tekstiin. Tämä ei ehkä ole suuri ongelma, koska teksti infolaatikossa on määritelmän omaista, ja myöhemmin opastinperiaate tukee infolaatikoiden käyttöä.

Taulukoiden 5.1 ja 5.2 perusteella Physica-sarjassa kuvia sivua kohti on 82% enemmän kuin Fotoni-sarjassa. Fotoni-sarjan informaatiosta 92 % on päätekstissä. Sen sijaan Physica-sarjassa informaatio jakautuu päätekstin, infolaatikon ja kuvatekstin kesken suhteessa 70 %, 11 % ja 18 %. Koherenssi 3 -periaatteen mukaan tällainen jakauma (Mayer 2009, 103) muodostaa tiiviin yhteenvedon ilman liiallista tekstiä. Avainsanat ovat kuvatekstissä, mikä edistää ymmärtämistä.

Opastinperiaate

Opastimet eivät tuo uutta informaatiota, vaan suuntaavat opiskelijan tarkkaavaisuutta oleelliseen informaatioon.

TAULUKKO 5.13 Opastinperiaate Fotoni 1 ja 4 sekä Physica 1 ja 4 oppikirjoissa

Dynamiikka	Fotoni 1	Physica 1	Fotoni 4	Physica 4
Lyhyt luvun johdanto	0	1	1	1
Kappaleen lyhyt otsikko	1	1	1	1
Vaiheiden numerointi	0	0	0	1
Infolaatikko	1	2	0	2
Graafinen järjestin	0	1	0	1
Luokitteleva yhteenvedo	0	1	0	1
Yhteensä	2	6	2	7

Huom. Jos infolaatikolla on otsikko, niin pisteytyksessä saa 2 pistettä

Jos taulukossa 5.13 ryhmitellään, niin että opastimen 1 muodostavat ensimmäisen sarakkeen kolme ensimmäistä otsikkoa ja opastimen 2 kolme viimeistä, on Fisherin tarkan testin 2x2-taulukon todennäköisyys $p = 0,294$. Tämän perusteella oppikirjat eivät eroa toisistaan. Kuitenkin Fotoni-sarjasta puuttuvat graafiset järjestimet ja luokittelevat yhteenvedot. Tästä seuraa, että Fotoni- ja Physica-sarjoja on vaikea verrata muuten kuin opastinperiaatteen toteutumisen suhteen. Tässä suhteessa Physica-sarja täyttää taulukon 5.13 perusteella paremmin ao. multimediaperiaatteen. Lisäksi Physica-sarjassa käytetään vuorovaikutuskaaviota, joka puuttuu Fotoni-sarjasta. Tämän merkitys arvioidaan myöhemmin erikseen.

Spatiaalisen jatkuvuuden periaate

TAULUKKO 5.14 Spatiaalinen jatkuvuus: vuorovaikutuskaaviot, voimakuviot, valokuvat, piirroksot ja yksi esimerkki, joka liittyy käsiteltävään aiheeseen, (kpl)

Esityksen muoto	F1	Ph1	F4	Ph4	Fotoni-sarja	Physica-sarja
Täysin integroitu muoto, avainsanat kuviossa ja selittävä teksti kuvan alla, jossa on päätekstin lause.	0	17	0	6	0	23
Osittain integroitu muoto, selittävä teksti on kuvan alla tai vieressä.	3	13	0	3	3	16
Erotettu muoto, kuvion selitys tekstissä tai kuvion selitys puuttuu tai kuvateksti puuttuu	12	3	17	18	29	21
yhteensä	15	33	17	27	32	60

Huom. Fotoni 1 sivut 86–91, 93; Physica 1 sivut 78–81, 83–87, 89, 90; Fotoni 4 sivut 35, 36, 38, 39, 41, 42, 99, 100, 101, 104; Physica 4 sivut 50–54, 56, 57, 60, 61, 154, 155, 158, 159. Vrt. taulukko 4.14

Taulukon 5.14 mukaan oppikirjoilla on selkeä ero spatiaalisen jatkuvuuden osalta. Fisherin tarkka testi: Fotoni 1 vs. Physica 1 $p = 0,0000$ (136T), Fotoni 4 vs.

Physica 4 $p = 0,0212$ (28T) ja Fotoni- vs. Physica-sarja $p = 0,0000$ (425T). Physica-sarjassa spatiaalisen jatkuvuuden periaate toteutuu dynamiikan osa-alueessa. Merkinnät 136T, 28T ja 425T ilmaisevat Fisherin tarkan testin taulukoiden lukumäärää, kun reunasummat pysyvät vakioina.

Oppikirjojen kuvien luokittelu

Tässä tutkimuksessa joudutaan oppikirjan kuvien luokittelu tekemään erikseen Fotoni- ja Physica-sarjoille. Fotoni-sarjassa dynamiikan osa-alueessa kuvissa ei ole kuvatekstejä, joten vertailu ei olisi puolueeton. Rinnakkaisarvioija oli kokenut lukion matematiikan ja fysiikan opettaja.

TAULUKKO 5.15 Fotoni 1:n ja 4:n päätekstiin liittyvien kuvien luokittelu taulukon 4.15 mukaan

Tehtäväluokka	Fotoni 1		Fotoni 4	
	<u>Tutkija</u>	<u>Rinnakkais-arvioija</u>	<u>Tutkija</u>	<u>Rinnakkais-arvioija</u>
Somistava	1	3	2	1
Esittävä	7	7	2	8
Tulkitseva	2	0	7	2
Yhteensä	10	10	11	11

Huom. Vrt. Levin (1981), ks. liite 8

Taulukko 5.15 osoittaa, että kuvien luokittelu taulukon 4.15 perusteella on ongelmallinen. Cohenin kappaa (Metsämuuronen 2006, 1115) saa arvon 0,167 Fotoni 1:ssä ja 0,251 Fotoni 4:ssä. Jos liitteessä 8 kuvat 5 ja 6 tulkitaan esittäviksi, niin kappaa saa arvon 0,412. Vastaavasti jos Fotoni 4:ssä kuvat 7–10 tulkitaan joko esittäviksi tai tulkitseviksi, niin kappaa on 0,662 tai 0,841.

TAULUKKO 5.16 Physica 1:n ja 4:n päätekstiin liittyvien kuvien luokittelu taulukon 4.16 mukaan

Tehtäväluokka	Physica 1		Physica 4	
	<u>Tutkija</u>	<u>Rinnakkais-arvioija</u>	<u>Tutkija</u>	<u>Rinnakkais-arvioija</u>
Somistava	0	5	0	4
Soveltava	7	3	5	2
Esittävä	8	5	10	5
Selittävä	7	7	8	7
Täydentävä	2	4	1	6
Yhteensä	24	24	24	24

Huom. Vrt. Pozzer & Roth (2003, 1094), ks. liite 9

Taulukossa 5.16 Physica 1:n Cohenin kappa on 0,319 ja Physica 4:n 0,260. Jos Physica 4:ssä kuvat 4–8 (liite 9) luokitellaan selittäviksi, niin kappa saa arvon 0,485. Taulukon 4.16 ohjeiden mukainen luokittelu on herkkä muutokselle.

Taulukko 4.16 perustuu Pozzerin ja Rothin (2003) tutkimukseen, jossa analysoitiin biologian oppikirjojen valokuvia. Fysiikan oppikirjoissa on sekä valokuvia että graafisia esityksiä, joista viimeainitut voivat olla hyvinkin yksityiskohtaisia kuten voimakuviot. Esittävän ja selittävän luokan määritelmät taulukossa 4.16 antavat tulkintamahdollisuuden. Pozzerin ja Rothin määritelmässä korostetaan kuvatekstin ja päätekstin suhdetta. Esittävän kuvan kuvateksti ei tarjoa lisäinformaatio, visuaalinen informaatio ei muuta päätekstin sanomaa.

Selittävän ja täydentävän kuvan kuvatekstit antavat lisäinformaatiota tai uutta informaatiota, jota ei ole aikaisemmin mainittu päätekstissä. Tulkinnan helpottamiseksi taulukkoa 4.16 on muokattu fysiikkaan paremmin sopivaksi ottamalla käyttöön *visuaalisen vastineen* käsite, josta on esimerkkejä kuviossa 4.13. Tämän perusteella taulukko 4.16 on muokattu uuteen muotoon taulukoksi 4.17, jonka perusteella on tehty uusi luokittelu taulukkoon 5.17.

TAULUKKO 5.17 Physica 1:n ja 4:n päätekstiin liittyvien kuvien luokittelu taulukon 4.17 mukaan

Tehtäväluokka	Physica 1		Physica 4	
	Sivu (kpl)	Osuus (%)	Sivu (kpl)	Osuus(%)
Somistava	-		-	
Soveltava	78(1), 81(1), 82(1), 84(1), 86(1), 87(1), 87(1)	25,0	50(1), 50(1), 54(1), 56(1), 154(1), 158(1)	25,0
Esittävä	79(2), 80(1), 81(3), 85(1), 89(1), 89(1), 89(1), 89(1)	39,3	51(1), 51(1), 51(2), 52(2), 52(2), 56(1), 53(1), 60(3), 158(1), 159(1)	62,5
Selittävä	80(2), 83(5), 84(2),	32,1	52(1), 56(1), 154(1)	12,5
Täydentävä	90(1)	3,6	-	-
Yhteensä	28	100	24	100

Huom. Vrt. Pozzer & Roth (2003, 1094,) Physica 1: 78–87, 89, 90; Physica 4: 50–54, 56, 60, 154, 158, 159.

Physica 1:n täydentävä-luokittelussa oppikirjan sivun 83 taulukko on tulkittu viiden kuvan koosteena 83(5) (taulukko 5.17). Näin säästetään tilaa. Kuvatekstin mukaan kirjan taulukko esittää voimien luokittelun niiden vaikutustavan mukaan, mutta itse kuvateksti ei anna uutta informaatiota, vaan se on kuvien selitteissä. Päätekstissä sanat "tukivoima" ja "kitka", jotka myös esiintyvät yhteenvedon kuvioissa, liittyvät päätekstin ja kuvat toisiinsa. Kuvat on luokiteltu taulukon 4.17 mukaan taulukossa 5.17 selittäviksi. Esimerkiksi pinnan tukivoiman selitteissä olevien termien visuaaliset vastineet ovat kuviossa. Lisäinformaatiota

antaa propositio ”seinä työntää kättä”. Sama koskee muitakin yhteenvedon kuvia.

Taulukossa 5.18 Physica 1:ssä taulukoiden 4.16 ja 4.17 luokittelut eivät eroa toisistaan ($\chi^2 = 4,64$, $df = 3$, $p = 0,200$; Fisherin tarkka testi $p = 0,209$, 1520T). Sen sijaan Physica 4:ssä luokittelut eroavat toisistaan ($\chi^2 = 11,37$, $df = 2$, $p = 0,0023$, 186T).

TAULUKKO 5.18 Tehtäväluokkiin kuuluvien kuvien lukumäärät (kpl)

Tehtäväluokka	Physica 1		Physica 4	
	Taulukko 4.16	Taulukko 4.17	Taulukko 4.16	Taulukko 4.17
Soveltava	4	7	4	6
Esittävä	11	11	6	15
Selittävä	7	9	14	3
Täydentävä	6	1	0	0-
Yhteensä	28	28	24	24

Physica-sarjassa ensimmäisellä vuosikurssilla käytetään vuorovaikutuskaaviota, jonka perusteella laaditaan voimakuvio. Tällöin toisella vuosikurssilla teksti, joka ensimmäisellä vuosikurssilla oli selittävää, muuttuu esittäväksi.

Suurin muutos Physica 4:ssä on tapahtunut esittävän ja selittävän tehtäväluokan välillä. Kuten luvun 4.5.4 lopussa olevat luokitteluesimerkit osoittavat, useimmat kuvat ovat tekstin visuaalisia representaatioita. Päätekstin lause esiintyy kuvatekstin lauseena, ja kuvassa ovat tärkeimmät visuaaliset vastineet. Kuten Mayer (2009, 137–138) on esittänyt: spatiaalinen jatkuvuus syntyy, jos tekstikappale sijoitetaan kuvan viereen, siitä kopioidaan avainlause kuvatekstiin ja kuvaan sijoitetaan avainsanat.

Edellä olevien tulosten perusteella Fotoni- ja Physica-sarja eroavat toisistaan dynamiikan aihealueessa. Näyttäisi siltä, että Fotoni-sarjan oppikirjat korostavat enemmän tekstiä suhteessa Physica-sarjaan. Eniten sarjat poikkeavat kuvituksen suhteen. Physica-sarja näyttäisi noudattavan multimediaoppimisen periaatteita.

5.2 FCI-, FMCE- ja TUG-K-testit

Ryhmien tietojen tilastollisen käsittelyn ongelmana on ryhmien pieni koko. F-ryhmässä oli 19 ja P-ryhmässä 18 oppilasta. Tässä tutkimuksessa tulosten tulokinnassa voidaan yhtä aikaa käyttää sekä t - että U -testiä, jolloin lukija voi paremmin arvioida tilastollista merkitsevyyttä. Testit ovat kaksisuuntaisia, jos ei erikseen mainita. Testisuureen U kriittiset arvot ovat (U,p) (71, 0,002), (94, 02), (106, 0,05) ja (116, 0,10). Lisäksi lasketaan efektikoko d (Metsämuuronen 2006, 466).

Koska toisen vuosikurssin opiskelun onnistumiseen vaikuttaa ensimmäiseltä vuosikurssilta saatu pohja, tarkastellaan kurssin loppuarvosanoja. Ne määräytyivät seuraavasti: loppuarvosana = 20 % kertaus + 30 % perusasioiden koe + 50 % laaja koe. Prosenttiluvut kuvaavat painoja. Loppuarvosanaa määrätessä opettajalla oli harkintaoikeus. Kurssin alussa arviointiperusteet julkaisiin ja selitettiin oppilaille.

Fysiikka luonnontieteenä -kurssin loppukokeen arvosanojen keskiarvot ja -hajonnat olivat F-ryhmällä 7,41 (1,12) ja P-ryhmällä 8,67 (0,84) ($t = -3,867$, $df = 35$, $p = 0,046$; $U = 71,0$, $p = 0,002$, $d = 1,27$). Arvosanoja voidaan tarkastella kahdena ryhmänä: 6–8 ja 9–10, jolloin saatiin 2x2-taulukko (15-4; 8-10): $\chi^2 = 4,678$, $df = 1$ ja $p = 0,031$. Ryhmät näyttäisivät eroavan toisistaan. Fisherin tarkka testi edellä mainitulle ja sitä äärevämmille taulukoille viittaa myös tilastolliseen eroon ($p = 0,045$). Edellä olevan perusteella ryhmien välillä näyttää olevan tilastollinen ero pakollisen kurssin jälkeen. Äärevyys tarkoittaa ristiintaulukon ominaisuutta tuottaa harvinaisempia ja siten epätodennäköisempiä tuloksia. Testisuure saa suurempia arvoja, ja nollahypoteesi hylätään todennäköisemmin. Laskennassa taulukon reunasummat pysyvät vakioina. Solujen arvot vaihtelevat. (Metsämuuronen 2006, 887.)

F-ryhmän loppukokeessa tehtäväpaperissa annetun kuvion perusteella osattiin laskea N2. lain kolmas suure kuten massa, kiihtyvyys tai voima, kun kaksi suureista tunnettiin. Osalle oppilaista tasaisen ja kiihtyvän liikkeen ero oli epäselvä, mikä ilmeni väärien suureyhtälöiden käyttönä. Voiman ja vastavoiman käsitteen soveltamisessa oli edelleen vaikeuksia: voima ja vastavoima vaikuttivat samaan kappaleeseen. Kitkaa pidettiin kiihdytyksessä liikkeelle vastakkaisena jne. P-ryhmässä havainnot olivat samansuuntaisia. Molemmissa ryhmissä N2. laki oli vielä jäsentymätön.

TAULUKKO 5.19 FCI-testin pistemäärien keskiarvot ja otoskeskihajonnat (). Testin maksimipistemäärä on 30

Ryhmä	N	Esitestin pisteet	Jälkitestin pisteet	Esitesti (%)	Jälkitalesti (%)
F	19	11,32 (3,67)	21,58 (4,99)	38 (12)	72 (17)
P	18	12,44 (4,68)	24,72 (3,88)	41 (16)	82 (13)

Esitestin perusteella ryhmien välillä ei ole eroa ($t = -0,819$, $df = 35$, $p = 0,418$; $U = 151,5$, $p > 0,10$). Tuloksia tarkastellessa huomio taulukossa 5.19 kiinnittyy yllättävän hyvään esitestin prosenttiin, joka on molemmilla ryhmillä noin 40 %. Selytyksenä ei voi olla testin tuttuus, koska testin kysymykset eivät ole etukäteen saatavilla eikä vastauksia anneta testattavien tietoon. Tosin binomitodennäköisyyden perusteella ($n = 30$, $p = 0,20$, $q = 0,80$) todennäköisyys saada sattumalta 30 tehtävästä 0, 1, 2, 3, 4, 5 tai 6 oikein on 0,607 sekä 7, 8, 9, 10 tai 11 oikein on 0,384. Jos oletetaan, että testin vastauksista viidesosan saa arvaamalla oikein eli 6 vastausta ja testin kysymyksistä tietää puolet eli 15, niin F-ryhmän jälkitestin keskiarvo 21,58 tukee tätä oletusta. (vrt. Metsämuuronen 2006, 177–178.)

F-ryhmässä neljältä pojalta ja yhdeltä tytöltä puuttuivat esitestin tiedot, koska he olivat toisen opettajan ryhmässä. Sitä varten jouduttiin turvautumaan aikaisempiin tilastoihin, joissa tutkittiin 42 pojan ja 19 tytön sekä esitestin että jälkitestin pisteet. Esitestin pisteet riippuivat jälkitestin pisteistä seuraavasti: pojat, $y = 0,565x + 0,075$, $R^2 = 0,54$; tytöt, $y = 0,302x + 4,08$, $R^2 = 0,25$. Neljän pojan jälkitestin pisteet olivat 24, 20, 20 ja 11, joita vastaavat esitestin arvioidut pisteet ovat 13,63, 11,32, 11,32 ja 6,29. Tytöllä vastaavat arvot ovat 23 ja 11,02. FCI-jälkitestin suhteen tulokset ovat hieman ristiriitaisia. Ryhmien välillä on joko ero ($t = -2,130$, $df = 35$, $p = 0,040$; $d = 0,878$) tai viitteitä erosta ($U = 110,5$, $0,05 < p < 0,10$). t -testin ongelma on otoksen pieni koko, jolloin tulokset voivat olla epätarkkoja. Jos otoskoko on kohtuullinen (> 20), niin testi antaa kohtuullisen luotettavia tuloksia. (Metsämuuronen 2006, 564.)

Oppimisen tehokkuutta mitataan normeeratulla kasvutekijällä $\langle g \rangle$. Taulukon 5.20 perusteella käytetty vuorovaikutteinen opetusmalli on edistänyt molempien ryhmien käsitteellistä ymmärtämistä. F-ryhmän tulos 0,55 sijoittuu välille $0,34 < \langle g \rangle < 0,62$ (Hake 1998). P-ryhmän tulos 0,70 ylittää "High-g"-kurssien joukkoon. Efektikoon suuret arvot 2,34 ja 2,86 ilmaisevat, että esi- ja jälkitestin pistemäärien jakaumat ovat erilliset. Jälkitestin pistemäärät ovat lähes kaksinkertaiset (vrt. taulukko 5.19). F-ryhmässä 42 % opiskelijoiden tuloksista sijoittui välille 60–79 % maksimipisteistä, ja 42 %:n tulos oli ≥ 80 %. Vastaavasti P-ryhmässä kaikkien opiskelijoiden tulos ylitti 60 % maksimipisteistä, ja 56 %:lla tulos oli ≥ 80 %.

TAULUKKO 5.20 FCI-testi: normeerattu kasvutekijä, henkilökohtainen kasvutekijä ja efektikoko. Suluissa on keskihajonta.

Ryhmä	<i>N</i>	Normeerattu kasvutekijä $\langle g \rangle$	Henkilökohtainen kasvutekijä <i>g</i>	Efektikoko
F	19	0,55	0,57 (0,21)	2,34
P	18	0,70	0,72 (0,18)	2,86

Taulukon 5.19 perusteella jälkitestin tulos viittaa siihen, että ryhmien välillä olisi eroa, mutta lisävalaistusta saadaan henkilökohtaisesta kasvutekijästä g , jonka keskiarvot ovat taulukossa 5.20. Ryhmien välillä on ero ($t = -2,313$, $df = 35$, $p = 0,027$; $U = 104,5$, $p < 0,05$; $d = 0,700$). P-ryhmässä oli kaksi opiskelijaa, joiden henkilökohtainen kasvutekijä oli 1,00. Kun otetaan huomioon FCI-jälkitestien keskiarvot ja henkilökohtaiset kasvutekijät, niin näyttäisi siltä, että ryhmät eroavat toisistaan. FCI-testin N3. lain kysymykset 4, 15, 16 ja 28 olivat P-ryhmällä kaikki oikein ja F-ryhmällä oikeita vastauksia oli 100 %, 79 %, 95 % ja 100 %. Ryhmien välillä ei ole eroa.

FCI-jälkitesti antaa liian kapean kuvan ryhmien osaamisesta. Seuraavassa tarkastellaan toisen vuosikurssin FMCE- ja TUG-K-testien tuloksia yleisellä tasolla. Taulukossa 5.21 ovat molempien ryhmien tulokset.

TAULUKKO 5.21 FMCE- ja TUG-K-testien keskiarvot ja (-hajonnat). FMCE-testin maksimipistemäärä on 47 ja TUG-K-testin 21.

Ryhmä	<i>N</i>	FMCE-testi	TUG-K-testi
F	19	25,8 (12,0)	14,9 (3,78)
P	18	39,5 (7,17)	17,1 (2,78)

TAULUKKO 5.22 FMCE-testin kysymysten ryhmittely. Kysymysten lukumäärä on 40

Luokka	Kysymykset
Reki ja voiman suunta	1–4, 7
Auto rampilla, kolikon heitto, molemmissa liikkeen suunta muuttuu	8–13, 27–29
<i>tF</i> -kuvaajat	14, 16–21
<i>ta</i> -kuvaajat	22–26
Newtonin III laki	30–32, 34, 36, 38
<i>tv</i> -kuvaajat	40–43
Energia	44–47

TAULUKKO 5.23 FMCE-testin vastausten luokittelu seitsemään luokkaan

Luokka	Kysymysten lukumäärä	Vastausten ryhmittely		
		<u>Newtonilainen</u>	<u>Osittain newtonilainen</u>	<u>Ei-newtonilainen</u>
Reki ja voiman suunta	5	4–5 oikein	2–3 oikein	0–1 oikein
Auto rampilla, kolikon heitto, molemmissa liikkeen suunta muuttuu	9	8–9 oikein	4–7 oikein	0–3 oikein
<i>tF</i> -kuvaajat	7	6–7 oikein	4–5 oikein	0–3 oikein
<i>ta</i> -kuvaajat	5	4–5 oikein	2–3 oikein	0–1 oikein
N III laki	6	5–6 oikein	3–4 oikein	0–2 oikein
<i>tv</i> -kuvaajat	4	4 oikein	2–3 oikein	0–1 oikein
Energia	4	4 oikein	2–3 oikein	0–1 oikein
Yhteensä	40			

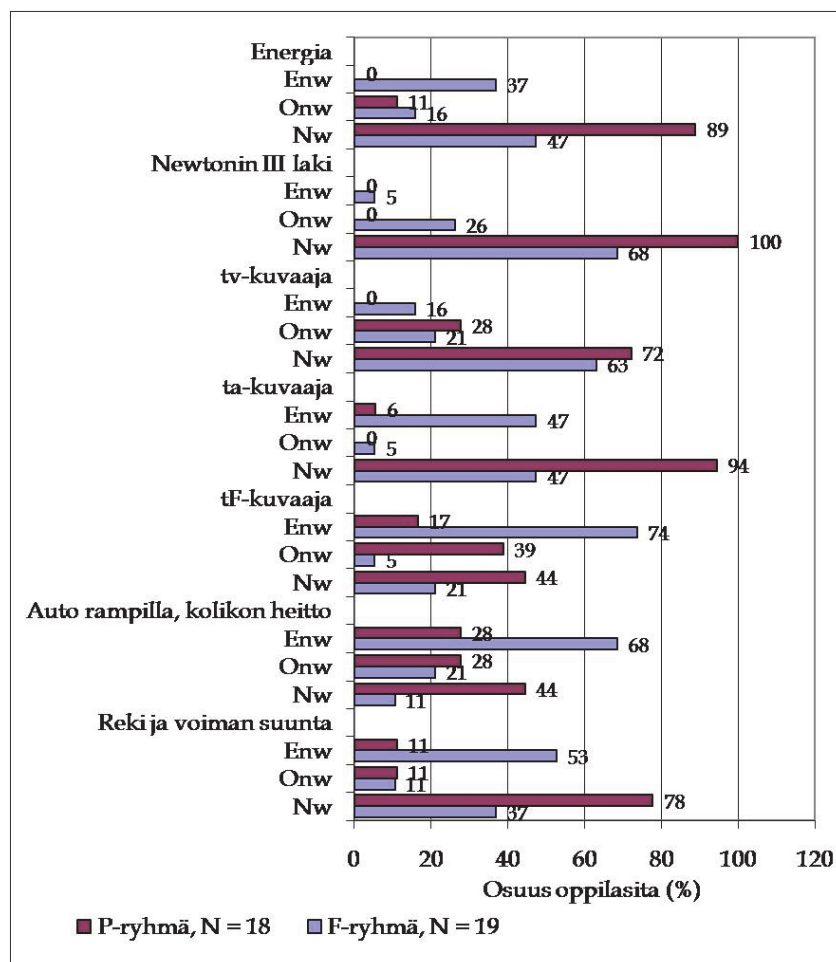
Taulukosta 5.21 voidaan nähdä, että FMCE-testin perusteella P-ryhmä eroaa tilastollisesti F-ryhmästä ($t = -4,232$, $df = 35$, $p = 0,002$; $U = 63,0$, $p < 0,002$; $d =$

1,38). Sitä vastoin TUG-K-testi viittaisi vain mahdollisen eron olemassaoloon ($t = -1,971$, $df = 35$, $p = 0,056$; $U = 115,5$, $0,05 < p < 0,10$; $d = 0,660$).

FMCE-testin tulosta voidaan myös tarkastella hieman tarkemmin jakamalla kysymykset eri luokkiin. Tällaista jakoa ovat perustelleet mm. Smith ja Wittmann (2008). Tehtäviä on 40, ja jako ilmenee taulukosta 5.22. Poisjätetyt tehtävät ovat 5, 6, 15, 33, 35, 37 ja 39.

Jos vastauksia ei ryhmitellä eli kysymyksiä on 40, niin P-ryhmän keskiarvo oli 33,11 (6,79) ja F-ryhmän 20,11 (11,24), joten P-ryhmä oli parempi ($t = 4,285$, $df = 30$, $p = 0,0002$; $U = 62,5$, $p < 0,002$; $d = 1,39$).

Tämä ryhmittely voidaan tehdä myös siten, että luokitellaan vastaajat newtonilaisiin, osittain newtonilaisiin ja ei-newtonilaisiin kuten taulukossa 5.23. Tämä perustuu osin Savinaisen väitöskirjan antamaan malliin (2004, 62–65).



KUVIO 5.1 FMCE-testin vastausten jakautuminen newtonilaisiin (Nw), osittain newtonilaisiin (Onw) ja ei-newtonilaisiin (Enw)

Kuviosta 5.1 voidaan nähdä, että P-ryhmässä puhtaasti newtonilaisesti ajattelevien osuus oli kaikissa konteksteissa suurempi kuin F-ryhmässä. Taulukossa 5.24 on ryhmien luokitellut vastaukset. Tarkastelu osoittaa, että ryhmien välillä on tilastollisesti merkitsevä ero P-ryhmän eduksi ($\chi^2 = 40,6$, $df = 2$ ja $p < 0,000$).

Kuviossa 5.1 näkyy P-ryhmän parempi osaaminen erityisesti luokissa Newtonin III laki, *ta*-kuvaajat sekä Reki ja voiman suunta.

TAULUKKO 5.24 FMCE-testin vastausten jakautuminen taulukon 5.23 luokkiin

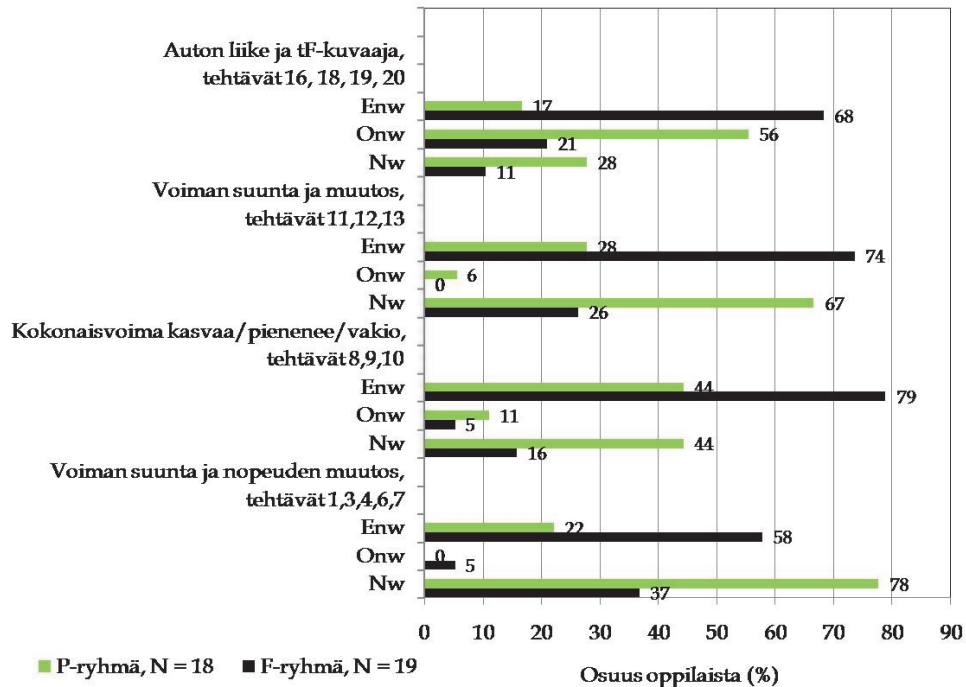
Ryhmä	<i>N</i>	Newtonilaiset (Nw)	Osittain newtonilaiset (Onw)	Ei-newtonilaiset (Enw)	Yhteensä
F	19	56	20	57	133
P	18	94	21	11	126
				yhteensä	259

Huom. F-ryhmässä on 7x19 ja P-ryhmässä 7x18 vastausta eli yhteensä 259 vastausta

Edellä on käsitelty käsitetesti tuloksia yleisellä tasolla. Seuraavassa siirrytään tarkastelemaan tuloksia N2. lain kontekstissa. Tämä sen vuoksi, että opiskelijan N2. lain kvalitatiivisen osaamisen voidaan olettaa edistävän kvantitatiivista osaamista. Opiskelijan olisi kyettävä ekspertin tavoin ratkaisemaan dynamiikan tehtäviä soveltamalla N2. ja N3. lakia.

5.3 Newtonin II laki ja FCI-, FMCE- ja TUG-K-testit

FCI-testissä N2. lakiin liittyvät tehtävät ovat 17, 22, 25, 26 ja 27. F-ryhmän vastauksia oli kaikkiaan 95 ja P-ryhmän 90. Kun perusteena ovat opiskelijoiden oikeat vastaukset, ryhmien välillä ei ollut eroa ($\chi^2 = 0,221$, $df = 4$, $p = 0,994$). Myöskään oikeat vastaukset/opiskelija -tarkastelu ei tuo muutosta ($t = -1,414$, $df = 35$, $p = 0,166$; $U = 124,5$, $p > 0,10$; $d = 0,486$).



KUVIO 5.2 FMCE-testin N2. lokia koskevien vastausten jakauma newtonilaisiin (Nw), osittain newtonilaisiin (Onw) ja ei-newtonilaisiin (Enw)

Kun tarkastellaan oikeiden vastausten lukumäärää/ryhmä, niin vastauksia oli vastaavasti 58 ja 67. Tämän perusteella olisi viitteitä ryhmien välisestä erosta ($\chi^2 = 3,78$, $df = 1$, $p = 0,052$).

Tarkempi analyysi saadaan, kun tarkastellaan FMCE-testin N2. lokia koskevaa aineistoa. 15 kysymystä jaettiin neljään kontekstin mukaiseen luokkaan. F-ryhmä antoi 285 ja P-ryhmä 270 vastausta. Näistä oikeita vastauksia oli vastaavasti 82 ja 184. Ryhmien välinen ero oikeiden vastausten suhteen on tilastollisesti merkitsevä P-ryhmän hyväksi ($\chi^2 = 86,57$, $df = 1$ ja $p < 0,000$). Jos verrataan opiskelijakohtaisia pistemääriä, niin tulos on samankaltainen ($t = -3,416$, $df = 35$, $p = 0,002$; $U = 72,5$, $p < 0,02$; $d = 1,12$). Kuvio 5.2 vahvistaa näkemystä.

Klustereiden tarkastelussa ei voida soveltaa χ^2 -testiä, koska ehdot eivät täyty. Fisherin tarkassa testissä taulukoiden (T) lukumäärä x , merkitään (xT) , koskee kaikkia niitä taulukoita, joilla on samanlaiset kiinteät reunajakaumat. Jokaiselle luokalle on laskettu ryhmän oikeiden vastausten keskiarvo ja -hajonta.

Tehtävissä 1, 3, 4, 6 ja 7 tarkastellaan voiman suunnan ja nopeuden muutoksen välistä suhdetta. Kaikilla ei-newtonilaisilla F-ryhmän opiskelijoilla oli käsitys, että voima on suoraan verrannollinen nopeuteen eli $F \sim v$. Kun kappale hidastuu tai kiihtyy, niin voima pienenee tai kasvaa. Samat ei-newtonilaiset

käsitykset olivat P-ryhmässä neljällä opiskelijalla. P-ryhmä oli parempi ($p = 0,029, 32T; d = 0,870$).

Tehtävissä 8, 9 ja 10 auto tönäistään liikkumaan ylös pitkin ramppia. Nyt F- ja P-ryhmät eivät poikkea tilastollisesti toisistaan ($p = 0,082, 48T; d = 0,988$). Tehtävässä 8 87 % F-ryhmän ei-newtonilaisista katsoi, että voima on liikkeen suuntainen ja suoraan verrannollinen nopeuteen. Tätä mieltä P-ryhmässä oli vastaavasti 50 % ja tehtävässä 10 63 %. Molemmissa ryhmissä kaikki olivat sitä mieltä, että liikkeen pysähtyessä kokonaisvoima on nolla.

Kolikkoa heitettiin ylöspäin tehtävissä 11, 12 ja 13. P-ryhmä oli parempi ($p = 0,012, 36T; d = 0,907$). Molemmissa ryhmissä ei-newtonilaisilla oli sama malli kuin auto-rampilla-tehtävässä. Kolikon liikkua ylöspäin F-ryhmässä 71 %:n ja P-ryhmässä 80 %:n mielestä voima on ylöspäin ja pienenee. Lähes kaikki ei-newtonilaiset molemmissa ryhmissä ovat sitä mieltä, että voima lakipisteessä on nolla. F-ryhmässä ei-newtonilaisista 64 % ja P-ryhmässä 80 % katsoi, että kolikon pudotessa voima on alaspäin ja kasvaa.

Tehtävissä 16, 18, 19 ja 20 auto liikkui vaakasuoralla alustalla. Autoon vaikuttava voima. Jokaista väittämää kohti piti valita yksi kuvaaja siten, että kuvattu liike voisi jatkua. Tässä tehtävälohkossa P-ryhmä oli selkeästi parempi ($p = 0,006, 111T; d = 1,191$). Lisäksi osittain newtonilaisesti ajattelevien määrä oli suurin muihin lohkoihin verrattuna. Tämä havainto koskee erityisesti P-ryhmää. F-ryhmän ei-newtonilaisien ajatusmalli ei muuttunut. 92 % heistä valitsi tehtävässä 16 vaihtoehdon c, 54 % tehtävässä 18 vaihtoehdon h, 77 % tehtävässä 19 vaihtoehdon d ja 92 % tehtävässä 20 vaihtoehdon f. Kaikissa näissä vaihtoehdoissa $F \sim v$. P-ryhmässä vastaavat luvut olivat 100 %, 100 %, 67 % ja 67 %. P-ryhmän osittain newtonilaisesti ajattelevien joukossa samat vaihtoehdot olivat vallitsevia.

F-ryhmässä oli poikkeuksellisen paljon oppilaita, joiden ennakkokäsitykset eivät muuttuneet. P-ryhmässä opetuksen tavoitteet voidaan katsoa osittain saavutetuiksi.

Aikaisemmin on käsitelty TUG-K-testin tuloksia kokonaisuutena. Kiihtyvyyttä liittyy oleellisenä osana N2 lakiin. Tarkastellaan viiden tehtävän oppilas-kohtaisia pistemääriä. Testissä oikea vastaus antaa yhden pisteen. Tulokset olivat seuraavat: F-ryhmä 3,21 (1,36) ja P-ryhmä 4,11 (1,23). P-ryhmä näyttäisi olevan parempi ($t = -2,110, df = 35, p = 0,042; U = 99, p < 0,05, d = 0,693$).

TUG-K-testissä ryhmiä voidaan vertailla myös siten, että oppilaat jaetaan vastausten perusteella newtonilaisiin, osittain newtonilaisiin tai ei-newtonilaisiin. P-ryhmässä newtonilaisittain vastanneiden oppilaiden osuus on merkittävästi suurempi kuin F-ryhmässä. Jos oppilaat luokitellaan kahteen ryhmään: newtonilaiset ja toiseen ryhmään osittain newtonilaiset sekä ei-newtonilaiset (2x2). Ryhmät eivät poikkea toisistaan ($\chi^2 = 3,976, df = 1$ ja $p = 0,046$, Fisherin tarkka testi $p = 0,079, 13T$).

5.4 MBT-testi

MBT-testi edellyttää fysikaalisen laskutehtävän ratkaisemista ja sisältää myös ympyräliikkeen tehtäviä. Testaus on yleensä suoritettu juuri ennen ylioppilas-kirjoituksia kertauskurssin jälkeen mutta P-ryhmä teki testin poikkeuksellisesti heti toisen mekaniikan kurssin jälkeen. P-ryhmän koko oli 18 opiskelijaa. A-ryhmän keskiarvo oli 16,67 (4,14) ja P-ryhmän 15,67 (3,43), kun testin tehtävien lukumäärä on 26. Ryhmien välillä ei ole eroa ($t = 0,916$, $df = 69$, $p = 0,360$; $d = 0,249$). On huomattava, että A-ryhmässä 18 opiskelijaa 53:sta eivät käyttäneet Fotoni-sarjaa. Kuitenkaan tilanne ei muutu, jos tarkastellaan vain Fotoni-sarjaa käyttäneitä ($t = 1,323$, $df = 51$, $p = 0,192$; $d = 0,377$).

Tutkimuksen varsinaisena kohteena oli N2. lain osaaminen. Sitä varten MBT-testin tehtävät luokiteltiin kuuteen luokkaan taulukon 5.25 mukaan. Luokkien 1–3 tehtävät ovat kvalitatiivisia eivätkä edellytä matemaattisia taitoja kuten luokkien 4 ja 6 tehtävät. Tehtäviä oli kaikkiaan 12.

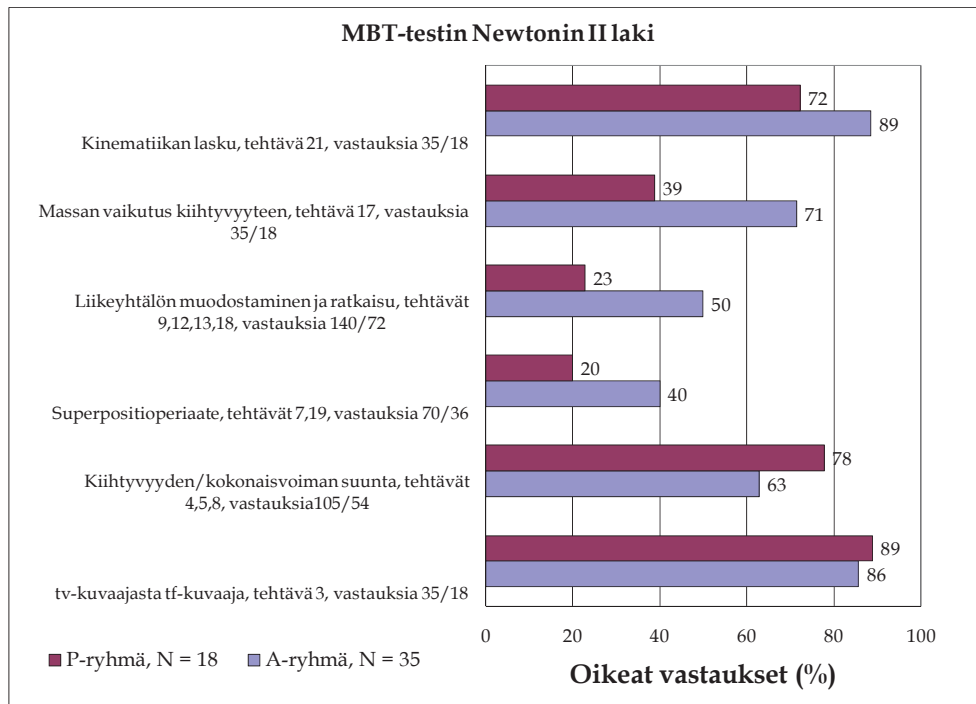
TAULUKKO 5.25 Newtonin II lakiin liittyvät MBT-testin tehtävät

Luokka	Tehtävä	Kuvaus
1	3	tv -kuvaajasta tF -kuvaaja
2	4, 5, 8	Kiihtyvyyden/kokonaisvoiman suunta
3	7, 19	Superpositioperiaate
4	9, 12, 13, 18	Liiketyhtälön muodostaminen ja ratkaiseminen
5	17	Massan vaikutus kiihtyvyyteen
6	21	Kinematiikan päättelytehtävä

Käytännössä FCI- ja MBT-testit täydentävät toisiaan. Tehtävien vaihtoehdot eivät ole oppilaiden erilaisia ennakkokäsityksiä, mutta väärän vaihtoehdon valinta kertoo pikemminkin puutteellisesta käsitteen ymmärtämisestä kuin huolimattomuudesta. Tehtäviä ei voi myöskään ratkaista sijoittamalla lähtöarvot oikeaan kaavaan ja laskemalla lopputulos. (Hestenes & Wells 1992, 159.)

Oikeasta vaihtoehdosta saa yhden pisteen. Ryhmien osaaminen ei poikkea toisistaan: A-ryhmä käytti Fotoni-sarjaa, ja keskiarvo oli 7,14 (2,26) ja P-ryhmän 6,89 (2,27). Opiskelijakohtaisessa vertailussa ryhmät eivät eroa toisistaan ($t = 0,386$, $df = 51$, $p = 0,701$; $d = 0,110$; $U = 126,5$, $p > 0,10$). Kun tehtäviä tarkastellaan taulukon 5.25 kontekstissa, niin N2. lakiin liittyvien tehtävien oikeiden vastausten jakautuminen eri tehtäväluokkiin ei erottele ryhmiä ($\chi^2 = 0,2637$, $df = 1$ ja $p = 0,608$).

Taulukon 5.25 mukainen luokittelu on kuviossa 5.3. Tehtävässä 7 voiman jakaminen komponentteihin tuntui olevan vaikeaa. Vaakasuoran suhteen vinosti vetävä suurempi voima oletettiin yhtä suureksi kuin kitkavoima, vaikka liike oli ohjeen mukaan tasaista.



KUVIO 5.3 MBT-testin Newtonin II lain oikeiden vastausten jakauma

Kun kappale oli pyörivällä alustalla tehtävässä 19, niin 95 % väärin vastanneista oletti kappaleeseen kohdistuvan voiman olevan nopeuden suuntaisen ja kiihtyvyyden nollaksi. Samaa mieltä P-ryhmässä väärin vastanneista oli 90 %. Tehtävässä 9 sylinteri oli vaakasuoralla pyörivällä alustalla. Liikkeelle lähtemisen rajanopeutta määrittäessä ($v \leq \sqrt{\mu gr}$) lasku oli ilmeisesti oikein, mutta suurempi-pienempi-päätelmä oli virheellinen, ja vääristä vaihtoehdoista suosituin oli se, jossa kitkakerrointa ei otettu huomioon: A-ryhmässä 21 % ja P-ryhmässä 36 %.

Tehtävä 18 oli normaali hissilasku. Suurimmat vaikeudet olivat suureiden etumerkkien valinnassa. Tuloksia voidaan selittää siten, että liikkeyhtälö oli kirjoitettu muotoon $N = ma$, jossa kappaleen painoa ei otettu huomioon. Toinen ilmeinen virhe oli liikkeyhtälö, joka oli muodossa $N - mg = mg$ tai $N - mg = 0$. Jälkimmäinen muoto on tutkijan kokemuksen perusteella hyvin yleinen. Tehtävässä 17 auto hinasi toista autoa. Hinattavan massa oli kaksinkertainen. Massan vaikutus kiihtyvyyteen näytti olevan P-ryhmälle vielä epäselvä: vetävän auton massaa ei ollut otettu huomioon. P-ryhmä oli tässä tehtävässä oleellisesti heikompi kuin A-ryhmä ($\chi^2 = 6,983$, $df = 1$ ja $p = 0,008$). A-ryhmään kuuluvilla F-ryhmäläisillä kypsyminen ja kertaaminen ovat lisänneet probleeman ratkaisun varmuutta, joka puuttui P-ryhmältä. Massan vaikutus kiihtyvyyteen oli epäselvä myös tehtävässä 21.

Edellinen tarkastelu osoitti, että ryhmien väliset MBT-testien tulokset eivät poikenneet tilastollisesti merkittävästi lukuun ottamatta tehtävää 17. Mutta

Metsämuurosen mukaan (2006, 434) vaikka ero ei ole tilastollisesti merkitsevä, niin tulos voi olla merkittävä. A-ryhmän opiskelijat olivat abiturientteja, jotka olivat kerranneet fysiikan mekaniikan kurssit ennen MBT-testiä. Sitä vastoin P-ryhmän opiskelijat tekivät testin heti mekaniikan kurssien jälkeen noin vuotta ennen tulevaa kertausta. Kertauksella on merkitystä, koska silloin voidaan palauttaa mieliin aikaisemmin vaikeiksi koettuja kurssien kohtia. Lisäksi muiden kurssien opiskelu parantaa fysiikan opiskelussa tarvittavia rutiineita. Kolmantena on kypsymsivaikutus. Monen opiskelijan motivaatio paranee kolmantena opiskeluvuonna kirjoitusten läheisyyden vuoksi. P-ryhmä pystyi siihen, johon A-ryhmä pystyi vuotta myöhemmin. Suoritus on merkittävä.

5.5 Tasaisen ympyräliikkeen tehtävien osaaminen

Käyräviivaisen liikkeen opetukseen käytettiin viisi oppituntia. Oppikirjan esimerkit käsittelevät mm. kaarteiden juoksemista liukkaalla kelillä (Fotoni 4), auton liikettä kaltevassa kaarteessa (Fotoni 4, Physica 4) ja lentokoneen pystytasossa tekemää silmukkaa (Fotoni 4). Taulukossa 5.26 on pallo narussa -tehtävän (luku 4.4.1) arvosteluperusteet.

TAULUKKO 5.26 Pallo narussa -tehtävän arvosteluperusteet

Kuvion vektorit			Liikkeyhtälö		
Langan jännitys T	Paino G	$T = G$	$\sum F_y$	$\sum F_y$	
			$T - G = a_n$	$T - G = mv^2/r$	$T - G = 0$
1 p	1 p	x	1 p	1 p	x

Huom.: Pisteet ovat 0 tai 1. Merkintä x tarkoittaa, että $T = G$ tai $T - G = 0$ on merkitty mutta pistevähennyksiä ei tehdä.

Pallo narussa -tehtäviä oli jo käsitelty oppitunnilla. Siinä yhteydessä korostettiin langan jännityksen T suhdetta kappaleen painoon G . F-ryhmän keskiarvo oli 2,62 (0,98) ja P-ryhmän 2,82 (1,47). Ryhmien tulokset eivät poikenneet toisistaan ($t = -0,506$, $df = 33$, $p = 0,615$; $d = 0,161$; $U = 127,5$, $p > 0,10$). Taulukkoon 5.27 on koottu kuvion piirtämiseen liittyvät tulokset.

Oikeiden vastausten ($T > G$) osuus P-ryhmässä on yli viisinkertainen verrattuna F-ryhmään. On huomattava, että kokeessa oli kiire, ja piirtämisen tarkkuus ei ollut pääasia. Toisaalta oppitunnilla korostettiin kuvioden piirtämisessä vektoreiden keskinäisen suuruuden arvioimista. F-ryhmässä kolme ja P-ryhmässä kaksi oppilasta kirjoitti liikkeyhtälön muotoon $T - G = 0$, joka on yleinen virhe.

TAULUKKO 5.27 Langan jännityksen ja painovoiman suhde kuvion piirtäneiden vastauksissa pystytasossa pyöritettävän kappaleen radan alimassa pisteessä. Eri vastausten osuudet (%). T on langan jännitys ja G on kappaleen paino. Oikea vastaus on korostettu.

Ryhmä	N	$T = G$	$T > G$	$T < G$
F	18	66,7	5,6	27,7
P	17	61,5	30,8	7,7

Auto kaarteessa -tehtävä (luku 4.4.1) on vaativa. Molempien ryhmien oppikirjoissa on vastaavankaltaisia tehtäviä. P-ryhmällä oli samanlainen malliesimerkki ja F-ryhmällä hieman muunneltu. Joka tapauksessa riitti, kun merkitsi autoon vaikuttavat voimat. Sen jälkeen piti kuvion perusteella kirjoittaa liikeyhtälön yleinen muoto sekä komponenttimuoto. Arvostelu on taulukossa 5.28.

TAULUKKO 5.28 Auto vaakasuorassa kaarteessa -liikkeen arvostelu. Summa on 6,5 pistettä. Oikea vastaus korostettu.

Kuvion vektorit					Liikeyhtälö			
Normaali-voima N	Paino G	Kitka F_{μ}	Kitkan suunta väärin	Yleinen muoto $F = ma$	$\sum F_y; N - G = 0$	$F_{\mu} = a_n$	Ylimääräinen voima	
1p	1p	1p	x	1p	1p	1p	0,5	x

Huom. Pisteet ovat 0 tai 1. Merkintä x tarkoittaa, että kitkavoima on merkitty mutta pistevähennyksiä ei tehdä. Suureyhtälö $F_{\mu} = a_n$ antaa 0,5 pistettä.

Laskuja ei vaadittu. F-ryhmän keskiarvo oli 3,22 (2,28) ja P-ryhmän 5,21 (1,41), joten P-ryhmä oli parempi ($t = -3,121$, $df = 29$, $p = 0,004$; $d = 1,04$; $U = 72,5$, $p < 0,02$).

Taulukossa 5.28 voidaan erikseen tarkastella kuvion vektoreita (voimakuvio, 3p) ja liikeyhtälön muodostamista (3,5 p). F-ryhmän keskiarvo oli voimakuviossa 2,11 (1,28) ja P-ryhmän 2,76 (0,66). Ryhmien välillä ei ollut eroa ($t = -1,913$, $df = 26$, $p = 0,067$, $d = 0,633$; $U = 109,5$, $p > 0,10$). Sen sijaan liikeyhtälön kirjoittaminen erotteli ryhmät. F-ryhmän keskiarvo oli 1,11 (1,30) ja P-ryhmän 2,44 (1,03). P-ryhmä oli onnistunut siirtämään etenemisliikkeen tiedon tasaiseen ympyräliikkeeseen ($t = -3,364$, $df = 32$, $p = 0,003$; $d = 1,13$; $U = 67,5$, $p < 0,02$).

Tulokset osoittavat, että P-ryhmä oli omaksunut dynamiikan pääasiat paremmin kuin F-ryhmä. F-ryhmässä 44 %:lla kitkan suunta oli väärin, 28 %:lla oli ylimääräinen voima, ja liikeyhtälön kirjoittamisesta sai nolla pistettä 50 % opiskelijoista. Vastaavat luvut P-ryhmässä olivat 18 %, 18 % ja 6 %. Ero on selkeä. Kvalitatiivinen tieto on ilmeisesti helpompi omaksua, mutta mielikuvan muokkaaminen matemaattiseksi malliksi näyttää olevan osalle opiskelijoista vaikeaa.

5.6 Opiskelijoiden fysiikkaan kohdistamat odotukset

MPEX-testi tehtiin P-ryhmälle Liikkeen lait -kurssin alussa ja Pyöriminen ja gravitaatio -kurssin lopussa. Testituloksia tarkastellaan kuudessa klusterissa, jotka ovat taulukossa 4.10 ja 5.29.

TAULUKKO 5.29 P-ryhmän MPEX-testin tulokset. Ekspertti- ja noviisivastaajien osuudet (%) ryhmän jäsenistä klustereissa 1-3. $N = 18$

Klusteri	Kysymys	Esitesti		Jälk testi	
		Ekspertti	Noviisi	Ekspertti	Noviisi
Itsenäisyys	1	44,4	55,6	16,7	72,2
	8	50,0	5,6	55,6	5,6
	13	83,3	5,6	66,7	22,2
	14	5,6	61,1	22,2	55,6
	17	72,2	5,6	94,4	0,0
	27	33,3	38,9	33,3	44,4
	Keskiarvo	48,1	28,7	48,1	33,3
Johdonmukaisuus	12	16,7	55,6	44,4	27,8
	15	61,1	16,7	88,9	5,6
	16	77,8	0,0	77,8	5,6
	21	33,3	50,0	33,3	55,6
	29	33,3	66,7	11,1	77,8
	Keskiarvo	44,4	37,8	51,1	34,4
Käsitteet	4	77,8	11,1	94,4	5,6
	19	72,2	11,1	77,8	16,7
	26	61,1	5,6	50,0	16,7
	27	33,3	38,9	33,3	44,4
	32	100,0	0,0	94,4	0,0
	Keskiarvo	68,9	13,3	70,0	30,0

Taulukoissa 5.29 ja 5.30 Likert-asteikon luokat 1-2 ja 4-5 ovat yhdistetty, joten prosenttilukujen yhteenlasku ei anna 100:a % (Redish, Saul & Steinberg 1998, 216).

TAULUKKO 5.30 P-ryhmän MPEX-testin tulokset. Ekspertti- ja noviisivastaajien osuudet (%) ryhmän jäsenistä klustereissa 4–6. $N = 18$

Klusteri	Kysymys	Esitesti		Jälkitesti	
		Ekspertti	Noviisi	Ekspertti	Noviisi
Kytkeä reaalimaailmaan	10	83,3	0,0	77,8	11,1
	18	77,8	16,7	83,3	11,1
	22	50,0	11,1	55,6	11,1
	25	88,9	0,0	88,9	5,6
	Keskiarvo	75,0	6,9	76,4	9,7
Matematiikan merkitys fysiikassa	2	33,3	27,8	50,0	16,7
	6	38,9	38,9	44,4	50,0
	8	50,0	5,6	55,6	5,6
	16	77,8	0,0	77,8	5,6
	20	88,9	5,6	83,3	16,7
	Keskiarvo	57,8	15,6	62,2	18,9
Ponnistelu	3	100,0	0,0	61,1	27,8
	6	38,9	38,9	44,4	50,0
	7	72,2	11,1	55,6	27,8
	24	50,0	22,2	77,8	22,2
	31	88,9	5,6	83,3	5,6
	Keskiarvo	70,0	15,6	64,4	26,7

MPEX-testin tarkoituksena on tutkia opiskelijoiden ymmärrystä tieteestä: mistä tieteessä on kysymys ja miten sitä tehdään? Opiskelijalla on odotuksia opettajan suhteen ja päinvastoin. Odotukset tulisi ottaa huomioon, koska ne hyvin pitkälle vaikuttavat siihen, mitä kuunnellaan ja miten prosessoidaan saatu tieto omaan tietorakenteeseen.

Eksperttivastaus on määritelty taulukossa 4.13., ja vastaus on sellainen, jota taulukon 4.12 ryhmät pitivät motivoituneen ja fysiikan opiskeluun sitoutuneen opiskelijan vastauksena.

Opiskelijat voidaan ryhmittää kolmeen ryhmään: ekspertit, noviisit ja en osaa sanoa. Tällöin voidaan tarkastella muutoksia, kuten taulukossa 5.31 on tehty. Taulukoiden tarkempi analyysi on tutkimuskysymysten vastausten yhteydessä. Tulosten tulkinnassa pitää olla varovainen eikä tulkintaa voi soveltaa yksittäiseen opiskelijaan. Hän voi vastata tavalla, jonka arvelee olevan sopivan kyseiseen tilanteeseen, mutta ajattelu voi olla ennakkokäsitykseen sidottu.

TAULUKKO 5.31 MPEX-esi- ja jälkitestin perusteella P-ryhmän vastaajien lukumäärässä tapahtuneet muutokset. $N = 18$.

Kysymys	Klusteri	Ekspertti	En osaa sanoa	Noviisi
12	Johdonmukaisuus	+5	-	-5
15	Johdonmukaisuus	+5	-3	-2
24	Ponnistelu	+5	-5	-
17	Itsenäisyys	+4	-3	-1
2	Matematiikan merkitys fysiikassa	+3	-1	-2
4	Käsitteet	+3	-2	-1
14	Itsenäisyys	+3	-2	-1
26	Käsitteet	-2	-	+2
7	Ponnistelu	-3	-	+3
13	Itsenäisyys	-3	-	+3
29	Johdonmukaisuus	-4	+2	+2
1	Itsenäisyys	-5	+2	+3
3	Ponnistelu	-7	+2	+5

Opiskelijoiden palaute Liikkeen lait -kurssista

Koska MPEX-testiä voidaan käyttää vain koko opiskelijaryhmää koskevaan testaukseen, niin haluttiin tarkempaa tietoa ponnistelun merkityksestä, jota P-ryhmän kurssin opiskeluohjeet korostivat. Opiskelijan minäkäsitys vaikuttaa siihen, miten opiskelija kokee ponnistelun merkityksestä (luku 2.8.2).

P-ryhmän oppilaat käyttivät oppikirjasarjaan liittyvää itsearviointilomaketta (liite 6). Tämän lomakkeen palautti 17 oppilasta ja yksi jäi palauttamatta. Lomakkeen taakse voi kirjoittaa omat havaintonsa. Tätä mahdollisuutta käytti yhdeksän oppilasta, ja heidän palautteensa ovat seuraavassa:

P2: Sisällöltään kiinnostava ja arkipäivää lähellä oleva kurssi. On ihan hyvä käydä uusi asia ennalta läpi, mutta sen voisi silti opettaa vähän tarkemmin kuin nyt, sillä välillä tuntui, että pallo oli vähän hukassa. Ryhmäpohdiskelut toimivat mukavasti ja edistivät tietyllä tavalla oppimista.

P5: Fysiikan 4. kurssi oli todella mielenkiintoinen.

P8: Kurssin ensimmäiset asiat olivat helpohkoja, se oli melkeinpä vanhan kertaamista. Luvun 5 asioita en vieläkään oikein osaa, myös noste on tosi vaikea. Energiaan liittyvä asia oli lähes vanhan kertaamista, tosin jouseen liittyviä asioita en osaa. Kurssin asiat olivat mielenkiintoisia, eivätkä yleensä kovin vaikeitakaan. Kurssi oli raskas, koska asiaa ja läksyjä oli paljon.

P9: Mekaniikan kurssi osoittautui tosi mielenkiintoiseksi, erityisesti kun huomasi että opiskeltuja asioita pystyi helposti soveltamaan arkipäivän tilanteisiin: autolla ajo jne. Läksyjä oli paljon, mutta jos niitä ei olisi ollut, niin en olisi oppinut tietenkään asioita niin hyvin. Ehkä jäin hieman kaipaamaan meille pidettyjen testien oikeita ratkaisuja. Kiitos mielenkiintoisesta kurssista. (hymiö)

P13: Todella laadukas ja hyvin organisoitu kurssi, aikataulu piti eikä se ollut liian tiukka (+). Opetus oli laadukasta (+). Lisämateriaali monisteina helpotti kokeisiin lukua (+). Kaiken kaikkiaan todella onnistunut ja laadukas kurssi.

P14: Oikein hyvin järjestetty kurssi. Kerrankin tuntui siltä, että ei laahannut itse vain perässä. Kiitos.

P15: Kurssi oli mukava ja siinä oli paljon sisältöä. Sanoisin, että erittäin opettavainen kurssi.

P16. Asia tuntui hieman selkeämmältä, kuin viime kursseilla. Hyvää monipuolista opetusta.

P12. Kommentti kurssista Liikkeen lait

Muutamit kurssin asioista oli vähän jo ennestään tuttuja, joten kappaleisiin oli helppo käydä käsiksi. Oppilaiden jako ryhmiin on tosi hyvä juttu, koska silloin rohkeaa paremmin esittämään omia mielipiteitä ja muutenkin on helpompi osallistua keskusteluun. Tunneille on aina mukava tulla, kun tietää että siellä on rento ilmapiiri ja tunneilla tehdään muutakin kuin kuunnellaan pelkän teorian opetusta. Käytäntö, että seuraavan tunnin kappale opiskellaan kotona valmiiksi, toimi ainakin minun kohdalla. Näin ei ole pakko ymmärtää ihan heti kaikkia asioita, koska tietää että sama asia käydään tunnilla tarkemmin läpi. Niin ja ne "mitä tulee sanasta mieleen" testit oli hyviä ja mielestäni niitä voisi olla vaikka joka tunnin alussa, kun eihän niihin kauan mene aikaa. Tehtävien ratkaisujen saannit oli myös positiivista. Ei jäänyt ainaakaan mikään tehtävän ratkaisu epäselväksi ja joidenkin mielenkiintoisen näköisten tehtävien ratkaiseminen oli helppo katsoa monisteista. Kotitehtävien vaikeustasoa kyllä voisi madaltaa, sillä jotkut tehtävät oli tosi vaikeita. Tai sitten olisi hyvä, jos koti-tehtävistä olisi edes yksi sellainen ihan perustehtävä ja sitten loput haastavampia. Kokonaisuudessa kurssi oli kovaa työtä ja paljon aikaa vievä. 4 kappale tosi vaikea!

5.7 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Miksi A-ryhmä on parempi kuin B-ryhmä? Ennen kuin voimme esittää kysymyksen "Miksi" on vastattava kysymyksiin "Miten ...?", "millaisia eroja tai muutoksi...?" Kyseessä on "miten-miksi"-prosessi. (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994, 145.) Tässä luvussa vastataan tutkimuskysymyksiin, ja teoreettisen viitekehyksen perusteella haetaan vastausta "Miksi"-kysymykseen.

Ensimmäisenä käsitellään oppikirjaa koskevat tutkimuskysymykset, koska oppikirjan merkitys tietolähteenä erityisesti fysiikassa korostuu oppituntien ulkopuolella tapahtuvassa opiskelussa. Hyvä oppikirja motivoi oppilasta.

Seuraavassa merkintä Tx viittaa taulukkoon x ja Kx kuvioon x sekä ilmaisu "sarja" tarkoittaa oppikirjoja Fotoni 1 ja 4 sekä Physica 1 ja 4. Liitteissä 7a-c ovat testien tarkemmat tulokset.

Tutkimuskysymys 1: Millaisia dynamiikan esitystapaeroja on oppikirjojen välillä?

a) Tekstin luettavuus

Fotoni- ja Physica-sarja poikkesivat toisistaan sanatiheyden ja kuvatiheyden suhteen, mutta tekstin luettavuuden suhteen eroa ei ollut. Informaatio jakautui eri tavalla eri esitysmuotojen kesken.

Taulukon 5.1 mukaan Fotoni 1:n sanatiheys (sanat/sivu) on 11,7 % suurempi kuin Physica 1:n, ja ero kasvaa 75,3 %:ksi Fotoni 4- ja Physica 4-oppikirjoissa. Fotoni-sarjan sanatiheys on 42,5 % suurempi kuin Physica-sarjan. Kuvatiheys (kuvat/sivu) on Physica-sarjassa 82,1 % suurempi kuin Fotoni-sarjassa. Eroa selittävät taulukot 5.2 ja 5.3. Informaation jakautuu sarjoissa eri tavalla päätekstin, infolaatikon ja kuvatekstin kesken. Lukuun ottamatta Fotoni 1:n ja Physica 1:n infolaatikoita sarjojen ero on selkeä ($p < 0,0000$). Fotoni-sarjassa jakautuma on 92,0 %, 6,6 % ja 1,4 %, pääteksti on vallitseva. Physica-sarjassa informaation jakautuu suhteessa 70,4 %, 11,2 % ja 18,4 %.

Tarkastellaan taulukoita 5.4–5.7. Päätekstistä on otettu peräkkäin 100 sanan näytteet. Muuttujina ovat kirjainten ja lauseiden lukumäärät, sanapituus (kirjaimet/sana), lausepituus (sanat/lause) ja pitkien sanojen lukumäärä (neljä kirjainta tai enemmän). Oppikirjojen välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa. Edellisten muuttujien suhteen suomenkieliset fysiikan oppikirjat ovat samankaltaisia. Edellä kolmesta viime mainituista muuttujasta voidaan muodostaa luettavuusindeksi, joka mittaa sanoman ymmärrettävyyttä. Taulukon 5.7 perusteella oppikirjat eivät eroa indeksin suhteen. Wiion I- ja II-, ARI-, GFS- ja GI-indeksit antavat samansuuntaiset tulokset. Kun Wiio (1994, 138) pitää pitkien sanojen määrää vaikean tekstin tunnusmerkkinä, niin taulukoiden 5.4 ja 5.5 perusteella sarjat eivät ero toisistaan. Wiion oman luokittelun perusteella (Wiio 1973/1994, 256) teksti on normaalikieltä (indeksi 6,0–9,0), ja molempien indeksien perusteella sarjojen teksti on ymmärrettävää. Vaikka teksti on normaalikieltä, niin se voi sisältää erikoissanastoa, joka ei välttämättä ole tuttua. Fysiikan oppikirjat sisältävät termejä, jotka saattavat tehdä tekstistä vaikeaa. Indeksit eivät ota huomioon termien vaikutusta ymmärrettävyyteen.

b) Fysikaalisten termien osuus päätekstissä

Termien keskimääräinen jakauma vektori-käsitettä lukuun ottamatta on lähes samankaltainen, mutta termien osuudet päätekstissä poikkeavat toisistaan.

N2. lakiin liittyviä termejä päätekstissä ovat vuorovaikutus, voima, kiihtyvyys ja massa. Nämä liittyvät lausekkeeseen $\sum F = ma$. Lisäksi fysiikan ilmiöihin liittyviä termejä ovat liike, kappale, suunta ja vektori. Taulukon 5.8 mukaan Physica 1 painottaa vuorovaikutusta ($p = 0,0000$) ensimmäisellä ja Fotoni 4 toisella vuosikurssilla ($p = 0,0000$). Physica 1:ssä vuorovaikutus on kappaleiden välillä ($p = 0,022$), ja sitä kuvataan vektoreilla ($p = 0,0095$). Fotoni 4 korostaa suuntaa ($p = 0,0058$).

Edellä olleita termejä voidaan verrata myös suhteessa toisiinsa kuten taulukossa 5.9. Physica 1 korostaa vuorovaikutusta ($p = 0,0011$) ja vektoreita ($p = 0,040$), Fotoni 1 puolestaan liikettä ($p = 0,011$). Toisen vuosikurssin oppikirjassa Fotoni 4 painotetaan vuorovaikutusta ($p = 0,0001$) kuten oppikirjan sivulla 39, jossa termiä käytetään selittämään. Sitä ei käytetä kuten Physica-sarjassa vuorovaikutuskaavion yhteydessä. Toisen vuosikurssin oppikirjoissa näkyy myös painotusero: Physica 4:ssä on voima ($p = 0,043$) ja Fotoni 4:ssä suunta ($p = 0,043$). Voima liittyy N2. ja N3. lakiin samoin kuin vuorovaikutus ja vektorit.

Physica-sarjassa kuvatiheys on suurempi (T5.1). Tekstin ja kuvan pitää liittyä toisiinsa. Se, mitä kuvassa on, pitää ilmetä myös tekstissä. Fotoni-sarjassa teksti on enemmän kuvailevaa: "voima suuntautuu kappaleeseen A". Jos liikettä tai vuorovaikutusta ei kuvata vektorilla, niin on käytettävä tekstissä ilmaisua suunta tai suuntautua. Sen sijaan termin "vektori" käyttö luo mielikuvan josta-kin konkreettisesta, joka liittyy kuvaan.

Taulukko 5.10 tiivistää sarjojen eron. Fotoni-sarjassa päätekstissä tutkittujen termien osuus on suurempi (26,7 %) kuin Physica-sarjassa (21,4 %). Samoin selittäminen on päätekstissä, joten sen osuus (92,0 %) on suhteessa suurempi kuin Physica-sarjassa (70,4 %). Selittäminen näkyy termien käytössä: vuorovaikutus ($p = 0,014$), voima ($p = 0,023$) ja liike ($p = 0,016$). Vektori-termin käyttö erottaa Physica-sarjan Fotoni-sarjasta ($p = 0,007$). Koska Physica-sarjassa kuvituksen osuus on suurempi, niin voimakuvion vektoreiden ja tekstin välillä on oltava vuorovaikutus. Termien keskinäinen jakautuminen eri luokkiin vektoreita lukuun ottamatta ei poikkea kirjasarjoissa.

c) Tekstin ja kuvien suhde

Multimediaoppimisen koherenssi 3-, opastin- ja spatiaalisen jatkuvuuden periaatteet toteutuvat paremmin Physica-sarjan oppikirjoissa.

Koherenssiperiaatteeseen kuuluu kolme osaa (Mayer 2009, 89). Tässä tutkitaan vain koherenssiperiaatetta 3, koska ensimmäinen käsittelee mielenkiintoisia mutta irrelevantteja sanoja ja kuvia, joita ei ole upotettu dynamiikan aihealueessa näissä sarjoissa tekstin joukkoon. Koherenssiperiaate 2 koskee animaatioita, joita painetuissa oppikirjoissa ei ole.

Multimediaoppimisen teorian periaatteiden kansainvälisen näytön vahvuuden mittana Mayer (2009, 54) käyttää efektikokoa, jota mitataan Cohenin (1988) d :llä. Seuraavassa esityksessä merkintä (x/y ; 0,72) tarkoittaa, että on tehty y tutkimusta, joista x :ssä käsittelyn positiivinen vaikutus on havaittu efektikoon mediaanin ollessa 0,72. Efektikoon rajat ovat seuraavat: pieni, kun $0,2 < d < 0,5$; keskimääräinen $0,5 < d < 0,8$ ja suuri, kun d :n arvo on $\geq 0,8$:n. Ryhmien välisessä testauksessa käytettiin sekä retentio- että transfer-testejä. Edellisessä testattavan pitää kirjoittaa kaikki, mitä muistaa esitetystä asiasta, ja jälkimmäisessä on vastattava muutamaan kysymyksen, jotka testaavat asian ymmärtämistä.

Koherenssiperiaate 3. (Mayer 2009, 104; 6/6; 0,82). Seuraavassa päätekstiä tarkastellaan N2. ja N3. lain viitekehityksessä. Näkökulmia on kolme: N2. lain

demonstraation esittely ja mittaustulokset (modifioitu Adwoodin kone), vuoro-vaikutuskäsitteen selostus ja aiheeseen liittyvä malliesimerkki. Mittana on sanojen lukumäärä päätekstissä, koska Fotoni-sarjassa ei ole kuvatekstejä ja informaatiosta valtaosa on päätekstissä. Koherenssiperiaatteen mukaan opitaan paremmin, jos ylimääräiset kuvat ja tekstit poistetaan.

Taulukoiden 5.11 ja 5.12 perusteella oppikirjoilla on selkeä ero. Fotoni 1 käyttää enemmän tekstiä N2. lain esittelyyn ($p = 0,0000$) kuin Physica 1, joka puolestaan korostaa vuoro-vaikutusta ($p = 0,0000$). Edelleen toisella vuosikursilla Fotoni 4:ssä N2. lain esittely on pääosassa, jossa teksti on osin samaa kuin ensimmäisellä vuosikurssilla ($p = 0,047$). Jos tarkastellaan koko kirjasarjaa, niin tilanne ei muutu. Fotoni-sarjassa korostus on demonstraation ja mittaustulosten sanallisessa kuvailussa sekä esittelyssä ($p = 0,0000$) ja Physica-sarjassa vuoro-vaikutuskäsitteen selittämisessä ($p = 0,0000$).

Fotoni-sarjassa ongelmana on kuvatekstien puute, mikä sitoisi kuvat ja tekstin yhteen. Lisäksi kuvitus on niukkaa suhteessa Physica-sarjaan. Kun kuvitus on niukkaa, niin tekstin määrää on kasvatettava. Physica-sarja näyttäisi toteuttavan paremmin koherenssi 3 -periaatetta.

Opastinperiaate. (Mayer 2009, 267; 5/6; 0,52). Kirjasarjoja on vaikea verrata, koska Fotoni-sarjassa opastinperiaatteeseen ei ole kiinnitetty huomiota. Sen sijaan Physica-sarjassa opastinperiaatteet toteutuvat hyvin (T5.13): lyhyt luvun johdanto, kappaleiden otsikot, malliesimerkeissä vaiheiden numerointi, tärkeät asiat infolaatikoissa, graafiset järjestimet kuten käsitekartat ja luokittelevat yhteenvedot.

Spatiaalisen jatkuvuuden periaate. (Mayer 2009, 267; 5/5; 1,19) Lisätutkimukset (Mayer 2009, 145, 5/5; 1,08) tukevat edellistä. Physica-sarjassa käytetään täysin integroitua muotoa, jossa avainsanat ovat kuviossa ja selittävä kuvateksti kuvion alla tai vieressä. Selittävässä tekstissä voi olla päätekstin lause. Lisäksi kuviossa voi olla päätekstin sanoja. Erotetussa muodossa kuvion selitys on päätekstissä, selitys puuttuu tai kuvateksti puuttuu. Taulukon 5.14 perusteella oppikirjoilla on selkeä ero ($p = 0,0000$). Physica-sarjassa spatiaalisen jatkuvuuden periaate toteutuu.

d) Kuvien luokittelu

Kuvien luokittelu annetun ohjeen mukaan ei ole yksikäsitteistä kuten seuraavasta tullaan huomaamaan. Koska Fotoni-sarjassa kuvatekstit puuttuvat, niin sarjaa ei verrata Physica-sarjaan kuvien luokittelussa. Levinin (1981) luokittelun mukaan sarjan kuvat jaetaan kolmeen luokkaan. Taulukko 5.15 osoittaa, että taulukon 4.15 mukaan tehty luokittelu riippuu luokittelijasta. Fotoni 1:n Cohenin kappaleiden arvot olivat 0,167 ja 0,412 sekä Fotoni 4:n vastaavasti 0,251, 0,662 ja 0,841. Sama koskee taulukon 4.16 perusteella tehtyä Physica-sarjan kuvien luokittelua. Physica 1:n Cohenin kappaleiden arvo on 0,319 ja Physica 4:n 0,260 sekä 0,485.

Physica-sarjassa informaatio jakautuu päätekstin, infolaatikon ja kuvatekstin kesken. Kuvatekstejä sisältävät kuvat voidaan luokitella Pozzerin ja Rothin (2003) mukaan neljään luokkaan: somistava, esittävä, selittävä ja täydentävä.

Lisäksi on tässä tutkimuksessa viidentenä luokkana soveltava (T4.16). Luokittelu on tehty kuvion 4.15 ja taulukon 4.17 mukaan. Taulukon 4.17 määrittelyissä on käytetty kuvion 4.15 määrittelemiä visuaalisia elementtejä, jotka sopivat paremmin fysiikan kuvioiden luokitteluun.

Kuten taulukosta 5.18 havaitaan, Physica 1:ssä taulukoiden 4.16 ja 4.17 luokittelut eivät eroa toisistaan ($\chi^2 = 4,64$, $df = 3$, $p = 0,200$, Fisherin tarkka testi, $p = 0,209$). Sen sijaan Physica 4:ssä luokittelut eroavat ($\chi^2 = 11,37$, $df = 2$, $p = 0,0034$, Fisherin tarkka testi, $p = 0,0023$). Suurin muutos on Physica 1:ssä täydentävä-luokassa. Syy on yhteenveto-kuviossa oppikirjan sivulla 83. Kuvat on luokiteltu taulukon 4.17 mukaan taulukossa 5.17 selittäviksi. Sama koskee Physica 4:ssä esittävän ja selittävän luokan eroja. Taulukoiden 4.16 ja 4.17 luokittelukriteerit aiheuttavat eron. Taulukon 4.17 kriteerit sopivat paremmin fysiikkaan. Kyseessä on vain spatiaalisen jatkuvuuden periaatteen tarkennuksesta.

Physica-sarjan lähestymistapa on visuaalinen; Fotoni-sarja luottaa enemmän sanojen voimaan. Spatiaalisen jatkuvuuden periaatteen mukaan suunniteltu materiaali sopii noviisille, jolle oppimateriaali ei ole tuttua, diagrammeja ei voi täysin ymmärtää ilman sanoja ja materiaali on mutkikasta. Mayer (2009, 135.) Ekspertti pystyy pelkän tekstin perusteella muokkaamaan tarvittavan kuvion selityksen. Lisäksi spatiaaliseen jatkuvuuden teho heikkenee, jos grafiikka voidaan ymmärtää ilman sanoja. Silloin selitys voidaan hakea säilömuistista, kuten ekspertin voidaan olettaa tekevän. (Mayer 2009, 148.)

Havainnot kirjasarjoista

Molemmat kirjasarjat noudattavat *multimediaperiaatetta*, koska ne sisältävät kuvia ja tekstiä. Esitysformaatti voi olla kirja ja kuvitus tai vain kirja ilman kuvitusta. Mayerin (2009) tutkimukset ovat käsittäneet sekä paperi että tietokoneformaatin. Jos otetaan huomioon myös tietokoneella tapahtunut testaus, niin tulokset ovat lähes samanlaiset. (Mayer 2009, 234, 268.)

Merkittävin ero sarjojen välillä on Physica-sarjassa käytetty vuorovaikutuskaavio. Sen avulla voidaan tunnistaa kappaleeseen N3. lain mukaiset vuorovaikutukset, jotka voidaan muuttaa voimakuvioksi. Vuorovaikutuskaaviota voisi nimittää dynamiikan opetuksen innovaatioksi. Oikea voimakuvio on välttämätön N2. lain mukaisen liikeyhtälön muodostamisessa. Vuorovaikutuskaavion muokkaus voimakuvioksi on esitetty luvussa 2.5.8. Tähän liittyen on aikaisemmin luvussa 2.4.2 esitetty alkeisskeema ja propositionaalinen verkko.



KUVIO 5.4 Kuvapari Fotoni 1:stä (Eskola, Ketolainen & Stenman 2001, 86)

F-ryhmässä opetettiin systeemikaavio (Utriainen 2004), mutta systeemikaaviota ei ollut oppikirjassa vaan sen muodostamisen ohjeet jaettiin monisteena. Näyttää siltä, että oppikirjan lisänä monisteiden käyttö ei ole tehokasta. Oppikirjaa täydentävän tiedon etsiminen monisteesta ilmeisesti johtaa tarkkaavaisuuden jakaminen -ilmiöön.

Fotoni 1:ssä sivulla 86 on kuvapari (kuvio 5.4), joka liittyy dynamiikan peruslakiin. Kuvateksti puuttuu, kuva on monitulkintainen, kuvan liittäminen N2-lakiin vaatii opettajan opastusta, ja syy-seuraus-ketjun muodostaminen on vaikeaa. Tekstissä ei ole kelkanvetokuvaan liittyvää informaatiota, vaan lukijan on itsensä pääteltävä vetäjän ilmeestä massan lisäämisen vaikutus vedon helppouteen. Työmuisti kuormittuu, koska yhtä aikaa on pidettävä mielessä kuvallinen malli ja etsittävä tekstistä selitys eli sanallinen malli. Kuva hajottaa tarkkaavaisuutta epäoleelliseen. Kuvioiden ja tekstin vertailu kuluttaa työmuistin kapasiteettia lisäämällä ulkoista kuormaa ja näin vaikeuttaa oppimista. Mielenkiintoinen mutta irrelevantti kuva ei edistä oppimista (Mayer 2009, 94).

Koherenssiperiaatteen mukaan kuormittava prosessointi vähenee, kun poistetaan ylimääräinen materiaali (Mayer & Fiorella 2014, 282). Toisen vuosikurssin oppikirjoina olivat Fotoni 4 ja Physica 4. Physica 4:ssä dynamiikan laskutehtävän ratkaisuohe on 69 sanan mittainen ja esimerkki 53 sanaa. Saman otsikon alla Fotoni 4:ssä on käytetty kuusikohtaisessa esittelyssä 289 sanaa ilman kuvaa, kun vastaava ohje annetaan Physica 4:ssä 34 sanalla. Mitä pitempi on teksti, sitä vaikeampi siitä on muodostaa syy-seuraus-ketjuja. Fotoni-sarjan ongelma näyttäisi olevan koherenssiperiaatteen näkökulmasta liian pitkät tekstit. Ylimääräinen teksti muodostaa *ulkoisen kuorman*, mikä synnyttää *epäoleellista prosessointia* ja vaikuttaa tarkkaavaisuuden suuntaamiseen, asianmukaisten termien valintaan ja niiden organisointiin työmuistissa.

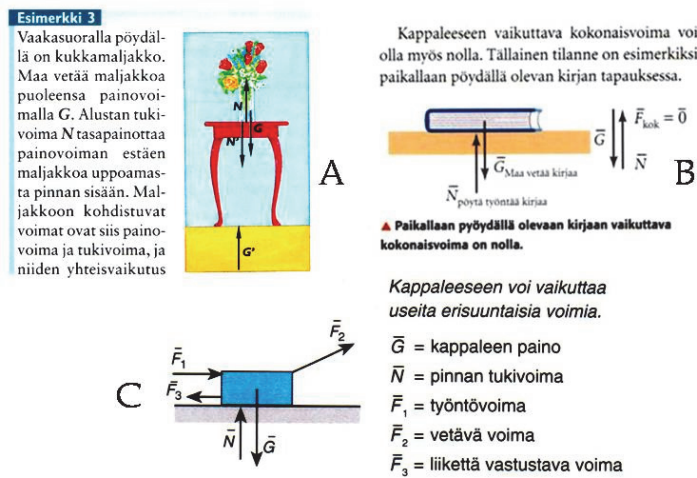
Fotoni 4:ssä sivuilla 36 ja 37 käsitellään vuorovaikutukset ja Newtonin lait. Dynamiikan peruslaki liikeyhtälönä on oppikirjan sivuilla 46 ja 47. Dynamiikan peruslain demonstraation selitys ja siihen liittyvä malliesimerkki muodostavat kokonaisuuden, jonka ymmärtäminen tekstiä lukemalla on vaikeaa. Punnuksen nostaminen voima-anturilla ja liikkeen seurauksena syntyneen kuvaajan tulkitseminen edellyttää liikkumista kirjassa olevan kuvan, tekstin ja laskuesimerkin välillä. Edellinen on esimerkki *jakautunut tarkkaavaisuus* -ilmiöstä, jossa tarkkaavaisuus on jaettava eri informaatiolähteiden kesken. Työmuisti kuormittuu,

koska CTML-mallin mukaan ymmärtäminen edellyttää, että kaikki asiaan kuuluvat elementit ovat yhtä aikaa työmuistissa. Ekspertille tämä ei ole ongelma, mutta noviisin työmuistin kuorma on suuri, koska aikaisemmat tiedot voivat olla vajavaiset. (Vrt. luku 2.4.5)

Kun opiskelu on edennyt kytkettyjen kappaleiden tarkasteluun, niin ollaan tilanteessa, jossa toiselle opiskelijalle demonstraation uudelleen esittely on turhaa, toiselle tarpeellista. Fotoni 4:ssä sivuilla 104 ja 105 aiheeseen liittyvä demonstraatio on ollut aikaisemmin sivulla 36 ja Fotoni 1:ssä sivulla 86. Opiskelija, joka on jo ymmärtänyt asian, joutuu uudelleen suorittamaan turhia hakuja säilömuistista. Kyseessä on *proseduurin vaikuttavuuden muutos*: asiantuntijuuden kasvaessa noviisille tehokkaan opetuksellisen proseduurin tehokkuus vähenee, ja aikaisemmin ei-tehokkaan proseduurin tehokkuus kasvaa. Noviisille selittävä osuus on tärkeä, kunhan huolehditaan siitä, että lauserakenne on lyhyt ja kappaleet eivät ole pitkiä. Noviisilla ylimääräinen teksti lisää kognitiivista kuormaa, ja sen seurauksena keskeinen sekä tuottava prosessointi kärsivät.

Selittävän tekstin pituus ei ole ongelma ekspertille, joka pystyy hahmottamaan opittavan asian jo tekstin perusteella. Kertova empiria mittausprosessin esittämisen muodossa suuntaa tarkkaavaisuutta ehkä vääriin asioihin. ITPC-mallin ja multimediaoppimisen teorian mukaan pitkistä tekstistä on poimittava oleelliset sanat, joista pitää muodostaa työmuistissa asiaan kuuluvat propositiot. Fotoni-sarjan esitystapa sopii informaation jakelu -hypoteesiin. Tämän hypoteesin kannattajat uskovat, että opettaminen on informaation siirtämistä ja lisäämistä säilömuistiin. Tähän viittaavat Fotoni 4:n kappaleet 2.1, 2.3 ja 4.1, jotka toistavat samaa asiaa.

Multimediaoppimisen teorian mukaan opasteiden lisääminen auttaa oppijaa valitsemaan oleellisen materiaalin, josta sitten muokataan mentaalimalli. Kysymys on tiedon konstruoinnista ja representaation muodostamisesta. Erityisesti opastimet auttavat oppilasta, jonka taidot eivät ole riittävän hyvät. (Mayer 2009, 109–111; 117.) Physica-sarjassa jokainen *pääluku* on vasemmanpuoleisella sivulla. Pääluvun sisältö kuvataan lyhyesti, mikä antaa siitä hyvän käsityksen. Lisäksi sivulla on aiheeseen liittyvä *valokuva*. Molemmat oppikirjat käyttävät *infolaatikoita*, mutta Fotoni-sarjassa tämä on huomattavasti vähäisempää kuin Physica-sarjassa. Physica-sarjassa infolaatikolla on otsikko, joka lyhyesti ilmaisee laatikon sisältämän informaation. Fotoni-sarjasta puuttuvat *graafiset järjestimet* ja luokittelevat *yhteenvedot*. Sitä vastoin Physica-sarjassa on luvun lopussa käsittekartta sekä luokittelevia yhteenvedoja. Jos ensin tutkitaan käsittekartat ja yhteenvedot, niin säilömuistiin syntyvät ensimmäiset mentaalimallit. Malliesimerkeissä tehtävän suorituksen eri vaiheet kannattaa *numeroida*, kuten on tehty Physica 4:ssä.



KUVIO 5.5 Spatiaalinen jatkuvuus: Erillisformaattit Fotoni 1 (A) ja Fysiikka luonnontieteenä (C), täysin integroitu formaatti Physica 1 (B)

Mayer (2009) kuitenkin varoittaa opastimien liikakäytöstä. Opastimet auttavat oppimisessa ilmeisesti sellaisia oppilaita, joiden taitotaso opittavassa aiheessa ei ole kovin korkea. Jos oppikirjan sivulla on liikaa opastimia, seurauksena voi olla tarkkaavaisuuden jakautuminen, ja opastimen hyöty menetetään. Opastimet auttavat suuntaamaan tarkkaavaisuutta oleellisiin asioihin ja siten helpottavat koherentin tietorakenteen muodostumista. (Mayer 2009, 113–117.)

Spaatialisen jatkuvuuden periaatteen toteutumista voidaan tarkastella kuviossa 5.5. Integroitu formaatti on sellainen, jossa kuva ja sitä kommentoiva teksti ovat vierekkäin. Kuvan alle tuleva selite muodostuu tekstistä poimituista pienistä ja tärkeistä lauseista. Kuvaa selittämään sijoitetaan tekstistä poimittuja oleellisia sanoja. (Mayer 2009, 138.)

Kuviossa 5.5 on kolme kuvaa A, B ja C, joissa on sekä integroitu formaatti että erillisformaatti. A:ssa kukkamaljakko on pöydällä, ja tarkoituksena on kuvata maljakkoon vaikuttavia voimia (Fotoni 1, 91). A:lla ja B:llä on sama konteksti: kappale levossa vaakasuoralla alustalla. C:ssä kappaletta vedetään.

Fotoni 1:n ja 4:n tapa esittää kappaleeseen kohdistuvat voimat voidaan tulkita informaation jakaminen -hypoteesin mukaan: voima selitetään tekstissä, ja vain niiden symbolit piirretään kappaleeseen. Osakuva C on Lehdon ja Luoman (1998) Fysiikka luonnontieteenä -oppikirjasta. Voimien symbolien selitys on kuvion vieressä selkeästi, joten sitä voi pitää integroidun formaatin esiastee-
 na.

Osakuva B edustaa täysin integroitua formaattia (Physica 1, 89). *Jakautunut tarkkaavaisuus*- ilmiö on vältetty siten, että kuviota selventävä teksti on kuviossa. Tällöin esimerkissä voima $G_{\text{Maa vetää kirjaa}}$ voimaa selittävä teksti on voiman alaindeksinä, ei luettavan tekstin joukossa. Työmuistin kuorma alenee, koska alkuvaiheessa turha visuaalinen etsintä vähenee: kirjainsymbolien merkitykset ilmenevät kuviosta.

Physica-sarjassa voiman alaindeksinä on propositio. Tästä on se etu, että ITPC-mallin mukaan kuva ja siihen liittyvä propositionaalinen esitys ovat molemmat yhtä aikaa työmuistissa. Oikean mentaalimallin muodostuminen on todennäköisempää (vrt. luku 2.5.6).

Spatiaalisen jatkuvuuden tekniikka vähentää kuvan ja tekstin välistä edestakaista liikettä ja tarjoaa vihjeitä, jotka auttavat yhdistämään tekstin ja grafiikan (Mayer & Fiorella 2014, 283). Kaiken edellä olevan tärkein tehtävä on epäoleellisen prosessoinnin vähentäminen, jotta tilaa jää keskeiselle ja tuottavalle prosessoinnille.

Lopuksi tarkastellaan *malliesimerkkejä*. Niissä ulkoinen kuorma alenee, koska eri vaiheet ovat selkeästi esillä. Erityisesti tämä koskee Physica-sarjaa. Physica 4:ssä sivulla 56 olevassa malliesimerkissä tärkeät käsitteet on helposti tunnistettavissa. 7-kohtainen vaiheistus numeroimalla auttaa luomaan proseduurin kokonaiskuvan (vrt. Minnesota-malli, Heller, Keith & Anderson 1992). *Elementtien vuorovaikutus* -ilmiöön liittyen malliesimerkit ovat hyödyllisiä novii-sille, mutta ekspertti ei hyödy niistä, koska tarvittavat proseduurit ovat jo säilömuistissa. Niiden hakeminen lisää työmuistin kuormaa. (Sweller 2010a, 131.)

Tutkimuskysymys 2: Miten N2. ja N3. lain kvalitatiiviseen osaaminen erosi koe- ja kontrolliryhmässä?

Päähavainto on, että joko P-ryhmä oli parempi tai ryhmien välillä ei ollut eroa.

- a) Millainen on opetuksen vaikuttavuus, kun sitä mitataan Haken FCI-testistä lasketulla sekä normeeratulla kasvutekijällä $\langle g \rangle$ että henkilökohtaisella kasvutekijällä g ?

F-ryhmän normeerattu kasvutekijä $\langle g \rangle$ oli 0,55, ja P-ryhmän vastaava arvo oli 0,70. Efektikoot olivat vastaavasti 2,34 ja 2,86. Kummankin ryhmän efektikoot ovat suuria (liite 7 ja T5.20). Haken (2002b) tutkimuksessa perinteisiä opetusmalleja käyttävien kurssien kasvutekijöiden keskiarvojen keskiarvo oli $\langle \langle g \rangle \rangle = 0,23$ (0,04) (kursseja 14 ja osallistujia 2084) ja vuorovaikutteisia opetusmalleja käyttävien $\langle \langle g \rangle \rangle = 0,48$ (0,14) (kursseja 48 ja osallistujia 4458), jolloin edellisten perusteella Cohenin d on 2,46. F-ryhmä sijoittuu Haken (1998) luokituksessa "Medium- g "- ja P-ryhmä "High- g "-luokkaan.

Savinaisen väitöstutkimuksessa (2004) käytettiin opetuksessa ICI (*Interactive Conceptual Instruction*) mallia. Esitutkimuksessa (Pre-IB) oli kaksi ryhmää. Pilotti-ryhmässä ei korostettu voimien olevan seurausta vuorovaikutuksista, jolloin normeerattu kasvutekijä oli $\langle g \rangle = 0,57$ ja efektikoko 2,6. Tutkimusryhmässä korostettiin voimien olevan seurausta vuorovaikutuksista, jolloin vastaavat arvot olivat $\langle g \rangle = 0,48$ ja efektikoko 2,2. Samassa tutkimuksessa suomalaista opetussuunnitelmaa noudattavassa ryhmässä vastaavat tulokset olivat $\langle g \rangle = 0,45$ ja efektikoko 1,1 sekä $\langle g \rangle = 0,59$ ja efektikoko 1,5.

Henkilökohtaisen kasvutekijän g suhteen (liite 7 ja T5.20) P-ryhmä oli parempi. Ryhmien välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä ja efektikoko keskiuuri.

- b) Miten ryhmien välinen mahdollinen ero ilmeni, kun tarkastellaan FCI-, FMCE- ja TUG-K-testejä kokonaisuutena?

FCI-esitestissä F- ja P-ryhmän välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa, ja efektikoko oli pieni. Kumpikin testi tehtiin pakollisen kurssin alussa. FCI-jälkitestissä on viitteitä tilastollisen eron olemassaolosta. Effektikoko on suuri, mutta t - ja U -testien tulokset ovat ristiriitaisia. t -testin oletukset eivät välttämättä täyttyneet. Savinaisen tutkimuksessa (2004, 80) FCI-jälkitestissä koeryhmän ja kontrolliryhmän efektikokojen ero oli pieni.

F-ryhmässä jälkisesti oli osa Mekaniikka 1 -kurssin loppukoetta. P-ryhmän jälkisesti oli Pyöriminen ja gravitaatio -kurssin lopussa noin kuusi viikkoa Liikkeen lait -kurssin jälkeen. Tarkemmat tulokset ovat liitteessä 7 ja taulukossa 5.19.

FCI-jälkitestin N3. lakia koskevissa kysymyksissä 4, 15, 16 ja 28 P-ryhmän kaikki vastaukset olivat oikein, ja F-ryhmän oikeiden vastausten keskiarvo oli 93,5 %. Mäkysen väitöskirjassa (2014, 161) oikeiden vastausten osuus oli 92,3 % ja Savinaisen, Scottin ja Viirin (2005, 187) tutkimuksessa 93,5 %.

Ensimmäisen vuosikurssin opetus luo pohjan seuraavan vuosikurssin opetukselle. Kun kurssin arvosanat jaetaan kahteen ryhmään 6–8 ja 9–10, niin ryhmien välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero ja efektikoko oli suuri (liite 7). P-ryhmä suoriutui loppukokeesta paremmin kuin F-ryhmä.

FMCE-testissä oli vain jälkisesti. Testin maksimipistemäärä on 47 pistettä. P-ryhmä oli parempi, ja ryhmien välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero efektiin ollessa 1,38 (Liite 7 ja T5.21). Testin kysymykset voidaan luokitella seitsemään luokkaan, ja kunkin luokan vastaukset voidaan jakaa newtonilaisiin, osittain newtonilaisiin ja ei-newtonilaisiin (T5.23). Tällöin testin kysymyksiä on 40. P-ryhmän osaaminen oli selvästi parempaa (T5.24, K5.1). Ero oli tilastollisesti merkitsevä ja efektikoko oli suuri. P-ryhmän parempi osaaminen näkyi erityisesti luokissa N3. laki, ta -kuvaajat sekä Reki ja voiman suunta.

TAULUKKO 5.32 Mekaniikan käsitetestit. Jälkitestin oikeiden vastausten osuus (%) kaikista vastauksista ja otoskeskihajonta (s), jos se tunnetaan.

Testi	$N(kpl)$	Jälkitestin tulos % (keskihajonta)	Tutkimus
FMCE	19	55 (26)	Utriainen, lukio, 2005 F-ryhmä (47 tehtävää)
FMCE	18	84 (15)	Utriainen, lukio, 2006 P-ryhmä (47 tehtävää)
FMCE	400	73,5 (26,1)	Pollock, University of Colorado, 2005
FMCE	24	54 (20,4)	Physics Interactive Video Tutor (PIVoT) 2001, low
FMCE	29	67,8 (20,1)	Physics Interactive Video Tutor (PIVoT) 2001, medium
FMCE	29	89,3 (8,9)	Physics Interactive Video Tutor (PIVoT) 2001, high
TUG-K	19	71,0 (18,0)	Utriainen, lukio, 2005 F-ryhmä (21 tehtävää)
TUG-K	18	81,4 (13,2)	Utriainen, lukio, 2006 P-ryhmä (21 tehtävää)
TUG-K	169	56,8 (21)	Culbertson, High School, Arizona State University 2008, kaikki (20 tehtävää)
TUG-K	28	68,4 (14,7)	Culbertson, High School, Arizona State University 2008, honors (20 tehtävää)
TUG-K	38	88,1 (10,6)	Culbertson, High School, Arizona State University 2008, honors (20 tehtävää)
TUG-K	55	36,2 (18,0)	Slykhuis ja Park, High school, 2006, online-ryhmä, 21 tehtävää
TUG-K	95	44,8 (20,4)	Slykhuis ja Park, High school, 2006, luokka-opetus, 21 tehtävää
TUG-K	15	70,5	Escalada ja Moeller, 2006, University of Northern Iowa (UNI-PI), opettajat 2002–2003
TUG-K	175	61,2	Escalada ja Moeller, 2006, University of Northern Iowa (UNI), oppilaat 2002–2003

TUG-K-testin kysymyksiä oli 21. Ryhmät eivät poikenneet tilastollisesti toisistaan ja efektikoko oli keskisuuri (T5.21).

Kansainvälisessä vertailussa taulukossa 5.32 on ongelmana, että aina ei välttämättä ole tiedossa kysymysten määrä. Jos erikseen ei ole mainittu, niin on oletettu kysymysten lukumääräksi sama kuin tässä tutkimuksessa

- c) Miten ryhmien välinen mahdollinen ero ilmeni, kun tarkastellaan FCI-, FMCE- ja TUG-K-testejä N2. lain kontekstissa?

FCI-testissä N2. lakiin liittyviä kysymyksiä ovat 17, 22, 25, 26 ja 27. Oikeita vastauksia oli F-ryhmässä 58 ja P-ryhmässä 67 (T4.6). Kun tarkastellaan oikeiden vastausten lukumäärää opiskelijaa kohti, niin ryhmien välillä ei ole tilastollisesti merkitsevää eroa. Effektikoko on keskisuuri.

FMCE-testin N2. lain kysymykset jaettiin neljään kontekstiin (T4.7, K5.1) ja kysymyksiä oli yhteensä 15. F-ryhmällä oli oikeita vastauksia 82 ja P-ryhmällä 184. P-ryhmä oli omaksunut testitehtävissä tutkitut asiat, kun tutkitaan sekä

oikeita vastauksia ($\chi^2 = 86,4$, $df = 1$ ja $p = 0,000$) että opiskelijakohtaisia pisteitä, joissa ero oli tilastollisesti merkitsevä ja efektikoko suuri (liite 7).

Seuraavassa tarkastellaan kutakin kontekstia erikseen. Vastajat jaettiin newtonilaisiin, osittain newtonilaisiin ja ei-newtonilaisiin. Tilastollisesti merkitsevä ero ja suuri efektikoko P-ryhmän hyväksi olivat konteksteissa Voiman suunta ja nopeuden muutos -, Voiman suunta ja muutos -, Auton liike ja tF -kuvaaja - sekä kiihtyvyys-kontekstissa (liite 7; K5.2). Kontekstissa Kokonaisvoima joko kasvaa, pienenee tai on vakio, ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa, mutta efektikoko oli suuri.

TUG-K-testissä N2. lakiin liittyvät kiihtyvyyttä koskevat tehtävät olivat 2, 6, 9, 10 ja 19. P-ryhmän erosi F-ryhmästä tilastollisesti merkitsevästi, ja efektikoko oli keski-suuri. Sen sijaan ryhmien välillä ei ollut eroa, jos luokittelu oli newtonilaiset ja muut (2x2 taulukko). Fisherin tarkan testin ja khin-neliö-testin tulokset viittaavat eri suuntiin (liite7).

Tutkimuskysymys 3: Miten opiskelijat osasivat ratkaista mekaniikan perustietoja edellyttäviä lyhyitä tehtäviä?

Päähavainto on, että ryhmät eivät eronneet toisistaan lukuun ottamatta tasaista vaakasuoraa ympyräliikettä.

- a) Millaisia eroja havaittiin koeryhmän ja kolmannen vuosikurssin kertauskurssin suorittaneiden opiskelijoiden välillä mekaniikan perustietoja mitaavassa MBT-testissä?

Koska F-ryhmästä (19 opiskelijaa) vain viisi osallistui fysiikan kertauskurssille, niin P-ryhmää verrattiin yhdistettyyn ryhmään A (ks. luku 4.2). Kun tarkastellaan testin kaikkia kysymyksiä, niin ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Efektikoko oli pieni.

- b) Millaisia eroja oli edellä mainittujen ryhmien MBT-testin N2. lain oppimistuloksissa?

N2. lakiin liittyvät tehtävät oli jaettu kuuteen kontekstiin (T5.25, K5.3). Lisäksi verrattiin oikeiden vastausten lukumäärää. Kummassakaan tapauksessa P-ryhmän ja A-ryhmän välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa, ja efektikoko oli pieni (liite 7). Kuitenkin ero on merkittävä, sillä P-ryhmän opiskelijat olivat toisen vuosikurssin opiskelijoita, ja vertailukohtana olivat tulevat ylioppilaskokelaat. Tulosta voi tarkastella kahdella tavalla. Koska P-ryhmän testi oli Pyöriminen ja gravitaatio -kurssin lopussa ja kuusi viikkoa Liikkeen lait -kurssin jälkeen, niin asiat saattavat olla paremmin muistissa: suoritus oli yhtä hyvä kuin A-ryhmällä. Toisaalta kertaamisella on merkitystä. Kertauskurssilla voidaan keskittyä niihin asioihin, joissa oli vaikeuksia aikaisemmillä kursseilla. A-ryhmän suoritustaso on noussut kertauskurssin ansiosta. Kertauskurssin vaikutusta P-ryhmän suoritustasoon ei ole tutkittu.

TAULUKKO 5.33 MBT-testi: mekaniikan perustaitojen vertailu

	USA: lukio ja yliopisto			
	Suomalainen lukio	AVH	Harvard (Reg)	Harvard (Hon)
	Lukio (paras) N = 30	N = 58	N = 183	N = 73
A-ryhmä N = 53	z = -0,182 p = 0,86 d = 0,41	z = -0,326 p = 0,74 d = 0,049	z = 0,270 p = 0,79 d = 0,130	z = 1,080 p = 0,28 d = 0,651
P-ryhmä N = 18	z = 0,138 p = 0,89 d = 0,101	z = 0,076 p = 0,94 d = 0,049	z = 0,511 p = 0,61 d = 0,428	z = 1,082 p = 0,23 d = 1,047

Huom. Lähteet: Hestenes & Wells (1992); suomalainen lukio, liite 7. AVH on Arizonan valtion yliopisto

Taulukossa 5.33 on MBT-testin tuloksia verrattu Hestenesin ja Wellsin (1992) tutkimukseen. Taulukon arvot on laskettu edellä mainittujen tutkijoiden taulukon ja liitteen 7 perusteella. Yleinen oletus saattaisi olla, että suomalaisen lukion tulokset poikkeaisivat yliopiston tuloksista. Kuitenkin analyysin perusteella tilastollisesti merkitsevää eroa ei ole. Efektikoot ovat pieniä lukuun ottamatta P-ryhmän ja Harvardin (Hon) välillä, jossa efektikoko on suuri. Näyttäisi siltä, että mekaniikan perustiedot on opittu kohtuullisesti.

- c) Millaisia eroja oli koe- ja kontrolliryhmän välillä tasaisessa ympyräliikkeessä N2. lain mukaisen liikeyhtälön muodostamisessa?

Tasaisessa ympyräliikkeessä, kun pallo liikkui pystytasossa, ryhmien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Efektikoko oli pieni. Toisena tehtävänä oli auton liike kaarteessa. Jos tarkastellaan tehtävän kokonaispistemäärää (6,5) ja liikeyhtälön kirjoittamista, niin ryhmät poikkesivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,02$) ja efektikoko oli suuri. P-ryhmä suoriutui liikeyhtälön muodostamisesta paremmin kuin F-ryhmä. Sen sijaan kun piti piirtää kuvio ja merkitä asianmukaiset vektorit, niin ryhmät eivät eronneet tilastollisesti ja efektikoko oli keskisuuri (liite 7).

Tutkimuskysymys 4: Miten odotukset muuttuivat Fysiikka luonnontieteenä -kurssin jälkeen?

Päähavainto on, että opiskelija näyttäisi muodostavan Fysiikka luonnontieteenä -kurssin perusteella käsityksensä fysiikan opetuksesta ja opiskeluun liittyvistä vaatimuksista. Muutokset olivat pieniä toisella vuosikurssilla.

- a) Eksperttivastaaajien klusterikohtaiset odotukset

Esitesti tehtiin toisella vuosikurssilla Liikkeen lait -kurssin alussa ja lopputesti Pyöriminen ja gravitaatio -kurssin jälkeen. Taulukoiden 5.29 ja 5.30 perusteella eksperttivastaaajien klusterikohtaisissa keskiarvoissa ei ole tapahtunut esi- ja jälkitestissä suuria muutoksia. Itsenäisyysklusterissa näkemykset eivät ole

muuttuneet. Usko fysiikan johdonmukaisuuteen on kasvanut 6,7 ja käsitteiden ymmärtämisen merkitys 1,1 prosenttiyksikköä. Usko fysiikan ideoitten hyödyllisyyteen reaalimaailmassa on pysynyt jokseenkin vakiona, muutos on 1,4 prosenttiyksikköä. Matematiikan merkitys fysiikan ilmiöiden kuvaustapana on vahvistunut 4,4 prosenttiyksikköä. Sen sijaan ponnistelu-klusterissa muutos on ollut -6,6 prosenttiyksikköä.

Jos tarkastellaan esi- ja jälkitestin vastausten jakaumaa luokissa 1–2 ja 4–5, niin vastausten jakaumat eivät eroa ($\chi^2 = 1,076$, $df = 1$, $p = 0,299$). Sama koskee kysymyskohtaisia muutoksia lukuun ottamatta kysymystä 3, jossa käsitellään testeihin valmistautumista. Eksperttivastaajien määrä laski 38,9 prosenttiyksikköä ($p = 0,004$). Kysymys 3 viittaa USA:ssa olevaan järjestelmään, jossa testaaminen on oleellinen osa opiskelun tulosten seuranta. Jos opiskelijat ovat tulkinneet kysymyksen tarkoittavan loppukoetta, niin tulosta voi selittää kokeilulukiossa ollut 6-jaksojärjestelmä. Opetusta on viisi viikkoa, ja kuudes viikko on koeviikko. Jos opiskelijan omien valintojen seurauksena opinto-ohjelma on raskas, niin opittaviin asioihin ei ehdi perehtyä riittävän hyvin.

Kaikkiaan muutokset olivat pieniä. Syynä lienee, että esitesti tehtiin Liikkeen lait -kurssin alussa. Opiskelijalla oli jo Fysiikka luonnontieteenä -kurssin perusteella käsitys fysiikan opetuksesta ja opiskeluun liittyvistä vaatimuksista. Asenteiden muokkausta oli luultavasti jo tapahtunut. Tähän osaltaan on saattanut vaikuttaa Liikkeen lait -kurssin alussa jaetut liitteen 4 mukaiset opiskeluohjeet.

b) Klustereiden sisällä tapahtuneet muutokset

Koska käsiteltiin lukumääriä, käytettiin 2x3-taulukon analyysissä Fisherin tarkkaa testiä. Taulukkoon 5.31 on koottu ne testin kysymykset, joiden vastausten perusteella eksperttivastaajien joukossa on tapahtunut huomattaviakin muutoksia esitestiin verrattuna. Tilastollisen käsittelyn perusteella ei voitu osoittaa, että opetuksella olisi ollut vaikutusta eksperttivastaajien lukumäärän muutoksiin eri testitehtävissä. Mutta muutokset kuvaavat suuntaa, vaikka ne eivät ole tilastollisesti merkitseviä.

Itsenäisyys-klusterissa eksperttisuuden muutokset ovat molempiin suuntiin (+7, -8). Fysiikka on muutakin kuin oppitunnilla annetut tai kirjassa olevat lait, periaatteet ja yhtälöt (kysymys 14). Eikä fysiikan ymmärtäminen ole harvojen etuoikeus (kysymys 17). Mutta samalla ryhmässä on tapahtunut siirtymistä vastakkaiseen suuntaan. Syvällä ymmärtämisellä ei ole merkitystä (kysymys 13), ja riittää, kun tekee tehtävät ja on tarkkaavainen oppitunnilla (kysymys 1).

Johdonmukaisuus-klusterissa siirtymät olivat kohti eksperttisuutta (+10, -4). Niiden vastaajien määrä lisääntyi, jotka ymmärsivät, että fysiikka ei ole tilannekohtaista pikkutietoa (kysymys 12) ja tehtävän oma poikkeava vastaus on huolellisesti tarkistettava (kysymys 15). Väärä itseluottamus ei edistä ymmärtämistä. Kiire saattaa selittää kysymyksessä 29 tapahtuneet muutokset. Opiskelija kokee ongelmaksi informaation muistamisen, mikä viittaa noviisiin opiskelutapaan.

Käsitteet-klusterissa muutokset eivät olleet suuria (+3, -2). Ryhmässä oli ymmärretty, että tehtävän ratkaiseminen on muuta kuin oikea kaava, arvot kaavaan ja lasku (kysymys 4). Tosin kysymyksessä 26 tapahtunut muutos osoittaa, että kotitehtävissä eksperttivistäajat "lipsuvat" edellä mainitusta periaatteesta. Tutkijan kokemus tukee havaintoa.

Matematiikan merkitys on ymmärretty eikä siinä ole tapahtunut negatiivista muutosta.

Ponnistelu-klusterissa muutokset ovat tapahtuneet noviisin käsityksiä kohti (+5,-10). Kysymyksen 24 mukaan eksperttivistäajat ymmärtävät, että loppukokeen tulosten tutkiminen lisää fysiikan ymmärtämistä, mutta oppikirjan tekstiin ja esimerkkeihin tutustuminen on lähempänä noviisin ylimalkaista tapaa (kysymys 7).

Erityisesti kysymyksessä 3 on tapahtunut muutos. Esitestissä on uskottu, että muistiinpanot on käytävä huolellisesti läpi, mutta ilmeisesti aika ei ole riittänyt. Kysymys on ongelmallinen, koska kurssilla ei tarvinnut tehdä muistiinpanoja. Kirjaa ei ollut tarkoitus "kopioida" uudelleen vihkoon. Jos lisäinformaatiota haluttiin antaa, se jaettiin monisteina. Edellisen perusteella kysymyksessä 3 tapahtuneeseen muutokseen tulee suhtautua varauksella.

Kurssin lopussa tehtiin kysely, jonka kysymykset ovat liitteessä 6. Kyselyn tarkoituksena oli selvittää opiskelijan suhtautumista omaan työskentelyyn. Maksimipistemäärä on 20. Kun tarkastellaan kaikkia kysymyksiä, tilastollisesti ryhmät eivät poikenneet toisistaan: F-ryhmän keskiarvo oli 13,06 (3,60) ja P-ryhmän 14,72 (2,74) ($t = -1,562$, $df = 34$, $p = 0,128$; $U = 115$, $p > 0,10$). Sen sijaan jos tarkastellaan kysymyksiä 2, 4 ja 6, ryhmien välillä on selkeä ero ($\chi^2 = 17,271$, $df = 2$, $p = 0,0002$). P-ryhmän opiskelijat pystyivät "tylsästä" materiaalista huolimatta työskentelemään loppuun asti saadakseen hyvät arvosanat, vaikka eivät välttämättä pitäneet kurssista. Opiskelussa he asettivat itselleen realistiset ja korkeat tavoitteet.

Edellä kuvatut tulokset ovat merkittäviä, koska näyttäisi siltä, että ensimmäisen vuosikurssin opetuksella saattaa olla merkitystä suhtautumisessa fysiikkaan. Pakollisen kurssin järjestelyt luovat pohjan, jonka perusteella valitaan syventäviä kursseja. Samalla luodaan odotuksia, jotka ovat realistisia. Fysiikka on kokeellisuuden perustuva tiede, ja ensimmäisen vuosikurssin opetusjärjestelyjen pitäisi luoda oikea mielikuva, joka tässä tutkimuksessa näyttää muodostuneen.

MPEX-testi ja suhtautumisesta omaan työskentelyyn -kysely tehtiin joulukuussa hieman ennen lukukauden loppumista. MPEX-testiin osallistui vain P-ryhmä. Taulukoiden 5.29 ja 5.30 perusteella ekspertti-vastaajien esi- ja jälkitestin prosentuaaliset osuudet ovat itsenäisyys (48, 48), johdonmukaisuus (44, 51), käsitteet (69, 70), kytkeäntä reaali maailmaan (75, 76), matematiikan merkitys fysiikassa (58, 62) ja ponnistelu (70, 64).

TAULUKKO 5.34 MPEX-testin ekspertin vastaus/noviisin vastaus. Ryhmän opiskelijoiden prosentuaaliset osuudet. "pre" on esitesti ja "post" jälkitesti ja klustereiden keskiarvot

Oppilaitos	Itsenäisyys	Johdon- mukaisuus	Käsitteet	Kytkentä reaalimaailmaan	Mate- matiikan merkitys fysiikassa	Ponnistelu
Experts	93/3	85/12	89/6	93/3	92/4	85/4
College Teachers	80/8	80/12	80/8	94/4	84/9	82/6
HS Teachers	75/16	62/26	71/18	95/2	67/21	68/13
USPOT	81/12	79/8	73/13	64/20	85/8	50/34
UMCP pre	54/25	53/24	42/35	61/14	67/17	67/13
UMPC post	48/27	49/27	44/32	58/18	59/20	48/27
UMn pre	59/19	57/20	45/27	72/9	72/11	72/11
UMn post	58/20	61/17	46/28	69/10	72/12	63/16
OSU pre	51/24	52/21	37/36	65/10	65/13	66/16
OSU post	46/28	46/26	35/35	54/17	55/20	44/30
DC pre	62/14	58/17	47/23	76/4	70/10	75/7
DC post	67/14	66/18	58/23	72/9	71/12	57/26
PLA pre	57/27	57/26	38/46	71/13	74/11	72/8
PLA post	52/22	47/33	45/34	52/25	54/19	48/30
TYC pre	41/29	50/21	30/42	69/16	58/17	80/8
TYC post	42/32	48/29	35/41	58/17	58/18	65/21

Huom. Lähteet: vrt. Redish, Saul & Steinberg 1998, 217

Jos tarkastellaan taulukkoa 5.34 ja otetaan huomioon, että kysymyksessä ovat lukion toisen vuosikurssin oppilaat, niin tulos kansainvälisessä vertailussa on hyvä. Käsitteet-klusterin kysymykset korostavat taustalla olevien käsitteiden ja ideoiden ymmärtämistä. Taulukossa 5.34 jälkitestin vaihteluväli on 35–58 prosenttiyksikköä. Tähän verrattuna P-ryhmän tulos 70 % on hyvä. Kytkentä reaalimaailmaan -klusterissa P-ryhmän jälkitestin tulos 76 % on vertailukelpoinen taulukon 5.34 vastaaviin tuloksiin, joiden vaihteluväli on 52–72 prosenttiyksikköä. Molempiin P-ryhmän tuloksiin ovat ilmeisesti vaikuttaneet oppituntien monipuoliset demonstraatiot ja vuorovaikutteinen opetusmalli. Käsitteiden rakentamisessa on käytetty ilmatyynyradalla törmäyskokeita (Newtonin lait, liikemäärän säilyminen ja impulssi), kiihtyvyyden havainnollistamiseksi kauko-ohjattavan leikkiauton ja ultraäänitutkan yhdistelmää. Liikenne ja jääkiekko tarjoavat runsaasti dynamiikkaan liittyviä esimerkkejä.

Vaikka ponnistelu-klusterissa eksperttivastaajien määrä laski, niin alkupe-
räinen käsitys omasta jaksamisesta Liikkeen lait -kurssin alussa oli suhteellisen realistinen ja pudotus suhteessa kansainväliseen vertailuun oli suhteellisen pieni. Alkuodotukset omasta jaksamisesta näkyvät eksperttivastaajien 70 %:n osuutena: kurssin lopussa tämä vastaajien osuus ei laskenut enempää kuin kuusi prosenttiyksikköä. Taulukossa 5.34 yleinen muutos alaspäin on luokkaa 10–15 tai 20 prosenttiyksikköä.

Redishin, Saulin ja Steinbergin (1998, 215) mukaan noviisi luottaa auktoriteetteihin (opettaja, oppikirja), uskoo, että fysiikka koostuu toisiinsa liittymättömistä faktoista ja keskittyy kaavoihin ja ulkoa muistamiseen. Linin, Tsain & Li-

angin (2012) luokittelussa tämän tutkimuksen noviisin profiili on tuottava ja ekspertin rakentava.

Ferlan, Valcken ja Schuyten (2008) mukaan ne, joilla oli *rakentava oppimiskäsitys*, selittivät menestystä enemmän ponnistelulla. He pyrkivät kokonaisuuksien hallintaan, ymmärtämiseen ja asettivat tavoitteita, mutta käyttivät myös tämän lisäksi ulkolukua ja muita siihen liittyviä rutiineita. (Ferla, Valcke & Schuyten 2008, 274–275.) Myös tämän perusteella P-ryhmän ekspertit kuuluvat rakentavan profiilin omaaviin.

Sen sijaan jos oppimiskäsitys oli *tuottava*, opiskelumenestyksen uskottiin riippuvan enemmän syistä, joita ei voi hallita kuten vaikea koe tai muu itsestä riippumaton syy. Opiskelusta puuttuu suunta, ja he hyväksyvät todennäköisesti ulkoisten tekijöiden sääntelyn, jolloin opettaja tai oppikirjan ohjasi opiskelua. (Ferla, Valcke & Schuyten 2008, 274.) Tämä kuvaus sopii hyvin noviisin käsitteisiin itsenäisyydestä, johdonmukaisuudesta ja käsitteistä.

Tässä tutkimuksessa omaa työskentelyä arvioitiin 10 kysymyksellä, jotka ovat liitteessä 6. Tällä kysymyssarjalla voidaan nopeasti tutkia sen hetkistä tilannetta. Kysymykset voidaan ryhmitellä kahteen pääluokkaan. Kysymykset 2, 4 ja 6 kuvaavat opiskelijan ponnistelua ja päämääriä. Tutkimuskysymyksiin annettujen vastausten perusteella P-ryhmän opiskelijoilla oli tavoitteita, ja he olivat valmiita ponnistelemaan niitä kohti. Dweckin (2000, 9) minäteoriassa näitä opiskelijoita voitaisiin kuvata *oppimisorientoituneet*. Samalla edelliset kysymykset saattavat paljastaa opiskelijan käsityksen omasta älykkyydestä, jota voidaan muokata (I-teoreetikko) (Vrt. Dweck & Leggett 1988, 259; Dweck 2000, 2–4.) Sitä vastoin kysymykset 3, 5, 7 ja 9 paljastavat selkeän välttelijän. Opiskelijaa kuvaa sanonta ”siitä yli mistä aita matalin”. Näyttäisi siltä kuin opiskelija pelkäisi tarttua toimeen. Tätä voisi selittää Dweckin (2000, 2) vakiona pysyvän älykkyyden teorialla (E-teoreetikko), jonka mukaan tässä kontekstissa opiskelija kokee, että fysiikan vaikeiksi koetut tehtävät mittaavat hänen älykkyyttään. Jos tehtävän ratkaisu ei onnistu, niin opiskelija syyttää älyn puutetta. Tämä johtaa avuttomuusreaktioon (Dweck 2000, 7), joka näkyy välttelynä. Linin, Tsain ja Liangin (2012) luokittelussa F-ryhmän opiskelijat voitaisiin sijoittaa tuottavan profiilin omaaviin. Kysymyksiin 1, 8 ja 10 vastanneet ovat lähempänä ensimmäistä ryhmää, joten heidän profiilinsa olisi siirtymäprofiili. Varsinkin kysymys 10 osoittaa syvällisempää kiinnostusta opiskeluun. Vaikka F- ja P-ryhmä erosivat toisistaan kysymysten 2, 4 ja 6 suhteen, niin samalla P-ryhmässä oli niitä, jotka olivat siirtymävaiheessa. Mutta on huomattava, että tilanteesta riippuen opiskelija voi kuulua eri ryhmiin. Lukiossa jokin jakso voi olla hyvinkin raskas. Esimerkiksi opiskelijan omien valintojen seurauksena lukujärjestykseen voi kuulua pitkän matematiikan, fysiikan ja kemian kurseja, jolloin henkinen ponnistelu voi ylittää voimavarat ja kyselyn sekä MPEX-testin tulosta on pidettävä suuntaa antavana. Edellisen perusteella voidaan tehdä varovainen päätelmä, että opetusmallilla on ollut vaikutusta P-ryhmän oppimistuloksiin.

Seuraavassa luvussa tutkimustulosten perusteella tehdään johtopäätökset, jotka koskevat sitä, pystyttiinkö käytetyllä opetusmallilla ratkaisemaan luvussa 3 esitetyt ongelmat.

5.8 Johtopäätökset

Oikea päättely edellyttää, että asianmukaiset skeemat ovat muodostuneet. Tämä voidaan saavuttaa vain harjoittelemalla, mikä on oppituntien lisäksi tehokasta, jos käytetty materiaali kuten Physica-oppikirjasarja tukee oikeiden propositionien muodostumista. N3. lain periaatteiden ymmärtämistä helpottaa vuorovaikutuskaavio. Johtopäätöksiä varten on koottu taulukko 5.35. Vuorovaikutuskaavion hyödyllisyyttä tukee Mäkynsen väitöskirjassaan (2014, 169) tekemä päätelmä:

Tämän tutkimuksen N3. lain oppimistulosten mukaan näyttää vahvasti siltä, että vuorovaikutuskaavion huolellinen ja toistuva käyttö opetuksessa auttaa oppilasta ymmärtämään voiman käsitteen vuorovaikutuksista käsin ja oppimaan siten N3. lain paremmin.

Lisäksi Mäkynen viittaa väitöskirjansa tutkimustuloksien perusteella syntyvään käsitykseen, jonka mukaan

oppilaiden oppiminen voimien tunnistamisessa ei riipu opettajasta vaan opettajan toteuttamasta opetusjaksosta ja opetusmateriaalista (Mäkynen 2014, 173).

Tämän tutkimuksen tulokset tukevat Mäkynsen johtopäätöstä. Opettajat voidaan kouluttaa käyttämään vuorovaikutuskaaviota, jolloin dynamiikan opetuksen oppimistulokset todennäköisesti paranisivat ja niiden riippuvuus opettajasta vähenisi. Tähän viittaa myös taulukko 5.35, jonka perusteella P-ryhmän oppimistulokset olivat kokonaisuudessaan paremmat kuin F-ryhmällä (ks. myös liite 7).

TAULUKKO 5.35 Testivastausten yhteenveto (liite 7)

Testi	Selite	<i>d</i>	F	N	P
FCI-e, T5.19	Esitesti	0,267		x	
FCI-j, T5.19	Jälkitalo	0,878		x	
FCI-g, T5.20	Henkilökohtainen kasvutekijä	0,700			x
FCI-<g>, T5.20	Normeerattu kasvutekijä, F-ryhmä	2,34		1)	
	Normeerattu kasvutekijä, P-ryhmä	2,86		1)	
FCI-N3.	Kysymykset 4, 15, 16 ja 28			x	
Koe	1. vuosikurssin loppukoe	1,27			x
FMCE, T5.21	Kaikki kysymykset	1,38			x
FMCE, T5.22	Luokittelu Nw, Onw ja Enw, 40 kysymystä	1,39			x
FCI-N2. T4.6	Kysymykset 17, 22, 25, 26, 27, ov.	0,466		x	
FMCE-N2., T4.7	15 kysymystä, 4 kontekstia, ov.,				x

	K5.2			
FMCE-N2., T4.7	Opiskelijakohtaiset pisteet, K5.2	1,13		x
FMCE-N2., K5.2	Kysymykset 1, 3, 4, 6, 7; Nw, Onw, Enw	0,870		x
FMCE-N2., K5.2	Kysymykset 8, 9, 10; Nw, Onw, Enw	0,988	x	
FMCE-N2., K5.2	Kysymykset 11, 12, 13; Nw, Onw, Enw	0,907		x
FMCE-N2., K5.2	Kysymykset 16, 18, 19, 20; Nw, Onw, Enw	1,191		x
TUG-K, T5.21	Kaikki kysymykset	0,660	x	
TUG-K-N2.	Kysymykset 2, 6, 9, 10, 19	0,693		x
TUG-K-N2.	Kysymykset 2, 6, 9, 10, 19; Nw, Onw, Enw		x	
MBT	Kaikki kysymykset, vertailu abiturientteihin	0,249	x	
MBT-N2. T5.25	Kysymykset 3, 4, 5, 7, 8, 9, 12, 13, 17, 18, 19, 21,	0,110		x
MBT-N2.	Vertailu ov. $\chi^2 = 0,2637$, $df = 1$, $p = 0,608$			x
Ympyräliike-N2.	Pallo pystytasossa	0,161	x	
Ympyräliike-N2.	Auto kaarteessa	1,04		x
Ympyräliike-N2.	Kuvio ja vektorit	0,633	x	
Ympyräliike-N2.	Liiketyhtälön kirjoittaminen	1,131		x

Huom. Lyhenteet: N2. ja N3. Newtonin lait, ov. = oikeat vastaukset, T5.19 = Taulukko 5.19, K5.2 = Kuvio 5.2, d = efektikoko, Nw = newtonilainen, Onw = osittain newtonilainen, Enw = ei-newtonilainen, F = F-ryhmä parempi, P = P-ryhmä parempi, N = ei eroa tai testien tulos ei ole samansuuntainen. 1) Verrattu ryhmän aikaisempaan suoritukseen. Liitteessä 10 ovat efektikokojen 95 %:n luottamusvälit.

Sekä F-ryhmässä että P-ryhmässä taulukon 4.5 mukaan voima opetettiin liike-määrän muutosnopeuden kautta, mutta vain P-ryhmälle opetettiin dynamiikan tehtävän ratkaisun eri vaiheet Minnesota-mallin mukaan (Heller, Keith & Anderson 1992). Lisäksi P-ryhmällä oli N2. lain harjoituksena liiketyhtälön laatiminen 13 eri kontekstissa, jotka opettaja tarkasti.

Taulukon 5.35 mukaan P-ryhmä osasi kaikki FCI-testin N3. lokia koskevat kysymykset. Lisäksi FMCE-testin N2. lain osaaminen viidessä testissä kuudesta P-ryhmä oli parempi, ja vain yhdessä ryhmät eivät poikenneet tilastollisesti, mutta efektikoko oli suuri. Tasainen ympyräliike ei muuta käsitystä P-ryhmän osaamisesta. Auto kaarteessa -tehtävässä liiketyhtälö osattiin kirjoittaa. Lisätukea P-ryhmän N2. lain hallinnasta saadaan tähän tutkimukseen liittyvästä osasta (Utriainen 2014, 41–48), jonka tarkoituksena oli edistää N2. lakiin liittyvää osaamista. Tehtäviä oli kaksi, jotka koskivat kaltevaa tasoa ja kytkettyjä kappaleita. Niissä arvioitiin voimakuvio, liiketyhtälön muodostaminen ja vastauksen laskeminen. P-ryhmän oppimistulokset olivat paremmat sekä voimakuvioissa että liiketyhtälön muodostamisessa. Ero oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,02$) ja efektikoko suuri. Poikkeuksen muodosti kytkettyjen kappaleiden voimakuvio,

jossa efektikoko oli 0,776 mutta tilastollista eroa ei havaittu tai se viittasi jonkinlaisen eron olemassaoloon ($p = 0,025$ ja $U =$ testin $p > 0,10$).

Mayer (2009, 54) kirjoittaa seuraavasti:

Keskimääräisen efektikoon ollessa suuri – tai edes keskisuuri – on syytä uskoa, että opetusmenetelmä on opetuskäytössä tehokas.

Esitys, joka noudattaa multimediaoppimisen teorian periaatteita, auttaa opiskelijaa saavuttamaan transfer-testissä hyviä tuloksia. Mayer mukaan ne ovat seurausta asian ymmärtämisestä. Mayer korostaa myös tutkimusryhmänsä tulosten pätevyyttä: kokeet on satunnaistettu, tarkasti kontrolloitu ja jokainen esitetty tutkimus on läpäissyt vertaisarvioinnin. (Mayer 2009, 55.)

Miksi P-ryhmän oppimistulokset olivat paremmat kuin F-ryhmän? Tutkimustulosten perusteella voidaan tehdä seuraavat päätelmät:

1. Physica-sarjan oppikirja noudattaa multimediaoppimisen koherenssi-, opastin- ja spatiaalisen jatkuvuuden periaatteita (T5.11–T5.14, luvut 5.1 ja 5.7).
2. FCI-, FMCE- ja TUG-K-testeissä ei voi menestyä pelkästään arvaamalla, vaan ne testaavat ymmärtämistä, joten testejä voidaan pitää transfer-testeinä. Physica-sarjan mukaan opiskelleet menestyivät testeissä hyvin (T5.35, liite 7, luku 2.5.8). Sama koskee probleeman ratkaisua (Utriainen 2014), tasaista ympyräliikettä ja MBT-testiä (5.35, liite 7, luku 2.5.8). Viime mainituksessa ero vertailuryhmään ei ollut tilastollisesti merkitsevä (ks. Taulukko 5.35), mutta on merkittävä (Metsämuuronen 2006, 438), koska testi tehtiin toisella vuosikurssilla vuotta aikaisemmin kuin vertailuryhmässä. Lisäksi vuorovaikutuskaavio helpottaa sellaisen skeeman syntymistä, jossa on kuva ja siinä oleva lyhyt teksti.
3. Edellisen perusteella oppikirjan vaikutusta dynamiikan osaamiseen voidaan pitää merkittävänä tekijänä.

Fysiikan syventävien kurssien valinta on vapaaehtoista. Valinnan suorittaneella opiskelijalla on jo käsitys itsestä ja omasta suorituskyvystä. Luvussa 1.1 ilmeni selvästi käsitykset fysiikasta oppiaineena. Tässä tutkimuksessa MPEX-testin tulokset osoittivat, että ensimmäisen vuosikurssin opetuksella on vaikutusta oppilaiden käsityksiin, kuten tutkimuskysymykseen 4 annetut vastaukset osoittavat.

Toisen vuosikurssin alussa P-ryhmälle jaettiin liitteen 4 mukaiset opiskeluohjeet, joissa korostettiin ponnistelun, ei älykkyyden, merkitystä. Schnotz ym. (2007, 497) mukaan oppimisympäristön muokkaamisen ohella oppijaa on kannustettava suuntaamaan ponnisteluaan ohi tavallisen tehtävän suorittamisen. Pelkkä oppimistehtävän suorittaminen ei riitä. Tähän juuri pyrittiin Liikkeen lait -kurssin alussa annetuilla ohjeilla. Näyttäisi siltä, että annetuilla opiskeluohjeilla saattoi olla vaikutusta P-ryhmän suorituksiin, mikä ilmenee oppilaiden luvun 5.6 lopussa olleista vastauksista. Oppilaat pitivät kurssia mielenkiintoisena, laadukkaana ja hyvin järjestettynä. Opetus oli monipuolista, mutta kurssi oli

raskas. Oppilaan P12 palautteen perusteella kurssilla toteutuivat multimediaoppimisen periaatteet kuten *ennakkovalmentautuminen* (- - - seuraavan tunnin kappale opiskellaan - - -) ja *personointi* (- - - rento ilmapiiri - - -). Lisäksi käytetyt assosiaatiotestit näyttivät miellyttävän oppilasta.

Vaikka fysiikka koetaan vaikeaksi, niin motivaatiota voidaan ylläpitää ja jaksetaan ponnistella, jos

- oppimateriaali on siten laadittu, että se auttaa ymmärtämään vaikeita asioita
- demonstraatiot auttavat ymmärtämään fysiikan ilmiöitä ja
- tunnelma oppitunnilla on rento.

Opetusjärjestelyt ja esitettävän materiaalin prosessointi kuormittavat työmuistia. Kaikki se kapasiteetti, jota ei käytetä ulkoiseen ja sisäiseen kuormaan, on rakentavan kuorman käytössä. Mutta Schnotz ym. (2007) mukaan työmuistin rakentavaa kuormaa rajoittavat motivaatioon liittyvät tekijät. Opiskelija päättää, kuinka paljon hän on valmis suuntaamaan ylimääräisiä henkisiä resursseja (= sisu) saavuttaakseen päämääränsä. (Schnotz ym. 2007, 497.) Tässä tutkimuksessa tulosten sekä opiskelijoiden palautteen perusteella opetusjärjestelyt ja oppimateriaali tukivat opiskelijaa käyttämään vapaata resurssia skeemojen rakentamiseen ja niiden automatisointiin.

Mahdollisten muiden P-ryhmän osaamiseen vaikuttavien syiden olemassaoloon viitataan lukuun 6, joka tarkastelee tutkimuksen sisäistä ja ulkoista validiteettia.

Opetuksessa havaittiin ongelma, joka pyrittiin ratkaisemaan muokkaamalla opetusmallia. Koeryhmän (P-ryhmä) opetusmallin osatekijöinä suhteessa kontrolliryhmään olivat

- uusi oppikirja ja sen multimediaoppimisen teoriaan perustuva esitystapa
- oppikirjassa oleva vuorovaikutuskaavio
- Minnesota-malli dynamiikan tehtävien harjoittelussa
- kurssin alussa jaetut opiskeluohjeet, joissa korostettiin ponnistelun merkitystä.

Toteutettu opetusmalli on kokonaisuus, jossa jokaisella osatekijällä on oma vaikutuksensa oppimistuloksiin. Tutkimustulokset osoittavat, että koeryhmän (P-ryhmä) oppimistulokset olivat paremmat tai samanveroiset kuin vertailuryhmän vastaavat tulokset (F-ryhmä). Näin ollen opetusmalli on pääosin ratkaisut havaitut ongelmat, ja malli antaa viitteitä fysiikan kinematiikan ja dynamiikan kurssien suunnitteluun.

6 POHDINTAA

Viimeisessä luvussa tarkastellaan sisäistä ja ulkoista validiteettia ja testien pätevyyttä. Tutkimustulosten perusteella annetaan oppikirjanvalintasuosituksia. Myös opiskeluohjeilla on vaikutusta, kun opiskelija arvioi omaa suoriutumistaan fysiikan kurssilla. Lopuksi pohditaan tutkimustulosten merkitystä jatko-tutkimuksille.

6.1 Tutkimuksen luotettavuus

Sisäinen ja ulkoinen validiteetti

Validiteettitarkastelujen lähtökohta on systemaattinen niiden tekijöiden pohdinta, jotka voivat alentaa mittauksen luotettavuutta. Seuraavissa kahdessa taulukossa 6.1 ja 6.2 nämä tarkastelut ovat tiivistetyssä muodossa, joita täydennetään muutamalla lisäkommentilla. (Vrt. Cohen, Manion & Morrison 2000, 127–128; Metsämuuronen 2006, 1160)

Kypsymisvaikutus. Tällaisia tekijöitä ovat vanheneminen, väsyminen ja viireystilan muutokset. Koska kokeilujakso oli ilman koeviikkoa viiden viikon mittainen, niin aikajakso on liian lyhyt, jotta luotettavia päätelmiä vanhenemisen vaikutuksesta fysiikan osaamiseen voitaisiin tehdä.

Mittavälineen reaktiivisuus. Mittaamisella itsellään saattaa olla opetusvaikutusta. Jos näin on, niin vaikutus on sama molemmissa ryhmissä. Testikysymyksiä ei selitetty eikä testin tuloksia annettu oppilaille. Lisäksi mittauskertoja oli niin vähän, että oppimisvaikutusta tuskin oli.

Kato. Kurssin aikana kummastakaan ryhmästä ei eronnut oppilaita. Jokainen oppilas osallistui jokaiseen testiin. P-ryhmässä oli 18 oppilasta, joista seitsemällä ei ollut yhtään poissaoloa ja loppuilla kurssin aikana keskimäärin 1,8 oppituntia/oppilas. F-ryhmän osalta poissaolotiedot puuttuivat..

TAULUKKO 6.1 Sisäisen validiteetin uhkia ja niitä koskevat kommentit

Uhka	Tutkijan kommentti
<i>Historian vaikutus.</i> Kahden mittauksen välillä tapahtuu jotakin, joka selittääkin varsinaisen tuloksen.	Kokeilun yhteydessä ei tapahtunut mitään normaalista kouluelämästä poikkeavaa.
<i>Kypsymisvaikutus.</i> Koehenkilöt muuttuvat ja kehittyvät kokeen aikana luonnostaan ilman mitään erillistä koevaikutusta.	Kehittyminen newtonilaisessa mekaniikassa ilman opetusta on epätodennäköistä. Ympäristö ei tue ennakkokäsitysten häviämistä.
<i>Regressioharha.</i> Äärimmäiset havainnot alkavat lähestyä kohti "keskinkertaisuutta" ilman mitään erillistä koejärjestelyä.	Tutkimustulokset eivät tue käsitystä. Haken (1998) tutkimuksen perusteella FCI-esi- ja jälkitestin välinen korrelaatio on +0,55.
<i>Mittarin muuttuminen.</i> Mittarin kalibroinnin ja pisteytystyylin tarkistaminen.	Ks. edellä FCI, FMCE ja TUG-K-testit
<i>Testauksen vaikutus.</i> Mitattava koehenkilö muuttuu tai muuttaa käyttäytymistään tietäessään olevansa koejärjestelyssä mukana.	Erilaiset testit olivat oleellinen osa opetusta ensimmäisestä vuosikurssista alkaen..
<i>Mittavälineen reaktiivisuus.</i> Tutkimusväline vaikuttaa oppilaaseen.	Vaikutus on sama molemmissa ryhmissä.
<i>Valintavaikutus.</i> Erot valittaessa oppilaita koe- ja vertailuryhmiin.	Oppilaita ei valittu satunnaisesti. Ryhmien välisiä eroja on tarkasteltu tutkimuskysymyksiin vastattaessa.
<i>Kato.</i>	Ryhmissä ei ollut katoa kokeilun aikana.

Huom.: Lähde Cohen, Manion & Morrison (2000, 127-128) Metsämuuronen (2006, 1160-1163)

TAULUKKO 6.2 Ulkoisen validiteetin uhkia ja niitä koskevat kommentit

Uhka	Tutkijan kommentti
<i>Riippumatonta muuttujaa ei kyetä kuvaamaan riittävästi tarkasti.</i> Jos tätä ei voida tehdä, koetilannetta ei voi toistaa riittävästi tarkasti.	Kokeiluun liittyvät opetusjärjestelyt ovat kuvattu mahdollisimman tarkasti. Siitä huolimatta edes tutkimuksen tekijä ei kykene toistamaan kurssia identtisesti.
<i>Puutteet edustavuudessa.</i> Kokeen tulos ei ole varma mikäli ryhmiin valikoitumista ei ole satunnaistettu.	Koehenkilöt ovat maaseutulukion oppilaita. Tulosten yleistämiseen on suhtauduttava varoen. Mekaniikan testien suhteen voidaan verrata sekä suomalaisiin että kansainvälisiin tuloksiin (Vrt. Haken kasvutekijä).
<i>Hawthorne-efekti.</i> Koehenkilöt reagoivat mihin hyvänsä vaikutukseen positiivisesti tai sosiaalisesti suotavasti.	Ks. tämän luvun teksti
<i>Herkkyyksireaktiivisuus koeolosuhteille.</i>	Ks. <i>Testauksen vaikutus ja mittarin muuttuminen.</i>
<i>Ekologinen validiteetti.</i> Koeolosuhteiden liittyminen jokapäiväiseen elämään.	Testejä ja kyselyitä tehtiin runsaasti, joten ne kuuluivat rutiineihin.

Huom.: Lähde Cohen, Manion & Morrison (2000,127-128) Metsämuuronen (2006, 1160-1163)

Testauksen vaikutus. Testeihin vastaaminen vaikuttanee opiskelijoiden käyttäytymiseen. Kokeiden ja testien tekeminen on kuitenkin opiskelijoille tuttua, ja yleensä opiskelijat yrittävät vastata niihin parhaansa mukaan. Tutkimukseen liittyvät testit eivät vaikuttaneet opiskelijoiden arvosanaan, mistä he olivat tietoisia.

Puutteet edustavuudessa ja valintavaikutus. Koska kokeilussa käytettävät opetusmallit ovat vuorovaikutteisia, niin kansainvälisten tutkimusten perusteella osaamisen taso nousee molemmissa ryhmissä. Toisaalta eettisesti olisi arveluttavaa valita ryhmät tietyn kriteerin suhteen homogeeniseksi.

Koska ryhmät olivat pieniä, tulosten yleistettävyyden suhteen on noudatettava varovaisuusperiaatetta. Lisäksi on huomattava, että molempiin ryhmiiin kuuluvia oppilaita oli opettanut tutkimuksen tekijä kaikilla edellisillä kursseilla. Tutkimuksen ensisijaisena tarkoituksena ei ollut antaa yleistettävää tietoa suomalaisesta lukiokoulutuksesta, vaan tutkia käytettyjen oppikirjojen ja oppimisen mahdollista yhteyttä. Oppilaiden osaamisen vertailu kansainväliseen tutkimukseen osoittaa, että oppiminen oli keskitasoista tai korkeampaa (taulukko 5.35). Havaitut erot P ja F-ryhmien tulosten välillä tukevat johtopäätöstä, että käytettävä kirja voisi vaikuttaa oppimistuloksiin.

Kaikki kurssia koskevat suunnitelmat aikatauluineen oli jaettu etukäteen. Lisäksi oli etukäteen ilmoitettu arvostelukriteerit, joissa oli kerrottu eri osaamisalueiden painoarvot loppuarvosanaa määrättäessä. Oppilaille muodostui selkeä kuva vaatimuksista.

Hawthorne-efekti. Opiskelijat ovat aina oppitunnilla opettajan tarkkailun alaisena ja pyrkivät pääsääntöisesti antamaan itsestään ja osaamisestaan positiivisen vaikutelman. Oletettavasti näin tapahtuu kaikissa opiskelijaryhmissä kuten F- ja P-ryhmissä.

Oppikirjan arvioinnin luettavuusindeksit

Klare (1976) korostaa, että luokka-aste ei ole tarkka arvo. Jos muutoksia tapahtuu lauseissa, ymmärtäminen ei muutu niin paljon kuin indeksin arvo näyttää. Saatu arvo on parhaimmillaan vain karkea arvio tekstin vaikeudesta, ja indeksi voi yliarvioida luettavuuden vaikeuden, jos lukijan esitiedot kyseessä olevasta aihealueesta ovat hyvät. Sama koskee lukutaitoa. (Klare (1976, 144–147.) Esimerkiksi keskimääräinen lausepituus lisäsi laivaston koulutusmateriaalissa tekstin vaikeusasteen ennustettavuutta. (Kincaid, Fishburne Jr, Rogers & Chissom 1975, ii.)

Mailloux, Johnson, Fisher ja Pettibone (1995) tutkivat tietokoneella lasketujen indeksien luotettavuutta. Samasta materiaalista laskettiin tietokoneella eri indeksien arvot, jotka poikkesivat toisistaan 5,5 yksikköä. Heidän johtopäätöksensä oli, että indeksiä pitäisi käyttää vain ns. pikatestinä. Luettavampi arvio saadaan, jos valitaan monipuoliset tekstit, käytetään eri indeksejä ja tietokonealgoritmeja sekä lopuksi lasketaan tulosten keskiarvo. (Mailloux, Johnson, Fisher & Pettibone 1995, 224–225.) Samaan viittaavat Bailin ja Grafstein (2001). He väittävät, että indeksit eivät mittaa tekstin vaikeutta. Ne pystyvät erotta-

maan hyvin helpon ja vaikean tekstin. Indeksien perusteella saatu luokka-astetta kuvaava tarkka luku saattaa johtaa harhaan ja voi houkutella luottamaan enemmän mekaaniseen indeksiin kuin omaan kokemukseen ja arkijärkeen. Se, että indeksien arvo on tarkka luku, ei ole tae siitä, että se perustuu tieteelliseen objektiivisuuteen. (Bailin & Grafstein 2001, 292.) Crossley, Greenfield ja McNamara (2008) korostavat, että perinteiset luettavuusindeksit eivät yleensä perustu teorioihin, jotka käsittelevät lukemista tai miten ymmärtäminen rakentuu. Uskottavuus perustuu niiden osoittamaan kykyyn ennustaa, mutta näihin kaavoihin liittyy usein heikko rakennevaliditeetti: havaintojen pitäisi vaihdella kuten teoria ennustaa. (Crossley, Greenfield, & McNamara 2008, 476.)

DuBay (2006) ei painota sitä, poikkeavatko indeksien antamat tulokset toisistaan, vaan sitä, että tulokset ovat johdonmukaisia suhteessa käytettyyn tekstiin. Absoluuttisilla arvoilla ei sinänsä ole merkitystä. Syy eroon on muuttujissa: käytetäänkö tavuja vai kirjaimia, lauseen pituutta muttei sanojen lukumäärää. Kun vertailutaso puuttuu, ongelmana on, miten paljon oikeita vastauksia tarvitaan lukutesteissä tiettyyn luokkatasoon. Lisäksi tietokoneen laskenta-algoritmit poikkeavat toisistaan. (DuBay 2006, 111.)

Tässä tutkimuksessa indeksejä käytetään kahden oppikirjan tekstin tekniiseen vertailuun. Kun sama oppikirjan teksti mitataan eri indekseillä, niin voidaan tehdä varovaisia vertailuja tekstin luettavuudesta. Kahden pisteen välinen matkaero voidaan ilmaista metreinä tai jalkoina. Mittayksiköllä ei ole väliä kunhan molempia matkoja mitataan samalla mitalla. Sama koskee luettavuusindeksiä. Wiion indeksit ovat perusta. Muiden indeksien pitäisi antaa samansuuntaisia tuloksia.

Käsitteellistä ymmärtämistä mittaavat testit

Tässä tutkimuksessa opiskelijoiden käsitteellistä ymmärtämistä newtonilaisesta mekaniikasta tutkittiin FCI-, FMCE, TUG-K- testeillä. Lisäinformaatiota saatiin FCI-testiä täydentävällä MBT-testillä. Testien pisteyttäminen on suoraviivaista eikä vaadi mitään tulkintaa, koska ne ovat monivalintatestejä.

Hestenesin, Wellsin ja Swackhamerin (1992) FCI-testin lähtökohta on opiskelijan näkökulma: miten opiskelija vastaisi, jos kysymys olisi avoin? Opiskelijan vastaukseen vaikuttaisivat hänen ennakkokäsityksensä. Näistä ennakkokäsityksistä on muokattu 30 kysymystä, jotka on jaettu kuuteen klusteriin: kinematiikka, N1., N2. ja N3. laki, superpositioperiaate ja voimien lajit. Jokaisessa kysymyksessä on viisi vaihtoehtoa, joista vain yksi on newtonilaisen käsityksen mukainen. Muut neljä vaihtoehtoa edustaa ennakkokäsityksiä, jotka koskevat opiskelijan käsitystä fysikaalisista mekanismeista.

Huffman ja Heller (1995a) väittävät faktorianalyysin perusteella, että edellä mainittuja kuutta klusteria ei voitu selvästi havaita. Opiskelijoiden voimaa koskevat käsitykset olivat vain löyhästi organisoituneet, ja ne eivät muodostaneet koherenttia voimakäsitettä (Huffman & Heller 1995a, 138-143). Tähän kritiikkiin Hestenes ja Halloun (1995) vastaavat, että kuusi klusteria muodostaa standardin, johon opiskelijan käsityksiä voidaan verrata. FCI-testin pisteet ovat

mitta, joka ilmaisee, kuinka paljon opiskelijan voiman käsite ja newtonilainen voiman käsite eroavat. Hestenes ja Halloun eivät väitä, että edellä mainitut kuusi klusteria kuvaavat yksittäisen opiskelijan käsiterakennetta. (Hestenes & Halloun 1995, 502, 504–506.) Huffmanin ja Hellerin (1995b) kritiikki kohdistui tuloksiin, joissa opiskelijan FCI-testin pisteet olivat joko korkeita (60 %–80 %) tai matalia (alle 60 %) ja joissa opetusmalli vaihteli. Kysymysten välinen korrelaatio oli heikko, ja ne eivät muodostaneet faktoreita. Huffman ja Heller tulkitsevat tuloksia siten, että joko opiskelijalla on koherentti teoria, jota testi ei mittaa tai FCI-testi mittaa opiskelijan tiedosta osia, jotka eivät muodosta koherenttia tietorakennetta. He varoittavat, että testipisteistä ei voi tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä opiskelijan "newtonilaisuuden asteesta" (tutkijan oma ilmaisu). Huffman ja Heller (1995b) myöntävät ulkoisen validiteetin (*face validity*), ja että kuusi klusteria liittyy oleellisesti newtonilaiseen voiman käsitteeseen. Testi on myös sisällön suhteen validi. Vaikka he esittävät kritiikkiä, ovat he sitä mieltä, että FCI-testi on paras saatavilla oleva testi (tutkimushetkellä), joka mittaa opetuksen kokonaistehokkuutta (*effectiveness*). (Huffman & Heller 1995b, 138–143; 503, 507–511.) FCI-testin pätevyyttä ovat käsitelleet myös Savinainen ja Scott (2002a).

FMCE-testin kysymysten validiteettitarkastelu on esitetty Redishin, Saulin ja Steinbergin (1998, 344–346) raportissa. Lisätukea antaa Ramilon (2008) tutkimus, jossa keskityttiin arvioimaan FMCE-testin rakennevaliditeettia (mittarin käsitteellinen viitekehys). Ramilon mukaan FMCE-testi on validi ja reliabeeli. Se sopii esi- ja jälkitestiksi tilanteissa, jotka koskevat voiman ja liikkeen käsitteiden ymmärtämistä. (Ramilon 2008, 886.)

TUG-K-testin tehtävät ovat graafisia kuvaajia, joissa paikka, nopeus ja kiihtyvyyden esitetään ajan funktiona. Validiteettia ja reliabiliteettia koskevat tarkastelut ovat Beichnerin (1994) julkaisussa. Hän esittää, että testi sopii diagnostiikkaan ja tutkimuskäyttöön lukio- ja college-tason opiskelijoille (Beichner 1994, 751, 754).

MPEX-testi koostuu 34 väitteestä, joiden vastausasteikko on 5-portainen Likert-asteikko. Opiskelijoita haastateltiin noin 100 tuntia, ja haastateltavat joutuivat tulkitsemaan kysymyksen ja perustelevaan valitseman vaihtoehdon. Lisäksi samat osiot esitettiin myös opettajille, jolloin saatiin selville, miten opettaja toivoisi eksperttivistään vastaavan. Validiteettiprosessin tarkka kuvaus on Redishin, Saulin ja Steinbergin (1998) raportissa.

Multimediaoppimisen teorian 12 periaatteen (luvut 2.5.3–2.5.5) tutkimuksessa (Mayer 2009) satunnaistaminen koski sekä ryhmän valintaa että ryhmien käyttämää periaatetta. Koe- ja kontrolliryhmän ainoa ero oli tapa, jolla opittava materiaali esitettiin. Testi on kaksiosainen: Retentiotestissä mitataan muistamista ja transfer-testissä ymmärtämistä. Pisteytyksen yhdenmukaisuuden varmistaa rinnakkaisarviointi, ja transfer-testin tuloksen perusteella lasketaan efektikoko, jota käytetään opetuksen tehokkuuden mittana. (Mayer 2009, 28–55.)

Seuraavassa on esimerkki retentio- ja transfer-testien kysymyksistä, jotka koskevat salamointia (Mayer 2009, 38). Retentiotesti: Selitä salamointi (vastaaja kirjoittaa vapaamuotoisen kirjallisen esityksen). Transfer-testi: Miten voisit vä-

hentää salamoinnin voimakkuutta? (systeemin muokkaus) Voit nähdä pilviä taivaalla mutta et salamoita. Miksi et? Mitä tekemistä ilman lämpötilalla on salamoinnin kanssa? Mikä synnyttää salamoinnin?

Mayer (2009) korostaa, että tutkimuksissa ei verrata sitä, onko tietokone tehokkaampi oppimisessa kuin oppikirja tai virtuaalidellisuus parempi kuin tietokone. Kysymys ei siis ole informaatiota välittävien alustojen (media) vertailusta. (Mayer 2009, 53.)

Kuvien luokittelu

Luvussa 5.7 Cohenin kappan arvot ovat alhaisia. Tähän voi olla ainakin kaksi syytä. Mahdollisesti menetelmä on puutteellinen eikä tuota luotettavia tuloksia. Toinen mahdollisuus on, että menetelmän (luokkien) kuvaus on ollut puutteellinen, kun rinnakkaisarvioitsija on sen saanut. Rinnakkaisarvioija ei ole näin ollen ymmärtänyt luokkia niin kuin tutkija on tarkoittanut. Tällöin menetelmä voi olla validi, mutta rinnakkaisarviointi olisi vaatinut uuden kierroksen. Jälkeenpäin ajateltuna olisi ollut hyvä koodata ensin pieni osa-aineistoa, jonka pohjalta olisi voinut hioa luokkien määritelmiä. Tämän jälkeen olisi koodattu loppu aineiston, jolle laskettu Cohenin kappa olisi tullut korkeammaksi.

Fotoni 1:ssä tutkittiin 10 ja Fotoni 4:ssä 11 kuvaa sekä Physica 1:ssä 28 ja Physica 4:ssä 24 kuvaa. Kuvien lukumäärä on suhteellisen pieni, joten kuvien luokittelusta voitaisiin päästä rinnakkaisarvioijan kanssa yksimielisyyteen. Tämän perusteella tarkennettaisiin vanhoja kriteereitä. Eräs vaihtoehto olisi, että fysiikkaa varten laadittaisiin eri aihealueiden kuvituksesta malliesimerkkejä. Niissä esitettäisiin kuva sekä siihen liittyvä sanallinen luokan kuvaus. Tämän ajatuksen esiateena voidaan pitää tässä tutkimuksessa olevaa kuviota 4.15, jossa ovat teksti ja siihen liittyvät visuaaliset vastineet. Valmiit esimerkit helpottaisivat oppikirjan laatijaa valitsemaan tekstiin sopivan kuvan.

6.2 Suosituksia mekaniikan opetukseen

Lukion fysiikan neljäs kurssi käsittelee kinematiikkaa ja dynamiikkaa. Molemmat ovat fysiikan opetuksessa keskeisiä aiheita. Seuraavassa tarkastellaan lyhyesti oppikirjaa ja opiskeluohjeita.

6.2.1 Oppikirja

Oppitunnilla kaikkea ei ehditä opettaa, joten osaa aiheesta jää itsenäiseen opiskeluun. Tämä on hyvä ottaa huomioon, jos valitaan uutta oppikirjaa.

Tutkimuskysymysten vastausten perusteella oppikirjan esitystapa voidaan jakaa

- tekstin luettavuuteen
- fysiikan oppikirjassa fysikaalisten termien käyttöön

- tekstin ja kuvien väliseen suhteeseen
- kuvien antamaan informaatioon.

Oppikirjoissa kullekin aihealueelle on annettu rajattu tila, joka pitäisi käyttää mahdollisimman tehokkaasti. Yleensä informaatio jakaantuu leipätekstin ja kuvien sekä erilaisten graafisten esitysten kesken. Informaation jako eri esitysmuotoihin erottaa oppikirjoja. Tämän tutkimuksen perusteella aloittava opiskelija hyötyy Physica-tyyppisen oppikirjan esitystavasta. Leipätekstiä on vähemmän, ja osa informaatiosta on infolaatikoissa sekä kuvateksteissä. Luettavuusindeksi (luku 2.7) ei näyttäisi erottelevan fysiikan oppikirjoja dynamiikan ja kinematiikan aihealueiden suhteen, joten sitä ei voitane pitää ainoana valintaperusteena. Teksti voi olla lyhyttä mutta silti vaikeaa.

Dynamiikan aihealueessa vuorovaikutuksen käsite on keskeinen. Joko sitä selitetään sanallisesti tai siihen liitetään graafinen olio eli vuorovaikutuskaavio. Tutkimustulokset tukevat jälkimmäistä esitystapaa. Kun tämä esitystapa on jo pakollisen kurssin oppikirjassa, niin syventävällä kurssilla voidaan vuorovaikutuskaavio vain kerrata ja keskittyä voimakuvion laadintaan sekä liikeyhtälön kirjoittamiseen. Vektorin käsite vuorovaikutuksen kuvaajana kannattaa ottaa käyttöön jo pakollisella kurssilla. Visuaalinen olio ja siihen liittyvä sanallinen ilmaisu on parempi kuin pelkkä sanallinen ilmaisu. Luvun 2.4.4 perusteella noviisille sopii kirja, jossa informaatio esitetään eri representaatioilla. Sen sijaan ekspertti ymmärtää lukemansa tekstin jo aikaisemman tietorakenteensa perusteella. Asiaankuuluvat skeemat ovat jo valmiina, joihin tarvittava uusi tieto voidaan liittää. Tällöin Fotoni-tyyppinen oppikirja voi olla parempi.

Luvun 2.5.3 multimediaoppimisen teorian koherenssi 3-, opastin- ja spatiaalisen jatkuvuuden periaatteiden toteutuminen on valintakriteerien perusta. Demonstraatioiden uudelleen esittäminen mittaustaulukoiden kanssa lisää turhaa tekstiä ja jakaa tarkkaavaisuutta. Oppikirjassa riittää hyvin vain kuvallinen viittaus oppitunnilla tehtyyn demonstraatioon sekä muutama tarkentava kysymys. Opastinperiaatteen mukaan kannattaa käyttää infolaatikoita ja harkitus-ti korostusvärejä sekä luokittelevia yhteenvetoja.

Eriyisen tärkeää on vuorovaikutuskaavion käyttö. Siinä konkretisoituu spatiaalisen jatkuvuuden periaate: avainsanat ovat kuviossa, selittävässä kuvatekstissä alla tai vieressä sekä itse päätektissä. Tämä koskee aiheesta riippumatta kaikkea informaation esittämistä.

6.2.2 Opiskeluohjeet

Viimeinen tutkimuskysymys käsitteli opiskelijoiden odotuksia. Tulosten perusteella näyttäisi siltä, että asenteet ja uskomukset ovat vakiintuneet eikä niissä ole tapahtunut suuria muutoksia Liikkeen lait -kurssilla. Mutta Dweck (2000, 143) korostaa, että minäkäsitystä voidaan muuttaa. Niinpä liitteen 4 kaltaiset opiskeluohjeet ja opettajan jatkuva kannustus, joka korostaa ponnistelua, ei älyn merkitystä, muokkaavat minäkäsitystä myönteiseen suuntaan.

Edellä mainitut toimenpiteet pitäisi aloittaa jo fysiikan pakollisella kurssilla, jonka alussa käsiteltäisiin älykkyyttä ja sen vaikutusta oppimiseen. Lähtökohtana voisivat olla kyvyt, joita Dweck (2000) pitää hankittavina ominaisuuksina. Älyä sovelletaan, ei mitata. (Dweck 2000, 43.) Lisäksi tämän tutkimuksen oppilaspalautteessa ryhmitöitä pidettiin hyvinä, joista esimerkki on kuviossa 4.5. Tässä yhteydessä Dweckin (2000, 42) havainto oppimisorientoituneista opiskelijoista oli mielenkiintoinen. He tunsivat tyydytystä neuvoessaan ryhmänsä jäseniä. Tämä viittaa siihen, että ekspertiopiskelijoita voisi käyttää apuopettajina. Tällöin nopeammin etenevät eivät turhautuisi.

Tämän tutkimuksen opetusmalli on kokonaisuus, jossa jokaisella osatekijällä on oma vaikutuksensa oppimistuloksiin. Koeryhmän (P-ryhmä) opetus-mallin osatekijöinä suhteessa kontrolliryhmään olivat

- uusi oppikirja ja sen multimediaoppimisen teoriaan perustuva esitystapa
- oppikirjassa oleva vuorovaikutuskaavio
- Minnesota-malli dynamiikan tehtävien harjoittelussa
- kurssin alussa jaetut opiskeluohjeet

Edellä mainittujen osatekijöiden vuorovaikutuksen seurauksena saatiin oppimistulos, joka antaa viitteitä fysiikan kinematiikan ja dynamiikan kurssien suunnitteluun.

6.3 Merkitys jatkotutkimukselle

Digitaalisuus näyttäisi vaikuttavan perinteisen oppikirjan asemaan, mutta mikä asema perinteisellä oppikirjalla tulee olemaan tulevaisuudessa fysiikan opetuksessa? Lähes kaikilla oppilailta on älypuhelin, ja tabletin käyttö lisääntyy luokkaopetuksessa. Edistääkö digitaalisuus fysiikan oppimista? Tämän tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että Physica-sarjan esitystapa, joka perustuu multimediaoppimisen periaatteille, on tehokas N2. ja N3. lain kontekstissa. Mutta päteekö havainto digitaalisessa oppimisympäristössä? Seuraavassa käsittelen muutamaa jatkotutkimuksen aihetta, joihin tämän tutkimuksen tulokset antaisivat suuntaviivoja.

Perinteinen vs. digitaalinen oppikirja. Onko merkitystä sillä minkä median kautta informaatio välitetään? Tarkoitus olisi vertailla dynamiikan aihealueessa perinteistä ja digitaalisella alustalla olevaa oppikirjaa sekä demonstraatioiden esitysformaattia. Vertailuryhmän oppikirjan esitystapa noudattaa multimediaoppimisen periaatteita. Koeryhmä 1:n oppikirja on tabletissa, mutta digitaalinen versio on samanlainen kuin paperiversio. Muuten käytetään molemmissa ryhmissä tämän tutkimuksen proseduureja, jotka koskevat demonstraatioita ja pienryhmiä. Koeryhmä 2:n oppikirja on samanlainen kuin koeryhmä 1:llä, mutta demonstraatioita ei tehdä luokassa vaan käytetään Internetistä saatavia fysiikan appletteja tai videoita. Koeryhmä 3:n kaikki materiaali on digitaalista:

oppikirja ja demonstraatiot. Kaikissa ryhmissä probleeman ratkaisu tapahtuu kynä-paperi-menetelmällä. Rockinson- Szapkiw, Courduff, Carter ja Bennett (2013) vertasivat e-kirjaa ja perinteistä oppikirjaa, mutta vertailu ei koskenut fysiikan oppikirjoja.

Toisena tutkimuskohteena voisi olla älykäs tutorsysteemi, joka perustuisi joko peli- tai tietokoneformaattiin. Voiko peli tai kognitiivinen tutor edistää N3. lain oppimista, kun vertailukohtana ovat aikaisemmat käsitetesti- tutkimustulokset? Vertailuryhmä käyttää perinteistä oppikirjaa, joka kuitenkin noudattaa multimediaoppimisen periaatteita ja käyttää vuorovaikutuskaaviota. Selventävät demonstraatiot tehdään luokassa. Koeryhmässä 1 N3. laki ja siihen liittyvät ennakkokäsitykset on muokattu peliformaatiksi esimerkiksi 3D-ympäristöön. Koeryhmä 2 käyttää tietokonetta, johon on rakennettu ihmistä jäljittelevä tutori esimerkiksi ACT-R-teorian mukaan (<http://act-r.psy.cmu.edu/about/>). Tutor käsittelee oppilaan antamia vastauksia ja ohjeillaan muokkaa ennakkokäsityksiä newtonilaiseen suuntaan. Systeemiin voidaan syöttää tieto joko puheena tai tekstinä, ja systeemi antaa vastauksen myös luonnollisella kielellä. Virtuaalito- dellisuus on eräs mahdollisuus älykkään tutorin ja ihmisen välisessä vuorovai- kutuksessa. Pelin vaikutusta oppijaan voidaan myös tutkia fMRI- kuvantamisella, jolloin saadaan tietoa aivojen reagoimista pelaamiseen.

Tämän tutkimuksen johdannon perusteella fysiikka koetaan vaikeana, abstraktina ja työtä vaativana oppiaineena. Voidaanko siis opiskelijan käsityk- siin itsestään fysiikan opiskelijana vaikuttaa? Dweckin (2000) tutkimusten pe- rusteella vastaus näyttäisi olevan myönteinen: käsitykset omasta pystyvyydestä saattavat muuttua. Myös tämän tutkimuksen tulokset antavat viitteitä tähän suuntaan.

Kokeilua varten vertailu- ja koeryhmät valitaan peruskoulun yhdeksäs- luokkalaaisista. Kokeilun tarkoituksena on vaikuttaa matemaattisten aineiden valintaan lukiossa. Hypoteesi on, että itseensä luottava valitsee pitkän matema- tiikan ja lisäksi fysiikassa sekä kemiassa jatkokurssit. Seurantatutkimuksessa lukion pakollisen fysiikan kurssin alussa käytetään aikaa sen seikan korostami- seen, että älykkyys on potentiaali eikä muuttumaton piirre, jolloin tutkimus voisi kohdistua syventävien kurssien valinneiden asenteisiin ja odotuksiin fy- siikassa.

Käsitetestit ja aivokuvantaminen. fMRI-kuvantamista voitaisiin soveltaa käsi- tetesteihin: miten ekspertin ja noviisin aivot toimivat ratkaisun yhteydessä? Mitkä aivoalueet aktivoituvat, kun ekspertti antaa oikean vastauksen ja noviisi ennakkokäsityksensä mukaisen vastauksen? Aktivoituuko ekspertillä edelleen hieman vähemmän se aivojen alue, jonka tehtävänä on ratkaista ristiriita oman käsityksen ja opetetun käsityksen välillä? Tutkimuksen tulos voisi antaa uusia ajatuksia käsitteellisen muutoksen opetukseen.

Oleellista on, että uusiin tekniikan sovelluksiin oppitunnilla mennään tut- kimuksen kautta. Aivojen prosessointikyky ei ole muuttunut eikä sitä muuta digitalisaatio. Rutiinit voi jättää koneelle, mutta ajattelu pitää jättää ihmiselle.

Lopuksi

Opettaminen on sekä tiedettä että taidetta. Tiedettä se on siinä mielessä, että käytettyjen opetusmallien pitäisi perustua tutkittuun tietoon. Taide tulee esille opettajan persoonassa. Vaikka sama kurssi opetetaan täysin saman mallin mukaan, niin siitä huolimatta opettajan persoonan vaikutusta oppimistuloksiin on vaikeaa määrittää. Tämän vuoksi hyviinkin oppimistuloksiin pitää suhtautua varauksella. Tämän tutkimuksen tekijän opettajakokemus on osoittanut, että joskus ryhmän motivoiminen on äärimmäisen vaikeaa. Fysiikan merkitys myönnetään, mutta nykyään yhä harvemmat oppilaat haluavat uhrata aikaansa joskus hyvinkin "puisevien" probleemoiden harjoitteluun. Psykoanalyytikko Erich Fromm on sanonut:

Voimme aluksi miettiä erästä elämän perustavista tosiseikoista: ettei mitään merkityksellistä saada aikaan ilman turhautumista. Ajatus oppimisesta, joka ei vaadi ponnistuksia, toisin sanoen turhautumista, saattaa sopia mainoksiin, mutta sellainen ei ole mahdollista, kun kyse on jostakin vähänkään merkitsevästä taidosta. (Matemaatiikkalehti Solmu)

YHTEENVETO

Aikaisemmassa tutkimuksessa (Utriainen 2004) ja käytännön opetustyössä havaittujen ongelmien perusteella opetukselle asetettiin seuraavat tavoitteet:

- 1) Edistää Newtonin toiseen ja Newtonin kolmanteen lakiin liittyvien tehtävien kvalitatiivista osaamista ja liikeyhtälön kirjoittamista hyödyn-tämällä vuorovaikutuskaaviota.
- 2) Yrittää vaikuttaa opiskelijan omiin menestymisen odotuksiin lukion mekaniikan kursseilla.

Tutkija oli noudattanut jo 2000-luvun alusta vuorovaikutteista opetusmallia, jonka tulokset ovat lisensiaatintutkimuksessa (Utriainen 2004). Kokemukset osoittivat, että N3. lain osaamisessa oli puutteita. Lisäksi Newtonin toisen lain mukaisen liikeyhtälön muodostamisessa oli ongelmia. Opetussuunnitelmien muutos teki mahdolliseksi kokeilun, jonka tutkimusasetelmana oli ei-satunnaistettu koe.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, missä määrin käytetty opetusmalli pystyi ratkaisemaan havaittuja ongelmia. Erityisesti tämä koskee oppikirjojen esitystapaerojen ja vuorovaikutuskaavion mahdollista vaikutusta mekaniikan oppimiseen. Lisäksi opiskeluohjeiden tarkentaminen voi vaikuttaa oppilaiden käsityksiin itsestään ja opiskelusta yleensä.

Kontrolliryhmänä, josta käytetään nimeä F-ryhmä, oli 19 oppilasta. Poikia oli 13 ja tyttöjä 6 kappaletta. Kokeilussa ryhmän oppikirjana olivat Fotoni-sarjan (Eskola, Ketolainen & Stenman 2001) Fysiikka luonnontieteenä ja Mekaniikka 1. Koeryhmää kutsuttiin P-ryhmäksi oppikirjan mukaan. Oppilaita oli 18, joista poikia 10 ja tyttöjä 8 kappaletta. Oppikirjana olivat Physica-sarjan (Hatakka, Saari, Sirviö, Viiri & Yrjänäinen 2005) Fysiikka luonnontieteenä ja Liikkeen lait. Lisäksi tämän ryhmän suoritusta tarkasteltiin myös Pyöriminen ja gravitaatio -kurssin jälkeen. Oppilaat valikoituivat ryhmiin omien kurssivalintojensa perusteella. Kokeilulukio oli maaseutulukio, jonka sisäänpääsyn keskiarvoraja oli noin seitsemän.

Kurssin alussa jokainen oppilas sai tuntikohtaisen kurssisuunnitelman arvosteluperusteineen. Lisäksi ilmoitettiin, että erilaiset testit kuuluvat opetukseen. P-ryhmä oli koeryhmä, ja Liikkeen lait -kurssin alussa annettiin opiskeluohjeet, joissa korostettiin kahta seikkaa: 1) Ennen oppituntia tutustutaan tulevaan aiheeseen, käsittekarttaan, aiheen otsikoihin ja kirjan teksteihin. 2) Pitää ponnistella suorituskyvyn ylärajalla, ja ottaa "sisu" käyttöön. Ajatus ponnisteluun, ei älyn, korostamisesta saatiin Dweckin artikkelista (1999). Kontrolliryhmässä kinematiikan ja dynamiikan käsitteitä opetettiin vuoronperään ja koeryhmässä ensin opetettiin kinematiikan ja sen jälkeen dynamiikan käsitteet. Koeryhmän lisämateriaalina olivat Minnesota-mallin (Heller, Keith & Anderson 1992) probleemanratkaisun kaaviot, joiden tarkoituksena oli edistää liikeyhtälöön liittyvää osaamista. Vain P-ryhmän oppikirjassa oli vuorovaikutuskaavio.

Molemmissa ryhmissä käsitteet otettiin käyttöön hahmottavalla lähestymistavalla, joka määrittää käsitteiden käyttöönoton järjestyksen (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994). Oppitunnilla työskenneltiin 3–4 oppilaan ryhmissä. Vuorovaikutteiset demonstraatiot noudattivat Sokoloffin ja Thorntonin (1997, 340) esittämää mallia.

Kvalitatiivista osaamista testattiin seuraavilla testeillä: FCI-voimakäsitystesti (*The Force Concept Inventory*), FMCE-testi (*The Force and Motion Conceptual Evaluation*), TUG-K-testi (*The Test of Understanding Graphs-Kinematics*), MBT-testi (*The Mechanics Base Line Test*) ja MPEX-testi (*Maryland Physics Expectations*). Lisäksi tehtiin kysely suhtautumisesta omaan työskentelyyn. Liikkeyhtälön kirjoittamista tutkittiin tasaisen ympyräliikkeen kontekstissa tehtävillä, joissa piti piirtää voimakuvio ja kirjoittaa liikkeyhtälö.

Oppimisen tehokkuutta mitattiin normeeratulla kasvutekijällä $\langle g \rangle$, henkiloikohtaisella kasvutekijällä g , ja efektikoon mittana oli Cohenin d . (Hake 1998; 2002a; 2002b; Cohen 1988). p -arvon laskemisessa käytettiin t -, χ^2 - ja U -testejä. Lisäksi tarkasteltiin efektikoon 95 %:n luottamusväliä.

Tulosten tarkempaa analyysia varten muodostettiin teoreettinen viitekehys. Sen muodostavat kognitiivinen kuormateoria (*Cognitive Load Theory*), siihen läheisesti liittyvä multimediaoppimisen teoria (*Cognitive Theory of Multimedia Learning*). Oppikirja-analysissä tutkittiin tekstien luettavuutta. Sitä kuvaavia indeksejä ovat molemmat Wiion indeksit, ARI (*Automated Readability Index*)-, GFS (*Gunning Fog Score*)- ja GI (*Gulpease Index*)-indeksit.

Kognitiivisen kuormateorian ytimen muodostavat viisi periaatetta: informaation varastointi säilömuistiin, tiedon lainaaminen ja uudelleen organisointi, satunnaisuus uuden tiedon syntyperiaatteena, variaatioiden tarkka rajaaminen (työmuistin kapasiteettirajoitus) ja organisoidun tiedon linkittyminen ympäristön kanssa. Elementtien liian suuri määrä työmuistissa muodostaa kognitiivisen kuorman. Kun kognitiivinen kuormateoria osoittaa kuormituksen syyn, niin multimediaoppimisen teoria esittää ne opetuksen suunnittelun keinot, joilla oppimista voidaan edistää. Multimediaoppimisen teoriassa prosessointi tapahtuu kahdessa kanavassa: teksti ja kuvat visuaalisessa ja puhutut sanat auditiivisessä kanavassa. Työmuistilla on sekä ajallinen että määrällinen kapasiteettirajoitus.

Seuraavassa esitetään tutkimustulokset tutkimuskysymyksittäin.

Tutkimuskysymys 1: Millaisia dynamiikan esitystapaeroja on oppikirjojen välillä?

a) Tekstin luettavuus

Fotoni- ja Physica-sarja poikkesivat toisistaan sanatiheyden ja kuvatiheyden suhteen, mutta tekstin luettavuuden suhteen eroa ei ollut. Informaatio jakautui eri tavalla eri esitysmuotojen kesken.

Kun muuttujina ovat kirjainten ja lauseiden lukumäärät, sanapituus (kirjaimet/sana), lausepituus (sanat/lause) ja pitkien sanojen lukumäärä (neljä kirjainta tai enemmän), niin suomenkieliset fysiikan oppikirjat ovat samankaltaisia.

Edellä kolmesta viime mainituista muuttujasta voidaan muodostaa luettavuusindeksi, joka mittaa sanoman ymmärrettävyyttä. Oppikirjat eivät eroa indeksin suhteen. Wiion I- ja II-, ARI-, GFS- ja GI-indeksit antavat samansuuntaiset tulokset. Wiion oman luokittelun perusteella (Wiio 1973/1994, 256) teksti on normaalikieltä (6,0-9,0), ja molempien indeksien perusteella sarjojen teksti on ymmärrettävää.

b) Fysikaalisten termien osuus päätekstissä

Termien keskimääräinen jakauma vektori-käsitettä lukuun ottamatta on lähes samankaltainen, mutta termien osuudet päätekstissä poikkeavat toisistaan.

Fysiikan oppikirjat sisältävät termejä, jotka saattavat tehdä tekstistä vaikeaa. Indeksit eivät ota huomioon termien vaikutusta ymmärrettävyyteen. Jos leipätekstissä painotetaan fysiikan terminologiaan kuuluvia tärkeitä termejä, niin kirjasarjat eivät eroa toisistaan. Jos termit luokitellaan sen mukaan, miten ne liittyvät dynamiikan peruslakiin, niin ongelmaksi muodostuu vuorovaikutuksen käsite. Fotoni-sarjassa edellä mainittua käsitettä ei käytetä graafista esitystä selventämään vaan päätekstissä vuorovaikutusilmiön kuvailuun.

c) Tekstin ja kuvien suhde

Multimediaoppimisen koherenssi 3-, opastin- ja spatiaalisen jatkuvuuden periaatteet toteutuvat paremmin Physica-sarjan oppikirjoissa.

Tekstin ja kuvien suhteen oppikirjoilla on selkeä ero. Physica-sarja noudattaa multimediaoppimisen teorian koherenssi-, opastin- ja spatiaalisen jatkuvuuden periaatteita. Informaatio jakautuu päätekstin, infolaatikoiden ja kuvatekstien kesken. Tarkkaavaisuuden jakautuminen pyritään estämään, kun kuviossa ja kuvatekstissä ovat päätekstin tärkeimmät sanat, mikä samalla vähentää työmuistin kuormitusta.

d) Kuvien luokittelu

Kuvat luokiteltiin somistaviin, soveltaviin, esittäviin, selittäviin ja täydentäviin. Luokittelu annettujen ohjeiden mukaan ei ole yksikäsitteinen. Kun haluttiin parantaa luokittelun luotettavuutta, otettiin käyttöön visuaalinen vastine. Se muodostaa yhteyden tekstin ja siitä muodostetun kuvan välille. Näyttäisi siltä, että rinnakkaisluokittelijan käyttö edellyttää, että luokittelijat neuvottelevat ristiriitatilanteissa. Vain siten luokittelun pätevyys parantuu.

Tutkimuskysymys 2: Miten Newtonin toisen ja Newtonin kolmannen lain kvalitatiiviseen osaaminen erosi koe- ja kontrolliryhmässä?

Sekä F-ryhmässä että P-ryhmässä voima opetettiin tarkastelemalla liikemäärän muutosnopeutta, mutta vain P-ryhmälle opetettiin dynamiikan tehtävän ratkai-

sun eri vaiheet Minnesota-mallin mukaan. Lisäksi P-ryhmällä oli Newtonin toisen lain harjoituksena liikeyhtälön laatiminen 13 eri kontekstissa. Opettaja tarkasti harjoitustehtävät. Ryhmillä oli yksi koe ja 26 eri testausta.

Päähavainto on, että joko P-ryhmä oli parempi tai ryhmien välillä ei ollut eroa.

- a) Molempien ryhmien normeerattujen kasvutekijöiden efektikoot olivat suuria, F-ryhmällä 2,34 ja P-ryhmällä 2,86. Henkilökohtaisessa vertailussa P-ryhmä oli parempi. Henkilökohtaisen kasvutekijän efektikoko oli 0,700.
- b) FCI-esitestissä F- ja P-ryhmän välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ja efektikoko oli pieni. FCI-jälkitestissä on viitteitä tilastollisen eron olemassaolosta P-ryhmän hyväksi. Effektikoko oli 0,878. P-ryhmä osasi kaikki FCI-testin Newtonin kolmatta lakia koskevat kysymykset. FMCE-testin kaikissa kysymyksissä P-ryhmän efektikoko oli suuri (1,38). TUG-K-testin kysymyksiä oli 21. Ryhmät eivät poikenneet tilastollisesti toisistaan, ja efektikoko oli keski-suuri 0,660
- c) P-ryhmän FMCE- testin Newtonin toisen lain osaaminen oli parempi viidessä testissä kuudesta, ja vain yhdessä ryhmät eivät poikenneet tilastollisesti mutta efektikoko oli suuri.

Tutkimuskysymys 3: Miten opiskelijat osasivat ratkaista mekaniikan perustietoja edellyttäviä lyhyitä tehtäviä?

Päähavainto on, että ryhmät eivät eronneet toisistaan lukuun ottamatta tasaista vaakasuoraa ympyräliikettä.

- a) Mekaniikan perustaitoja mittaavan MBT-testin tulos ei poikennut tilastollisesti merkitsevästi testin kaikissa kysymyksissä eikä myöskään Newtonin toista lakia koskevissa kysymyksissä. Kuitenkin P-ryhmää verrattiin aikaisempina vuosina lukuvuotta myöhemmin tehtyjen ylioppilaskokelaiden testien tuloksiin. P-ryhmän osaaminen oli samantasoista kuin abiturienttien vuotta myöhemmin.
- b) Tasainen ympyräliike ei muuta käsitystä P-ryhmän osaamisesta. Auto kaarteessa -tehtävässä liikeyhtälö osattiin kirjoittaa. P-ryhmä oli parempi kuin F-ryhmä efektikoon ollessa 1,131.

Yhteenvedona voidaan todeta, että jos otetaan kaikki ne testit (20 kpl), joissa P-ryhmä oli parempi tai ryhmien välillä ei ollut eroa, niin efektikojen keskiarvo on 0,806. Jos otetaan ne testit, joissa P-ryhmä oli parempi (11 kpl), niin efektikojen keskiarvo on 1,064. Testien joukossa ei ollut yhtään sellaista, joissa F-ryhmä olisi osoittanut parempaa osaamista. Vuorovaikutuskaavion käyttö vähentää epäoleellista ja edistää tuottavaa prosessointia. Lisäksi kaavioon voidaan tiivistää kaikki oleellinen, ja se on voimakuvion esiaste. Kun vuorovaikutuskaavio selittää paremmat voimakuviot, ja nämä puolestaan ovat välttämätön ehto, jotta oikea liikeyhtälö voidaan muodostaa, niin P-ryhmän paremmat op-

pimistulokset voidaan liittää vuorovaikutuskaavioon ja sitä kautta käytettyyn oppikirjaan.

Tutkimuskysymys 4: Miten odotukset muuttuivat Fysiikka luonnontieteenä -kurssin jälkeen?

Päähavainto on, että opiskelija näyttäisi muodostavan Fysiikka luonnontieteenä -kurssin perusteella käsityksensä fysiikan opetuksesta ja opiskeluun liittyvistä vaatimuksista. Muutokset olivat pieniä toisella vuosikurssilla.

P-ryhmässä oli ymmärretty ponnistelun merkitys. Lisäksi ymmärrettiin, että fysiikan käsitteet muodostavat johdonmukaisen systeemin. Sen sijaan kurssin tiukka aikataulu saattoi johtaa noviisin kaltaiseen ajatteluun. Annetut ohjeet Liikkeen lait -kurssin alussa, multimediaperiaatteita noudattava oppikirja ja ryhmissä työskentely loivat olosuhteet, joissa oppilaiden palautteen perusteella oli mukava työskennellä. Kun ymmärtää, niin jaksaa yrittää ja motivaatio säilyy.

LÄHTEET

- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J. & Tenenbaum, H. R. 2011. Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology* 103 (1), 1–18.
- Anderson, J. R. 2007. *How can the human mind occur in the physical universe*. NY: Oxford University Press.
- Anderson, J. R. 1993. Knowledge representation. In J. Anderson (Ed.) *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 17–44.
- Anderson, J. R., Reder, L. M. & Lebiere, C. 1996. Working memory: activation limitations on retrieval. *Cognitive Psychology* 30 (3), 221–256.
- Angell, C., Guttersrud, Ø., Henriksen, E. K. & Isnes, A. 2004. Physics: Frightful, but fun. Pupils' and teachers' views of physics and physics teaching. *Science Education* 88 (5), 683–706.
- Aronson, J., Fried, C. B & Cood, C. 2002. Reducing the effects of stereotype threat on african american college students by shaping theories of intelligence. *Journal of Experimental Social Psychology* 38 (2), 113–125.
- Atkinson, R. C. & Shiffrin, R. M. 1968. Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.) *The psychology of learning and motivation* 2. NY: Academic Press, 89–195.
- Ayres, P. 2006. Impact of reducing intrinsic cognitive load on learning in a mathematical domain. *Applied Cognitive Psychology* 20, 287–298.
- Ayres, P. & Sweller, J. 2014. The split-attention principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.) *Cambridge Handbook of Muldimedia Learning*, 2. painos. NY: Cambridge University Press, 206–226.
- Baddeley, A. D. 1992. Working memory. *Science* 255, 556–559.
- Baddeley, A. D. 2002. Is working memory still working? *European Psychologist* 7 (2), 85–97. Re-print publication.
- Baddeley, A. D. & Logie, R. H. 1999. Working memory: The multiple-component model. In A. Miyake & P. Shah (Eds.) *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge: Cambridge University Press, 28–61.
- Bailin, A. & Grafstein, A. 2001. The linguistic assumptions underlying readability formulae: a critique. *Language & Communication* 21, 285–301.
- Balta, N., Michinov, N., Balyimez, S. & Ayaz, M. F. 2017. A meta-analysis of the effect of Peer Instruction on learning gain: Identification of informational and cultural moderators. *International Journal of Educational Research* 86, 66–77.
- Bandura, A. 1994. Self-efficacy. In V. S. Ramachaudran (Ed.) *Encyclopedia of human behavior* 4, 71–81. NY: Academic Press.
- Beatty, I. D. & Gerace, W. J. 2002. Probing physics students' conceptual knowledge structures through term association. *American Journal of Physics* 70 (7), 750. Record created 2005-08-20, last modified 2009-08-02. Cern document server.

- Beichner, R. 1994. Testing student interpretation of Kinematics Graphs. *American Journal of Physics* 62, 750–762.
- Bourke, P. A., Duncan, J. & Nimmo-Smith, I. 1996. A general factor involved in dual- task performance decrement. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 49A, 525–545.
- Bransford, J. D., Brown, A. L. & Cocking, R. R. 2000. *How people learn: brain, mind, experience, and school: Expanded edition*. Washington D. C.: National Academy Press. Miten opimme: Aivot, mieli, kokemus ja koulu. Suom. A. Penttilä. Helsinki: WSOY.
- Bruner, J. S. 1961. The act of discovery. *Harvard Educational Review* 31 (1), 21–32.
- Brünken, R., Plass, J. L. & Leutner, D. 2003. Direct measurement of cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist* 38 (1), 53–61.
- Brünken, R., Plass, J. L. & Moreno, R. 2010. Current issues and open questions in cognitive load research. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Eds.) *Cognitive load theory*. NY: Cambridge University Press, 253–272.
- Brünken, R., Seufert, T. & Paas, F. 2010. Measuring cognitive load. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Eds.), *Cognitive load theory*. NY: Cambridge University Press, 181–202.
- Buabeng, I., Conner, L. & Winter, D. 2015. The lack of physics teachers: “Like a bath with the plug out and the tap half on”. *American Journal of Educational Research* 3 (6), 721–730.
- Bungum, B. 2013. Textbook images: how do they invite students into physics? *Physics Education* 48 (5), 657–664.
- Butcher, K. R. 2014. Multimedia principle. R. E. Mayer (Ed.) *The Cambridge handbook of multimedia learning*. 2. painos. NY: Cambridge University Press, 174–205.
- Byrne, M. D. 2009. Cognitive architecture. In A. Sears & J. A. Jacko (Eds.) *Human-computer interaction fundamentals*. NY: Taylor & Francis Group, 69–89.
- Chandler, P. & Sweller, J. 1991. Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction* 8 (4), 293–332.
- Chi, M. T. H. 2008. Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.) *Handbook of research on conceptual change*, 61–82. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J. & Glaser, R. 1981. Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science* 5 (2), 121–152.
- Clark, R. C., Nguyen, F. & Sweller, J. 2006. *Efficiency in learning: Evidence-based guidelines to manage cognitive load*. San Francisco: Pfeiffer John Wiley & Sons.
- Clark, R. E. & Feldon, D. F. 2014. Ten common but questionable principles of multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.) *The Cambridge handbook of multimedia learning*. (2nd ed.). NY: Cambridge University Press, 151–173.

- Clark, R. E., Kirschner, P. A. & Sweller, J. 2012. Putting students on the path to learning. The case for fully guided instruction. *American Educator* 2012, 6–11.
- Clement, J. 1982. Students' preconceptions in introductory mechanics. *The American Journal of Physics* 50 (1), 66–71.
- Cohen, J. 1988. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates
- Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K. 2000. *Research methods in education*. (5th ed.). Routledge Falmer, This edition was published in the Taylor & Francis e-Library 2005.
- Corbetta, M. & Shulman, G. L. 2002. Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience* 3, 201–215.
- Cowan, N. 1999. An embedded-processes model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.) *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge: Cambridge University Press, 62–101.
- Crossley, S. A., Greenfield, J. & McNamara, D. S. 2008. Assessing text readability using cognitively based indices. *Tesol Quarterly* 42 (3), 473–493.
- Crouch, C. H. & Mazur, E. 2001. Peer instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics* 69 (9), 970–977.
- Culbertson, R., Archambault, J., Burch, T., Crofton, M. & McClure, A. 2008. The effects of developing kinematics concepts graphically prior to introducing algebraic problem solving techniques. Action research required for the master of natural science degree with concentration in physics. Arizona State University.
- Derry, S. J. 1996. Cognitive schema theory in the constructivist debate. *Educational Psychologist* 31 (3/4), 163–174.
- Dimopoulos, K., Koulaidis, V. & Sklaveniti, S. 2003. Towards an analysis of visual images in school science textbooks and press articles about science and technology. *Research in Science Education* 33, 189–216.
- diSessa, A. A. 1993. Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction* 10 (2/3), 105–225.
- diSessa, A. A. 2006. A history of conceptual change research: threads and fault lines. Chapter 16 In R. K. Sawyer (Ed.) *Cambridge Handbook of the Learning Sciences*, 265–281. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- DuBay, W. H. 2004. *The principles of readability*. Impact Information. Costa Mesa, California.
- DuBay, W. H. 2006. *Smart language: readers, readability, and the grading of text*. Impact Information. Costa Mesa, California.
- Duit, R., Schecker, H., Höttecke, D. & Niedderer, H. 2014. Teaching physics. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.) *Handbook of research of science education volume II*. NY: Routledge. 434–456.
- Dunbar, K. N., Fugelsang, J. A. & Stein, C. 2007. Do naïve theories ever go away? The laboratory for complex thinking and reasoning: Genes, brains,

- cognition (Dunbar lab) Department of Psychology at the University of Toronto Scarborough.
- Dweck, C. S. 1999. Caution-praise can be dangerous. *American Educator* 23 (1), 4-9.
- Dweck, C. S. 2000. *Self-theories: Their role in motivation, personality, and development*. NY: Psychology Press.
- Dweck, C. S. & Leggett, E. L. 1988. A Social-cognitive approach to motivation and personality. *Psychological Review* 95 (2), 256-273.
- Eriksen, C. W. & St. James, J. D. 1986. Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception & Psychophysics* 40, 225-240.
- Escalada, L. T. & Moeller, J. K. 2006. The challenges of designing and implementing effective professional development for Out - of - field high school physics teachers. *Physics Education Research Conference Proceedings* 818, 11.
- Eskola, S. M., Ketolainen, P. & Stenman, F. 2001. *Fotoni 1: Fysiikka luonnontieteenä*. 1. painos. Helsinki: Otava.
- Eskola, S. M., Ketolainen, P. & Stenman, F. 2001. *Fotoni 4: Mekaniikka 1*. 1. painos. Helsinki: Otava.
- Eskola, S. M., Ketolainen, P. & Stenman, F. 2001. *Fotoni 5: Mekaniikka 2*. 1. painos. Helsinki: Otava.
- Espinoza, F. 2004. Enhancing mechanics learning through cognitively appropriate instruction. *Physic Education* 39, 181-187. Abstract.
- Eysenck, M. W. 2012. *Fundamentals of cognitive Psychology*. (2nd ed.). Hove: Psychology Press.
- Eysenck, M. W. & Keane, M. T. 2005. *Cognitive psychology. A student's handbook*. (5th ed.). Hove: Psychology Press.
- Facet Innovations. Diagnostic assessment: bridging research and practice. facet cluster - Forces as interactions. Viitattu 17.8.2016 <http://www.diagnoser.com/teacherapp/home#resources/cluster/CL-9/FacetCluster>
- Ferla, J., Valcke, M. & Schuyten, G. 2008. Relationships between student cognitions and their effects on study strategies. *Learning and Individual Differences* 18 (2), 271-278.
- Fugelsang, J. A. & Dunbar, K. N. 2005. Brain-based mechanisms underlying complex causal thinking. *Neuropsychologia* 43, 1204-1213.
- Geary, D. 2007. Educating the evolved mind: Conceptual foundations for an evolutionary educational psychology. In J. S. Carlson & J. R. Levin (Eds.) *Psychological perspectives on contemporary educational issues*. Greenwich, CT: Information Age Publishing, 1-99.
- Gerace, W. J. 2001. Problem solving and conceptual understanding. In S. Franklin, J. Marx & K. Cummings (Eds.) *Proceedings of the 2001 Physics education research conference*, 33-36.
- Ginns, P. 2005. Meta-analysis of the modality effect. *Learning and Instruction* 4, 313-331.

- Grimvall, G. 1993. Miksi taivas on sininen? Alkuteos Varför är himlen blå? Porvoo: WSOY
- Gyselinck, V., Jamet, E. & Dubois, V. 2008. The role of working memory components in multimedia comprehension. *Applied Cognitive Psychology* 22, 353–374.
- Halloun, I., Hake R. R., Mosca, E. P. & Hestenes, D. 1995. FCI -testi. <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>
- Haché, A. 2002. Jääkiekon fysiikka. Suom. Kimmo Pietiläinen. Helsinki: Hakapaino
- Hake, R. R. 1998. Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics* 66 (1), 64–74.
- Hake, R. R. 2002a. Lessons from the physics education reform effort. *Conservation Ecology* 5 (2), 28.
- Hake, R. R. 2002b. Relationship of individuals student normalized learning gains in mechanics with gender, high-school physics, and pretest scores on mathematics and spatial visualization. Physics Educations Research Conference; Boise, Idaho; August 2002.
- Hammer, D. 1991. Defying common sense: Epistemological beliefs in an introductory physics course. Unpublished doctoral dissertation, University of California, Berkeley.
- Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E. & Redish, E. F. 2005. Resources, framing, and transfer. In J. Mestre (Ed.) *Research and Perspectives*. Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Hatakka, J., Saari, H., Sirviö, J., Viiri, J. & Yrjänäinen, S. 2004. *Physica 1: Fysiikka luonnontieteenä*. 1.painos. Porvoo: WSOY.
- Hatakka, J., Saari, H., Sirviö, J., Viiri, J. & Yrjänäinen, S. 2005. *Physica 4: Liikkeen lait*. 1.painos. Porvoo: WSOY.
- Hatakka, J., Saari, H., Sirviö, J., Viiri, J. & Yrjänäinen, S. 2004. *Physica 5: Pyöriminen ja gravitaatio*. 1.painos. Porvoo: WSOY.
- Heikkinen, V. 2005. Ymmärrettävyyden osatekijöistä. *Kielikello* 3/2005. Kielenhuollon tiedotuslehti.
- Heikkinen, V., Lehtinen, O. & Lounela, M. 2001. Kuvia kirjoitetusta suomesta. *Kielikello* 3. Kielenhuollon tiedotuslehti.
- Heller, P., Keith, R. & Anderson, S. 1992. Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual problem solving. *American Journal of Physics* 60 (7), 627–636.
- Hestenes, D. 1987. Toward a modelling theory of physics instruction. *American Journal of Physics* 55 (5). 440–454.
- Hestenes, D. 1996. Modeling methodology for physics teachers. In E. Redish & J. Rigden (Eds.) *The changing role of the physics department in modern universities*, American Institute of Physics Part II, 935–957.
- Hestenes, D. n.d. Modeling instruction in high school physics. Findings of the modeling workshop project (1994-00).

- Hestenes, D. & Halloun, I. 1995. Interpreting the force concept inventory: A response to march 1995 critique by Huffman and Heller. *The Physics Teacher* 33, 502, 504–506.
- Hestenes, D. & Wells, M. 1992. A mechanics baseline test. *The Physics Teacher* 30, 159–166. Suomenkielinen versio <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. 1992. Force concept inventory. *Physics Teacher* 30 (3), 141–158.
- Horz, H. & Schnotz, W. 2010. Cognitive load in learning with multiple representations. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Eds.) *Cognitive load theory*. NY: Cambridge University Press, 229–252.
- Huffman, D. & Heller, P. 1995a. What does the force concept inventory actually measure? *The Physics Teacher* 33, 138–143.
- Huffman, D. & Heller, P. 1995b. Interpreting the force concept inventory: A reply to Hestenes and Halloun. *The Physics Teacher* 33, 503,507–511.
- Howes, A. & Young, R. M. 1996. The role of cognitive architecture in modelling the user: Soar's learning mechanism. Revised version for *Human-Computer Interaction special issue on "Cognitive Architectures and HCI"*.
- Jansma, J. M., Ramsey, N. F., Slagter, H. A. & Kahn, R. S. 2001. Functional anatomical correlates of controlled and automatic processing. *Journal of Cognitive Neuroscience* 13, 730–743. Abstract
- Kahneman, D. 1973. *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Kalyuga, S. 2010. Schema acquisition and sources of cognitive load. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Eds.) *Cognitive load theory*. NY: Cambridge University Press, 48–64.
- Kalyuga, S. & Renkl, A. 2010. Expertise reversal effect and its instructional implications: introduction to the special issue. *Instructional Science* 38 (3), 209–215.
- Kalyuga, S. & Sweller, J. 2014. The redundancy principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.) *Cambridge handbook of multimedia learning*. (2nd ed.). NY: Cambridge University Press, 247–262.
- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. 1998. Levels of expertise and instructional design. *Human Factors* 40, 1–17.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J. & Sweller, J. 2001. When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of Educational Psychology* 93, 579–588.
- Karvonen, P. 1994. Milläin kriteerein oppikirjojen tekstiä tulisi tarkastella? *Kielikello* 1. Kielenhuollon tiedotuslehti.
- Kauppila, R. A. 2004. *Opi ja opeta tehokkaasti*. Psykkinen valmennus oppimisen tukena. 2. painos. PS-kustannus, Opetus 2000. Juva: WS Bookwell Oy.
- Keskinen, R., Manninen, S., Miettinen, H. I. & Oja, H. 1985. *Kysy - fyysikko vastaa*. Toim. Pentti Paatero. Suomen fyysikkoseura - Finlands Fysikerförening r.y. Jyväskylä: Gummerus oy.

- Kim, E. & Pak, S. 2002. Students do not overcome conceptual difficulties after solving 1000 traditional problems. *American Journal of Physics* 70 (7), 759–765.
- Kincaid, J. P., Fishburne Jr, R. P., Rogers, R. L. & Chissom, B. S. 1975. Derivation of new readability formulas for navy enlisted personnel.
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. 2006. Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist* 41 (2), 75–86.
- Klare, G. R. 1976. A second look at the validity of readability formulas. *The Journal of Reading Behavior* 8 (2), 129–152.
- Klare, G. R. 2000. The measurement of readability: Chapter 1 Useful information for communicators. *ACM Journal of Computer Documentation* 24 (3), 11–25.
- Koponen, I., Jauhiainen, J. & Lavonen, J. 2000. FCI-voimakäsitystesti. Vuoden 1995 suomenkielinen versio. University of Helsinki, Department of Physics.
- Korhonen, T. 2006. Oppimisen neurobiologiset mekanismit. Teoksessa H. Hämäläinen, M. Laine, O. Aaltonen & A. Revonsuo (toim.) *Mieli ja aivot*, 200–211. Turku: Turun yliopisto, Kognitiivisen neurotieteen tutkimuskeskus.
- Kurki-Suonio, K. 2013. Concepts as gestalts in physics teacher education. *Gestalt Theory* 35 (1), 59–76.
- Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994. *Fysiikan merkitykset ja rakenteet*. Helsinki: Limes ry.
- Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1998. Ajatuksia didaktisesta fysiikasta. Teoksessa J. Lavonen & M. Erätuuli (toim.) *Tuulta purjeisiin*. Jyväskylä: Atena Kustannus.
- Kuusela, J. 2003. Lukioiden tuloksiin vaikuttavista tekijöistä. *Opetushallituksen moniste* 13/2003.
- Laird, J. E. 2008. Extending the Soar cognitive architecture. In *Proceedings of the 1st artificial general intelligence conference*. Division of Computer Science and Engineering, University of Michigan.
- Langley, P., Laird, J. E., & Rogers, S. 2009. Cognitive architectures: Research issues and challenges. *Cognitive Systems Research* 10, 141–160.
- Lavie, N. 1995. Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance* 21, 451–648.
- Lavie, N. & Tsal, Y. 1994. Perceptual load as a major determinant of locus of selection in visual attention. *Perception & Psychophysics* 56, 183–197.
- Leach, J. & Scott, P. 2003. Individual and sociocultural views of learning in science education. *Science & Education* 12, 91–113.
- Leahy, W. & Sweller, J. 2005. Interactions among the imagination, expertise reversal, and element interactivity effects. *Journal of Experimental Psychology: Applied* 11 (4), 266–276.

- Leahy, W., Chandler, P. & Sweller, J. 2003. When auditory presentations should and should not be a component of multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology* 17, 401–418.
- Lehto, H. & Luoma, T. 1994/1998. *Fysiikka 1. Fysiikka luonnontieteenä*. 6. uudistettu painos. Helsinki: Kirjayhtymä.
- Levin, J. R. 1981. On functions of pictures in prose. In F. J. Pirozzolo and M. C. Wittrock (Eds.) *Neuropsychological and Cognitive Processes in Reading*. NY: Academic Press, 203–228. Käsikirjoitus em. teokseen.
- Levin, J. R. & Mayer, R. E. 1993. Understanding illustrations in text. In B. K. Britton, A. Woodward & M. Binkley (Eds.) *Learning from textbooks*. Hillsdale, NJ: Erlbaum Associates, 95–103.
- Lin, T.-J., Liang, J.-C. & Tsai, C.-C. 2015. Identifying taiwanese university students' physics learning profiles and their role in physics learning self-efficacy. *Research in Science Education* 45, 605–624.
- Lin, C.-L., Tsai, C.-C. & Liang, J.-C. 2012. An investigation of two profiles within conceptions of learning science: an examination of confirmatory factor analysis. *European Journal of Psychology of Education* 27 (4), Abstract, 499–521.
- Lipson, A. 2001. A three-school comparative analysis of student usage patterns and attitudes toward PIVoT (The Physics Interactive Video Tutor). MIT center for educational computing initiatives. Teaching & Learning Laboratory. Massachusetts Institute of Technology.
- Logan, G. D. 1988. Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review* 95, 492–527.
- Logie, R. H. 1995. Visuo-spatial working memory. Chapter four. Working memory. Hove, UK: Lawrence Erlbaum Associates.
- Low, R. & Sweller, J. 2014. The modality principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.) *Cambridge handbook of muldimedia learning*. (2nd ed.) NY: Cambridge University Press, 227–246.
- Lucisano, P., Piemontese, M. E. 1988 GULPEASE: una formula per la predizione della difficoltà dei testi in lingua italiana. *Scuola e città* 3.
- Lukin, T. 2013. Motivaatio matematiikan opiskelussa – seurantatutkimus motivaatiotekijöistä ja niiden välisistä yhteyksistä yläkoulun aikana. Publications of the University of Eastern Finland, Dissertation in Education, Humanities, and Theology 47.
- Mailloux, S. L., Johnson, M. E., Fisher, D. G. & Pettibone, T. J. 1995. How reliable is computerized assessment of readability? *Computers in Nursing* 13 (5), 221–225.
- Maloney, D. P. 2011. An overview of physics education research on problem solving. Getting started in PER. Reviews in PER Vol 2. College Park, MD: American Association of Physics Teachers.
- Marshall, D., Summer, M. & Woolnough, B. 1999. Students' conceptions of learning in an engineering context. *Higher Education* 38, 291–309.

- Masson, S., Potvin, P., Riopel, M., Brault Foisy, L. -M. & Lafortune, S. 2012. Using fMRI to study conceptual change: Why and how? *International Journal of Environmental and Science Education* 7 (1), 19–35.
- Mayer, R. E. 2009. *Multimedia learning*. (2nd ed.). NY: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. 2014. Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.) *The Cambridge handbook of multimedia learning*. (2nd ed.). NY: Cambridge University Press, 43–71.
- Mayer, R. E. & Fiorella, L. 2014. Principles for reducing extraneous processing in multimedia learning: coherence, signaling, redundancy, spatial contiguity, and temporal contiguity principles. In R. E. Mayer (Ed.) *The Cambridge handbook of multimedia learning*. (2nd ed.). NY: Cambridge University Press, 279–315.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. 2003. Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist* 38 (1), 43–52.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. 2010. Techniques that reduce extraneous cognitive load and manage intrinsic cognitive load during multimedia learning. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Eds.) *Cognitive load theory*. NY: Cambridge University Press, 131–152.
- Mayer, R. E., Moreno, R., Boire, M. & Vagge, S. 1999. Maximizing constructivist learning from multimedia communications by minimizing cognitive load. *Journal of Educational Psychology* 91 (4), 638–643.
- McDermott, L. C. 1991. Millikan lecture 1990: What we teach and what is learned: closing the gap. *American Journal of Physics* 59 (4), 301–315.
- McDermott, L. C. & Redish, F. R. 1999. Resource Letter PER-1: Physics education research. *American Journal of Physics* 67 (9), 755–767.
- McLaughlin, G. H. 1969. SMOG grading – A new readability formula. *Journal of Reading* 22, 639–646.
- Metsämuuronen, J. 2006. Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä. 3. laitos, 2. korjattu painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Miller, G. A. 1956. The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *The Psychological Review* (63), 81–97. Reproduced with the author's permission by Stephen Malinowski.
- Minstrell, J. 1991. Facets of students' knowledge and relevant instruction. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.) *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies, Proceedings of an International Workshop, Bremen, Germany, March 4–8*, 110–128. Kiel: IPN 1992.
- Miyake, A. & Shah, P. 1999. Toward unified theories of working memory: Emerging general consensus, unresolved theoretical issues, and, future research directions. In A. Miyake & P. Shah (Eds.) *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge: Cambridge University Press, 442–481.
- Moreno, R. 2005. Instructional technology: Promise and pitfalls. In L. PytlikZilling, M. Bodvarsson & R. Bruning (Eds.) *Technology-based*

- education: Bringing researchers and practitioners together, 1–19. Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Moreno, R. & Mayer, R. E. 2010. Techniques that increase generative processing in multimedia learning: Open questions for cognitive load research. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Eds.) *Cognitive load theory*. NY: Cambridge University Press, 153–177.
- Moreno, R. & Park, B. 2010. Cognitive load theory: Historical development and relation to other theories. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Eds.) *Cognitive load theory*. NY: Cambridge University Press, 9–28.
- Mortimer, E. & Scott, P. 2003. *Meaning making in secondary science classrooms*. E-kirja. Open University Press Mc Craw-Hill Education.
- Mäkelä, S. & Suvanto, T. 1983. *Onko pisara pyöreä? Toinen painos*. Keuruu: Otava
- Mäkelä, S. & Suvanto, T. 1999. *Limulintu ja muita luonnontieteellisiä tarinoita*. Tampere: Tammerpaino oy
- Mäkynen, A. 2014. Vuorovaikutuskaavion käytön vaikutus voimakäsitteen oppimiseen mekaniikan opetusjaksolla. Väitöskirja. Jyväskylä studies in education, psychology and social research 496.
- Newell, A. & Simon, H. A. 1976. Computer science as empirical inquiry: Symbols and search. *Communications of the ACM* 3 (19), 113–126.
- Niedderer, H. & Schecker, H. 1992. Towards an explicit description of cognitive systems for research in physics learning. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.) *Research in physics learning - Theoretical issues and empirical studies*. Proceedings of an International Workshop in Bremen. Kiel: IPN, 74–98.
- Norman, D. A. & Shallice, T. 1986. Attention to action: Willed and automatic control of behavior.
- Novak, J. D. & Gowin, D. B. 1984. *Opi oppimaan*. Suom. P. Lehto-Kaven, Gaudeamus 1995. Tampere: Tammer-paino Oy.
- Nuckolls, C. W. 1998. Cognitive anthropology. In W. Bechtel & G. Graham (Eds.) *A Companion to cognitive science*. Oxford: Blackwell Publishers, 140–146.
- Näätänen, R., Laakso, J., Niemi, P. & Peltola, R. 2000. *Tietoa käsittelevä ihminen*. Psykologia 3. Helsinki: WSOY.
- O'Craven, K., Downing, P. & Kanwisher, N. 1999. fMRI evidence for objects as the units of attentional selection. *Nature* 401, 584–587. Lyhennelmä *Naturessa*.
- Oon, P.-T. & Subramaniam, R. 2011. On the declining interest in physics among Students—From the perspective of teachers. *International Journal of Science Education* 33 (5), 727–746.
- Opinto.net 2017. *Psykologia/Kognitiivinen psykologia: Sensorinen muisti* <http://www.opinto.net/web/parser.php?sec=psyk&page=kogni-005-1>
- Ornek, F., Robinson, W. R. & Haugan, M. P. 2008. What makes physics difficult? *International Journal of Environmental & Science Education* 3 (1), 30–34.

- Osborne, J. 2014. Scientific practices and inquiry in the science classroom. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.) *Handbook of research of science education volume II*. NY: Routledge, 579-599.
- Paas, F. & Sweller, J. 2014. Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.) *The Cambridge handbook of multimedia learning*. (2nd ed.). NY: Cambridge University Press, 27-42.
- Paas, F. & van Merriënboer, J. 1994. Variability of worked examples and transfer of geometrical problem solving skills: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology* 86 (1), 122-133.
- Paas, F., Camp, G. & Rikers, R. 2001. Instructional compensation for age-related cognitive declines: Effects of goal specificity in maze learning. *Journal of Educational Psychology* 93 (1), 181-186.
- Paas, F., Renkl, A. & Sweller, J. 2004. Cognitive load theory: Instructional implications of the interaction between information structures and cognitive architecture. *Instructional Science* 32, 1-8.
- Paas, F., van Gog, T. & Sweller, J. 2010. Cognitive load theory: New conceptualizations, specifications, and integrated research perspectives. *Educational Psychology Review* 22, 115-121.
- Paas, F., van Merriënboer, J. J. G. & Adam, J. J. 1994. Measurement of cognitive load in instructional research. *Perceptual and Motor Skills* 79, 419-430.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H. & Van Gerven, P. W. 2003. Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist* 38 (1), 63-71.
- Paivio, A. 2006. Dual coding theory and education. Draft chapter for the conference on "Pathways to literacy achievement for high poverty children". The University of Michigan School of Education.
- Persson, T., af Geijerstam, Å. & Liberg, C. 2016. Features and functions of scientific language(s) in TIMSS 2011. *Nordic Studies in Science Education* 12 (2), 176-196.
- Petitto, L. A. & Dunbar, K. N. 2009. Educational neuroscience: New discoveries from bilingual brains, scientific brains, and the educated mind. Published in final edited form as: *Mind Brain Education* 3 (4), 185-197. NIH Public Access Author Manuscript *Mind Brain Education*. Author manuscript available in PMC 2012 April 27.
- Pollock, E., Chandler, P. & Sweller, J. 2002. Assimilating complex information. *Learning and Instruction* 12, 61-86.
- Pollock, S. J. 2005. No single cause: learning gains, student attitudes, and the impacts of multiple effective reforms. *American Institute of Physics Proceedings* 790, 137-140.
- Posner, M. I. 1980. Orienting of attention: The VIIth Sir Frederic Bartlett lecture. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 32A, 3-25.
- Pozzer, L. L. & Roth, W. M. 2003. Prevalence, function, and structure of photographs in high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching* 40 (10), 1089-1114.

- Prieto, L. P., Sharma, K., Kidzinski, L. & Dillenbourg, P. 2017. Orchestration load indicators and patterns: In-the-wild Studies using mobile eye-tracking. *Käsikirjoitus. IEEE Transactions on Learning Technologies* (99), 1–14.
- Puolimatka, T. 2002. *Opetuksen teoria. Konstruktivismista realismiin*. Helsinki: Tammi.
- Putman, R. 1987. Structuring and adjusting content for students: A study of live and simulated tutoring of addition. *American Educational Research Journal* 24 (1), 13–48.
- Redish, E. F. 1994. The implications of cognitive studies for teaching physics. *American Journal of Physics* 62 (6), 796–803.
- Redish, E. F. 2003. *Teaching physics with the physics suite*. Wiley & Sons. e-book. Päivitetty 7.3.2018
- Redish, E. F. 2004. A theoretical framework for physics education research: Modeling student thinking: The proceedings of the Enrico Fermi summer school in physics, Course CLVI (Italian physical society).
- Redish, E. F., Saul, J. M. & Steinberg, R. N. 1998. Student expectations in introductory physics. *American Journal of Physics* 66 (3), 212–224.
- Renkl, A. 2014. The worked out example principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.) *The Cambridge handbook of multimedia learning*, 391–412. (2nd ed.). NY: Cambridge University Press. Viitattu 25.8.2014.
- Renkl, A. & Atkinson, R. K. 2010. Learning from worked-out examples and problem solving. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Eds.) *Cognitive load theory*. NY: Cambridge University Press, 91–108.
- Ricker, T. J., AuBuchon, A. & Cowan, N. 2010. Working memory. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science* 1 (4), 573–585.
- Ritter, F. E. & Young, R. M. 2001. Embodied models as simulated users: introduction to this special issue on using cognitive models to improve interface design. *International Journal of Human-Computer Studies* 55, 1–14.
- Robins, R. W. & Pals, J. L. 2002. Implicit self-theories in the academic domain: Implications for goal orientation, attributions, affect, and self-esteem change. *Self and Identity* 1: 313–336.
- Rockinson-Szapkiw, A. J., Courduff, J., Carter, K. & Bennett, D. 2013. Electronic versus traditional print textbooks: A comparison study on the influence of university students' learning. *Computers & Education* 63, 259–266.
- Rosenbloom, P. S. 2017. Serc talks: "Can graphical models provide a sufficient basis for general intelligence?" Stevens Institute of Technology, System Engineering Research Center. Abstract.
- Rumelhart, D. E. 1980. Schemata: The building blocks of cognition. In R. J. Spiro, B. C. Bruce & W. F. Brewer (Eds.) *Theoretical issues in reading comprehensions: Perspectives from cognitive psychology, linguistics, artificial intelligence, and education*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 33–58.

- Rumelhart, D. E. & McClelland, J. L. 1986. On learning the past tenses of English verbs. In J. L. McClelland and D. E. Rumelhart the PDP research group. *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition. Volume 2 Ch 18: Psychological and Biological Models.* Cambridge, MA: MIT Press
- Rumelhart, D. E. & Ortony, A. 1977. The representation of knowledge in memory. In R. C. Anderson, R. J. Spiro & W. E. Montague (Eds.) *Schooling and the acquisition of knowledge.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Sabella, M. 1999. Using the context of physics problem solving to evaluate the coherence of student knowledge. Ph. D. thesis, University of Maryland.
- Sabella, M. & Redish, E. F. 2007. Knowledge organization and activation in physics problem solving. *American Journal of Physics* 75, 1017–1029.
- Santosa, P. I. 2006. Helping users, mentally: A Lesson learned from hypertext and web navigation. In M. W. Guah & W. Currie (Eds.) *Internet strategy: The road to web services solutions.* London: IRM Press (Idea Group Inc.) 101–134.
- Savinainen, A. 2004. High school students' conceptual coherence of qualitative knowledge in the case of the force concept. Dissertation. University of Joensuu. Department of Physics.
- Savinainen, A. & Kauhanen, K. 2002. TUG-K-testin suomennos. Kuopion Lyseon lukio. Lataus sivulta: <https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?A=TUGK&S=4>. Salasana pitää kysyä erikseen.
- Savinainen, A. & Scott, P. 2002a. The Force Concept Inventory: a tool for monitoring student learning. *Physics Education* 37, 45–52.
- Savinainen, A., Scott, P. & Viiri, J. 2005. Using a bridging representation and social interactions to foster conceptual change: Designing and evaluating an instructional sequence for Newton's third law. *Science Education* 89 (2), 175–195.
- Savinainen, A. & Viiri, J. 2003. Using the Force Concept Inventory to characterise students' conceptual coherence. In L. Haapasalo and K. Sormunen (Eds.): *Towards meaningful mathematics and science education, Proceeding on the IXX Symposium of Finnish Mathematics and Science Education Research Association.* Bulletin of Faculty of Education 86, University of Joensuu, 142–152.
- Schneider, W. & Shiffrin, R. M. 1977. Controlled and automatic human information processing: 1. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84, 1–66.
- Schnotz, W. 2014. An Integrated model of text and picture comprehension. In R. E. Mayer (Ed.) *The Cambridge handbook of multimedia learning.* (2nd ed.). NY: Cambridge University Press, 72–103.
- Schnotz, W. & Kürschner, C. 2007. A reconsideration of cognitive load theory. *Educational Psychology Review* 19, 469–508.

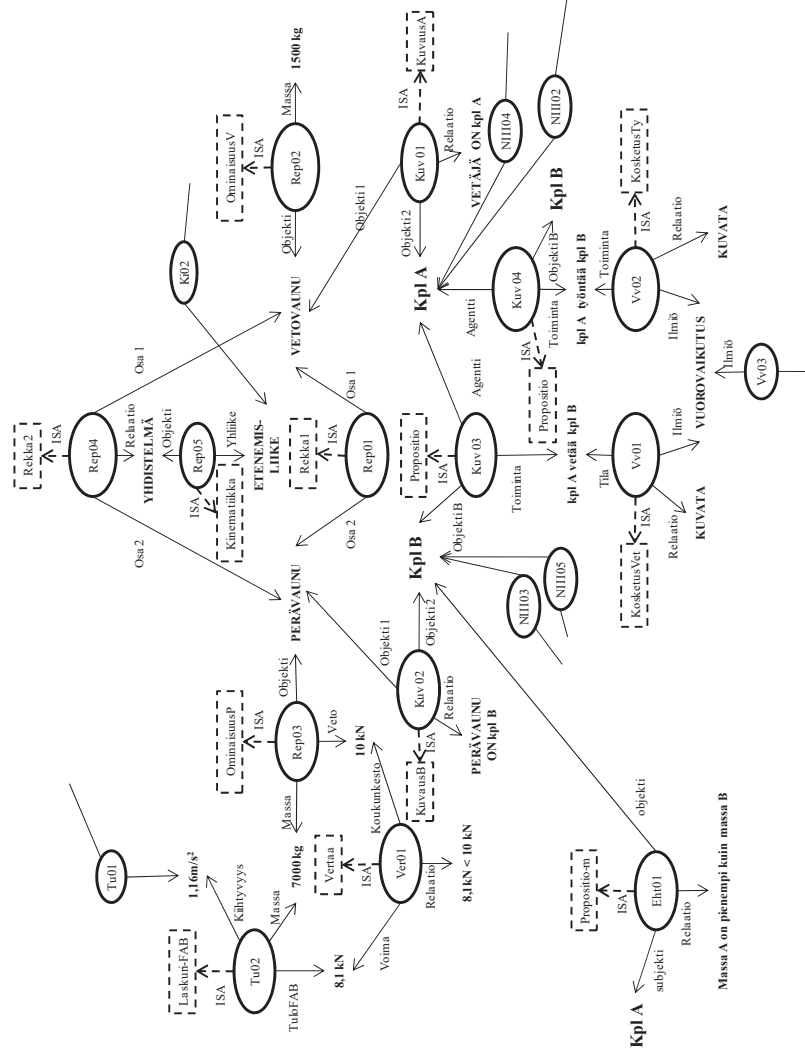
- Shadish, W. R., Cook, T. D. & Campbell, D. T. 2002. *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Belmont, CA: Wadsworth Cengage Learning.
- Shallice, T. & Burgess, P. 1996. The domain of supervisory processes and temporal organisation of behavior. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 351, 1405–1412.
- Sharma, Sna, Ahluwalia, P. K. & Sharma, S. K. 2013. Students' epistemological beliefs, expectations, and learning physics: An international comparison. *Physical review special topics. Physics Education Research* 9 (1), 010117-1-010117-13.
- Shiffrin, R. M. & Schneider, W. 1977. Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review* 84, 127–190.
- Slykhuis, D. & Park, J. C. 2006. The efficacy of online MBL activities. *Journal of Interactive Online Learning* 5 (1), 14–31.
- Smith, E. A. & Senter, R. J. 1967. Automated readability index. Aerospace medical research laboratories & University of Cincinnati.
- Smith, J. P. III, diSessa, A. A. & Roschelle, J. 1993. Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. *The Journal of the Learning Sciences* 3 (2), 115–163.
- Smith, T. I. & Wittmann, M. C. 2008. Applying a resources framework to analysis of the Force and Motion Conceptual Evaluation. *Physical Review ST Physics Education Research* 4.
- Spiegel, M. R. 1972. *Theory and problems of statistics in SI (metrics)*. First edition. New York: McGraw-Hill.
- Sokoloff, D. R. & Thornton, R. K. 1997. Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. *Physics Teacher* 35, 340–347.
- Stiller, K. D., Freitag, A., Zinnbauer, P. & Freitag, C. 2009. How pacing of multimedia instructions can influence modality effects: A case of superiority of visual texts. *Australasian Journal of Educational Technology* 25 (2), 184–203.
- Sweller, J. 1994. Cognitive load theory, learning difficulty and instructional design. *Learning and Instruction* 4, 295–312.
- Sweller, J. 2002. Visualisation and instructional design. In *Proceedings of the International Workshop on Dynamic Visualizations and Learning Knowledge Media research Center*. Germany: Tübingen. 1501–1510.
- Sweller, J. 2008. *Cognitive load theory*. Developmental and Educational Psychology. University of New South Wales.
- Sweller, J. 2010a. Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review* 22 (2), 123–138.
- Sweller, J. 2010b. Cognitive load theory: Recent theoretical advances. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Eds.) *Cognitive load theory*. Cambridge University Press, 29–47.
- Sweller, J. & Chandler, P. 1994. Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction* 12 (3), 185–233.

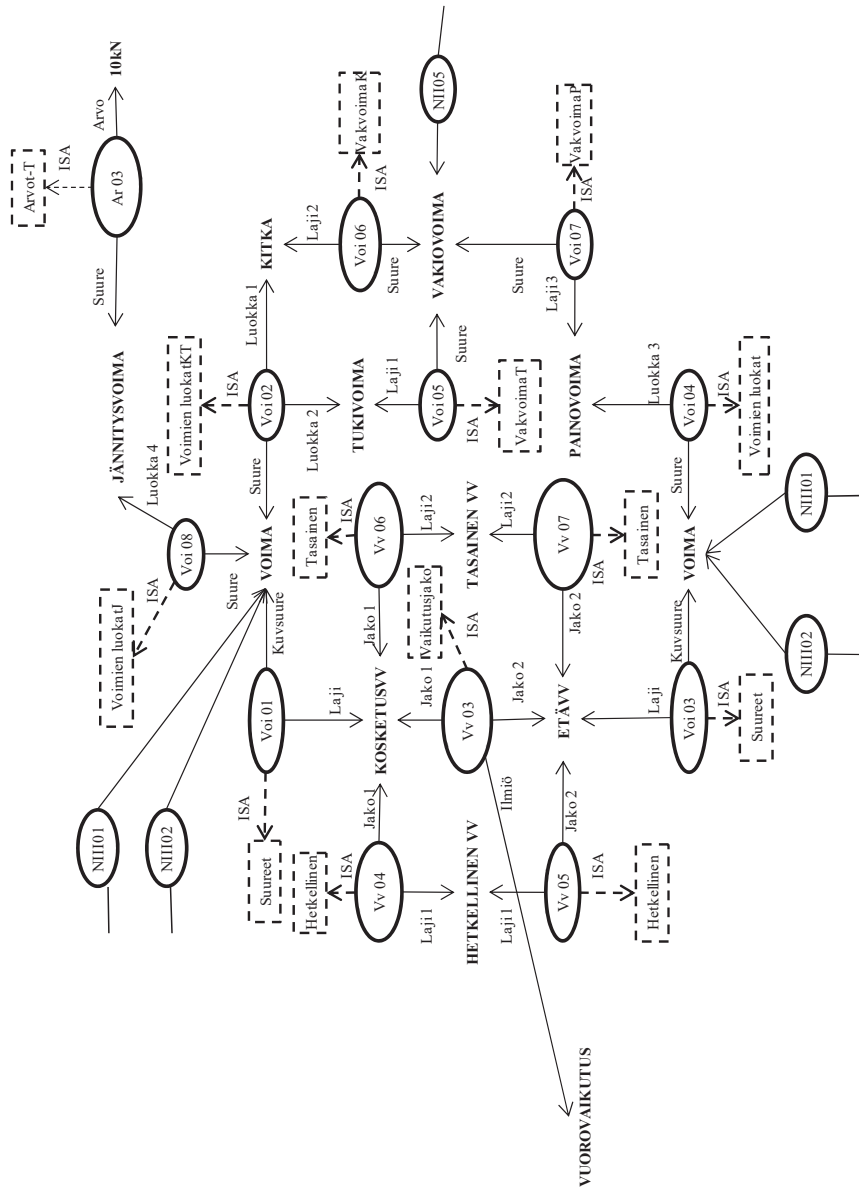
- Sweller, J. & Sweller, S. 2006. Natural information processing systems. *Evolutionary Psychology* 4, 434–458.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. 1998. Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review* 10 (3), 251–296.
- Syrjälä, L., Ahonen, S., Syrjäläinen, E. & Saari, S. 1994. Laadullisen tutkimuksen työtapoja. Rauma: Kirjayhtymä Oy.
- Taanila, A. 2012. Määrällisen aineiston kerääminen. Haaga-Helia ammattikorkeakoulu.
- Thornton, R. K., Kuhl, D., Cummings, K. & Marx, J. 2009. Comparing the force and motion conceptual evaluation and the force concept inventory. *Physical review special topics - Physics Education Research* 5, 1–8.
- Thornton, R. K. & Sokoloff, D. R. 1998. Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *American Journal of Physics* 66 (4), 338–352.
- Tirri, K. 2017. Miten antaa lapselle palautetta. Helsingin yliopisto, tutkijakollegium. Ylen Aamu-tv:n haastattelu 26.9.2017.
- Tsai, C.-C. 2004. Conceptions of learning science among high school students in Taiwan: a phenomenographic analysis. *International Journal of Science Education* 26 (14), 1733–1750.
- Tuminaro, J. 2004. A cognitive framework for analyzing and describing introductory students' use and understanding of mathematics in physics. PhD Dissertation, University of Maryland.
- Tuminaro, J. & Redish, E. F. 2007. Elements of a cognitive model of physics problem solving: Epistemic games. *Physical review special topics - Physics Education Research* 3 (2), 020101-1–020101-22.
- Tynjälä, P. 2000. Oppiminen tiedon rakentamisena: Konstruktiivisen oppimiskäsityksen perusteita 1.–2. painos. Tampere: Tammer-Paino Oy.
- Utriainen, O. 2004. Kokeellisuus ja voiman käsitteen merkityksen rakentaminen: ymmärtäminen ja selittäminen hahmottavassa ja mallintavassa lähestymistavassa. Helsingin yliopisto. Fysikaalisten tieteiden laitos. Lisensiaatintutkimus.
- Utriainen, O. 2005. MPEX-testin suomenkielinen versio.
- Utriainen, O. 2014. Newtonin toinen laki ja probleeman ratkaisu. *Dimensio* 78 (5), 41–48.
- van Merriënboer, J. & Sweller, J. 2005. Cognitive load theory and complex learning: recent developments and future directions. *Educational Psychology Review* 17 (2), 147–177.
- Vavra, K. L., Janjic-Watrich, V., Loerke, K., Phillips, L. M., Norris, S. P. & Macnab, J. 2011. Visualization in science education. *Alberta Science Educational Journal* 41 (1), 22–30.
- Wecker, C., Rachel, A., Heran-Dörr, E. & Waltner, C. 2013. Presenting theoretical ideas prior to inquiry activities fosters theory-level knowledge. *Journal of Research in Science Teaching* 50 (10), 1180–1206.

- Wenning, C. J. 2005. Levels of inquiry: Hierarchies of pedagogical practices and inquiry processes (revised 2/11). *Journal of Physics Teacher Education Online* 2 (3), 3–1.
- Vetleseter Bøe, M. & Henriksen, E. K. 2013. Love it or leave it: Norwegian students' motivations and expectations for postcompulsory physics. *Science Education* 97 (4), 550–573.
- Wickens, C. D. 2008. Multiple resources and mental workload. *Human Factors* 50 (3), 449–455.
- Wiio, O. A. 1973/1994. *Johdatus viestintään. Kuudes, uudistettu laitos*. Helsinki: Weilin & Göös.
- Wiio, O. A. 1968/1974. *Ymmärretäänkö sanomasi? Viestintä – tiedonvälitys*. 6. painos. Helsinki: Weilin & Göös.
- Winn, W. & Snyder, D. 1996. Cognitive perspectives in psychology. In D. H. Jonassen (Ed.) *Handbook of reserarch for educational communications and technology* chapter 5, 112–142. NY: Macmillan.
- Virtaluoto, J. & Väyrynen, P. 2000. Voidaanko tekstin luettavuutta mitata matemaattisilla indekseillä? Readability indexes: a critical evaluation. *Informaatiotutkimus* 19 (4), 100–106.
- Vuorinen, R., Tuunala, E. & Mikkonen, V. 1994. *Psykologian perusteet. Ihminen tiedonkäsittelijänä. Uudistetun laitoksen 1. painos*. Keuruu: Otava.
- Zavala, G., Tejada, S., Barniol, P. & Beichner, R. J. 2017. Modifying the test of understanding graphs in kinematics. *Physical Review Physics Education Research* 13, 1–16.
- Zeng, L., Smith, C., Poelzer, G. H., Rodriguez, J., Corpuz, E. & Yanev, G. 2014. Illustrations and supporting texts for sound standing waves of air columns in pipes in introductory physics textbooks. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 10, (020110) 1–24.

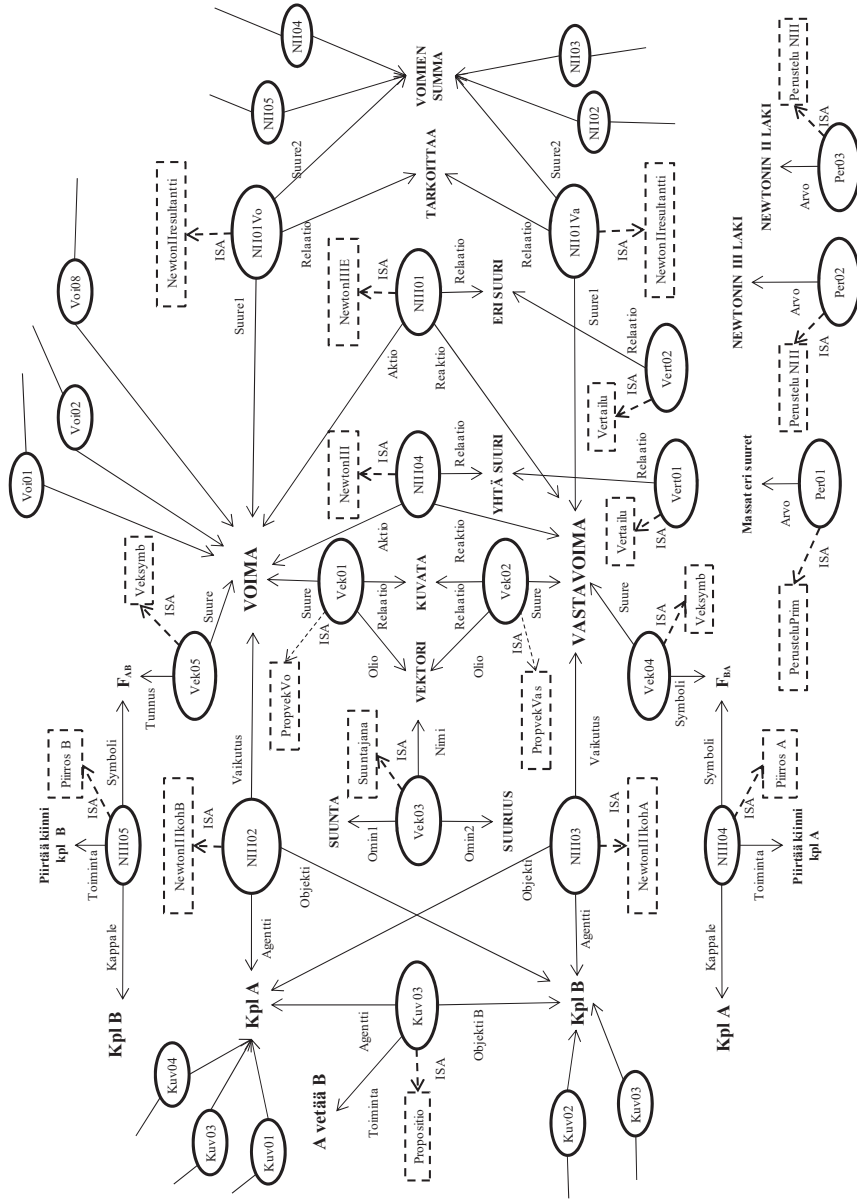
LIITTEET

Liite 1	Rekka-tehtävän propositionaalinen verkko
Liite 2	Intuitiivinen tieto fysiikan mekanismeista
Liite 3	Vuorovaikutukseen liittyvät voimat fasetti-viitekehysessä
Liite 4	Physica 4: Liikkeen lait -kurssin opiskeluohjeet
Liite 5	MPEX-testi
Liite 6	Suhtautuminen omaan työskentelyyn
Liite 7	Testien FCI, FMCE, TUG-K ja MBT tulosten yhteenveto
Liite 8	Fotoni-sarjan oppikirjan kuvien luokittelun ohje ja luokittelu
Liite 9	Physica-sarjan oppikirjan kuvien luokittelun ohje ja luokittelu
Liite 10	Efektikoon 95 %:n luottamusvälit



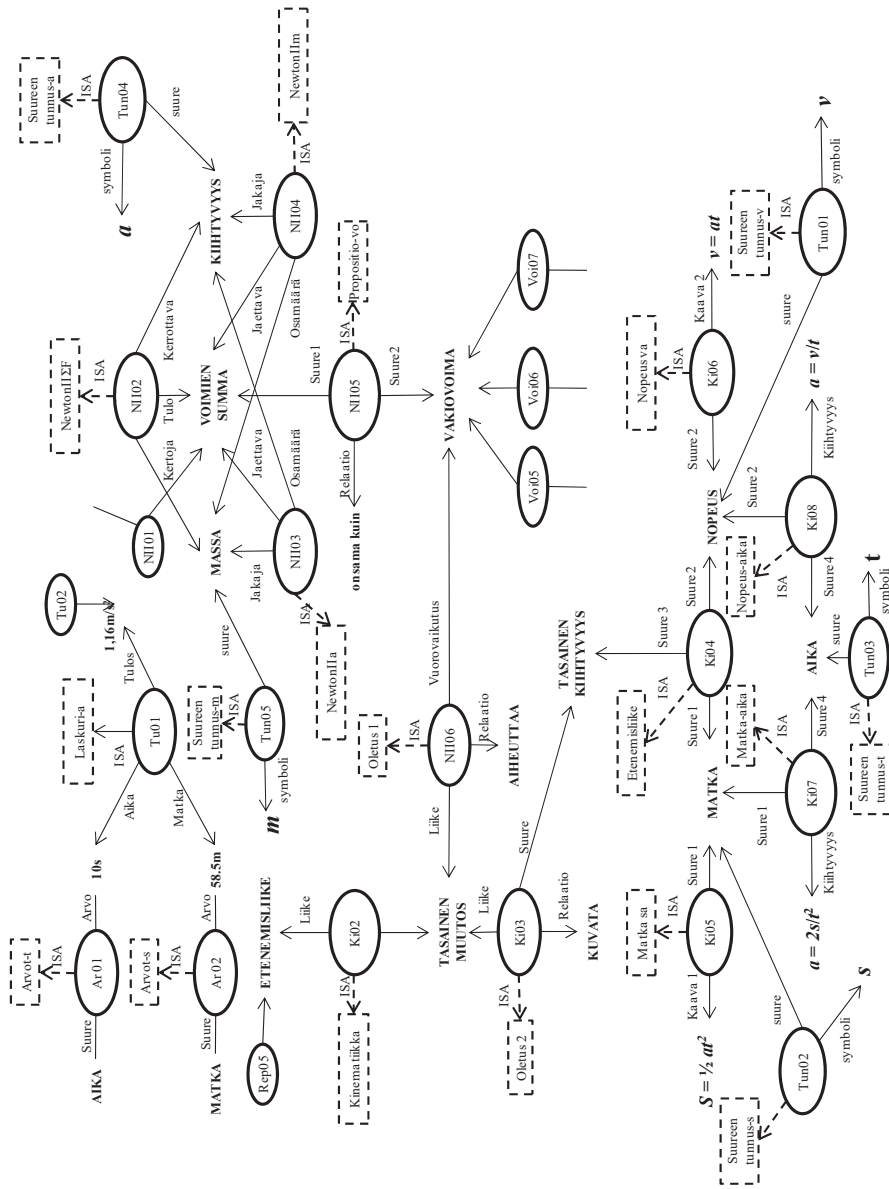


KUVIO 2 Vuorovaikutukset ja voimat



Vektorit ja N3. laki

KUVIO 3



KUVIO 4 N2. laki ja kinematiikka

Liite 2 Intuitiivinen tieto fysiikan mekanismeista

TAULUKKO 1 Päätelyprimitiivit.

Primitiivi	Mielikuva
Estäminen	Elottomat objektit eivät ole aktiivisia toimijoita missään fysikaalisessa ilmiössä.
Voittaminen	Kaksi vastakkaista vaikutusta pyrkivät eliminoimaan toisensa, jolloin jompikumpi voittaa.
Tasapainottaminen/ sama määrä	Kaksi vastakkaista vaikutusta kumoavat toisensa, jolloin ei havaita näkyviä tuloksia.
Enemmän merkitsee enemmän	Enemmän jotakin suuretta edellyttää enemmän jotakin siihen liittyvää suuretta.
Kumoaminen	Kaksi vastakkaista vaikutusta kumoavat toisensa, jolloin ei synny nettovaikutusta. Skeemaan sisältyy lopputulos.

Huom. Lähde: Tuminaro 2004, 46

TAULUKKO 2 Symboliset muodot

Käsiteskeema	Symboli- sapluuna	Kuvaus
Tasapainottaminen (<i>balancing</i>)	$\square = \square$	Kaksi vaikutusta on tasapainossa siten, että systeemi on tasapainossa. Vaikutukset voivat olla esim. voimia.
Sama määrä (<i>same amount</i>)	$\square = \square$	Olioina aine, energia $E_1 = E_2$, kitka, nopeus, aika.
Kumoaminen (<i>canceling</i>)	$0 = \square - \square$	Kaksi vastakkaista vaikutusta kumoavat toisensa. Ei nettovaikutusta. Skeemaan sisältyy lopputulos.
Kilpailevat termit (<i>competing terms</i>)	$\square \pm \square \pm \square..$	Ilmaisussa olevat termit ovat vaikutuksia, mutta voivat olla kiihtyvyyksiä ja liikemääriä. Tämä muoto liittyy usein voimakuvioihin.
Vastustus (<i>opposition</i>)	$\square - \square$	Toisiaan vastaan kohdistuvat vaikutukset.

Huom. Lähde: Vrt. Tuminaro 2004, 46; Sherin 1996, 456–470. "Laatikko" ilmaisee lausekkeessa olevaa termiä tai termien ryhmää; tyypillisesti symboli tai tekijöiden tulo. Pisteet kuvaavat poisjätettyjä osia, jotka eivät ole tärkeitä tai jotka ovat rakenteen jatkoa.

Päätelyprimitiivit (*Reasoning Primitives*) ovat abstrakteja kognitiivisia elementtejä, jotka kuvaavat oppilaan intuitiivista tajua fysikaalisista mekanismeista tai fysikaalisiin ilmiöihin liittyviä tietoelementtejä, jotka ovat jokapäiväisten kokemusten abstraktioita (Tuminaro 2004, 46; diSessa 1993, 114). Symboliset muodot tulevat esille muodostettaessa Newtonin toisen lain mukaista liikeyhtälöä.

Liite 3 Vuorovaikutukseen liittyvät voimat fasetti-viitekehyksessä

-
- 00 Oppilas ymmärtää, että voimat ovat seurausta kappaleiden välisistä vuorovaikutuksista. Voimat ovat yhtä suuret ja kohdistuvat eri kappaleisiin.
- 01 Kaikki voimat ovat seurausta kahden kappaleen välisestä vuorovaikutuksesta.
- 02 Voimien itseisarvot ovat yhtä suuret.
- 03 Voimien suunnat ovat vastakkaiset.
- 40 Oppilas pystyy tunnistamaan voimaparit, mutta molemmat voimat vaikuttavat samaan kappaleeseen.
- 50 Voimien aiheuttamat vaikutukset ovat niiden keskinäisen suuruuden mitta-
na.
- 51 Se vuorovaikuttavista kappaleista, joka aiheuttaa suuremman vahin-
gon, kohdistaa suuremman voiman.
- 52 Jos kappale on levossa, vuorovaikuttavat voimat tasapainottavat toi-
sensa.
- 52b Jos kappale on levossa, voimien summa on nolla.
- 53 Jos kappale liikkuu, vuorovaikuttavien voimien on oltava epätasa-
painossa.
- 54 Jos kappale kiihtyy, vuorovaikuttavien voimien on oltava epätasa-
painossa.
- 55 Kappaleella on tasainen vauhti, vuorovaikuttavat voimat tasapainot-
tavat toisensa.
- 56 Tasainen vauhti ja samat massat, vuorovaikuttavat voimat tasapai-
nottavat toisensa.
- 57 Tasainen vauhti, voimien summa on nolla.
- 58 Samat massat, voimat ovat yhtä suuret (ei mainintaa vauhdista).
- 58b Samat massat ja lepotila, voimat ovat yhtä suuret.
- 60 Voimaparin voimilla ei ole sama arvo, koska kappaleet eroavat toisistaan
jonkin ominaisuuden suhteen.
- 61 "Vahvempi" osapuoli vaikuttaa suuremmalla voimalla.
- 62 Liikkuva kappale tai nopeammin liikkuva kappale vaikuttaa suu-
remmalla voimalla.
- 63 Aktiivisempi tai energeettisempi kappale vaikuttaa suuremmalla
voimalla.
- 63b Se kappale, joka vastustaa liikettä, aiheuttaa suuremman voiman
- 64 Suurempi tai painavampi kappale vaikuttaa suuremmalla voimalla.
- 65 Ei voittajia, voimat ovat yhtä suuret.
- 90 Oppilaat uskovat, että eloton / passiivinen kappale(olio) ei vaikuta voimalla
toiseen kappaleeseen.

Yleinen lähtökohtafasetti (mentaalimallifasetti): objektien välisessä vuorovaikutuk-
sessa se osapuoli, jolla on enemmän tärkeää havaittavaa ominaisuutta, vaikutta suu-
remmalla voimalla. "Enemmän...merkitsee enemmän..."

Huom. Lähde: Vrt Minstrell (1991, 113) ja Facet Innovations, Diagnostic Assessment
Minstrell ei väitä mitään oppilaan mielen rakenteista, vaan että oppituntikäyttäytyminen on
johdonmukaista oletusten kanssa. Oletusten mukaan (Minstrell 1991, 119):

- Tullessaan oppitunnille oppilaat tuovat mukanaan joukon fasetteja, jotka ovat
eräänlaisia tiedon palasia. Ne voivat olla erityisiä tai yleisiä ja voivat liittyä käsi-
teltävän asian sisältöön, strategioihin tai ajatteluun.

(jatkuu)

Liite 3 (jatkuu)

- Fasettien soveltaminen riippuu saatavilla olevista faseteista, probleeman tai tilanteen tärkeimmistä piirteistä ja oppilaan havainnoista sekä assosiaatioista piirteiden ja fasettien välillä.
- Oppilaan uskomukset tieteen luonteesta ja epistemologiasta johtavat siihen, että vastataksaan kysymykseen tai tyydyttääkseen uteliaisuuttaan oppilas pyrkii käyttämään minimimäärän fasetteja.

Liite 4 Physica 4: Liikkeen lait -kurssin opiskeluohjeet

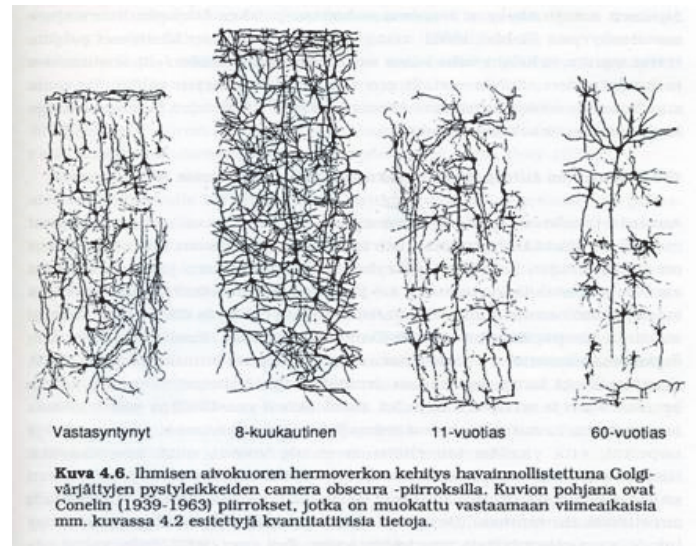
Tämä kurssi sekä seuraava kurssi FY 5 Pyöriminen ja Gravitaatio muodostavat mekaniikan opiskelun perustan. Näin ollen kursseihin liittyvien asioiden hyvä hallinta on tärkeää. Tällä kurssilla opittu matemaattinen mallintaminen on ratkaisevassa osassa, kun opiskellaan muita kursseja.

1. On tärkeää, että käyt läpi etukäteen tulevan oppitunnin asiat. Näin voidaan keskittyä oleelliseen. Oppimista edistää, jos omaa ennestään jotakin tietoa esille tulevasta asiasta. Samalla pystytään ehkäisemään kiireen tunnetta oppitunnilla.
2. Aloita opiskelu käsitelkartoista. Ne kuvaavat tiedon rakennetta. Käy ensin läpi sen rakenne eli miten käsite liittyy toiseen käsitteeseen. Seuraavassa muutamia tutkimustuloksia:
 - Rakenteellinen tieto on välttämätöntä kaikelle tiedolle. Ilman rakennetta abstrakti tieto ei olisi mahdollista.
 - Rakenteellinen tieto on välttämätöntä uudelleen muistamisen ja ymmärtämisen kannalta. Muistitutkimus on osoittanut, että ajatukset, jotka ovat jonkinlaisessa järjestyksessä, muistetaan paremmin kuin lista ajatuksia ilman mitään suhteita toisiinsa. Tämä on erityisen tärkeää fysiikan opiskelussa, koska fysikaalinen tieto on vahvasti rakenteellista.
 - Rakenteellinen tieto on välttämätöntä ongelmanratkaisulle (laskutehtävien menestykselliselle ratkaisemiselle). Em. tieto on parempi ennustaja ongelmanratkaisussa pärjäämiselle kuin aikaisempi pärjääminen samankaltaisissa tehtävissä
3. Käsitelkartin jälkeen silmäile luvun otsikot sekä harjoitustehtävien alussa oleva käsitteiden luettelo. Muodosta jälleen kokonaiskuva uudesta asiasta: Mitä käsitteitä/lakeja/periaatteita sisältyy tulevaan aiheeseen.
4. Vaiheiden 1-3 jälkeen voit syventyä itse tekstiin ja esimerkkeihin.
5. Tärkeää: opettele itse testaamaan oletko oppinut jonkin asian. Kuulustele määritelmät itseltäsi. Käytä hakemistoa hyväksesi. Älä pelkästään yritä opetella ulkoa. Yritä liittää tieto aikaisempaan. Muista kerrata!!!!!!

Korteksi eli (iso)aivokuori on aivojen ulommainen kerros, jossa on hermosoluja eli neuroneja. Kullakin neuronilla on satoja tai jopa tuhansia liittymäkohtia eli synapseja muihin neuroneihin. Synapsien määrä on 10^{14} . Opiskelulla voit lisätä synapsien määrää.

(jatkuu)

Liite 4 (jatkuu)



Tärkeää:

1. Hermosolut ovat kuin lihakset. Ne surkastuvat, jos ei niitä käytetä. Mitä enemmän opit, sen enemmän opit. Siis **innostu**.
2. Ponnistelu ymmärryskyvyn ääri rajoilla: Oppiminen tapahtuu hyppäyksittäin. Laaja hermoverkon aktivoituminen on etu. Voit oppia myös vaikeita asioita. Siis ota käyttöön **sisu**!

Liite 5 MPEX-testi

NIMI _____ RYHMÄ _____ pvm ___/___ 2006

Seuraavassa on 34 väittämää, jotka saattavat tai eivät saata kuvata käsitystäsi kahdesta seuraavasta mekaniikan kurssista. Vastausvaihtoehdot määritellään seuraavasti:

1: Täysin eri mieltä	2: Eri mieltä	3: En osaa sanoa	4: Samaa mieltä	5: Täysin samaa mieltä
----------------------	---------------	------------------	-----------------	------------------------

Vastaa seuraaviin kysymyksiin ympyröimällä se vaihtoehto, joka parhaiten ilmaisee suhtautumisesi väitteessä esitettyyn asiaan. Työskentele nopeasti. Älä jää miettimään liian tarkasti väitteen merkitystä. On tarkoitus, että väitteet ymmärretään sellaisina kuin ne on esitetty. Jos et ymmärrä väitettä, älä ympyröi mitään. Jos ymmärrät väitteen, mutta sinulla ei ole vahvaa mielipidettä, ympyröi 3. Jos kysymys sisältää kaksi väitettä ja olet erimielistä jommankumman kanssa, valitse 1 tai 2.

(jatkuu)

Liite 5	(jatkuu)	
1	Ainoa, mitä minun tarvitsee tehdä ymmärtääkseni kurssien perusideat, on lukea teksti, tehdä useimmat tehtävät ja/tai olla tarkkaavainen oppitunnilla.	1 2 3 4 5
2	Ainoa, mitä opin kaavan johtamisesta tai todistamisesta, on se, että saatu kaava on pätevä ja sitä voi käyttää tehtävissä.	1 2 3 4 5
3	Käyn huolellisesti läpi tunti- tai kahden tunnin valmistautuessani kurssien testeihin.	1 2 3 4 5
4	"Tehtävien ratkaiseminen" fysiikassa tarkoittaa pohjimmiltaan, että etsitään tehtävään sopivat kaavat ja sijoitetaan lukuarvot niihin sekä lasketaan lopputulos.	1 2 3 4 5
5	Fysiikan opiskelu sai minut muuttamaan joitakin käsityksiäni siitä, miten maailma toimii.	1 2 3 4 5
6	Fysiikassa tietoja käsitellään yleensä laskemalla. Käytän runsaasti aikaa ymmärtääkseni, miten kirjan malliesimerkeissä esiintyvistä periaatteista ja lakeja kuvaavista suureyhtälöistä on laskettu haluttu suure.	1 2 3 4 5
7	Luen oppikirjan tekstin yksityiskohtaisesti ja käyn läpi monia tekstiin liittyviä esimerkkejä.	1 2 3 4 5
8	Fysiikan kurssilla en oleta ymmärtäväni yhtälöitä intuitiivisessa mielessä. Otan ne vastaan tunnettuina enempiä pohtimatta.	1 2 3 4 5
9	Minulle sopivin tapa oppia fysiikkaa on pikemminkin monien tehtävien ratkaiseminen kuin niiden yksityiskohtainen analysoiminen.	1 2 3 4 5
10	Fysiikan laeilla on vähän tekemistä sen kanssa, mitä koen reaallimaailmassa.	1 2 3 4 5
11	Fysiikan hyvä ymmärtäminen on minulle välttämätöntä saavuttaakseni ammatilliset päämääräni. Hyvä arvosana ei riitä.	1 2 3 4 5
12	Fysiikan tieto koostuu monista pienistä informaatiopalasista, joista kukin soveltuu pääasiallisesti tiettyyn tilanteeseen.	1 2 3 4 5
13	Kurssiarvosananani määräytyy pääasiallisesti siitä kuinka hyvin olen perehtynyt kurssimateriaaliin. Syväällä ymmärtämisellä tai luovuudella on vähän tekemistä arvosanan määräytymisessä.	1 2 3 4 5
14	Fysiikan tieto sisältyy erityisesti oppitunnilla ja/tai kirjassa annettuihin lakeihin, periaatteisiin ja yhtälöihin. Fysiikan oppiminen on edellisiin sisältyvän tiedon hankkimista.	1 2 3 4 5
15	Kun ratkaisen fysiikan tehtäviä, jos laskun vastaus poikkeaa merkittävästi siitä, mitä olen odottanut, minun olisi luotettava tekemääni laskuun.	1 2 3 4 5
16	Oppitunnilla tai tekstissä esiintyvällä yhtälön johtamisella tai sen todistamisella on vähän tekemistä tehtävien ratkaisemisen tai niiden taitojen kanssa, joita tarvitsen menestyäkseni kurssilla.	1 2 3 4 5
17	Vain hyvin harvat erityisen pätevät ihmiset kykenevät todella ymmärtämään fysiikkaa.	1 2 3 4 5
18	Ymmärtääkseni fysiikkaa ajattelen toisinaan omia kokemuksiani ja liitän ne analysoinnin kohteena olevaan asiaan.	1 2 3 4 5
19	Oikean yhtälön löytäminen on tärkein asia fysiikan tehtäviä ratkaistaessa.	1 2 3 4 5
		(jatkuu)

Liite 5	(jatkuu)	
20	Oletetaan, että MAOL:n taulukkoa ei ole käytettävissä. Jos en kokeessa muista tehtävässä tarvittavaa yhtälöä, ei ole paljoakaan tehtävissä (laillisesti).	1 2 3 4 5
21	Jos ratkaisin tehtävän kahdella eri tavalla ja sain eri vastaukset, ei huolestuisi asiasta. Valitsisin vastauksista sen, joka vaikuttaisi järkevimmältä (olettaen, että vastaus ei ole kirjan takana).	1 2 3 4 5
22	Fysiikka liitetään reaali maailmaan ja se auttaa joskus ajattelemaan asioiden välisiä yhteyksiä, mutta se on harvoin elintärkeää sille, mitä minun on tehtävä tällä kurssilla.	1 2 3 4 5
23	Kyky oppia ratkaisemaan fysiikan tehtäviä on tärkein kurssilta saamani taito.	1 2 3 4 5
24	Loppukokeen tulokset eivät anna minulle hyödyllisiä neuvoja siitä, miten ymmärtäisin kurssimateriaalin paremmin. Kaikki loppukokeeseen liittyvä oppiminen tapahtui sitä ennen.	1 2 3 4 5
25	Fysiikan opiskelu auttaa minua ymmärtämään arkielämän tilanteita.	1 2 3 4 5
26	Ratkaistessani useimpia koti- tai koetehtäviä ajattelen tarkasti tehtävän pohjana olevia käsitteitä.	1 2 3 4 5
27	"Ymmärtäminen" tarkoittaa fysiikassa kykyä palauttaa mieleen jotakin, jota olet lukenut tai joka on näytetty toteen.	1 2 3 4 5
28	On ajan tuhlausta käyttää runsaasti aikaa (puoli tuntia tai enemmän) fysiikan tehtävän parissa työskentelyyn. Jos en edisty nopeasti, olisi parempi kysyä neuvoa joltakin, joka tietää enemmän kuin minä.	1 2 3 4 5
29	Merkittävä ongelma kurssilla on kyetä muistamaan kaikki se informaatio, joka minun tarvitsee tietää.	1 2 3 4 5
30	Tärkein taito, jonka saan kurssilta, on oppia ajattelemaan loogisesti fysikaalisesta maailmasta.	1 2 3 4 5
31	Käytän niitä virheitä, joita teen kotitehtävissä tai loppukokeessa, vihjeinä siihen mitä minun tarvitsee tehdä ymmärtääkseni kurssimateriaalin paremmin.	1 2 3 4 5
32	Kyetäkseni käyttämään tehtävässä tiettyä yhtälöä (erityisesti tehtävässä, jota en ole nähnyt aikaisemmin) on minun tiedettävä termien merkitykset.	1 2 3 4 5
33	On mahdollista läpäistä kurssi ymmärtämättä fysiikasta juuri mitään.	1 2 3 4 5
34	Fysiikan oppiminen edellyttää, että olennaisilta osilta ajattelen ja järjestelen uudelleen oppitunnilta ja/tai oppikirjasta saamani informaation.	1 2 3 4 5

Liite 6 Suhtautuminen omaan työskentelyyn

Väite	Pitää täysin paikkansa	On jossain määrin oikea	Ei pidä paikkaansa
1. Olen yleensä ajan tasalla opiskelutehtävissäni.	x	z	c
2. Vaikka opintomateriaalini on tylsää tai kuivaa, pysytyn työskentelemään loppuun asti.	y	z	d
3. En viitsi valmistautua tunneille, jos se ei ole välttämätöntä.	c	z	x
4. Työskentelen kovasti saadakseni hyvät arvosanat, vaikka en pitäisi kurssista.	x	z	c
5. Selitän itselleni tekosyihin vedoten, miksi en ole suorittanut opiskelutehtäviä.	d	z	y
6. Asetan itselleni realistiset ja korkeat tavoitteet opiskelussa.	y	z	c
7. Joissakin tehtävissä opiskelen vain helpot kohdat.	c	z	x
8. Luen ja teen harjoitustehtävät oppitunneille.	y	z	d
9. Ne asiat, joita tunnilla opetetaan, eivät minua paljon kiinnosta.	c	z	x
10. Aineet, joita luen, kiinnostavat minua muussakin mielessä kuin kokeen tai arvioinnin kannalta.	x	z	d

Huom. Lähde: Kauppila 2004, 43–49.

Kysymyksin pitää vastata melko nopeasti ja mahdollisimman totuudenmukaisesti. Pisteytyksessä x ja y = 2 pistettä, z = 1 piste sekä c ja d = 0 pistettä.

Liite 7 Testien FCI, FMCE, TUG-K, MBT ja tasainen ympyräliike. Tulosten yhteenveto

Testi	Tulos	Huomautuksia
FCI-e	Esitesti (maks. 30): F-ryhmä 11,32 (3,67), P-ryhmä 12,44 (4,68), $t = -0,819$, $df = 35$, $p = 0,418$; $d = 0,267$; $U = 151,5$, $p > 0,10$	Ryhmien välillä ei ole eroa.
FCI-j	Jälkitesti: F-ryhmä 21,58 (4,99), P-ryhmä 24,72 (3,88), $t = -2,130$, $df = 35$, $p = 0,040$, $d = 0,878$; $U = 110,5$, $0,05 < p < 0,10$	Ryhmien välillä ei ole eroa.
FCI-g	Henkilökohtainen kasvutekijä g : F-ryhmä 0,57 (0,21), P-ryhmä 0,72 (0,18), $t = -2,313$, $df = 35$, $p = 0,027$, $d = 0,700$; $U = 104,5$, $p < 0,05$	P-ryhmä on parempi.
FCI- $\langle g \rangle$	Normeerattu kasvutekijä $\langle g \rangle$: F-ryhmä 0,55, $d = 2,34$; P-ryhmä 0,70, $d = 2,86$	
FCI-N3.	N3. laki, kysymykset 4, 15, 16 ja 28	P-ryhmän kaikki tehtävät 100 %; F-ryhmä 100, 79, 95 ja 100%. Ei ole eroa.
Koe	1. vuosikurssin loppukoe: F-ryhmä 7,41 (1,12), P-ryhmä 8,67 (0,84), $t = -3,867$, $df = 35$, $p = 0,046$, $d = 1,27$; $U = 71,0$, $p = 0,002$; $\chi^2 = 4,678$, $df = 1$, $p = 0,031$	Arvosanojen luokat 6-8 ja 9-10, χ^2 -2x2-taulukko. P-ryhmä on parempi.
FMCE	Kaikki kysymykset: F-ryhmä 25,8 (12,0), P-ryhmä 39,5 (7,17), $t = -4,232$, $df = 35$, $p = 0,002$, $d = 1,38$; $U = 63,0$, $p < 0,002$	FMCE maks. 47 pistettä. P-ryhmä on parempi.
TUG-K	Kaikki kysymykset: F-ryhmä 14,9 (3,78), P-ryhmä 17,1 (2,78) $t = -1,971$, $df = 35$, $p = 0,056$ $d = 0,660$; $U = 115,5$, $0,05 < p < 0,10$	TUG-K maks. 21 pistettä. Ryhmien välillä ei eroa.
FMCE-40	40 kysymystä: F-ryhmä 20,11 (11,24), P-ryhmä 33,11 (6,79), $t = 4,285$, $df = 30$, $p = 0,000$ $d = 1,391$; $U = 62,5$, $p < 0,002$; $\chi^2 = 40,6$, $df = 2$, $p = 0,000$ (luokitellut kysymykset Nw, Onw, Enw)	Kysymysten luokittelu, (Smith & Wittmann). 7 luokkaa, P-ryhmä parempi
FCI-N2.	N2. laki: kysymykset 17, 22, 25, 26, 27. Oikeiden vastausten lukumäärä oppilasta kohti: F-ryhmä 3,05 (1,519), P-ryhmä 3,72 (1,36), $t = 1,414$, $df = 35$, $p = 0,166$, $d = 0,466$; $U = 124,5$, $p > 0,10$; $\chi^2 = 3,78$, $df = 1$, $p = 0,052$, (2x2 taulukko)	F-ryhmä 95 ja P-ryhmä 90 vastausta, joista oikeita 58 ja 67. Viitteitä erosta on.
FMCE-N2.	N2. laki: Vertailussa oikeat vastaukset, neljä kontekstia, 15 kysymystä $\chi^2 = 86,4$, $df = 1$, $p = 0,000$	F-ryhmällä 285 ja P-ryhmällä 270 vastausta, joista oikeita 82 ja 184. P-ryhmä parempi.
FMCE-N2.	N2. laki: vertailussa on oppilaskohtaiset pistemäärät, F-ryhmä 4,32 (5,40), P-ryhmä 10,22 (5,00) $t = -3,416$, $df = 35$, $p = 0,0016$, $d = 1,13$; $U = 72,5$, $p < 0,02$	P-ryhmä on parempi.
FMCE-N2.a	N2. laki: kysymykset 1, 3, 4, 6, 7; voiman suunta ja muutos. F-ryhmä 1,79 (2,15), P-ryhmä 3,61 (2,03) Fisherin tarkka testi $p = 0,029$, $d = 0,870$	Jako Nw, Onw ja Enw. P-ryhmä on parempi.
(jatkuu)		

Liite 7	(jatkuu)	
FMCE-N2.b	N2. laki: kysymykset 8, 9, 10; kokonaisvoima kasvaa/pienenee/vakio, F-ryhmä 0,58 (1,17), P-ryhmä 1,78 (1,26), Fisherin tarkka testi $p = 0,082$, $d = 0,988$,	Ryhmien välillä ei ole eroa.
FMCE-N2.c	N2. laki: kysymykset 11, 12, 13; voiman suunta ja liikkeen muutos, F-ryhmä 1,00 (1,29), P-ryhmä 2,17 (1,29), Fisherin tarkka testi $p = 0,012$, $d = 0,907$	P-ryhmä on parempi.
FMCE-N2.d	N2. laki: kysymykset 16, 18, 19, 20; auton liike ja tF -kuvaaja, F-ryhmä 0,95 (1,51), P-ryhmä 2,67 (1,37), Fisherin tarkka testi $p = 0,006$, $d = 1,191$	P-ryhmä on parempi.
TUG-K-N2.a	N2. laki: Kiihtyvyys, kysymykset 2, 6, 9, 10, 19, F-ryhmä 3,21 (1,36), P-ryhmä 4,11(1,23), $t = -2,110$, $df = 35$, $p = 0,042$, $d = 0,693$	P-ryhmä on parempi.
TUG-K-N2.b	N2. laki: Kiihtyvyys, kysymykset 2, 6, 9, 10, 19. Fisherin tarkka testi $p = 0,079$, $\chi^2 = 3,976$, $df = 1$, $p = 0,046$, (luokitteluna on newtonilaiset ja muut (2x2 taulukko).	Ei eroa.
MBT	Kaikki kysymykset: A-ryhmä 16,66 (4,14); P-ryhmä 15,67 (3,43), $t = 0,916$, $df = 69$, $p = 0,360$, $d = 0,249$; $U = 153,0$, $p > 0,10$	A-ryhmä $N = 53$; P-ryhmä $N = 18$; ryhmät eivät eroa toisistaan.
MBT-N2.	N2. laki: Kysymykset 3, 4, 5, 7, 8, 9, 12, 13, 17, 18, 19, 21, A-ryhmä 7,14 (2,26), P-ryhmä 6,89 (2,27), $t = 0,386$, $df = 51$, $p = 0,701$, $d = 0,110$, $U = 126,5$; $p > 0,10$, kuusi kontekstia	Maksimipistemäärä on 12. Ryhmät eivät eroa toisistaan.
MBT-N2.	N2. laki: oikeat vastaukset $\chi^2 = 0,2637$, $df = 1$, $p = 0,608$	A-ryhmä: vastauksia 420, joista oikeita 250. P-ryhmä: vastauksia 216, joista oikeita 124. Ryhmillä ei ole eroa.
Ympyräliike	N2. laki: tasainen ympyräliike; pallo pystytasossa F-ryhmä 2,62 (0,98), P-ryhmä 2,82 (1,47), $t = -0,506$, $df = 33$, $p = 0,616$, $d = 0,161$; $U = 125,5$, $p > 0,10$.	Maksimi 4 pistettä. F-ryhmä $N = 18$, P-ryhmä $N = 17$. Ryhmillä ei ole eroa.
Ympyräliike	N2. laki: tasainen ympyräliike; auto kaarteessa, F-ryhmä 3,22 (2,28), P-ryhmä 5,21 (1,40). $t = -3,121$, $df = 29$, $p = 0,0041$, $d = 1,04$; $U = 72,5$, $p < 0,02$	Maksimipistemäärä 6,5. P-ryhmä on parempi.
Ympyräliike	N2. laki: tasainen ympyräliike; auto kaarteessa, kuvio ja vektorit, F-ryhmä 2,11 (1,28), P-ryhmä 2,76 (0,66), $t = -1,913$, $df = 26$, $p = 0,067$, $d = 0,633$; $U = 109,5$, $p > 0,10$	Ryhmät eivät eroa toisistaan.
Ympyräliike	N2. laki: tasainen ympyräliike; auto kaarteessa, liikeyhtälön kirjoittaminen, F-ryhmä 1,11 (1,30), P-ryhmä 2,44 (1,03), $t = -3,165$, $df = 32$, $p = 0,003$, $d = 1,131$; $U = 67,5$, $p < 0,02$	P-ryhmä on parempi.

Liite 8 Fotoni-sarjan oppikirjan kuvien luokittelun ohje ja luokittelu

Tehtäväluokka	Kuvaus
Somistava	Kuvista puuttuvat toimijat, objektit ja tekstissä olevat tapahtumat. Ne eivät millään tavalla liity tekstiin. Kuvan ilmeinen tarkoitus on lisätä mielenkiinto, viihdyttää.
Esittävä	Kuva tekee tekstistä konkreettisempaa, jonka seurauksena syntyy muistijalkia. Kuva osittain "peittää" tekstin. Kuvassa ovat toimijat, objektit, ja toiminnot, jotka esiintyvät tekstissä. Esimerkkeinä ovat taulukot, grafiikka, taksonomia, alleviivaukset, jaksotus, yhteenvedot.
Tulkitseva	Kuva lisää ymmärrystä selkiyttämällä tekstissä olevia kappaleita, abstrakteja käsitteitä tai ideoita. Ilman tätä tulkintaa tekstiä olisi vaikea prosessoida.

Huom. Vrt. Levin (1981)

Fotoni 1, luokittelu				
Sivu	Kuvan numero	Somistava	Esittävä	Tulkitseva
86	1		x \oplus	
	2	x	\oplus	
	3		x \oplus	
87	4	x	\oplus	
88	5		x	\oplus
89	6		x	\oplus
90	7		x \oplus	
91	8		x \oplus	
	9		x \oplus	
93	10	x \oplus		

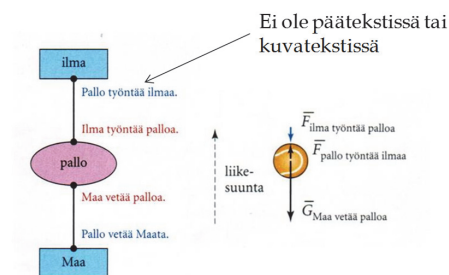
Fotoni 4, luokittelu				
Sivu	Kuvan numero	Somistava	Esittävä	Tulkitseva
35	1	x \oplus		
36	2		x \oplus	
37	3		x \oplus	
38	4			x \oplus
39	5		x	\oplus
	6			x \oplus
41	7		x	\oplus
	8		x	\oplus
	9		x	\oplus
100	10		x	\oplus
104	11	\oplus	x	

Huom. Merkinnt: rinnakkaisarvioija x, tutkija \oplus

Liite 9 Physica-sarjan oppikirjan kuvien luokittelun ohje ja luokittelu (vain päätekstiin liittyvät kuvat)

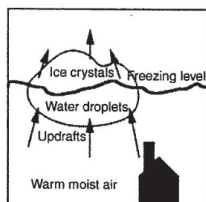
Tehtäväluokka	Kuvaus
Somistava	Kuvateksti puuttuu. Päätekstissä ei ole viittauksia kuvaan, Kun kuvaa halutaan ymmärtää, päätekstistä täytyy etsiä vihjeitä. Jos vihjeet puuttuvat, kuva luokitellaan somistavaksi.
Soveltava	Kuva havainnollistaa tai soveltaa tekstissä esitettyjä asioita esimerkiksi arjenläheisen esimerkin avulla. <i>Lukija tarvitsee aina oppikirjatekstiä kokonaisvaltaisen ymmärryksen saavuttamiseksi kuvan esittämästä aiheesta.</i>
Esittävä	Kuvateksti ei tarjoa lisäinformaatiota suhteessa päätekstiin. Kuvassa esitetään luokan tai käsitteen havainnollinen esimerkki, ja kuva on päätekstin visuaalinen representaatio. Ilmiö tai objekti nimetään, mutta kuva ja siihen liittyvä kuvateksti eivät tarjoa uusia kognitiivisia työkaluja ymmärtämiseen. Visuaalinen informaatio ei muuta päätekstin sanomaa.
Selittävä	Kuvateksti selittää tai luokittelee kuvan esityksen: nimeää objektin tai ilmiön ja lisää informaatiota objektista tai ilmiöstä. <i>Kuvassa on informaatiota, jota ei ole kuvatekstissä tai päätekstissä.</i>
Täydentävä	Kuvateksti antaa uutta informaatiota, jota ei ole aikaisemmin mainittu, päätekstin aiheesta. Viitteitä ovat sanat "esimerkiksi" ..., josta jatketaan propositioilla, joiden sisältöä ei ole päätekstissä (uusi tieto).

Huom. Pozzer & Roth (2003, 1094, 1098–1103). Tehtäväluokkaa "soveltava" ei ole edellä mainittujen tutkijoiden luokittelussa.



II. Principles for Reducing Extraneous Processing

The Process of Lightning



1. Warm moist air rises, water vapor condenses and forms cloud.

Lightning can be defined as the discharge of electricity resulting from the difference in electrical charges between the cloud and the ground.

Warm moist air near the earth's surface rises rapidly. As the air in this updraft cools, water vapor condenses into water droplets and forms a cloud. The cloud's top extends above the freezing level. At this altitude, the air temperature is well below freezing, so the upper portion of the cloud is composed of tiny ice crystals.

Kuvatekstin tehtävänä on opastaa mitä kuvasta pitäisi etsiä, johdattaa kuvan jäsentelyyn ja helpottaa tulointa. Kuvan pitää vahvistaa tekstiä. Kuvatekstin tehtävä on: tunnistaa objekti ja ilmiö ja kytkeä pääteksti ja kuva toisiinsa. Pozzer ja Roth (2003) ovat luokitelleet kuvat siten, että muodostuu ketju Pääteksti, kuvateksti ja kuva. Tämä voidaan kytkeä multimediaoppimisen teorian spatioaalisen jatkuvuuden periaatteeseen: päätekstistä on siirretty lause kuvatekstiin. Kuvateksti ja kuva ovat lähekkäin. Vielä parempi, jos kuvassa ovat tärkeät termit. Ylempi Physica 1 s. 84 ja alempi Mayer (2009, 138).

(jatkuu)

Liite 9 (jatkuu)						
Physica 1, luokittelu						
Sivu	Kuvan numero	Somistava	Soveltava	Esittävä	Selittävä	Täydentävä
78	1	x	⊕			
79	2		x⊕			
	3			x⊕		
80	4			⊕	x	
	5				⊕	x
	6				⊕	x
81	7	x				⊕
	8			⊕	x	
	9			x⊕		
	10			x⊕		
82	11	x	⊕			
83	12-16				x⊕	
84	17	x	⊕			
	18				x⊕	
	19				⊕	x
85	20				x⊕	
86	21	x	⊕			
87	22		x⊕			
	23		x⊕			
89	24			x	⊕	
	25			x⊕		
	26			⊕	x	
	27			⊕	x	
90	28					x⊕
Physica 4, luokittelu						
50	1		x	⊕		
	2		x⊕			
51	3				x⊕	
	4				⊕	x
	5				⊕	x
	6				⊕	x
52	7				⊕	x
	8				⊕	x
	9				x⊕	
	10			⊕	x	
						(jatkuu)

Liite 9 (jatkuu)						
	11			\oplus	x	
53	12			$x\oplus$		
54	13	x	\oplus			
56	14	x	\oplus			
	15				$x\oplus$	
	16			$x\oplus$		
60	17			\oplus	x	
	18			$x\oplus$		
	19			$x\oplus$		
154	20	x	\oplus			
	21			\oplus	x	
158	22	x	\oplus			
	23			$x\oplus$		
159	24					$x\oplus$

Huom. Merkinnt: rinnakkaisarvioija x, tutkija \oplus . Kuvat 12-16 muodostavat yhden kuvan.

Liite 10 Efektikoon luottamusvälit

Testi	Efektikoko d	Efektikoon d 95 %:n luottamusvälit
FCI-e, T5.19	0,267	[-0,38–0,91]
FCI-j, T5.19	0,878	[0,20–1,55]
FCI-g, T5.20	0,700	[0,04–1,36]
FCI- $\langle g \rangle$, T5.20	2,34	[1,50–3,18]
FCI- $\langle g \rangle$, T5.20	2,86	[1,94–3,78]
Koe	1,27	[0,56–1,98]
FMCE, T5.21	1,38	[0,66–2,10]
FMCE, T5.22	1,39	[0,67–2,11]
FCI-N2., T4.6	0,466	[-0,19–1,12]
FMCE-N2., T4.7	1,13	[0,44–1,82]
FMCE-N2., K5.2	0,870	[0,20–1,54]
FMCE-N2., K5.2	0,988	[0,31–1,67]
FMCE-N2., K5.2	0,907	[0,23–1,58]
FMCE-N2., K5.2	1,191	[0,49–1,89]
TUG-K, T5.21	0,660	[0,00–1,32]
TUG-K-N2.	0,693	[0,03–1,36]
MBT	0,249	[-0,40–0,90]
MBT-N2. T5.25	0,110	[-0,54–0,76]
Ympyräliike-N2.	0,161	[-0,48–0,81]
Ympyräliike-N2.	1,04	[0,35–1,73]
Ympyräliike-N2.	0,633	[-0,03–1,29]
Ympyräliike-N2.	1,131	[0,44–1,83]

Huom. Luottamusvälin laskenta Hedges & Olkin 1985,86