

Lukiolaisten taustakäsityksistä ja tehtävien esitystapojen hallinnasta mekaniikassa

Aku Talikka

Pro gradu -tutkielma

Jyväskylän yliopisto, Fysiikan laitos

29.12.2010

Ohjaajat: Juha Merikoski

Jouni Viiri

Antti Savinainen

Alkusanat

Minulla oli hyvä onni saada peräti kolme ohjaajaa tutkielmalleni. Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksella minua auttoi opintoneuvoja, dosentti Juha Merikoski. Muualla Jyväskylän yliopistossa sain merkittävää ohjausta alussa ja työn kuluessa professori Jouni Viiriltä. Kuopiolainen lukion fysiikanopettaja, tohtori Antti Savinainen oli korvaamaton tutkimusaineiston hankkimiseksi ja muutenkin tutkimuksen edesauttamiseksi monine neuvoineen pitkin matkaa. Lämpimät kiitokset esitän heille - unohtamatta Pasi Niemistä, joka valmistui tutkimukseni alkamisen aikoihin maisteriksi armaalta fysiikan laitokselta ja joka nyt kirjoittaa väitöskirjaa samasta (ja meille molemmille yhteisestä) aihepiiristä, lukiolaisten fysiikankäsityksistä.

Selostuksessa olen käyttänyt monenlaisia erityissanoja ja koodauksia analyysin apuna. Olen katsonut tarpeelliseksi selittää nämä termit kootusti tutkielman lopussa päätekstin lisäksi. Sanan ensimmäisen esiintymän olen merkinnyt kaltevalla kirjasinlajilla (*kursiivilla*), joka täten merkitsee selityksen olevan hakemistossa. Termit on aakkostettu.

Tämä pro gradu -tutkielman pääteksti on luettavissa sekä painettuna että Internetin kautta. Liitteet ovat luettavissa Internetin kautta, mutta osa on myös painettu paperille. Tutkielma ja liitteet ovat kotisivullani <http://users.jyu.fi/~akpetali/progradu/> ja löytyvät myös Jyväskylän yliopiston kirjaston www-sivuilta. Poikkeuksen muodostaa ensimmäinen liite, monivalintatesti, joka on vain painettuna, mutta sitä voi pyytää myös sähköpostitse.

Tiivistelmä

Oppilaiden vaikeudet fysiikassa voivat liittyä käsitteellisen ymmärtämisen lisäksi esimerkiksi tehtävän esitysmuotoon eli *representaatioon*: sisällöltään samanlaisiin kysymyksiin, jotka ilmaistaan eri representaatioilla, saatetaan vastata eri tavalla. Tutkielmassa pyrin selvittämään, millaista esitystapoihin liittyvää epäjohdonmukaisuutta oppilaiden ajattelussa on ja millaisia syitä tällaiseen erilaiseen vastaamiseen eri esitysmuodoilla mahdollisesti voi olla.

Tutkin kymmenen lukiolaisen käsityksiä peruskinematiikasta, Newtonin laeista ja painovoimasta monivalintakokeella, joka on laadittu erityisesti *representaationaalisen* koherenssin (esitystapojen ymmärtämisen johdonmukaisuuden) selvittämiseen. Perehdyin opiskelijoiden ajatteluun sekä testi-vastauksia tutkimalla että opiskelijoita haastattelemalla. Tarkastelin taustalla esiintyviä virhekäsityksiä kohtalaisesti mutta painotin representaatioiden hallinnan selvittämistä.

Opiskelijoilla esiintyi yleisesti tunnettuja virhekäsityksiä liikkeestä ja voimista. Esimerkiksi osa oli ymmärtänyt väärin Newtonin kolmannen lain, osa erimassaisten kappaleiden putoamisen ja osa momentit. Muitakin, erikoisempia harhaluuloja ilmaantui. Muutamat ymmärsivät asiat erittäin hyvin, mutta kaikilla kuitenkin oli joitakin ongelmia. Representaatioihin liittyviä seikkoja kävi toki myös ilmi, ei kuitenkaan niin paljon ja helposti kuin oli odotettu. Opiskelijat esimerkiksi lukivat sanallisia vaihtoehtoja huolimattomasti tai eivät osanneet tulkita graafisia kuvaajia. Käytetty monivalintatesti vaikuttaa melko luotettavalta, sillä kovin paljon ei ollut väärin perustein valittuja oikeita vaihtoehtoja tai oikein perustein valittuja väärää vaihtoehtoja.

Sisällysluettelo

Alkusanat	II
Tiivistelmä	III
1 Johdanto	1
2 Aiemmistä tutkimuksista, haastattelumenetelmistä	2
3 Tutkimuksen kuvaus ja tavoitteet	4
4 Representaatiotestin teemoitus	5
4.1 R-testin tehtävät ja ratkaisut sekä analysointia lyhyesti	6
5 Testivastausten käsittely: tutkimuksen vaiheet	8
5.1 Vaihe 1: vastausten yleisanalyysi	8
5.1.1 Ensimmäisen vaiheen päätuloksia	9
5.1.2 Täsmentyneet tutkimusongelmat	10
5.2 Vaihe 2: teemat ja käsitysten muuttuminen	11
5.2.1 Vastaustilanteet	11
5.2.2 Kolme opiskelijakohtaista näkökulmaa	13
5.3 Vaihe 3: koontia opiskelijoista, kolme näkökulmaa	14
5.3.1 O, representaatioiden hallinta teemaryhmittäin	14
5.3.1.1 O3: Newtonin kolmas laki	15
5.3.1.2 OP: pudotusteemat	16
5.3.1.3 OV: voimateemat	17
5.3.1.4 OL: lisätehtävät	19
5.3.2 K, representaatioiden hallinta kokonaisuudessaan	20
5.3.3 V, testin luotettavuus ja täsmällisyys	21
6 Yhteenveto	24
7 Pohdintoja	26
8 Kirjallisuus	27
9 Hakemisto ja sanasto	29
10 Liiteluettelo ja selitykset	30

1 Johdanto

Fysiikan opetuksen ja oppimisen tutkimuksessa on käynyt selväksi, että ellei opetuksessa oteta huomioon oppilaiden arki- ja virhekäsityksiä eli fysikaalisesta muotoilusta poikkeavia ajatuksia, oppilaat eivät saavuta kunnollista käsitteellistä ymmärrystä vaan heille jää usein merkittäviä virhekäsityksiä tieteellisten selitysten rinnalle tai sijalle. Tiedon passiivinen kaataminen on pääosin tehotonta, ja virhekäsitykset säilyvät yllättävän voimakkaasti opetuksen aikanakin. Lisäksi esimerkiksi konteksti vaikuttaa usein vastauksiin, vaikka fysiikan periaatteiden kannalta tilanne olisikin samanlainen. Tällaista fysiikan oppimisen ja opettamisen tutkimusta käsitteellisistä ongelmista mm. mekaniikassa ja valo-opissa on tehty aika paljon (Hestenes ym., 1992; McDermott ja Redish, 1999; Savinainen ja Scott, 2002; Duit, 2007).

Oppimistutkimusta representaatioiden eli tehtävien ja käsitteiden esitystapojen kannalta on ollut vähemmän kuin yleisten käsitteellisten ongelmien selvitystä. On ainakin todettu, että oppilaat oppivat syvällisemmin fysiikan käsitteitä, jos opetuksessa käytetään monenlaisia, erityisesti kvalitatiivisia representaatioita sujuvasti ja harjoitellaan niiden välillä liikkumista (esim. van Heuvelen ja Zou, 2001). Toisaalta useiden representaatioiden käytön opettaminen ja oppiminen tuo uusia haasteita, kuten enemmän kognitiivista kuormitusta opiskelijoille (mm. Savinainen (2004) mukaan). Kuitenkin sopivan monipuoliset representaatiot voivat kuormittaa tasaisemmin ajattelua ja helpottaa työmuistia, jos niiden käyttämiseen tarvitaan rinnakkaisia kognitiivisia ajattelualueita (Meltzerin, 25.4.2007, mukaan).

Tutkielman tarkoitus on selvittää, miten lukiolaiset ymmärtävät erilaisia representaatioita ja minkälaisia vaikeuksia heillä niissä on. Tutkin asioita muutamassa mekaniikan aihepiirissä. Syvennän representaatiotutkimusta laadullisesta näkökulmasta: tutkittavina ovat sekä opiskelijoiden vastaukset esitystapojen hallintaan kehitetyssä monivalintatestissä että heidän antamansa perustelut valinnoilleen. Edelleen pyrin selvittämään, miten representaatioiden hallinta mahdollisesti riippuu kontekstista ja muista tekijöistä.

Selvitän myös, minkälaisia fysiikasta poikkeavia käsityksiä opiskelijoilla on. Näitä arki- ja virhekäsityksiä on aiemmin tutkittu maailmalla sangen kattavasti, joten niihin kaikkiin en tarkasti perehdy, vaan tarkastelun näkökulmana on tältä osin (representaatioista erillään muttei välttämättä niistä täysin riippumatta) lähinnä tutkia, miten käsitykset muuttuvat tai tarkentuvat, vertaamalla monivalintavastauksia sekä niiden kirjallisia ja suullisia perusteluja keskenään. Tarkoitus on siis selvittää, ovatko opiskelijat vastanneet monivalinnoissa ajattelunsa mukaisesti: mittaako testi sitä, mihin se on laadittu, onko *harhatuloksia* eli vastaavatko monivalinnat ajattelua, ja minkälaisia lisävirhekäsityksiä tai muita ajatuksia haastattelussa löytyy?

Pelkistä monivalintojen vääristä vastauksista voi olla hankalaa päätellä taustalla olevia virhekäsityksiä ainakin täsmällisesti. Opiskelijoiden kirjoittamat kysymykohtaiset perustelut antavat paljon lisätietoa, mutta monesti vasta haastattelulla pystyy huolellisesti paneutumaan opiskelijan ajatuksiin, jolloin uusiakin mielenkiintoisia väärinkäsityksiä voi löytyä. Toisaalta myös oikeista vastauksista ja kirjallisista perusteluista huolimatta opiskelijat ovat saattaneet ymmärtää väärin jotakin, mikä tulee esiin vasta haastattelussa.

Erilaiset representaatiot voivat tuottaa oppilaille ongelmia, jos he eivät ole tottuneet toimimaan niiden kanssa. Jotkut oppilaat mieltävät tiettyjen esitystapojen käyttämiseen. Kaavatauti eli opiskelijoiden taipumus kaavojen ulkoa opettelemiseen tai etsimiseen taulukkokirjasta voi olla vaarallista oppimiselle (esim. van Heuvelen ja Zou, 2001). Yleensä, jos käsitteet ja teorian ymmärtää, ei tarvitse oikeastaan muistaa kaavoja ulkoa, vaan ne tulevat kaupan päälle, oivaltamisen sivutuotteena. Tämän ainakin soisi olevan tavoitteena esimerkiksi fysiikan oppimisessa. Fysiikan oppimisen ja opettamisen tutkimus (PER) on tuottanutkin monia arvokkaita tutkimustuloksia, joita voi hyödyntää kaiken tasoisessa opetuksessa, erityisesti peruskoulussa ja toisen asteen koulutuksessa.

Arkikielen sanojen näkyessä täsmällisesti esitettävässä fysiikassa opiskelijat eivät usein osaa täsmentää omia alkukäsityksiään ja korjata niitä tieteellisten määrittelyjen mukaisiksi. Tällainen kymmenien tai satojenkin vuosien piilevä, myös kielenkäyttöllinen ja osin puutteellisiin havaintoihin perustuva painolasti ei välttämättä oikene parissa kuukaudessa fysiikan peruskurssilla, mutta ilmeisesti opetuksella on paljon merkitystä siihen, miten opiskelijat oppivat fysiikan käsitteitä.

2 Aiemmista tutkimuksista, haastattelumenetelmistä

Force Concept Inventory (Hestenes ym., 1992, uudistettu 1995) on suosituimpia monivalintakokeita opiskelijoiden fysiikan voimakäsitteen ymmärtämisen mittaamiseen. Se mittaa luotettavasti newtonilaisen mekaniikan käsitteiden (nopeus, kiihtyvyys, voima, gravitaatio, ilmanvastus, Newtonin lait) ymmärtämistä erilaisissa konteksteissa. Savinainen ja Viiri (2007) selvittivät FCI-testin luotettavuutta vertaillen mm. sen saamaa arvostelua ja tukea päätyen tukemaan testiä (ainakin käsitteellisen johdonmukaisuuden joidenkin osien arvioinnissa). Opiskelijoiden vastaukset voivat riippua monesta asiasta, kuten tehtävän kontekstista ja representaatiosta sekä tehtävässä esiintyvien suureiden suuruusluokasta, kuten mm. Savinainen (2004) toteaa.

Savinainen ja Viiri (2003, 2007) katsovat, ettei ole ollut kunnollista määritelmää opiskelijan kvalitatiivisen ymmärryksen käsitteelliselle yhtenäisyydelle (conceptual coherence) ja jakavat termin kolmeen osaan: kontekstuaalinen johdonmukaisuus (contextual coherence), representaation johdonmukaisuus (representational coherence) ja käsitteellisen johdonmukaisuus (conceptual framework coherence). He myös täsmentävät samankaltaiset englanninkieliset termit consistency ja coherence omiksi käsitteiksi, jotka voisi suomentaa sisäiseksi ja ulkoiseksi johdonmukaisuudeksi. Niistä vain jälkimmäistä voidaan helposti testeillä havainnoida.

Meltzerin (2005) tutkimuksissa on löytynyt viitteitä, että opiskelijoiden on helpompaa vastata sanallisiin kysymyksiin kuin vektoriaalisiin ja että tytöillä on hiukan enemmän vaikeuksia graafisissa representaatioissa kuin pojilla. Sanallisissa tehtävissä tehdään vähemmän virheitä, ja niihin vastataan luottavammin. Erityinen tulos oli, että dominanssiperiaatteen (ks. s.9) ilmeneminen riippuu representaatiosta. Toisaalta representaatio-ongelmat eivät kasaudu siten, että sama representaatio tuottaisi yksittäisille oppilaille joka kerta vaikeuksia ja samanlaisia virheitä eri tehtävissä ja konteksteissa. Fysikaalinen sisältö ja konteksti vaikutti yleensä enemmän kuin representaatio. Hän myös toteaa aiemmista tutkimuksista, että on tärkeää osata erilaisia representaatioita, vaikka niiden harjoittelussa voi aluksi ollakin merkittäviä vaikeuksia.

Rebblon ja Zolmanin (2004) mukaan oppilaiden alkeisymmärrys voi olla vielä niin jäsentymätöntä ja pirstaleista, että ehkei ole edes mielekästä puhua käsitteellisestä johdonmukaisuudesta. He tutkivat, voisivatko muunlaiset väärät vastausvaihtoehdot FCI:ssä vastata paremmin oppilaiden tyypillisiä ajatuksia. Löydösten mukaan osa FCI-kysymysten vastausvaihtoehdoista on muotoiltu huonosti, joten tutkijat vaihtoivat muutamia kohtia virhekäsityksiä paremmin vastaaviksi. Opiskelijat valitsivatkin niitä huomattavan paljon, jolloin oikeita vastauksia oli merkittävästi vähemmän ja väärin vastausten jakauma muuttui.

Samansuuntaisia mutta hiukan eroavia tuloksia saatiin Kohlin ja Finkelsteinin (2005) tutkimuksista, joissa opiskelijoiden vastaukset erosivat merkittävästi käytetyn representaation mukaan. He esimerkiksi valitsivat tutunnäköisen vaikkakin väärän kuvion Bohrin atomimallista kysyttäessä. Selvisi, että opiskelijat eivät osaa kunnolla arvioida, kuinka hyvin ymmärtävät erilaisia representaatioita: toisinaan etukäteen annettu mahdollisuus valita tehtävän representaatio nosti ja toisinaan laski tuloksia verrattuna opiskelijoihin, joille representaatiot oli satunnaisesti määrätty. Kuvalliset representaatiot yhdistettiin vahvasti käsitteisiin, toisin kuin matemaattiset. Tutkimuksessa oli kuitenkin monia muuttujia, kuten oppiaines ja opetusmenetelmä.

Viiri ja Savinainen (2004) toteavat, että oppiminen on vaiheittainen prosessi: käsitteellinen ymmärrys ei muutu yhdellä kertaa, ja virhekäsitykset voivat olla rinnakkain uusien, oikeiden kanssa. Ymmärtämisen kehitystaso riippuu paitsi kontekstista myös representaatiosta.

FCI-testi ei sovellu representaatioiden hallintaa mittaavaksi testiksi (Savinainen ja Viiri, 2003), koska siinä on vain vähän erilaisia representaatioita. Sen pohjalta Nieminen onkin pro gradu -tutkielmassaan (2006) laatinut representaatiotestin (lyhyesti *r-testi*), jolla voidaan tutkia opiskelijoiden voimakäsityksiä ja erityisesti representaatioiden ymmärtämistä. Monivalintakokeeseen on valittu alkuperäisestä FCI-testistä viisi tehtävää (1, 4, 13, 28 ja 30), jotka esitetään monilla esitystavoilla. Kustakin tehtävästä on laadittu alkuperäisen, sanallisen representaation rinnalle muita, fysikaalisesti vastaavia tehtäviä (representaatioita) siten, että tehtävien kysymykset ovat sanallisia mutta vastausvaihtoehtojen representaatiot vaih-

televat: sanallinen, graafinen (kuvaajia), diagrammaattinen (pylväskaavioita), vektoriaalinen tai kuvallinen. Yksi FCI-kysymys muodostaa lisärepresentaatioineen yhden *teeman*, joskin tehtävä FCI-1 on laajennettu kolmiteemaiseksi kysymällä kolmea suuretta. Yhteensä testissä on 21 kysymystä, jotka jakautuvat FCI-tehtävien mukaan siis seitsemään teemaan. Kussakin teemassa on kahdesta neljään representaatiota. Kysymyksillä voidaan tutkia hieman myös käsitteiden (mm. voima, kiihtyvyys, paikka) välisen yhdistelemisen ja erottelamisen ymmärtämistä (newtonilaisen voiman käsite-rakennetta). R-testi on kuitenkin ensisijaisesti representaatioiden hallintaa selvittävä koe. Siinä se onnistuukin varsin hyvin; opiskelijat voivat ymmärtää erilaisia representaatioita kelvollisesti, joskin erityisesti graafinen representaatio havaittiin vaikeaksi (Savinainen et al., 2007). Tämän testin käyttökelpoisuutta pyrin tutkielmassani myös selvittämään lisää.

Clement ja Goldin kuvailevat ajatteluprosessien tutkimista ja haastattelututkimusten (kliiniset, strukturoimattomat haastattelut) suunnittelua kirjassa *Handbook of Research Design in Mathematics and Science Education* (Kelly ja Lesh, 2000). Clement selvittää konvergentin ja generatiivisen tutkimusmetodin eroja ja painottaa, että molemmat ovat tarpeen kehitettäessä teoreettisia selitysmalleja mm. matemaattiselle (virhe)ajattelulle. Goldin perehdyttää haastattelututkimusten suunnitteluun ja käyttämiseen. Haastattelut ovat yleensä kvalitatiivisia, mutta se ei tarkoita, että ne eivät voisi olla myös tieteellisiä. Sekä laadullisia että määrällisiä menetelmiä tarvitaan. Haastattelujen analyysin tarkoitus olisi tuottaa kelvollisia malleja mielen rakenteista ja prosesseista.

Welzel ja Roth (1998) esittävät, että haastateltavan tietorakenne, ymmärrys, voi muuttua haastattelun aikana ja riippuu monesta seikasta, joten erityistä huomiota pitäisi kiinnittää haastattelusuunnitelmaan ja vuorovaikutukseen. Schoultz ym. (2001) tarkastelevat lasten käsityksiä painovoimasta ja taivaankappaleista uudessa valossa käyttäen konkreettista pöytämaapalloa miettimisen apuvälineenä. Konkreettinen representaatio auttoi merkittävästi asian käsittelyä.

Tutkimukseni päämetodiksi muodostui teemahaastattelu, jota Hirsjärvi ja Hurme (2000) esittelevät. He neuvovat sen käyttämisessä sekä teorian että käytännön puolesta, niin aineiston keruun, analyysin kuin raportoinninkin osalta. Heidän mukaansa haastattelu sopii monenlaisiin tutkimuksiin ja haastattelutyyppäjkin on monia. Kvantitatiivisia ja kvalitatiivisia menetelmiä voi ja kannattaa yhdistää. Hirsjärvi ja Hurme kuvaavat (haastattelu)tutkimusten yleisiä käytäntöjä, periaatteita ja eettisiä näkökohtia sekä luettelevat esimerkkejä, joiden mukaan kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimusotteen eroja on monesti liioiteltu ja niiden luonteenpiirteiden erittely on usein yksinkertaistavaa. He painottavat tutkimussuunnitelman tärkeyttä mutta toisaalta kannattavat tutkimusongelmien tarkistamista tarvittaessa. Kirjan termin tässä tutkimuksessa käytettiin puolistrukturoitua teemahaastattelua; kirjallisuudessa on vastaavana terminä esiintynyt myös mm. tehtäviin perustuva haastattelu (task-based interview).

3 Tutkimuksen kuvaus ja tavoitteet

Niemisen laatima r-testi opiskelijoiden representationaalisen koherenssin selvittämiseksi kvantitatiivisin menetelmin oli pohjana omalle työlleni. Käytin testiä haastatellakseni joukkoa lukiolaisia Kuopiossa syyskuussa 2006 yhden kurssin yhteydessä. Opiskelijat (n=29) olivat vastanneet r-testin monivalintakysymyksiin kurssin alussa ja uudestaan loppupuolella, kun tarvittava aines oli opetettu. Heille opetettiin kurssilla perusmekaniikkaa: voiman, massan, kiihtyvyyden ja nopeuden riippuvuudet, Newtonin lait sekä hieman heittoliikkeestä ja ilmanvastuksesta. Liikemäärän osuus tuli jälkitestin ja haastattelujen välissä eli viikolla 37. Esitestiä ei käytetty tässä tutkimuksessa vaan eräässä toisessa. Tutkimuksen alkuvaiheiden ajallisesta sijoittumisesta on jäljempänä kaavio (Taulukko I).

Vastaukset pisteytettiin heti jälkitestin jälkeen suuntaa-antavan taitotason selvittämiseksi. Oikeiden vastausten lukumäärän (maksimi 23) perusteella valittiin kymmenen mahdollisimman eritasoista (8-22 pistettä) opiskelijaa haastatteluun. Kurssin opettaja Antti Savinainen pisteytti testin ja valitsi haastateltavat. Jälkitestissä kaikki opiskelijat olivat myös kirjoittaneet sanallisia perusteluja valinnoilleen kussakin kysymyksessä. Pehdyin monivalintavastauksiin ja perusteluihin ja esitin haastatteluissa niiden avulla tarpeellisia tarkennuskysymyksiä valituille.

Representaatiotestin lisäksi oppilaat saivat haastatteluissa kaksi lisätehtävää Maan ja Kuun gravitaatiovoimista. Ajatus lisäyksestä tuli Meltzerin tutkimuksista (2005), joissa vektorikuviot usein tulkittiin väärin. Ensimmäiseen lisätehtävään oppilaat vastasivat haastattelunsa alkupuolella ja toiseen loppupuolella. Tosin ensimmäiselle haastateltavalle ne jäivät esittämättä alkujärjestelyhämmingin ja unohduksen takia.

Tutkimusaineistona on jälkitestin vastaukset kirjallisine perusteluineen sekä haastattelut, joissa opiskelijoilla oli käytettävissään aiemmat testivastauksensa ja perustelunsa muistin virkistämiseksi. Näillä kolmenlaisilla vastauksilla selviää mielenkiintoista tietoa opiskelijoiden ajattelusta ja oppimisesta. Niillä on myös mahdollista arvioida r-testin luotettavuutta ja täsmällisyyttä.

Taulukko I: tutkimuksen alun ajoittuminen vuoden 2006 syksyllä

Elo-syyskuu	ma 11.9.	viikko 37	la 16.9.	Loppuvuosi
Kurssi	R-testi	Koehenkilöiden pisteytys ja valinta	Haastattelut	Tutkimuksen vaihe 1 alkaa
Mekaniikan opetusta	Tutkimus kohdistuu ajatteluun tällä aikajaksolla (jonka aikana ja jälkeen kurssin normaali opetus jatkui)			Haastattelulitteroinnit, aineiston analyysiä

Tein koehaastatteluja samalla representaatiotestillä Jyväskylän Normaalikoulussa vastaavalla mekaniikan kurssilla hieman yli viikkoa ennen varsinaisia haastatteluja. Koehaastatteluilla tutustuin tutkimushaastattelun perusteisiin ja tein tarpeellisia ja tarkempia suunnitelmia Kuopion-haastatteluja varten. Esihaastatteluiden yhteydessä opiskelijat, joita oli kolme, eivät tehneet kirjallisia perusteluja vaan perustelivat pelkästään suullisesti heti testin tekemisen jälkeen. Heillä oli ollut suunnilleen saman verran mekaniikkaa kuin varsinaisilla koehenkilöillä. Koehaastateltavien vastauksia en oleellisesti analysoinut, joskin litteroin ne harjoitukseksi.

Tarkoitus pro gradu -työssäni on tutkia lukiolaisten käsityksiä voimista ja liikkeestä sekä erityisesti käsityksiä niihin liittyvien tehtävien esitysmuodoista. Kuinka hyvin opiskelijat ymmärtävät Newtonin lakeja, painovoimaa ja kiihtyvyyttä erilaisten representaatioiden ja kontekstien kautta, ja minkälaisia virhekäsityksiä tai fysiikan ymmärtämisen ongelmia opiskelijoiden perusteluista selviää? Representaatioiden ymmärtämistä ei voi kokonaan erottaa fysikaalisesta ymmärtämisestä, joten molempiin on kiinnitettävä huomiota. Pääkysymys on, miten opiskelijat ymmärtävät eri representaatioita: millaista epä johdonmukaisuutta eli epäkoherenssia vastauksissa saman tehtävän eri representaatioiden välillä on, vai ymmärtävätkö he niitä kenties hyvin? Syitä epäkoherenssiin ja representationaaliin vaikeuksiin pyrin myös selvittämään, samoin kuin arvioimaan käytetyn testin luotettavuutta mm. harhatulosjakauman kautta. Representaatioiden ohella selvitetään, mitä lisävirhekäsityksiä opiskelijoilta haastatteluissa löytyy verrattuna kirjallisten perustelujen ja monivalintavastausten antamaan tietoon. Toisaalta haastattelussa opiskelijan käsitys voi myös muuttua oikeaksi, joten myös oienneet käsitykset tulee selvittää.

4 Representaatiotestin teemoitus

Representaatiotesti on kokonaisuudessaan nähtävissä liitteessä 1. Analyyseissä kysymykset jaettiin kontekstin eli FCI-testin kysymyksen ja kysytyn suureen perusteella seitsemään teemaan Niemisen (2006) mukaisesti. Alla näkyvät teemat ja niiden tehtävänannot kysytyine suureineen tiivistettyinä (luettelo) sekä teemojen testaamat representaatiot tehtävänumeroineen (Taulukko II). Teemojen numerot viittaavat siis FCI-testin kysymyksiin, joiden perusteella teemat laadittiin. Käytän teemoista tehtävineen pääasiassa lyhyitä kuvailunimiä, jottei tarvitse muistaa alkuperäisiä tehtävänumeroita. Representaatiot lyhennän isoilla kirjaimilla: sanallinen S, graafinen G, diagrammaattinen D, vektoriaalinen V ja kuvallinen K.

- FCI4, kolariteema, representaatiot S, D, V, G:
kuorma-auto ja henkilöauto ajavat nokkakolarin;
autojen toisiinsa kohdistamat voimat (selvitetään Newtonin III lain ymmärrystä)
- FCI1a, a-teema (putoamisen aikateema), representaatiot S, K:
kaksi samankokoista, eripainoista metallipalloa pudotetaan katolta;
pallojen putoamisaikojen vertailua (selvitetään peruskäsityksiä painovoimasta)
- FCI1k, k-teema (putoamisen kiihtyvyysteema), representaatiot S, D:
kaksi samankokoista, eripainoista metallipalloa pudotetaan katolta;
pallojen kiihtyvyyden vertailua (selvitetään peruskäsityksiä painovoimasta)
- FCI1v, v-teema (putoamisen voimateema), representaatiot S, D, V:
kaksi samankokoista, eripainoista metallipalloa pudotetaan katolta;
palloihin kohdistuvien painovoimien vertailua (peruskäsityksiä painovoimasta)
- FCI13, heittoteema, representaatiot S, V, G:
poika heittää teräspallon ylöspäin (ei huomioida ilmanvastusta);
palloon kohdistuvat voimat ilmassa (painovoiman ja heittoliikkeen ymmärrys)
- FCI28, tuoliteema, representaatiot S, D, V, G:
opiskelijat A ja B istuvat pyörällisillä toimistotuoleilla, painavampi A ojentaa jalkansa työntäen B:tä,
ja molemmat lähtevät liikkeelle;
opiskelijoiden toisiinsa kohdistamat voimat (selvitetään NIII lain ymmärtämistä)
- FCI30, tennisteema, representaatiot S, D, V:
tennispallo lyödään kentän toiselle puolelle voimakkaassa tuulessa;
tennispalloon vaikuttavat voimat ilmassa (selvitetään käsityksiä heittoliikkeestä ja painovoimasta)

Taulukko II: Representaatiotestin tehtävien representaatiot ja teemajako

	S	D	V	K	G
Kolariteema (FCI4)	19	14	1		8
a-teema (FCI1a)	2			13	
k-teema (FCI1k)	18	7			
v-teema (FCI1v)	10	4	20		
Heittoteema (FCI13)	9		15		3
Tuoliteema (FCI28)	5	21	11		16
Tennisteema (FCI30)	12	6	17		

4.1 R-testin tehtävät ja ratkaisut sekä analysointia lyhyesti

Tehtävien oikeat vastaukset ja vastausvaihtoehtojen vastaavuudet representaatioineen ovat nähtävissä liitteessä 3, jossa teemat a ja k on yhdistetty mm. tilan säästämiseksi. Selostan seuraavaksi tehtävänannot oikeine ratkaisuihineen ja perusteluineen mutten erityisemmin vastausvaihtoehtoja, jotka voi tarkistaa varsinaisesta r-testistä ja osittain liitteestä 3.

Kolariteema

Suuri kuorma-auto ja henkilöauto ajavat nokkakolarin. Merkitään kuorma-auton henkilöautoon kohdistavaa voimaa $F_{ka \rightarrow ha}$ ja henkilöauton kuorma-autoon kohdistavaa voimaa $F_{ha \rightarrow ka}$. Mikä seuraavista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten törmäyksen aikana autojen toisiinsa kohdistavia keskimääräisiä voimia?

Newtonin kolmannen lain mukaan autot kohdistavat yhtä suuret voimat toisiinsa; voiman vaikutus eli kiihtyvyys eroaa, jos massa ei ole sama. Väärissä vaihtoehdoissa voimat ovat erisuuruiset. Tehtävänannossa on tosin väärä partisiippi, mutta se ei luultavasti kovin paljon vastaajia hämää.

Putoamisteemat a, k ja v

Kaksi samankokoista metallipalloa, joista toisen massa on kaksinkertainen toiseen nähden, pudotetaan samanaikaisesti yksikerroksisen varastorakennuksen katolta maahan.

FCI-testin ensimmäisestä tehtävästä, joka koskee vain putoamisaikaa, oli laadittu kolme teemaa: putoamisaika (a), kiihtyvyys (k) ja palloihin kohdistuva painovoima (v) putoamisen aikana. Metallipallot ovat yleensä sen verran tiheitä, että ne putoavat yhtä nopeasti eli ilmanvastus on merkityksetön. Kiihtyvyys ja putoamisaika ovat siis samat. Kappaleeseen kohdistuva painovoima on suoraan verrannollinen massaansa muttei riipu esim. putoamismatkasta. v-teeman oikeissa vastauksissa on siis painovoimien suhde 1:2. Väärien vastausvaihtoehtojen osalta a-teeman sanallisen (t.2) ja kuvallisen (t.13) tehtävän välille liittyy hieman tulkintaa representationaalisen koherenssin suhteen:

2) *Putoamisaikoja kuvaa parhaiten lause - -*

13) *Putoamisen aikana palloista otetaan samanaikaisesti kuva ja lyhyen aikavälin jälkeen uudelleen yhteensä neljä kertaa. Mikä alla olevista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten pallojen putoamista katolta maahan?*

Vaihtoehdosta 2a) (raskaamman pallon putoamisaika on puolet kevyemmän ajasta) seuraisi, että raskaamman pallon kiihtyvyys on nelinkertainen kevyemmän pallon kiihtyvyyteen verrattuna, kun putoamismatka on sama. Toisaalta, edelleen liikeopin kaavan $s = \frac{1}{2}at^2$ mukaisesti, putoamisajan ollessa vakio matka ja kiihtyvyys ovat suoraan verrannolliset, eli kuvallisessa tehtävässä 13 matkojen suhteen pitäisi olla 1/4. Näin toisen potenssin t^2 johdosta sanallisen kysymyksen vaihtoehdoilla a ja b ei ole fyysikaalisista vastinetta kuvallisessa representaatioissa. Lähimmät vaihtoehdot ovat siis 2a-13b ja 2b-13a. Sanallisen kysymyksen d- ja e-kohtiin puolestaan voidaan hyväksyä kaksi vaihtoehtoa: samat kuin a- ja b-kohtiin tai 13d ja 13c. Muiden teemojen tehtävien vaihtoehtojen vastaavuuksissa ei ole vastaavaa tulkinnallisuutta. Tämä ei kuitenkaan näytä olevan merkittävä puute, koska oppilaat eivät yleensä tätä pientä ristiriitaa havaitse.

Heittoteema

Poika heittää teräspallon suoraan ylöspäin. Ilmanvastus on merkityksettömän pieni. Mikä seuraavista väittämistä kuvaa parhaiten palloon vaikuttavia voimia sen jälkeen, kun pallo on irronnut pojan kädestä, mutta ei vielä koskettanut maata?

Kun pallo heitetään ylöspäin, siihen vaikuttaa vain painovoima, ja se vaikuttaa yhtä suurena myös lakipisteessä pallon ollessa paikallaan. Kysymyksen 9 vaihtoehdot saavat useita vastineita 15:ssä: katso tarkemmin liite 3 selityksineen. Painovoima pysyy vakiona putoamisen ajan mutta toisaalta hiukan vaihtelee korkeuden ja ympäristön mukaan, ei kuitenkaan havaittavissa määrin.

Tuoliteema

Opiskelijat A ja B istuvat samanlaisilla toimistotuoleilla. Opiskelijan A massa on 75 kg, ja opiskelijan B massa 57 kg. Opiskelija A laittaa jalkansa opiskelijan B polville ja yhtäkkiä oikaisee jalkansa, jolloin molemmat tuolit lähtevät liikkeelle. Mikä seuraavista vaihtoehdoista kuvaa parhaiten oppilaiden toisiinsa kohdistavia keskimääräisiä voimia, jos oppilas A:n B:hen kohdistavaa voimaa merkitään $F_{A \rightarrow B}$ ja B:n A:han kohdistamaa voimaa $F_{B \rightarrow A}$?

Tuoliteema mittaa Newtonin kolmannen lain ymmärtämistä ja soveltamista. Oppilaat kohdistavat toisiinsa yhtä suuret voimat riippumatta siitä, liikkuvatko tuolit. Tässä teemassa on käytetty muutamassa kohdassa väärää partisiippimuotoa kuten aiemmassakin Newtonin kolmanteen lakiin liittyvässä kolariteemassa.

Tennisteema

Voimakkaasta tuulesta huolimatta tenniksen pelaaja onnistuu osumaan mailallaan palloon niin, että pallo lentää verkon yli ja laskeutuu vastustajan kenttäpuoliskolle. Kun pallo on irronnut mailasta mutta ei vielä ole koskettanut kenttää, siihen vaikuttavat seuraavat voimat - -

Tennisteemassa ilman aiheuttama voima palloon on merkittävä kovassa tuulessa, ja palloon vaikuttaa tunnetusti painovoima koko ajan. Lyönnin aiheuttama voima vaikuttaa vain hetkellisesti alussa, ei enää tehtävän tilanteessa. Lennon ajan jatkuva lyöntivoima on tässä yleinen harhakäsitys kuten heittoteemassakin.

Taivasteema (Liite 2)

Mikä vaihtoehto kuvaa parhaiten Maan ja Kuun välistä gravitaatiovoimaa?

Representaatiot olivat S ja V. Newtonin kolmannen lain mukaisesti Maa (E) ja Kuu (M) kohdistavat toisiinsa yhtä suuret mutta vastakkaisuuntaiset voimat. Kuun aiheuttama voima on vetovoima ja suuntautuu Maasta Kuuhun. Sitä kuvataan pallostä lähtevänä vektorina, ”voimanuolena”. Vastaavasti Maa vetää Kuuta puoleensa, ja Maan vetovoima Kuussa piirretään M:stä lähteväksi vektoriksi.

5 Testivastausten käsittely: tutkimuksen vaiheet

Tutkimus oli kolmivaiheinen, tosin nolanneksi vaiheeksi voisi määritellä tutkimuskirjallisuuteen tutustumisen ja tutkimusaineiston keräämisen eli kirjallisten vastausten esitarkastelun ja haastattelut. Ensimmäisessä vaiheessa (2006-2007) eli perusanalyysissä tutkin oppilaiden kaikkia vastauksia sekä numerojärjestyksessä että hiukan teemoittain, kirjallisia ja suullisia vastauksia vertaillen. Toisessa vaiheessa (2007-2008) eli tarkennetussa analyysissä pääasia oli edellisen vaiheen tarkentamisen ja monipuolistamisen lisäksi representaatioiden ymmärtämisen selvittäminen teemoittain. Kolmannessa vaiheessa (2008-2010) eli representaatio- ja luotettavuusanalyysissä oli kolme uudenlaista näkökulmaa representaatioiden kokonaisymmärryksen selvittämiseksi ja r-testin luotettavuuden arvioimiseksi.

Ensimmäisessä vaiheessa, haastattelujen jälkeen, litteroin ja analysoin sekä kirjalliset että suulliset vastaukset. Monivalintavastauksia perusteluineen tuli parikymmentä sivua, ja suullista tutkimusaineistoa eli haastattelulitterointeja oli nelisen kertaa enemmän. Vaiheessa 1 olin siten saanut tarkahkon yleiskuvan kustakin oppilaasta. Analyysi käsitti lähinnä yleisen ymmärryksen selvittämistä sekä käsitteiden että representaatioiden kannalta.

Toisessa vaiheessa tarkensin oppilas- ja teemakohtaista analyysiä ja käsitelin tutkimusaineistoa kolmesta eritellymmästä näkökulmasta: haastatteluissa ilmenneet lisävirhekäsitykset (jälkitestitiin ja kirjallisiin perusteluihin verrattuna), haastatteluihin mennessä oienneet käsitykset ja pääasia eli representaatioiden hallintaan liittyvät asiat (sekä jälkitestitiin että haastattelun aikana). Näillä voidaan arvioida mm. testin pätevyyttä. Syvennyin siis edelleen yhden oppilaan ajatuksiin kerrallaan.

Lopuksi kolmannessa vaiheessa siirryin kokoamaan vastauksista ja analyyseistä yleisempää tietoa kolmesta uudesta näkökulmasta koko oppilasjoukkoa koskevien tulosten selvittämiseksi ja edellisten vaiheiden aikana täsmentyneisiin tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi. Ensin jaottelin teemat fysikaalisen periaatteen mukaisesti kolmeen osaan ja selvitin niiden vastauksia representaatioiden kannalta. Toiseksi käsitelin kaikkia vastauksia yhdessä, edelleen representaatioiden hallinnan tarkastelemiseksi. Kolmanneksi vertasin monivalintavastauksia kirjallisiin perusteluihin ja haastatteluihin arvioidakseni testin validiutta.

5.1 Vaihe 1: vastausten yleisanalyysi

Ensimmäisessä vaiheessa oli monipuolista perusanalyysiä opiskelijoiden ajattelun selvittämiseksi. Ensin muodostin yleiskäsityksen kunkin koehenkilön ajattelusta litteroimalla haastattelujen äänitallenteet (Liite 6). Litterointien valmistuttua tutkin kirjallisia vastauksia ja perusteluja tarkemmin kysymysjärjestyksessä. Analysointeja varten vastauksille (230 kpl) määriteltiin kuusi *kategoriaa* eli perusteluluokkaa:

- 1 oikea vastaus - oikea perustelu
- 2 oikea vastaus - osittain oikea perustelu
- 3 oikea vastaus - virheellinen perustelu (clear false positive)
- 4 väärä vastaus - oikea perustelu (clear false negative)
- 5 väärä vastaus - osittain oikea perustelu
- 6 väärä vastaus - virheellinen perustelu

Litteroin myös kirjalliset vastaukset perusteluineen. Ne ovat kategorioineen luettavissa liitteessä 5 kysymysten kanssa numerojärjestyksessä. Näitä analyysejä käytettiin myös Eseran esitelmässä (Viiri ym., 2007). Tiiviin numeerisesti vastaukset luokitteluineen ovat liitteessä 4a, jossa kunkin opiskelijan ylin rivi näyttää jälkitestitiin ja loput kaksi riviä liittyvät haastattelujen antamiin lisätietoihin vaiheessa 2, kuten myöhemmin tarkennan. Jo ensimmäisessä vaiheessa kylläkin selvitin pintapuolisesti haastattelujen paljastamia muutoksia mm. kategorisoimalla haastattelulitteroinnit.

Tämän aineiston (Liitteet 4-6) antamia, ensimmäisen vaiheen tuloksia en tässä kovin tarkkaan esitä, koska ne vievät paljon tilaa eivätkä ole oleellisia tutkimusongelmien kannalta (myös niiden avulla osaltaan tosin tuki tutkimusongelmiin vastaan) ja koska vastaavia tuloksia on jo monissa muissa tutkimuksissa esitelty. Internet-liitteisiin olen kuitenkin litterointien analyysit ja tulokset sisällyttänyt.

5.1.1 Ensimmäisen vaiheen päätuloksia

Koehenkilöihin viitataan (muutetulla) etunimellä ja haastattelujärjestyksen mukaisella alaindeksillä. Kunkin opiskelijan kohdalla (Taulukko III) on ilmoitettu monivalintatestin pistemäärä ja mahdolliset käsitteelliset virheajatukset. Jälkitestin tulos (maksimi 23 pistettä) laskettiin oikeiden monivalintojen perusteella. Kirjallisten perustelujen avulla puolestaan selvitin virhekäsitykset, joille määrittelin kolme pääluokkaa FCI-taksonomian (Hestenes ym., 1992) mukaisesti. Painotus tutkimuksessa on käsitysten muuttumisessa ja representationaalisessa koherenssissa, joten virhekäsityksiä en kovin tarkkaan selvittänyt. Päävirhekäsitykset ovat dominanssiperiaate AR, putoamisaikaongelma G ja impetus I:

- AR dominanssiperiaate (vuorovaikutuksessa painavampi tai muutoin ”vahvempi” kohdistaa suuremman voiman); ristiriidassa Newtonin kolmannen lain kanssa
- G käsitys painavampien kappaleiden nopeammasta putoamisesta (usein ilmanvastuksesta riippumatta); gravitaatiokiihtyvyyden vakioisuus maan pinnalla jäänyt ymmärtämättä
- I impetus eli liikevoima liikkeen mahdollistavana ja sitä ylläpitävänä tekijänä: luulo, että liike (esim. ilmalento) vaatisi pysyvän voiman; Newtonin I ja II lain vastaisesti

Taulukko III: Opiskelijoiden likimääräinen taitotaso (monivalintatestin pistemäärä) paremmuusjärjestyksessä ja kirjallisissa perusteluissa ilmenneet päävirhekäsitykset (AR, G tai I); pieni rasti tarkoittaa osittaista virhekäsitystä.

Pisteet	Opiskelija	AR	G	I
8	Joonas ₃	X	X	X
10	Riikka ₉		X	X
14	Konsta ₂	X		
15	Minna ₇	x	X	x
15	Julia ₁		X	
16	Olli ₄		x	
18	Anna ₀		X	
20	Henna ₆		X	
22	Sini ₅		x	
22	Mikko ₈			

Nähdään siis, että jos oli virhekäsitys AR, sai korkeintaan 15 pistettä: voiman ja vastavoiman lain kysymyksiä oli kahdeksan 23:sta. Muut virhekäsitykset eivät antaneet yhtä selviä tuloksia. Putoamisen virhekäsitys G oli yleisin (8/10) ja muita kahta oli vain kolmella. Toisaalta on hieman epämieliekästä tarkastella pelkkiä pistemääriä ja virhekäsityslukemia, koska niihin saattoivat vaikuttaa myös vaihtelevat lisävirhekäsitykset tai vahingot, joita ei välttämättä ilmennyt monivalinnoissa tai kirjallisissa perusteluissa. Kaikilla tytöillä oli putoamiskiihtyvyyden tai putoamisajan virhekäsityksiä mutta vain puolella pojista: Konstalla ja Mikolla ei ollut käsitystä raskaampien kappaleiden automaattisesti nopeammasta putoamisesta. Tämä saattaa tosin vain olla pienen otoksen sallima mielenkiintoinen sattuma.

Ei ole tyypillistä opiskelijaa: osa voi vastata väärin voiman ja vastavoiman lain kysymyksiin mutta oikein painovoima- ja kiihtyvyydyskysymyksiin ja osa päinvastoin. Sitten on myös lähes täysin oikein vastaavia ja sellaisia, jotka eivät oikein osaa mitään. Sehän oli odotettavissakin, koska haastatellut opiskelijat oli valittu laajalta jälkitestin pistealueelta. Kuitenkaan väärinkäsitykset eivät välttämättä siis kasaannu mitenkään

ennustettavasti. Useimpia FCI-artikkelin (1992) virhekäsitysluokkia esiintyi meidänkin kymmenellä opiskelijallamme, ei toki kaikilla. Opiskelijakohtaisia tuloksia on äskeisen taulukon lisäksi alempana vaiheiden 2 ja 3 yhteydessä ja tarkemmin liitteissä 4-8.

Muutamit opiskelijat puhuivat Newtonin kolmannen lain yhteydessä (tuoli- ja kolariteemat) voimien tasapainottumisesta tai siitä, että kokonaisvoima on nolla. Tässä näyttää olevan kyseessä jonkinlainen sekaannus Newtonin lakien kesken. Tasapainottumisesta oli opetuksessa puhuttu jatkavuuden lain (jos kappaleeseen kohdistuva kokonaisvoima on nolla, liike on tasaista), ei voiman ja vastavoiman lain kohdalla. Asia vaatii lisäpohdintaa. Vastaavasta väärinkäsityshavainnosta kerrotaan lyhyesti jo FCI-taksonomiassa (Hestenes ym., 1992, Concatenation of Influences). Osa opiskelijoista mainitsee ajatuksen jo kirjallisissa perusteluissa, osalla se ilmenee vasta haastattelussa. Sentään kaikilla ei nähtävästi käsitystä onneksi ole. Voimien kumoutumista tällaisessa väärin sovelletussa yhteenlaskussa jotkut käyttävät lisäperusteena muille käsityksille. Voimaa ja vastavoimaahan ei pidä laskea yhteen, koska ne vaikuttavat eri kappaleisiin. Toisaalta liikemäärän säilymlakia opettaessa voimaa ja vastavoimaa pidettiin systeemin sisäisinä voimina, jolloin ne laskettiin yhteen. Se oli kuitenkin jälkitestin jälkeen, joten se ei useimpiin käsityksiin ole syynä, koska moni ajatteli yksioikoista summaamista jo jälkitestin kirjallisissa perusteluissa, ennen liikemäärän säilymlain johtamista.

Useimmilla oli jossain määrin virheellisiä tietoja ilmanvastuksesta. Se arvioidaan helposti liian isoksi tai pieneksi tai esim. sen riippuvuus muodosta, koosta ja nopeudesta ymmärretään vajavaisesti. Tennisteamassa useimmat pitävät ilman aiheuttamaa voimaa ilmanvastuksena, joka on liikkeen suunnalle vastakkainen, eivätkä oivalla, että kyseessä voisi olla myös liikettä edistävä sivuttaistuuli. Ilmanvastus toki on melko haastava käsite, joten näitä ei ole laskettava pahoiksi virheiksi.

Pallonheitossa vaikeuksia voi tuottaa voimakuvaajan sekoittaminen liikekuvaajiin tai se, ettei oikein ymmärrä, mitä tarkoittaa negatiivinen tai positiivinen painovoima. Muutamissa kysymyksissä vastattiin vahingossa väärin, ja joidenkuiden vastauksissa meni vektorien suunta tai sanojen järjestys toisin päin kuin ajattelussa. Opiskelija saattaa tietää, että kahden metallipallon (oleellisesti ilmanvastuksettomassa) pudotuksessa kiihtyvyys on sama, mutta kuitenkin vastata, että toinen palloista tulee ensin alas. Jotkut eivät käsitä putoamiskiihtyvyyttä g mahdolliseksi ja todelliseksi kiihtyvyydeksi, vaan se jää mystiseksi vakioarvoksi.

5.1.2 Täsmentyneet tutkimusongelmat

Edellä (sivu 4) oleva representaatioita koskeva pääongelma jakautuu seuraaviin, vaiheen 1 aikana muotoutuneisiin kysymyksiin. Myöhemmin kuvaan, miten ne sijoittuvat vaiheisiin 2 ja 3: vaiheen 3 näkökulmat muotoutuivat vähitellen vaiheen 2 aikana. Representaatioihin liittyvien tutkimusongelmien lisäksi selvitan vaiheessa 2, millaisia uusia käsityksiä monivalintavastauksiin ja kirjallisiin perusteluihin nähden haastattelussa ilmenee, ja vaiheessa 3 r-testin luotettavuutta.

1. Miten opiskelijat osaavat kytkeä eri representaatiot toisiinsa?
2. Kun käytetään samasta kysymyksestä erilaisia representaatioita, onko opiskelijoilla tiettyjen representaatioiden kanssa samanlaisia virheitä tai ongelmia, ja miten se näkyy vastauksissa?
3. Onko tavallista, että samalla opiskelijalla olisi tiettyjen representaatioiden kanssa muita representaatioita useammin ongelmia kontekstista riippumatta?
4. Tuottavatko jotkin representaatiot keskimäärin opiskelijoille useammin hankaluuksia tehtävästä ja kontekstista riippumatta? Minkälaisia ongelmia?
5. Onko fysikaalisen tiedon osaamisella ja representaatioiden hallinnalla välttämättä yhteyttä keskenään: onko ongelmia representaatioiden hallinnassa riippumatta fysiikan ymmärtämisestä vai siitä riippuen?
6. Mitä syitä selviää representationaalisesti eroaville valinnoille?

5.2 Vaihe 2: teemat ja käsitysten muuttuminen

Haastatteluissa sain lisätietoja, miten opiskelijat olivat ajatelleet testin aikana, ja niiden perusteella muutin muutamia kategorisointeja. Lisäksi kirjallisena tutkimusaineistona käytetyn jälkitestin (teetettiin maanantaina 11.9.) ja haastattelujen (lauantaina 16.9.) välillä oli ollut viisi päivää aikaa, joten opiskelijat olivat saattaneet oppia fysiikkaa paremmin niin, että osasivat haastatteluissa vastata oikein useampiin kysymyksiin. Joskus muutetut vastaukset eivät oienneet vaan vaihtuivat väärästä toiseksi vääräksi. Analysoin nämä kolmenlaiset vastaukset ja perustelut (siis kirjalliset, suullisesti tarkentuneet ja suullisesti vaihdetut) erikseen (Liitteiden 4a-b kolme riviä). Niistä käytän nimitystä *vastaustilanteet* (ks. myös Taulukko IV).

5.2.1 Vastaustilanteet

Ensimmäinen vastaustilanne tarkoittaa jälkitestistä ja kirjallisia perusteluja. Toisessa on mukana haastattelujen paljastamat tarkennukset ensimmäiseen ja mahdolliset muutokset kategorioihin. Vahingossa väärin vastatut ja haastattelussa oikaistut merkitsen myös toiseen vastaustilanteeseen, mutta muuten vastausvaihtoehto ei keskimmaisella rivillä vaihdu. Kolmas vastaustilanne sisältää oppimisen, siis oienneita käsityksiä, jos sellaista haastattelujen pohjalta kävi ilmi. Toisaalta myös käsitysten muuttuminen mutta säilyminen virheellisinä (väärä oppiminen) näkyy kolmannessa vastaustilanteessa. Toinen ja kolmas vastaustilanne esiintyivät samaan aikaan haastatteluissa, välillä suoraan, välillä limittäin tai rivien välissä, mutta pyrin erottamaan ne toisistaan. Useimmiten opiskelijan ajattelussa ei tapahtunut muutoksia, jolloin vain ensimmäinen vastaustilanne (monivalintavaihtoehto ja sen kategoria) on merkitty liitteeseen. Oppiminen oli tutkimuksen kannalta toissijaista mutta pitää tuki huomioida haastatteluja tutkittaessa. Tarkoitin siis, että olisi ollut helpompi selvittää asioita, jos haastattelut olisi voitu tehdä heti monivalintojen jälkeen. Nyt kuitenkin pitää ottaa huomioon mahdollinen oppiminen lähes viikon aikana. Toisaalta voihan se monipuolistaa analyysiä ja tuoda uusia tietoja. Vastaustilanneanalyysin tein pääasiassa toisessa vaiheessa mutta alustavasti jo vaiheen 1 lopussa.

Ensimmäisen vaiheen vaihtuessa toiseksi myös tarkistin kirjallisista vastauksista luokittelun, perustelin sen lyhyesti ja lajittelin vastaukset edellä määriteltäisiin teemoihin, jotka arvostelin sen mukaan, oliko opiskelija valinnut representationaalisesti toisiaan vastaavat vaihtoehdot. Tälle vastaavuudelle eli representationaaliselle koherenssille määriteltiin kolme luokkaa Niemistä (2006) mukaillen:

- I kaikkiin teeman kysymyksiin vastattu johdonmukaisesti:
representationaalisesti koherentti teema
- II yksi epäjohdonmukaisuus teeman vastauksissa:
representationaalisesti melko koherentti teema
- III vähintään kaksi epäjohdonmukaista vastausta teemassa:
representationaalisesti epäkoherentti teema

Sekä oikea käsitteellinen ajattelu että virhekäsitykset voivat saada minkä tahansa koherenssiluokan. Keskinäisiä riippuvuuksia kategorioille ja koherensseille ei ole mielekästä etsiä: kaikki oikeat vastaukset antavat koherenssin I, vaikka perusteluissa olisikin käsitteellisiä tai representationaalisia virheitä, ja teemat, joissa kategoriat ovat 5 tai 6, voivat yhtä hyvin saada koherenssin I, II tai jopa III. Toisaalta koherenssi ei voi olla I, jos osa valinnoista on oikein ja osa väärin. Kukin opiskelija sai seitsemän koherenssiluokitusta, yhden kuhunkin teemaan. Tosin teemat a ja k olivat alun perin yhdistettyinä nelikysymyksiseksi FCI1p-teemaksi analyysissä, joten vaiheen 2 alussa oli vielä vain kuusi luokkaa. Aikateeman koherenssilla kriteerit ovat monivalintojen vastaavuuksien tulkinnasta (s. 6) johtuen lievemmat kuin muissa teemoissa.

Opiskelijoiden vastaukset numerojärjestyksessä on esitetty taulukkona numeerisesti liitteessä 4a ja liitteoituina liitteissä 5 ja 6. Ne vastaavat tutkimuksen ensimmäistä (ja osin toistakin) vaihetta. Vastaukset on jaoteltu teemojen mukaan numeerisesti liitteessä 4b, josta ilmenee myös teeman representationaalinen koherenssi (I, II tai III) eri vastaustilanteissa. Liitteessä 5 (kysymykset ja kirjalliset vastaukset) ei ole vielä vaiheessa 2 lisättyä kategorisointiperustelua. Kuten kirjallisetkin vastaukset, myös haastattelulitteroinnit tarkistin ja analysoin teemoittain toisen vaiheen alkuun mennessä. Liitteessä 7 on sekä kirjallisten että

suullisten vastausten litteroinnit teemoittain ensimmäisen ja osin toisenkin vaiheen analyysineen. Kirjallisten vastausten mukana on nyt luokitteluperuste, joka liitteestä 5 vielä puuttui. Liitteessä 8 on varsinaiset vaiheen 2 selvitykset (joista alempana) tiiviisti muutamin haastatteluottein.

Testivastausten ja kirjallisten perustelujen osalta (Taulukko IV, ylin rivi) oli yhteensä 136 vastausta kategoriassa 1 ja 49 kategoriassa 6. Muissa luokissa oli paljon vähemmän vastauksia, eli selvä enemmistö oli joko kokonaan väärin tai kokonaan oikein. Yhteensä oli 230 kysymystä eli 23 kullakin oppilaalla. Koherenssimerkinnät myös jakautuivat enimmäkseen korkeimpaan koherenssiluokkaan. Representationaalisesti vaikeimmat teemat olivat a, k ja heittoteema (katso Liite 4b). Niissä korkeimpaan koherenssiluokkaan I tuli 4-7 oppilasta. Muissa teemoissa oli 9-10 I-oppilasta eli melkein kaikki representationaalisesti koherentteja. Toisaalta myös käsitteelliset hankaluudet vaikuttanevat näihin tuloksiin.

Haastattelujen myötä oikeiden tai osittain oikeiden vastausten määrä kasvoi taulukon mukaisesti. Oikeita valintoja oli testissä 160 (kirjallisista perusteluista), tarkennetuin perusteluin eli haastattelujen avulla 166 ja oppiminen mukaan luettuna 178. Kaikista niistä tosin 1-5 % oli väärin perustein valittuja. Esimerkiksi Annalla₀ (katso liite 4b) oli neljä vastausta kategoriassa 6, kaksi kategoriassa 2, yksi kategoriassa 5, ja loput olivat oikein. Toisessa ja kolmannessa vastaustilanteessa jakaumat hieman muuttuivat. Kysymysten teemat ja kontekstit näkyvät siis sivulla 5 (Taulukko II).

Taulukko IV: Vastaustilanteet ja kategorioiden sekä koherenssiluokkien jakaumat

	Kat.1	Kat.2	Kat.3	Kat.4	Kat.5	Kat.6	I	II	III
Vastaustilanne 1 Jälkitemsti + kirjalliset	136	18	6	8	13	49	54	14	2
Vastaustilanne 2 Jälkitemsti + tarkennukset	130	22	10	5	7	56	57	12	1
Vastaustilanne 3 Jälkitemsti + oppiminen	139	29	9	3	4	46	58	11	1

Koherenssiluokitukset eivät oleellisesti muuttuneet haastatteluiden avulla. Tietysti vain kymmenen oppilaan aineistosta on hiukan vaikeaa ja epämieliekästäkin tehdä numeerisia analyysyjä. Tietoa oppilaiden ajattelusta toki tuli.

5.2.2 Kolme opiskelijakohtaista näkökulmaa

Toisen vaiheen alussa tarkistin ja yhdistin opiskelijoiden vastausten, perustelujen ja haastattelujen litte-roinnit teemoittain analyyseineen tutkiakseni niitä toisen vaiheen näkökulmista. Kunkin opiskelijan osalta siis selvitin lisävirhekäsitykset (haastatteluissa löytyneet ajatukset, joita ei ollut monivalinnoista ja perusteluista pääteltävissä), opitut ja muutetut käsitykset ja lopuksi representaatioseikat.

Tiivistettyinä tulokset ovat alla (Taulukko V). Kokonaisuudessaan aineiston ja analyysit voi lukea liitteistä 7 ja 8. Liitteeseen 7 olen laittanut jokseenkin kaiken tutkimusaineiston opiskelijoittain: ensin teeman kirjalliset vastaukset analyyseineen ja sitten teeman haastattelulitteroinnin analyyseineen. Analyysien näkökulma on pääasiassa vaiheen 1 mukainen tarkan yleiskäsityksen hankkimiseksi ja samalla vaiheen 2 pohja-analyysiksi. Varsinaiset vaiheen 2 näkökulmat (aineistoja liikaa toistamatta) käsitelän teemoittain liitteessä 8. Otteita ja analyysijä on myös luettavissa alempana vaiheen 3 yhteydessä.

Taulukko V: Vaiheen 2 tulokset (erityisesti haastattelujen paljastamat tarkennukset) lyhennettyinä

Opisk.	Lisävirheet	Oienneet ja muutetut	Representaatioasiat
Anna	N3: laki ehdollinen, voimien kumoutuminen; painavampi putoaa nopeammin	pallojen kiihtyvyydet samat (eivät kuitenkaan putoamisajat)	graafinen pallonheitto sekoittaa; kuvaajan huolimattomuus tulkintaa ja väärinkäsityksiä: luuli katkoviivaa liikkeeksi eikä heittovoimaksi
Julia	raskaampien nopeampi putoaminen varmistui; sama ilmanvastus => sama vaikutus putoamisaikoihin	suurempi massa ei tarkoita suurempaa kiihtyvyyttä; painovoima suoraan verrannollinen massaan	Pallonheitossa 3G vaikea: mitä tarkoittaa negatiivinen ja positiivinen painovoima; osaa nyt vastata pallonheiton graafiseen
Konsta	voima määrää suunnan; tuolit lähtisivätkin A:n suuntaan; kitkan ja liikkumisen vaikutus	Lisätehtävä oikein: N3 lakia muistelee ja sen jälkeen 16G:ssä tuumii oikeatakin vaihtoehtoa	heittoteemassa tuntee fysiikan mutta ei sanallisessa hyväksy "painovoima lähes vakio"-vaihtoehtoa epätarkkana ja siksi valitsee väärän
Joonas	-	on kerran vastata N3:n	kolarin G ja V epäkoherentteja
Olli	liian suuri ilmanvastus	ei enää sekoita G:tä ja g:tä	putoamisajan sanallinen päinvastoin
Sini	-	ahaa-elämys: massa ei vaikutakaan kiihtyvyyteen	ymmärtää lisätehtävien vektorit erityisen hyvin (niin Ollikin)
Henna	tyhjiössä ei vaikuta voimia	-	K- ja G-ongelmia: mm. G:n merkki
Minna	vain staattisessa tilanteessa N3 on ok, koska " $\Sigma F=0$ "; A painavampana pidemmälle; G kasvaa esineen tippuessa	ei hyväksy ahaa-elämystä, vaikka johdateltiin samoin kuin Siniä (vrt. Vygotskyn lähikehityksen vyöhyke)	G vaikea; sanallinen väärin päin a-teemassa
Mikko	L1: ensin a / f: käsitteellistä ongelmaa / huolimattomuutta	Lisätehtäviä ei tunneilla: dominanssiperiaate aluksi	7D aluksi vahingossa väärin; 9S:ssä painovoimatulkinta kuten Konstalla
Riikka	8G: voimien kumoutuminen; väärinkäsityksiä kiihtyvyydestä ym: vastavoima vaikuttaa samaan kappaleeseen	aluksi oli luullut painovoimaa vakioksi kuten Ollikin mutta oli oppinut, että g:n kuuluu olla vakio	Representationaalinen ymmärrys pääosin kunnossa vaikka muutoin onkin käsitteellisiä virheitä; 3G vaikea, huomaa vastanneensa väärin

5.3 Vaihe 3: koontia opiskelijoista, kolme näkökulmaa

Viimeisessä vaiheessa tutkin tarkemmin representaatioiden hallintaa koko opiskelijajoukon osalta, ja toisaalta testin luotettavuutta, pätevyyttä ja monikäyttöisyyttä, kolmesta näkökulmasta, joihin viitataan lyhenneillä O, K ja V. Niissä kokoan ensin kustakin opiskelijasta havaintoja ja sitten yhdistän ne laajemmiksi näkökulmiksi.

- O, osareprenäkökulma: Representaatioiden hallinta teemaryhmissä: kolme kokonaisuutta (teemaryhmää), joissa 2-3 teemaa kussakin
- K, kokoreprenäkökulma: Representaatioiden hallinta koko aineiston perusteella
- V, validiteettinäkökulma: Monivalintatestin validiteetin arviointi: miten monivalinnat ja perustelut tulevat toisiaan tai eroavat toisistaan

5.3.1 O, representaatioiden hallinta teemaryhmittäin

Kolmosvaiheen osareprenäkökulmassa teemat jaetaan kolmeen kokonaisuuteen fysikaalisen sisällön perusteella. Kussakin on kaksi tai kolme teemaa, ja samalla kaksi tai kolme kontekstia (tai kysyttyä suuretta). O3 käsittää Newtonin kolmatta lakia luotaavat tehtävät, siis kolari- ja tuoliteemat. OP sisältää pallojen pudotuksen liikkeen kontekstin eli teemat a ja k. OV:hen kuuluvat painovoiman ja muiden voimien ymmärtämistä käsittelevät v-, heitto- ja tennisteemat. Lisäksi on kokonaisuus OL lisätehtäville Maan ja Kuun gravitaatiovuorovaikutuksesta. Lisätehtävät liittyvät fysiikaltaan kokonaisuuksiin O3 ja OV. Kussakin kokonaisuudessa pohdin, mitä seikkoja (kokonaisuuden sisällä) paljastuu representaatioiden hallinnassa. Tarkoitus on vähentää fysikaalisten periaatteiden ymmärtämisen vaikutusta vastauksiin, yrittää erottaa representaatiot kontekstista. Nyt siis kaikkien oppilaiden vastaukset tulevat kerralla käsitellyiksi lajiteltuina kokonaisuuksiin. O-näkökulma käsittelee liitteitä 7 ja 8 ja kokoaa tulokset seuraaviin kappaleisiin.

Etsin representationaalisia eroja ensinnäkin numeerisesti liitteen 4b perusteella: jos yksittäisen oppilaan kategorialuokitus (sivu 8) eroaa jossakin teemassa tai teemakokonaisuudessa minkä tahansa vastaustilanteen (joita siis on kolme, kuten sivulla 11 selitetään) osalta, tutkin erojen syitä. Jos representationaalinen koherenssi (luokat I-III, sivu 11) on sama I kullakin kokonaisuuden teemalla, representaatioiden ymmärtämisessä ei ilmaantunut selviä eroja. Jos se on eri, representaatio tai konteksti vaikuttaa tai jotakin muuta vaihtelua on. Tosin vaikka koherenssi olisi samakin, joitakin eroja voi olla (esim. jokin representaatio laukaisee osittain virheellisen mielleyhtymän), eli liitteen 4b tulkintaa ei voi tehdä pelkästään numeerisesti. On siis tutkittava lisäksi aiemmat analyysit uudestaan näistä uusista näkökulmista.

Kokonaisuudessa O3 on 80 vastausta tutkittavana: kymmenen oppilasta ja kahdeksan kysymystä. Molemmissa teemoissa (autot: 1V, 8G, 14D, 19S ja tuolit: 5S, 11V, 16G, 21D) on samat neljä representaatiota ja tarvitaan voiman ja vastavoiman lakia. Tosin, jos lasketaan erikseen testivastaukset ja haastatteluvastaukset (eli huomioidaan vastaustilanteet erikseen), luku kolminkertaistuu 240:een (joista suurin osa siis ei ole aidosti omia tuloksiaan).

Kokonaisuudessa OP on 40 vastausta: a-teemassa (2 ja 13) representaatiot S ja K ja k-teemassa (7 ja 18) representaatiot D ja S. Kyse on siis pallojen pudotuksesta koskien perusliikeoppia: putoamisaikaa ja kiihtyvyyttä.

Kokonaisuudessa OV on eniten kysymyksiä, nimittäin 90, ja saman verran siis vastauksia. Vuorossa ovat v-teema (4D, 10S, 20V), heitto (3G, 9S, 15V) ja tennis (6D, 12S ja 17V). Näissä tehtävissä siis testataan painovoiman ja osin ilmanvastuksen käyttäytymisen ymmärtämistä sekä mahdollista impetusharhaa. Kaikkia representaatioita on mukana paitsi kuvallista (jota muutenkin oli vähiten: vain a-teemassa, siis yksi kysymys 21:stä).

Kokonaisuudessa OL on vain Maa-Kuu-lisätehtävän (Liite 2) vastaukset tutkittavana sanallisessa ja vektoriaalisessa muodossa. Opiskelijoiden vastausten luokittelut tällä tavoin kolmosvaiheen O-näkökulmiin (teemaryhmiin) eriteltyinä on esitetty liitteessä 9.

5.3.1.1 O3: Newtonin kolmas laki

O3-kokonaisuus sisältää Newtonin kolmanteen lakiin liittyvät kysymykset: kolariteeman (1V, 8G, 14D, 19S) ja tuoliteeman (5S, 11V, 16G, 21D). Silmäys liitteeseen 9 näyttää, missä kokonaisuuksissa on eroja representaatioiden hallinnassa kunkin oppilaan kohdalla. Katsotaanpa tarkemmin, mitä eroja.

Annan₀ graafiset vastaukset O3-kokonaisuudessa eroavat muihin representaatioihin nähden. Muut representaatiot menivät täysin oikein. Mielenkiintoista on, että molemmissa teemoissa juuri graafisessa representaatioissa opiskelija erityisesti mainitsee voimien tasapainottuvan. Houkuttelevatko x-akselin eri puolilla olevat voimaviivat ajattelemaan tasapainottumista? Graafinen representaatio näyttäisi yhdistyvän vaa'an tasapainottumiseen ja voimien virheelliseen summaamiseen. Voihan tosin olla, että ajatus piili muissakin representaatioissa muttei kuitenkaan tullut ilmi. Jonkinlainen lisäepävarmuus tässä on, etten tarkkaan selvittänyt, miten oppikirja ja opettaja olivat käsitelleet aihetta; opetustilanteilla saattaa olla merkitystä.

Konsta₂ vastasi koherentisti väärin näihin teemoihin, eivätkä kategoriakaan muuttuneet, paitsi viimeisessä vastaustilanteessa tuolitehtävän graafisessa osassa oli jotakin oikeaa ajatusta: lisätehtävän (johon vastasi oikein) esittämisen jälkeen tehtävässä 16 hän muistelee voiman ja vastavoiman lakia. Hän ei kuitenkaan enää arvele oikeaa periaatetta 21D:ssä, josta vähän myöhemmin haastateltiin, vaan palaa dominanssiperiaatteeseen. Oliko kyse tässä kuitenkin representationaalisesta erosta? Todennäköisesti ei, koska ajatus oli vain lyhytaikainen ja esiintyi ilmeisesti lisätehtävän vaikutuksesta.

Joonaksella₃ oli vaikeuksia representaatioiden kanssa: kolariteemassa oli hajontaa koherenssin suhteen, kun taas tuoliteema meni johdonmukaisesti – miksi autoesimerkki on hankalampi kuin tuolutilanne? Graafisissa representaatioissa hän vastasi arvauksen kautta, tehtävään 8 oikein mutta tehtävään 16 väärin. Hän perusteli haastattelussa (t.8) väärin, että jos voima on ylempänä, se on suurempi, mutta tehtävää 16 tulkitsti hieman paremmin, että voima on miinuspuolella vastakkaissuuntainen. Tehtävässä 1V on ristiriitainen kirjallinen perustelu, joka haastattelussa vaihtuu väärää vastausta vastaavaksi. Joonaksella tuntuvat sekä representaatiot että fysikaaliset periaatteet olevan jokseenkin ongelmallisia.

Muiden oppilaiden vastauksissa ei O3-näkökulman osalta ole tutkittavaa koherenssin perusteella. Kuitenkin Minnalla₇ ja Riikalla₉ osa kategorioista vaihtelee.

Minna₇ vastaa kolariteeman diagrammaattisessa representaatioissa täysin oikein mutta muissa vain osittain oikein. Kyse ei varmastikaan ollut representationaalisesta seikasta, koska perustelut muissa kohdissa olivat johdonmukaiset ja samanlaiset (voimien tasapainottuminen) - kirjallinen ja suullinen perustelu (NIII) vain oli lyhyt diagrammaattisessa, eikä siinä eksplisiittisesti voimien kumoutumisajatusta esiintynyt. Kategoriaeroista huolimatta siis ei ollut eroa representationaalisessa eikä fysikaalisessa ymmärtämisessä. Tuoliteemassa on enemmän hajontaa: oikeita ja väärä perusteluita. Haastatteluissahan paljastui väärä käsityksiä suuremmin kuin kirjallisissa vastauksissa. NIII pätee (kokonaisvoima on nolla) vain jos kappaleet eivät liiku; jos liikkuminen on jo alkanut, kokonaisvoima on dominanssiperiaatteen mukaiseen suuntaan. Representaatiot eivät vaikuttaneet vastauksiin tai perusteluihin, vaikka Minna kertookin graafisten voimakuvien olleen hankalimpia. Sattumalta vain perustelut eivät olleet yhtenevät eri representaatioilla.

Riikka₉ vastasi lähes kaikkiin oikein, mutta graafisessa kolarissa oli vähän haparointia: lyhyt ajatus voimien kumoutumisesta. Nähtävästi vain sattuma oli tämäkin kategoriamuutos, ei liity representaatioihin.

O3-kokonaisuus meni siis keskimäärin hyvin oppilailla: Newtonin kolmatta lakia osataan soveltaa tai ainakin representaatioita näissä kahdessa kontekstissa tulkita. Kokonaisuudessaan O3:n graafiset representaatiot olivat vaikeimmat, ja niissä esiintyi kahdella oppilaalla Newtonin kolmannen lain virhetulkinta voimien kumoutumisesta. Joonaksella oli kolariteeman representaatioissa vaihtelua, Minnalla puolestaan tuoliteemassa. Representaatioiden hallinnasta ei kuitenkaan näillä kahdella ollut kyse (Joonaksella₃ ehkä osin, mutta käsitteellistä puolta oli hänen tapauksessaan hankala erottaa representationaalisesta).

5.3.1.2 OP: pudotusteemat

OP-kokonaisuudessa on pallojen pudottamiseen liittyvät kysymykset: a-teeman 2S ja 13K sekä k-teeman 7D ja 18S.

Annan₀ a-teeman kuvallinen meni aavistuksen paremmin kuin sanallinen. k-teemassa oppiminen paransi lopulta suoritusta molemmissa representaatioissa. Molemmissa teemoissa vastaukset olivat kuitenkin representationaalisesti koherentteja. Moni oppilas vastaa putoamisajan ja putoamispaikan jokseenkin kääntäen verrannollisiksi (ymmärtämättä toisen potenssin yhteyttä), eli sikäli on representationaalista ongelmaa, mutta se on enemmänkin monimutkaisten käsitteiden yhteyksiin liittyvää kuin aidosti representationaalista: tämä a-teemahan on hieman ongelmallinen, koska kuvallinen esitystapa liittyy putoamismatkaan ja sanallinen putoamisaikaan.

Julia₁ oli perustellut kirjallisesti oikein (jos pelkkää vastausta katsotaan) a:ssa mutta ajatellut väärin (perustelu ei ollut ollut yksiselitteinen), mikä varmistui haastatteluissa; representationaalisia eroja ei häneltä teemoissa löytynyt. Hän vaihtaa haastattelussa vastauksensa tehtävässä 2 d:stä a:ksi eli toiseksi vääräksi ja vaikuttaa harkitsevansa valintansa vaihtamista 7:ssä oikeaksi tunnilla opitun perusteella. Tämä oiennut käsitys jää kuitenkin kovin keskeneräiseksi, ja käytännössä vastaus ja koherenssi säilyvät samoina. Uusi väärä vastaus 2:ssa ei enää sovi koherentisti 13:n vastaukseen, joten luokaksi a-teemalle voisi tulla II. Näissä oli kyse enemmän kuitenkin käsitteellisistä ongelmista painovoiman ja kiihtyvyyden kanssa kuin representationaalisista seikoista.

Konsta₂ osasi OP:n hyvin. Putoamisajassa ilmaantui haastattelun myötä hiukan ymmärtämisen puutteita, mutta representaatioihin liittyvää vaihtelua ei Konstallakaan ollut näissä teemoissa.

Joonas₃ vastasi ja perusteli kaikkiin OP:n kysymyksiin väärin. Putoamisaikateemassa hän oli koherentti, mutta vastaukset kiihtyvyyteen (k-teema) olivat osittain koherentteja. Sanallisesti raskaamman kiihtyvyys oli kaksi kertaa suurempi mutta diagrammaattisesti vain jonkin verran suurempi. Kyse ei ollut pylväiden väärin katsomisesta, koska haastattelussakin hän sanoi ”vähän suurempi”. Nähtävästi siis oli käsitteellisesti epävarmaa ajattelua, josta tuli myös representationaalista vaihtelua. Ehkä Joonas vastasi varmuuden vuoksi vähän eri tavalla, jotta ainakin toinen menisi oikein, tosin näin hän ei ainakaan ääneen kertonut.

Olli₄ oli vaihteleva vastauksissaan. Hänelle oli selvästi sanallinen representaatio vaikeampi, koska hän vastasi päinvastoin kuin perusteli a:ssa: sanat tai sanamuodot menivät nähtävästi sekaisin. Haastattelussaakaan ei huomannut erhettä. Kiihtyvyysteemaan vastasi kussakin vastaustilanteessa koherentisti kuten perustelikin: samanlaista päinvastaista valintaa ei sattunut.

Sini₅ ymmärsi hyvin asiat. Putoamisteemassa oli aavistuksen puutteellisia perusteluja mutta vastaaminen oli representationaalisesti koherenttia vailla ongelmia. Aiempien oppikirjojen esimerkit erilaisten kappaleiden pudottelusta olivat auttaneet vastaamista kuvallisessa representaatioissa. Ainoastaan tehtävässä 7D (k-teema) hän vastaa väärin ja perustelee epävarmasti raskaammalle suuremman kiihtyvyyden. Ehkä pylväiden avulla oli helpompi harhautua, kun oli epävarmoja ajatuksia. Sanalliseen puolestaan vastasi oikein, ajatellen ettei yksikerroksisen lyhyt matka ehdi vaikuttaa. On hiukan hankala arvioida, oliko tässä kyse representationaalisesta ongelmasta, luultavasti osittain kyllä.

Henna₆ vastasi a-teemaan väärin mutta k-teemaan oikein. Sanallinen vaihtoehto meni testissä sekaisin tälläkin oppilaalla, täysin vahingossa kuitenkin koska perusteli eri kohdan ja vahvasti vahingon haastattelussa. Ajattelee, että kiihtyvyys on palloilla sama mutta suuremmasta painovoimasta (ja ilmanvastuksesta, jos huomioidaan) johtuen raskaampi tulee ensin alas. Kiihtyvyyden yhteneväisyys ei siis oikein rinnastunut siihen, että putoamisaikojenkin tulisi olla samat. Kuvien tulkinta oli aavistuksen hankalaa. Kiihtyvyysteemasta ei löydy mitään representationaalista seikkaa, aikateemasta vain sanallinen sekaannus ja pieni kuvien tulkintahankaluus.

Minna₇ vastasi väärin molempiin teemoihin, johdonmukaisesti k:ssa ja osittain johdonmukaisesti a:ssa. Molemmissa teemoissa näytti olevan jotakin oikeaa fysikaalista ajatusta kirjallisissa perusteluissa, mutta haastatteluissa ne tarkentuivat virhekäsityksiksi. Sanallisessa kakkoskysymyksessä menee hänelläkin sa-

nat sekaisin, koska valitsee päinvastoin kuin tarkoittaa (kevyemmän pallon putoamisaika on pienempi). Hänkään ei haastattelussa huomaa valinneensa hassusti. Kuvallinen representaatio oli Minnan mielestä sangen selvä. K-teeman sanallisessa kysymyksessä ei ollut vastaavaa sekaannusta. Muuta esitystapoihin liittyyä kuin sanamuodon sekoittaminen ei tullut esille.

Mikko₈ oli ryhmän paras opiskelija. Ainoa representaatioihin liittynyt virhe oli k-teemassa pylväiden korkeuden sekoittaminen. Diagrammaattisessa kysymyksessä oli siis huolimattonta tarkastelua, vähän kuin sanat olisivat menneet sekaisin. Muilla opiskelijoilla ei kuitenkaan ollut vastaavaa. Se lieneekin johtunut vain Mikon flunssaisesta vahingosta.

Viimeinen opiskelija Riikka vastaa molempiin teemoihin väärin, virheellisin perusteluin, a-teemaan koherentisti mutta k-teemaan osittain koherentisti. Sanallisessa a-tehtävässä oli perustelu vähän erilainen kuin monivalintavastaus – olisivatko sanat menneet pikkuisen sekaisin? Epätarkkaa lukemista saattoi olla siis. Siten a-teemakin voisi olla vain osittain koherentti. Kiihtyvyyteessä diagrammaattinen meni tarkassa suhteessa 1:2 mutta sanallinen suuremmassa suhteessa (noin 2:3). Mainitsee olleen hankala arvioida masojen suhteen vaikutusta kiihtyvyyteen: varmaankin vaihtoi hivenen vastaustaan ”varmuuden vuoksi”. Muistelee perusteluksi oppikirjasarjan kirjoista kuvia, joissa oli tiputetuilla kappaleilla erilaisia nopeuksia.

Kootusti OP-näkökulmassa pistää silmään sanallisissa kysymyksissä vaihtoehtojen sekoittaminen. Neljä opiskelijaa vastaa eri tavalla kuin perustelee: Olli₄, Henna₆, Minna₇ ja Riikka₉, viimeinen tosin vain hiukan eri tavalla. Näistä vain Henna₆ huomaa haastattelussa valinneensa hassusti. Diagrammaattisessa tehtävässä Mikko₈ katsoo huolimattomasti pylväiden korkeuksia. Joonas₃ ja Riikka₉ valitsevat eri tavalla kuin sanallisessa. Kuvallinen tehtävä oli useimmille helppo tulkita mutta joillekulle hiukan hankala. Sini₅ ja Riikka₉ muistelevat oppikirjojen kuvista apua ajatuksiinsa, Olli₄ opettajan demonstraatiosta. Olli ja Henna sanoivat, että kiihtyvyys on vakio mutta myös että toinen pallo tippuu nopeammin. Oppikirjojen kuvat voivat jäädä tehokkaasti mieleen, sekä oikein (Sini) että väärin (Riikka) sovellettuina. Näillä kahdella myös k-teema oli samantyyppisesti osittain koherentti, osittain käsitteellisistä vaikeuksista johtuen.

5.3.1.3 OV: voimateemat

OV-kokonaisuudessa on voimakysymyksiä: pallonpudotuksen v-teema (4D, 10S, 20V), heittoteema (3G, 9S, 15V) ja tennisteema (6D, 12S ja 17V). Siinä pitää vertailla painovoimia, tunnistaa lentävään kappaleeseen kohdistuvia voimia sekä analysoida pystysuuntaisen pallonheiton voimia.

Anna₀ osaa v-teeman hyvin, ei representationaalisia ongelmia. Heittoteemassa muut representaatiot onnistuivat, mutta graafinen kysymys sekoitti opiskelijan täysin. Perustelu oli omituinen, ja hän ajatteli, että voiman pitäisi olla lakipisteessä nolla. Hän ymmärsi, että pallo vaihtaa suuntaa puolivälissä, muttei tiennyt, pitäisikö sen näkyä kuvassa. Oli myös huolimattonta kuvan tulkintaa: vasta haastattelussa huomaa katkoviivan tarkoittavan heittovoimaa ja korjaa vastaustaan heittovoimattomaksi. Myös harhautui ajattelemaan vinojen viivojen tarkoittavan pallon liikettä (voiman lisäksi). Haastattelussa ymmärtää hieman paremmin mutta vielä on osittain hämmentynyt graafisesta esityksestä valitessaan nollavoiman. Tennisteema meni moitteettomasti, ei ongelmia käsitteellisesti eikä representationaalisesti.

Julia₁ ei ollut ymmärtänyt v-teemassa painovoiman ja massan suoraan verrannollisuutta kunnolla putoamiskiihtyvyyden hankalan numeroarvon johdosta. Representationaalisesti kuitenkin koherenttia. Haastattelussa ymmärtää suoraan verrannollisuuden. Heittoteeman graafinen esitystapa oli hankala. Tälläkin opiskelijalla meni vaihtoehto sekaisin, kuitenkin eri tavalla kuin edellisellä, vaikka fysiikan tietäinkin oikein. Valitsi nollavoiman mutta korjaa haastattelussa oikeaksi. Vain tämä kaaviotehtävä tuotti ongelmia. Siinä oli painovoimalla selvästi negatiivinen tai positiivinen arvo, mikä oli käsitteellisesti outoa, koska ”painovoimahan pysyy vakiona”. Tennisteema meni kokonaan oikein.

Konsta₂ vastaa v-teemassa kaikkiin oikein, joskin vektoritehtävässä oli epävarma kysymys, onko kaavassa $G=mg$ m pallon vai maapallon massa. Luultavasti oli sattuma, että nimenomaan voimateeman vektori-representaatioissa tuli tällainen yllättävä kysymys. Representaatioissa ei ole siis mainittavaa. Heittoteema meni oikein lukuun ottamatta sanallista esitystapaa. Siinähan oli vaihtoehdossa muotoilu ”lähes vakiona

pysyvä painovoima”, jonka Konsta katsoi virheelliseksi (hänen mielestään sen pitäisi olla tasan vakio) ja valitsi aristoteelisen telosperiaatteen. Vastaavaa ääritulkintaa ei muilla esitystavoilla voisikaan tehdä. Luultavasti hän olisi valinnut oikean vaihtoehdon, jos sanaa "lähes" ei olisi tehtävänannossa käytetty, mutta silloin lievä virhekäsitysikään ei olisi tullut ilmi. Tennisteema meni oikein, representaatioissa ei mitään tutkittavaa.

Joonas₃ vastaa v-teemaan oikein ja koherentisti mutta perustelee osittain oikein. Representaatioissa ei ole ongelmaa, mutta käsitteellinen ajattelu on osittain puutteellista. Heittoteema on väärin ymmärretty, vaikka viimeiseen kohtaan onkin valittu oikea vaihtoehto. Representationaalisesti ei ollut mitään erityistä; graafinen oli ehkä hankalampi kuin muut, vaikka oikein Joonas sitäkin tulkitsee. Tennisteemaan vastaa oikein ja koherentisti mutta väärän käsitteellisen ymmärryksen kautta (lyöntivoima vaikuttaa lakipisteeseen asti). Representaatiot kunnossa.

Olli₄ oli aluksi testissä ollut harhakäsityksessä v-teemassa mutta muut osasi oikein. Heittoteeman graafisessa kysymyksessä tosin vähän hämääntyy haastattelussa: b-kohdassako (oikea vastaus) ei vaikuta mitään voimia? Pian kuitenkin saa tulkituksi oikein taas. Tennisteeman ymmärtää myös oikein hyvin. Ei tarkasteltavaa representaatioiden suhteen.

Sini₅ osaa sekä v- että tennisteemat moitteettomasti, samoin heittoteeman ehkä graafista lukuunottamatta. Se oli tuottanut vaikeuksia oikeasta vastauksesta huolimatta. Hän tulkitsee muitakin vaihtoehtoja oikein vaikka vähän epäröikin. Jälkitestissä ei ollut perustelua vaan vain "puhdas arvaus". Graafiset kuvaajat ovat kuulemma aina olleet hänelle hankalia.

Henna₆ osaa myös OV:n hyvin, mutta heitto- ja tennisteemoihin liittyy hiukan ongelmia. Tehtävässä 15Vi (heittoteeman vektoriaalinen kysymys, ylösmenovaihe) tulee haastattelussa nollavoimavaihtoehdosta kysyttäessä esille ajatus siitä, että pallon pitäisi olla tyhjiössä leijumassa. Se ei kuitenkaan ole representationaalinen seikka. Graafista oli hiukan hankala myös Hennan tulkita. Outoa hänestä oli, että painovoima on tilanteessa miinusmerkkinen ja että ei ollut numerollisia asteikoita. Ehkä sekoitti heittovoimakuvaajan osittain nopeuteen. Tennisteeman vektorikohdassa oli valinnut aivan vahingossa väärän vaihtoehdon, huolimattomasti tehtävänlukua siis. Diagrammaattisessa puolestaan esiintyy virhekäsitys voimien suuruudesta toisiinsa nähden, mutta sekään ei liity representaatioihin.

Minna₇ ei hallitse OV-kokonaisuutta vaan vastaa osaan oikein, osaan väärin ja enimmäkseen epäkoherentisti. Vastasi v:n sanallisessa ”huomattavasti suurempi painovoima” vaikka muissa representaatioissa oikein "kaksinkertainen”. Kertoo siinä (teeman keskeinen tehtävä) alkaneensa epäillä aiempaa vastausta ja kokeilleensa muuta vaihtoehtoa. Arvelee myös, että painovoima voisi muuttua sen mukaan, kuinka paljon pallo on ehtinyt tippua, ja myös ilmanvastuksen mukaan. Vektoriaalinen kuitenkin menee kokonaan oikein. Ei ainakaan selvästi käy ilmi mitään syytä, miksi juuri sanallisessa tulee erilainen voimien suhde. Luultavasti tähän ei representationaalisia seikkoja liity. Heittoteemassa oli myös erilaisia vastauksia. Sanallinen olikin nyt oikein ja muut enimmäkseen väärin. Tiedostaa, ettei heittovoimaa ole, mutta kutsuu heiton antamaa sysäystä samalla nimellä. Graafiset vaihtoehdot tuntuvat sekoittuvan hieman pallon liikkeeseen (voiman ja nopeuden kuvaajien samastus), mutta muuta representationaalista ei teemassa ilmene. Tennisteemaan Minna vastaa oikein, joskin S- ja V-representaatioissa on hiukan virheellistäkin ajattelua muttei kovin merkittävää. Impetus ei pujahda tähän teemaan vaikka heittoteemassa se onkin. Ei representationaalista asiaa: koherentti teema.

Mikko₈ osasi kaiken hyvin tässäkin kokonaisuudessa. Ainoa ero tuli heittoteeman tehtävässä 9S, jossa hän ihmettelee sanamuotoa ”lähes vakiona pysyvä painovoima” hieman kuten Konstakin₂. Tämä on siis sekä representationaalinen että käsitteellinen eroavaisuus.

Riikka₉ vastaa melkein kaikkiin OV:n kysymyksiin väärin. Representationaalisia seikkoja ei ollut v-teemassa: se meni koherentisti. Heittoteema meni osittain koherentisti: 3G:n vastaus ei vastaa 9S:n eikä 15V:n vastauksia mutta 9 ja 15 vastaavat toisiaan. Kolmosta oli helppo tulkita mutta kuitenkin vastaa siinä harhaan: painovoima alkaa vasta lakipisteestä heittovoiman loputtua, vaikka 9:ssä ja 15:ssä painovoima vaikuttaa koko ajan. Muistelee olleen joitakin ongelmia graafisen representaation vaihtoehtojen pohjimisessa. Haastattelussa tosin itsekseen huomaa, että painovoiman pitäisikin siinä pysyä vakiona. Lopul-

ta ei kuitenkaan osaa sanoa enää mitään vastausta. Myös 15V:ssä on vaihtamassa vastauksiaan. Vektoreita osaa kyllä tulkita hyvin. Tennisteema meni koherentisti, ei representaatioihin liittyvää asiaa. Mielenkiintoista tosin, että sekä pallonheiton että tenniksen sanallisessa representaatioissa perustelu puuttui kokonaan. Opiskelija ei osannut perustella muilla sanoilla kuin vaihtoehdossa jo olikin.

OV-kokonaisuus oli siis melko vaikea opiskelijoille sekä käsitteellisesti että representationaalisesti. Kellään ei ollut representaatioiden kanssa ongelmia v-teemassa, paitsi mahdollisesti Minnalla₇. Hän vastasi sanalliseen eri tavalla, ajatellen kokeilevansa muitakin vaihtoehtoja välillä.

Monella on vaihtelevia ongelmia heittoteemassa, erityisesti graafisessa representaatioissa. Anna₀ ja Julia₁ sekoittivat siinä vaihtoehdot (valitsivat väärän mutta muissa representaatioissa oikean), ja Joonaksella₃, Ollilla₄, Sinillä₅, Hennalla₆, Minnalla₇ ja Riikalla₉ oli muita pieniä ongelmia. Anna₀ hallitsi fysiikan mutta katsoi huolimattomasti vaihtoehtoja ja otti mukaan heittovoiman, vaikkei se periaatteessa ollutkaan hänellä harhakäsityksenä. Hän samasti vinot viivat aluksi osittain pallon nopeuteen ja paikkaan (samoin Henna₆, Minna₇ ja Riikka₉). Haastattelussa hän huomaa virheen mutta valitsee nollavoiman eli ei kunnolla vieläkään ymmärrä graafeja. Julia₁ myös ymmärsi kysymyksen fysiikan mutta puolestaan ei ymmärtänyt, miten painovoima voi olla positiivinen tai negatiivinen, ja valitsi siksi nollavoiman. Haastattelussa ymmärtää paremmin. Hennalla₆ myös oli positiivinen-negatiivinen-ongelma; lisäksi hämäsi se, että graafeissa ei ollut asteikoita kuten yleensä. Tämän tarkemmin ei graafisten vaikeuksia oikein selviä keneltäkään. Vektoriaalisessa kenelläkään ei ollut representationaalisia ongelmia. Konsta₂ ja Mikko₈ ihmettelivät sanallista esitystapaa: se voi paljastaa piilevän yksityiskohdan, ajatteleeko oppilas putoamiskiikityvyyden tarkaksi vakioksi vai ymmärtääkö hän sen voivan myös vaihdella.

Tennisteemassa Henna₆ oli vektoriaalisessa valinnut väärän vaihtoehdon vahingossa. Muilla oppilailla ei ole representationaalisia asioita teemassa, paitsi Riikalla₉, jolla ei ollut sanallisessa perustelua ollenkaan, kuten ei pallonheitonkaan sanallisessa (t.9). Sinillä₅ ei ollut heittoteeman graafisessa kunnan perustelua vaan "arvaus". Minna₇ vastaa v-teemassa sanalliseen tehtävään väärin (muihin oikein) mutta heittoteemassa sanalliseen oikein (muihin väärin). Käsitteellisiä ongelmia hänellä on, ja representaatiot voivat välillä edesauttaa niiden ilmestymistä, vähän kuten Sinillä edellisessä kokonaisuudessa; kuitenkin näiden perusteella ei pysty sanomaan, mikä representaatio johtaa harhaan ja miksi.

5.3.1.4 OL: lisätehtävät

O-näkökulman L-kokonaisuudessa on vain Maa-Kuu-lisätehtävän vastaukset tutkittavana sanallisessa ja vektoriaalisessa muodossa. OL:ssä ei ollut kovin paljon representationaalista eroa vastauksissa, paitsi vektorien suuntien väärintulkintaa; oppilaat ajattelivat sanallisessa käsitteellisestikin ehkä enemmän oikein. Vektoriaalinen ja sanallinen olivat teeman (ja samalla kokonaisuuden) ainoat representaatiot. Annalta₀ kysymykset jäivät esittämättä, mutta muilta vastaukset saatiin. Julia₁ vastaa oikein ja koherentisti, samoin Konsta₂ ja Sini₅. Olli₄, Henna₆, Mikko₈ ja Riikka₉ myös vastaavat oikein mutta perustelevat hieman huonosti. Muut vastaavat väärin. Toisaalta lisätehtävien fysiikkaa (gravitaatio) ei vielä kyseisellä kurssilla ollut varsinaisesti ollut, mutta Newtonin laeillakin periaatteessa selviää.

Yleisesti lisätehtävissä nekin oppilaat, joilla on dominanssiperiaate, osaavat paremmin Newtonin kolmannen lain, että kappaleet kohdistavat yhtä suuren voiman toisiinsa - konteksti, yleistieto ja välillä hiukan harhautunutkin ajattelutapa auttavat vastaamaan oikein, vaikkeivät käsitteelliset perustelut usein olekaan riittävän täsmällisiä. Monet perustelevat yhtä suuria painovoimia siten, että koska Kuu ja Maa eivät lähenny eivätkä loitonnu, niiden välillä pitää vallita tasapaino eli yhtä suuret voimat. Käsitystä tapaa vanhemmillakin ihmisillä. Ollilla₄ edellä kuvailun kaltainen voimien kumoutuminen esiintyy vain lisätehtävissä. Joonas puhuu voimasta ja vastavoimasta muttei jälkimmäisessä lisätehtävissä ymmärrä niiden olevan yhtä suuret.

Useimmat oppilaat sekoittavat vektorit keskenään kyseisessä tehtävässä, kuten kirjoittajakin aluksi teki (ennen tutkimusaineiston keräämistä). Konsta₂, Joonas₃, Henna₆, Minna₇ ja osin Riikka₉ sekoittavat Maan ja Kuun painovoimavektorit keskenään. Annalta₀ ja Julialta₁ ei saatu vastausta seikkaan. Vain oppilaat Joonas₃ ja Minna₇ vastaavat väärin (erisuuret voimat). Joonas vastaa epäkoherentisti ensimmäiseen (sa-

nalliseen) oikein ja toiseen väärin, Minna puolestaan molempiin väärin (sanalliseen aluksi melkein oikein). Minna ihmettelee hiukan sanamuotoa “voimat suuntautuvat toisiaan kohti”: ovatko voimat nokakain vai sivuittain? Sekä Joonas että Minna perustelevat sanallisessa representaatioissa oikeaa vaihtoehtoa juuri edellä mainitulla ajatuksella, että kappaleet pysyvät kiertoradoillaan. Vektoriaalisessa heille ei siis tunnu oikeaa vaihtoehtoa tulevan edes mieleen.

5.3.2 K, representaatioiden hallinta kokonaisuudessaan

Toinen näkökulma kokoaa ensimmäisen näkökulman osien havainnot. Kuvallisen, vektoriaalisen ja diagrammaattisen representaation käsittelyssä selvittää melko vähällä. Sanallisissa ja graafisissa representaatioissa oli paljon huomioitavaa ja melkein kaikissa näkökulmissa.

Vektoriaalisessa oli huomioitavaa ainoastaan OL-kokonaisuudessa, kun monet oppilaat tulkitsivat voimavektorit väärinpäin. OV:n 17:ssä Henna₆ kylläkin valitsee väärin mutta aivan vahingossa, huolimattomuuttaan. Joonaksella₃ lienee vastaaventyypinen vahinkovastaus kolarissa 1V.

Diagrammaattisessa Mikko₈ valitsi OP:ssa vahingossa väärin: hän oli katsonut epätarkasti pylväitä. Joonas₃ ja Riikka₉ valitsevat OP:n k-teemassa (diagrammaattinen ja sanallinen) erilaiset vaihtoehdot, nähtävästi käsitteellinen epävarmuus toi myös representationaalista epävarmuutta.

Kuvallista esitystapaa oli hyvin vähän, eikä siinä juurikaan seikkoja ilmi tullut. Muutamalla oli pientä tulkintavaikeutta, joka ei kovin tarkasti selviä. Apua representaatioon haetaan oppikirjojen kuvista ja opettajan demonstraatioista, ellei käsitteellinen ajattelu heti kerro vastausta.

OP-näkökulmassa erityisesti sanallinen tuotti ongelmia, sillä peräti neljä opiskelijaa vastasi toisin kuin tarkoitti, ja vain yksi heistä huomasi (haastattelussa) asian. Yksinkertaisetkin mutta tarkkuutta vaativat lauserakenteet voivat siis tuottaa ongelmia. O3-kokonaisuuden kolariteemoissa puolestaan oli kyselyn teksteissä verbinmuoto kieliopillisesti (ja melkein loogisestikin) hieman väärin, mutta se ei tainnut useimpia opiskelijoita oleellisesti haitata, vaikka osa tuntuikin sen huomaavan. OV:n sanallisista heittoteemassa kaksi opiskelijaa tulkitsee painovoimalle sanamuodon "lähes vakio" virheelliseksi, koska he pitivät painovoimaa tarkalleen vakiona. Tenniksen sanallisessa Riikka₉ ei kirjoittanut mitään: ei osannut perustella muillakaan sanoilla. Minna₇ vastaa heittoteeman sanalliseen oikein ja muihin representaatioihin väärin kun taas v-teeman sanalliseen väärin ja muihin representaatioihin oikein. Nähtävästi konteksti vaikuttaa yhdessä representaation kanssa. Lisätehtävän sanallinen oli helpompi. Ollilla₄ voimien kumoutumisajatus putkahtaa vain lisätehtävän sanallisessa, joka oli muotoilultaan ehkä hieman epäonnistunut; siihen vastattiin kuitenkin paremmin kuin vektoriaaliseen. Lisätehtävän konteksti ”mahdollisti” O3-teemaa paremmat vastaukset yleisestä dominanssiperiaatteesta huolimatta.

O3:ssa muutamilla opiskelijoilla esiintyi voimien tasapainottumiskäsitys, ja kahdella ainoastaan graafisissa. Jotenkin kuvaaja siis tuo esiin sellaisen kumoutumismielteen, vaikeivät muut representaatiot. OV:ssä heittoteeman graafinen kysymys sekoitti kahden ensimmäisen opiskelijan ajatukset. He siis ymmärsivät ja valitsivat muissa representaatioissa oikein. Useimmilla muillakin (kuusi opiskelijaa) oli vaihtelevia ongelmia kuvaajien tulkitsemisessa. Graafien sekoittaminen pallon liikkeeseen (paikkaan ja nopeuteen) oli yleistä (neljä opiskelijaa). Kahden oli hankala ymmärtää painovoimaa positiiviseksi tai negatiiviseksi kuvaajasta: painovoimahan on putoamisessa vakio. Kuvaajien varustaminen asteikolla olisi saattanut auttaa joitakuita, toisia ehkä sitä vastoin hämmentää entistä enemmän. Vastavia tuloksia vektoriaalisen esitystavan vaikeuksista (nuolien sekoittaminen, dominanssiperiaatteen voimakkaampi ilmeneminen) oli myös Meltzerin (2005) tutkimuksissa.

Heittoteeman joissakin representaatioissa on hieman tulkinnanvaraa, vaikuttaako painovoima puolivälissä. Jos painovoima pysyy vakiona, saattaako opiskelija ymmärtää, että painovoima voi hävitä joissakin tilanteissa mutta, jos se on olemassa, se on aina samansuuruinen? Opiskelijat eivät huomaa ristiriitaa valinnoissaan: jos heittovoima loppuu puolessa välissä, se on ennen sitä vähän pienempi kuin painovoima, vaikka ”kun pallo on matkalla ylöspäin, kokonaisvoima on ylöspäin”. Näissä asioissa käsitteelliset ongelmat liittyvät kiinteästi representationaaliin vaikeuksiin ja lienevät merkittävämpiä muutenkin, eli representationaalisesti tästä ei ole kovin helposti sanottavissa mitään.

5.3.3 V, testin luotettavuus ja täsmällisyys

Validiteettinäkökulman kysymyksiä sivuttiin jo aiempien vaiheiden ja näkökulmien käsittelyssä. Tarkastellaan niitä nyt vielä hiukan uudestaan ja tarkemmin: tarkoituksena on selvittää vastausvalintojen ja vastaavien perustelujen eroja. Jos perustelut eivät riittävästi vastaa valintoja, testi ei anna oikeaa kuvaa opiskelijoiden ajattelusta – tukeeko monivalintatesti kirjallisia ja suullisia perusteluita, ja tukevatko perustelut vastauksia? Nyt ei enää tarkastella erityisesti representaatioiden tai teemojen kannalta vaan kysymys kerrallaan. Ensinnäkin tarkasteluun tulevat tietysti kategoriat 3 ja 4, jotka voi numeerisesti poimia taulukoista 4. Kategoriat 3 esiintyi Joonaksella₃, Sinillä₅ ja Minnalla₇. Kategoriat 4 esiintyi Julialla₁, Konstalla₂, Ollilla₄, Hennalla₆ ja Mikolla₈. Nämä päinvastaiset vastaustyyppit olivat siis pistevieraita, eli ne, jotka vastasivat mihin tahansa kysymykseen väärin ja oikein perustein, eivät vastanneet mihinkään oikein väärillä perusteluilla (ja päinvastoin) - mielenkiintoinen havainto mutta luultavasti vain sattuma. Ainoat opiskelijat, jotka ”selvisivät” ilman kumpaakaan kategoriat joi jälkitestissä, olivat Anna₀ ja Riikka₉. Tosin Riikalla voi tulkita kolmoskategoriaakin esiintyneen, ja muutamilla muillakin on vastausten tulkinnassa ja kategoriamäärittämisissä epävarmuuksia. Loppujen lopuksi tällaisilla yksittäisillä numeerisilla tuloksilla ei oleellista merkitystä ole, koska aineisto on pieni ja tarkoitus oli laadullisesti määrittää esitystapojen ymmärtämistä ja virhekäsityksiä. Näiden kahden kategorian jälkeen pitää vielä tutkia litteroinneista vastaukset oikeastaan kysymys kerrallaan, sillä tämän näkökulman tutkimusongelmat eivät rajoitu edellä mainittuihin kategorioihin. Ykköskategorian voi kuitenkin jättää tarkastelun ulkopuolelle.

Annalla₀ vastaukset ja perustelut tukevat hyvin toisiaan tasapainottumisajatusta lukuun ottamatta. Ainoastaan ehkä heittoteeman graafinen on viimeisen näkökulman kannalta hiukan mielenkiintoinen: siinä oli väärä vastaus, jota omituiset perustelut tukevat. Huolimattomasti tulkittu ja huonosti ymmärretty tehtävänanto paljastuu, joten testin luotettavuus saa tukea.

Julialla₁ oli kategoria 4 kolmessa eri teemassa ensimmäisessä vastaustilanteessa (tehtävät 2S, 3G ja 20V). Tehtävässä 2 (a-teema) kirjallinen perustelu on oikein mutta väärin käsitysten pohjalta, mikä varmistuu haastattelussa. Vastauksesta ja kirjallisesta perustelusta ei nimittäin käy ilmi, oliko opiskelija yliarvioinut ilmanvastusta vai ajatellut, että siitä huolimatta raskaammat esineet putoaisivat nopeammin. Lisäksi ilmanvastuksesta paljastuu virheajattelua: jos on sama ilmanvastus, on sama vaikutus putoamisaikeihin. Julian mielestä samankokoisilla palloilla on sama ilmanvastus. Aikateemassa siis monivalinta ja ajattelu olivat väärin, vaikka sanallisen tehtävän kirjallinen perustelu näytti oikealta. Perustelut vastaukseen nähden olivat sen verran monitulkintaiset, että kategoria voisi nelosen sijasta olla myös viisi tai kuusi. Teeman luotettavuus tämän opiskelijan perusteella ilman kirjallista perustelua on hyvä, perustelun kanssa aavistuksen horjuva. Tehtävässä 3 (heittoteema) ajattelu oli oikein mutta graafinen kysymys vaikea ja vastauskin väärä. Testi mittaa representationaalista osaamista, ja nyt tuli haettuja eroja näkyviin: luotettavuus on tässä tehtävässä representationaalisen ymmärryksen suhteen hyvä, käsitteellisen ymmärryksen selvityksen suhteen huono. Tehtävää 20 lukuunottamatta v-teeman kategoriat olivat 5. Tässäkin tosin kategorialuokituksen voisi vaihtaa. Testin luotettavuus on hyvä: suoraan verrannollisuus oli ollut ongelmallista käsitteellisesti.

Konstan₂ 9S (heittoteema) sai kategorian 4: pelkkä monivalintavastaus ei välttämättä kerro totuutta, eli hän ajatteli oikeastaan oikein mutta valitsi väärin tulkitessaan sanoja äärimmäisesti, kuten Mikkokin melkein teki. Testin luotettavuus tässä tehtävässä on kyseenalainen, mutta toisaalta kysymys paljastaa myös virheajattelua (taustalla oli pieni käsitteellinenkin puute) suullisten perustelujen avulla, mikä oli tarkoituksin. Kuitenkin tämä päämäärävaihtoehto on hieman monitulkintainen: oikea vaihtoehto tavallaan sisältyy siihen. Tennisteema on muuten täysin oikein, mutta opiskelija ajattelee painovoiman olevan suurin voima, koska pallo lopulta tippuu alas. Se ei käy ilmi kirjallisissa perusteluissa. Se ei kuitenkaan vaikuta testin luotettavuuteen.

Joonas₃ sai kolmoskategorian tehtävissä 8G, 12S, 15V ja 17V. Kolariteeman tehtävässä 1V vastasi päinvastoin kuin kirjallisesti perusteli mutta haastattelussa tuntuu vaihtavan vastauksen dominanssiperiaatteen mukaiseksi. Tässä hänellä siis on representationaalisia ongelmia. Graafisessa kysymyksessä kirjallisesti perustelematta vastasi oikean vaihtoehdon mutta tulkitsee sen haastattelussa oikeastaan väärin: jos viiva

on ylempänä, voima on suurempi. Ajattelutapa, kuvaajien tulkinta, on nyt siis hieman virheellinen, kun merkki vaihtuu. Dominanssijatus oli siis muissa kohdissa kirjallisissa perusteluissa. Yksittäisessä tapauksessa (nyt graafisessa) testi näyttäisi olevan aavistuksen epäluotettava, mutta muihin valintoihin verrattaessa luotettavuus kasvaa. Tennisteemassa vastaa oikein mutta väärin käsitysten pohjalta, ja luotettavuus on huono: jos ei olisi kirjallisia perusteluja tai haastatteluja mukana, testi ei paljastaisi tässä tapauksessa (koko teema, kolme tehtävää) tärkeää virhekäsitystä. Heittoteeman 15Viii on myös hänellä samanlainen: lakipisteen jälkeen ei impetus enää vaikuta. Luotettavuus on kunnossa, jos tarkastelee kyseistä monivalintaa (perusteluiden kanssa tai ilman) muiden tehtävän 15 kohtien tai muiden teeman tehtävien kanssa. Valinnat lisätehtävissä vastaavat perusteluja, joskin L1 menee oikein väärin käsitysten pohjalta. Ilman perustelua luotettavuus olisi ongelmallinen (tosin lisätehtävä ei r-testiin kuulukaan).

Ollilla₄ oli a-teeman molemmissa tehtävissä kategoria 4. Kirjallisissa perusteluissa ei ole viitteitä painovoiman ja putoamiskiiktyvyyden vakioisuuden sekoittamisesta, joka tulee ilmi haastatteluissa, eli hieman oli testin aikana ollut käsitteellistäkin virheajattelua. Arvioi lisäksi ilmanvastuksen liian suureksi. Mahdollisesti tehtävänanto houkuttelee siihen. Vastasi sanalliseen kysymykseen päinvastoin kuin perusteli eikä huomaa päinvastaisuutta haastattelussakaan. Väärin vastausten osalta monivalintatesti on nyt luotettava: perustelut olivat oikein, mutta taustalla oli kuitenkin virhekäsitys (joka oli haastatteluun ehdittäessä korjaantunut). Perustelu tosin käy myös väärään vastaukseen hieman tulkinnasta riippuen. Perustelut tukevat valintoja, joskin sanallinen tehtävä meni huolimattomasti väärin päin. Luotettavuus on huono kirjallisten perustelujen kanssa mutta kääntyy hyväksi suullisten perustelujen myötä, mikä on melko harvinaista.

Sinillä₅ oli kategoria 3 tehtävissä 18S (k-teema) ja 3G (heittoteema). Hänellä oli perusteluna sanallisessa “en ossaa” ja graafisessa “puhdas arvaus”. K-teema oli ollut käsitteellisesti vaikea, ja erot johtuivat siitä. Testi on luotettava tältä osin (opiskelija vastasi oikein osittain oikeiden käsitysten perusteella). Graafisessa vastaus myös oli oikein mutta kuvaajan tulkinta hankalaa. Toisin kuin Anna₀, Sini ei ollut mennyt sekaisin graafisesta esitysmuodosta vaikei siihen kunnolla osannutkaan vastata. Annahan vastasi väärin ja omituisesti. Annalla valinta graafisessa oli paljastanut representationaalisen (tai käsitteellisen) ongelman, Sinillä ei. Tässä nyt siis näillä kahdella oppilaalla testi käyttäytyi eri tavalla, eli ei ehkä kunnolla mitannut Sinin osalta representaatioiden hallintaa – arvauksella voi tosin osua oikeaan missä tahansa monivalintakyselyssä. Kyllähän Sini tosin hyvin lopulta ymmärtää, vaikei osannutkaan perustella. Annalla tämä ongelma oli kategoriassa 6.

Henna₆ ainoa kategoria 4 tehtävässä 17V oli silkka vahinko. Tennisteema meni siis lopulta koherentisti. Luotettavuus on siis kunnossa: vahinkoja ei voi sulkea pois. Painovoiman suoraan verrannollisuuden Henna ymmärtää kyllä mutta luulee, että painavammat esineet putoavat nopeammin. Kirjallisesti hän perustelee sitä ilmanvastuksellakin, mutta vasta haastattelussa varmistuu, että Henna vastaisi samoin ilmanvastuksesta riippumatta (suurempi painovoima on syy nopeampaan putoamiseen). K-teemassa Henna vastaa oikein, että $a=g$, mutta ei oivalla, että se johtaisi a-teemassa myös samoihin putoamisaikoihin, eli fyysikan osa-alueen koherenssia ei tässä ole, erityisesti myös koska aikateeman vastaukset eivät vastaa toisiinsa. Testissä oli tehtävässä 2S ensin vahingossa vastannut päinvastoin kuin tarkoitti ja perusteli. Haastattelussa valinta vaihtuu perustelua vastaavaksi mutta jää siis edelleen vääräksi. Kertoo 13:n kuvien olleen aluksi hieman hankalia tulkita. Testi oli kuitenkin luotettava molemmissa teemoissa.

Minnalla₇ oli kategoria 3 tehtävissä 15V (heitto) sekä 11V, 16G ja 21D (tuolit) kakkos- tai kolmosvastustilanteissa. Newtonin kolmas laki on melkein hallinnassa, mutta pelkät monivalinnat eivät paljasta taustalla olevaa virhekäsitystä voimien kumoutumisesta, joka näkyy muutamissa O3:n kirjallisissa perusteluissa. Minna oli testissä ajatellut, että tuolit eivät ole vielä lähteneet liikkeelle: tuolit ovat paikoillaan, kokonaisvoima eli voiman ja vastavoiman summa on nolla, ja Newtonin kolmas laki on siten voimassa. Hän vastaa eri tavalla tilanteeseen, jossa tuolit jo ovat liikkeessä: silloin painavampi kohdistaa suuremman voiman. Minnan perustelut siis tukevat valintoja, joskin on vähän väärinkäsityksiäkin Newtonin kolmannesta laista. Perustelut tarvitaan kolari- ja tuoliteemoissa, muutoin testi ei mittaa käsitteellistä ymmärrystä riittävästi. Tehtävään 15Viii Minna vastasi oikein ja oikein perusteluin mutta väärin ajattelun pohjalta, minkä voi ilman perusteluitakin huomata muihin valintoihin i-ii vertaamalla: kohta iii ei yksi-

nään ole luotettava. Heittoteema meni epäkoherentisti (9S oikein, muut väärin), joten eri representaatiot toivat esille virhekäsityksiä.

Mikolla₈ oli kategoria 4 k-teeman diagrammaattisessa kysymyksessä. Muuten hän osasi kaiken jokseenkin täydellisesti. Ainoa virhe oli siis ollut tehtävässä 7, jossa hän oli vahingossa katsonut pylväät samanpituiseksi, vaikka niillä oli eroa. Ei heti huomaa erhettä haastattelussa mutta erikseen kysyttäessä kyllä. Testi on edelleen luotettava, mutta vähän kuten Hennalla₆ tennisteemassa, vahinkoja ja huolimattomuuksia ei voi tyystin sulkea pois. Niistäkin voi tietysti päätellä ainakin, että opiskelijat tarkastelevat vaihtoehtoja välillä liian ylimalkaisesti. Kuten Konsta₂, myös Mikko ihmettelee heittoteeman sanallisen tehtävän muotoilua "lähes vakiona pysyvä painovoima". Hänkin on sitä mieltä, että se pysyy tarkalleen vakiona, koska massa ei muutu. Valitsee kuitenkin oikean vaihtoehdon toisin kuin Konsta. Kokonaisuudessaan valinnat ja perustelut pitävät siis yhtä (poislukien huolimattomuusero tehtävässä 7).

Riikka₉ vastaa a-teemassa muistelemiensä oppikirjakuvien perusteella, että putoamisaika ei ole yli puolet pienempi, vaikka perustelee toisin. Teema ei ihan tarkalleen selviä, mutta perustelut ainakin enimmäkseen ovat samanlaiset kuin vastaukset. Heittoteemassa perustelut yksittäisissä kohdissa vastaavat valintoja, mutta koko teeman suhteen on epäkoherenssia. Tennisteeman pohdinnoissaan hän löytää lisää voimia, joita vektorikuviossa ei ole, kuten ilman noste tai maanpinnan tukivoima. Samantyyppistä epäröintiä on lisätehtävissä. Perustelut vastaavat valintoja, eli testi on luotettava, vaikkakin jotkin väärät vaihtoehdot saattavat esiintyä väärin päin.

Lopuksi koontia kohdista, joissa monivalintatestin luotettavuus oli ongelmallinen. Sulkuihin on merkitty opiskelija, jolla kyseistä virheajattelua ilmeni. Toisinaan oli useitakin opiskelijoita, mutta merkitsin vain yhden.

Tasapainottumisajatus (tavallinen väärinkäsitys N3:ssa) ei tule esille monivalintojen perusteella vaan kirjallisissa tai vasta suullisissa perusteluissa. Testin luotettavuus on tältä osin vähän monitulkintainen. Kirjalliset ja suulliset vastaukset tällöin kyllä tukevat monivalintoja, mutta monivalinnat yksin eivät paljasta tärkeitä virhekäsityksiä.

Tehtävässä 2S kirjallinen perustelu oli monitulkintainen mutta testi paljasti väärän ajattelun (Julia₁). Voi lisäksi kysyä (esim. Henna₆), luetaanko sanallisia vaihtoehtoja useammin tarpeettomasti väärin: onko vikaa opiskelijoiden osaamisessa vai tehtävän muotoilussa vai molemmissa. Tehtävän 9S sanamuoto voi harhauttaa ja paljastaa puolittaisen virhekäsityksen: perustelu ei välttämättä kuvaa vastausta (Konsta₂). Tehtävissä 8G ja 1V perustelu ei vastaa valintaa: pääasiassa representationaalinen seikka (Joonas₃). Koko tennisteema FCI30 (6D, 12S, 17V) voi olla epäluotettava, jos opiskelija ajattelee tilannetta lakipisteen jälkeen, samoin heiton 15Viii irrallisena. Representationaaliset huolimattomuudet tai vahingot voivat aiheuttaa yksittäisiä epäluotettavuuksia. Tuolitehtävissä tulkinta liikkumisesta voi vaikuttaa vastauksiin ja perusteluihin (Minna₇).

6 Yhteenveto

Luettelen tutkimusongelmani uudestaan ja kerron samalla tutkimuksen vaiheen, jonka avulla ongelmaan voi vastata. Analyysit ovat luettavissa pääpiirteittäin ylhäällä ja seikkaperäisemmin liitteissä. Numeroimattomia tutkimusongelmia olivat käsitysten muuttuminen (vertailu monivalintavastausten ja perustelujen välillä) sekä r-testin validiteetti, joita edellä käsiteltiin: testin luotettavuutta kolmannen vaiheen V-näkökulmassa ja käsitysten muuttumista toisessa vaiheessa (Taulukko V ja liite 8). Testi on kohtalaisen luotettava: lähinnä sanallisissa kysymyksissä vastattiin yllättävän paljon harhaan. Toisaalta tennisteeman tehtävänanto sallii vaarallisesti kaikissa representaatioissa oikein vastaamisen väriä ajatusten pohjalta. Tämän aineiston pohjalta on hankala sanoa, kuinka yleistä tämä epäluotettavuus on. Hiukan samaa ongelmaa on myös tuoliteemassa. Tärkeimmät lisävirhekäsitykset liittyvät edellisten lisäksi painovoiman ja putoamiskiiltoisuuden sekoittamiseen ja vastavoiman käsitteeseen; näitä ei kovin monella ollutkaan.

1. (Vaihe 3/K) Miten opiskelijat osaavat kytkeä eri representaatiot toisiinsa?

Opiskelijat osaavat kytkeä eri representaatiot toisiinsa melko hyvin; yleensä ilmenee vain yksittäisiä kömmähdyksiä ja vaikeuksia. Aika monella on ongelmia yhdistää graafisia tai sanallisia representaatioita muihin: runsasdataiset kuvaajat oudoksuttavat tai voimakuvajat samastuvat liikkeeseen tai paikkaan, ja sanalliset vaihtoehdot menevät lukiessa helposti sekaisin (vertaillaan vuoronperään raskaampaa ja kevyempää palloa, niiden kiihtyvyyttä tai putoamisaikaa). Vektorien vaihteleva piirtämistapa voi myös aiheuttaa väärinymmärryksiä. Ajattelun vakiintumattomuus ja käsitteellinen epävarmuus tuovat myös representationaalista vaihtelua, vaikka esitystavat sinänsä olisivatkin tuttuja.

2. (vaiheet 2 ja 3/O) Kun käytetään samasta kysymyksestä erilaisia representaatioita, onko opiskelijoilla tiettyjen representaatioiden kanssa samanlaisia virheitä tai ongelmia, ja miten se näkyy vastauksissa?

Eräs oppilas puhui voimien tasapainottumisesta Newtonin kolmannen lain tehtävissä ainoastaan graafisissa representaatioissa. Eräällä toisellakin oli sama voimien kumoutumisajatus nimenomaan graafisessa representaatioissa haastattelussa. Monilla oppilailla on suuria käsitteellisiä epäselvyyksiä, joiden takia representaatiotkin vaihtelevat. Joskus sanallisessa representaatioissa opiskelija saattaa vastata selvästi (ja toistuvasti) väärinpäin mutta toisen vastaavanlaisen kysymyksen sanallisessa kuitenkin oikein, joten sanallinen esitystapa ei välttämättä ole joka kerta vaikea. Lienee siis pienempi/suurempi-vertailuissa vaihalloista pitää mielessä sanallisesti sekä kappale että suure oikeassa järjestyksessä, Usein toki tällaiset vahinkovastaukset huomattaneen toisella tarkastelukerralla, vaikka tämä aineisto toisin kertookin. Sama pätee toki muihinkin representaatioihin, kuten pylväsdigrammeihin. Useimmilla oppilailla (erityisesti tyttöillä) on heittoteeman graafisessa tehtävässä ymmärtämistä vaikeuksia: hämääntymistä ja väärintulkintaa. Monet vaihtavat vastaustaan tai ihmettelevät, miten painovoima voi olla negatiivinen. Sanallisessa puolestaan voi ilmetä painovoiman tarkkaan vakioisuuteen liittyvä väärinkäsitys. Keskimäärin tehtävissä vaihtelua on nähtävästi kuitenkin enemmän kontekstin ja käsitteiden selkiintymättömyyden kuin representation vaikutuksesta. Sängen monet tulkitsevat väärin vektorien suunnat taivaankappaleiden välisiä voimia mietittäessä; lisätehtävissä, varsinkin sanallisessa, oli helpompi vastata oikein, vaikka opiskelijalla olisi ollut dominanssiperiaate varsinaisen testin N3-tehtävissä.

3. (vaihe 2) Onko tavallista, että samalla opiskelijalla olisi tiettyjen representaatioiden kanssa muita representaatioita useammin ongelmia kontekstista riippumatta?

Kolmanteen kysymykseen on hieman hankala vastata, koska keskimäärin vaikeimpia representaatioita oli testissä melko vähän: kuvallista vain yksi ja graafista kolme, joista yksi oli vaikea ja kaksi helppoja. Annalle tuntui graafinen olevan hankala, sillä jokaisessa hänellä ilmeni erikoisia käsityksiä; Julialla ja useimmilla muillakin vain heittoteemassa. Moni vastaa johonkin sanalliseen kysymykseen väärinpäin muttei kuitenkaan muihin sanallisiin. Ei kovinkaan paljon mitään yleistä representationaalisten ongelmien toistuvuudesta opiskelijakohtaisesti voi päätellä tästä aineistosta; ainoastaan tietyt representaatiot, tai oikeastaan kysymykset, ovat useimmille yhteisesti hankalia, ja muuten sitten sängen satunnaisesti.

4. (Vaihe 3/K) Tuottavatko jotkin representaatiot keskimäärin opiskelijoille useammin hankaluuksia tehtävästä ja kontekstista riippumatta? Minkälaisia ongelmia?

Neljäs tutkimuskysymys liittyy erityisesti vaiheen 3 K-näkökulmaan. Siinä kysytään, mitkä representaatiot kaiken kaikkiaan ovat vaikeimpia ja mistä syistä. Graafinen on vaikea kaikissa teemoissa (tosin sitä oli vain kolari-, tuoli- ja heittoteemoissa). Vaikka opetuksessa painotettaisiinkin erilaisten representaatioiden hallintaa, jotkin voivat jäädä joillekuille vähän oudoiksi. Graafisiin kuvaajiin on helppo sisällyttää paljon tietoa, minkä takia niitä voi myös olla hankala tulkita tai huolimattomat silmäilyt kostautuvat. Painovoiman merkitseminen kuvaajaan muiden voimien rinnalle lienee epätavanomaista, ja suuntasopimukset vaikeuttavat joidenkuiden ajattelua. Kahdella opiskelijalla ajatus voimien tasapainottumisesta voiman ja vastavoiman laissa esiintyi mielenkiintoisesti vain graafisissa representaatioissa. Sanalliset representaatiot vaativat erilaista tiedonkäsittelyä, ja varsinkin vertailutehtävissä, joissa on erilaisia suureita ja kappaleita verrattavina, monet näyttävät lukeneen huolimattomasti tehtävänantoja ja vastausvaihtoehtoja ja vastanneen sen takia päinvastoin kuin tarkoittivat. Sanalliset muotoilut voivat myös auttaa paljastamaan pieniä virhekesityksiä, joita ei muissa representaatioissa ilmenisi. Toisaalta aineiston perusteella ei vaikuta siltä, että opiskelijoilla yksilöinä olisi useammin joissakin tietyissä esitystavoissa ongelmia, vaan ongelmia voi olla myös satunnaisesti representaation ja kontekstin vaihdellessa. Vektoritehtävissä piirtämistapa voi olla ongelmallinen: voimavektori alkaa vaikutuspisteestä (kappaleen pinta tai painopiste) tai päättyy siihen. Lisäksi Maan ja Kuun väliset voimat helposti sekoitetaan keskenään vektorikaavioissa. Tämä kysymys saattaisi tosin olla mielekkäämpi laajemman aineiston avulla tilastollisesti tarkasteltuna.

5. (Vaiheet 2 ja 3/K) Onko fysikaalisen tiedon osaamisella ja representaatioiden hallinnalla välttämättä yhteyttä keskenään: onko ongelmia representaatioiden hallinnassa riippumatta fysiikan ymmärtämisestä vai siitä riippuen?

Viidennessä kysymyksessä ennakoitiin, että käsitteellisiä puutteita voi olla, vaikka representaatiot ymmärtäisikin, ja päinvastoin, että joissakin representaatioissa voi olla ongelmia, vaikka muutoin fysiikan ymmärtäisikin oikein. Näin aineiston perusteella onkin, vaikka tavallisempaa on, että representaatio-ongelmia on enemmän niillä, jotka eivät käsitteitäkään vielä hallitse. Esimerkkejä representaatiovaikeuksista, joita oli sekä oikeiden että väärin taustatietojen kanssa: voimagraafien ymmärtäminen, jokseenkin satunnaiset väärin päin vastaamiset pylväiden, sanojen ja vektorien kanssa, painovoimavuorovaikutuksen kuvaaminen vektoreilla. Toisaalta sitten monissa kysymyksissä representaatioita osattiin tulkita oikein käsitteellisistä virheistä huolimatta. Näistä ei ole helppo tehdä mitään yleistyksiä tai suuntaviivoja: vastaukset vaihtelivat paljon oppilaittain ja kontekstin sekä satunnaistekijöidenkin mukaan. Ehkä lähinnä aivan huonoimpien ja aivan parhaimpien opiskelijoiden suhteen voidaan todeta yhteys representaatio-ongelmien ja käsitteellisten vaikeuksien välillä: Joonas oli huonoin, ja hänellä oli ongelmia jokseenkin kaiken kanssa, ja Mika oli paras, eikä hänellä ollut juurikaan vaikeuksia käsitteiden tai representaatioiden kanssa. Toisaalta Riikka ymmärsi melko hyvin representaatioita, vaikka hänellä olikin paljon virhekesityksiä. Hennalla oli ongelmia a-teemassa sekä representaatioissa että käsitteissä.

6. (Vaiheet 2 ja 3/K) Mitä syitä selviää representationaalisesti eroaville valinnoille?

Eritoten haastattelujen avulla viimeiseenkin kysymykseen löytyy vastauksia. Representationaalista vaihtelua olen aiemmissa kohdissa kuvannut ja syitäkin hieman esitellyt. Liitteen 4b koherensseille II ja III siis syitä nyt etsitään. Graafisen representaation vaikeus oli ainoa seikka kahdella ensimmäisellä opiskelijalla. Nähtävästi kuvaajissa on niin paljon vaihtoehtoja ja erilaisia tietoja tiiviisti, että ne sekoitetaan muihin suureisiin tai ei ymmärretä asteikon ja plus- ja miinuspuolen tarkoitusta kunnolla. Gravitaatiokiihtyvyyden vakioisuuden sanallinen muotoilu toi pieniä eroja ja lisävirhekesityksiä näkyviin. Käsitteellinen taitamattomuus ja satunnaiset väärinlukemiset myös tuovat representaatioihin vaihtelua. Sanallisiin kysymyksiin voi olla helpompi vastata väärin vahingossa, koska niitä pitää lukea hyvin tarkasti: pitää monta samannäköistä vaihtoehtoa nähdessään esimerkiksi muistaa, mitä kappaletta verrataan mihin ja onko kyseessä kiihtyvyys vai putoamis aika tai jokin muu suure. Muissa representaatioissa ei ollut niin paljon ajateluun nähden päinvastaisia valintoja kuin sanallisessa. Representationaalisesti eroavat valinnat näyttävät monesti johtuvan käsitteellisestä epävarmuudesta, eli satunnaisuutta on representaatiovaihtelussakin.

7 Pohdintoja

Tutkimus oli mielenkiintoinen ja toi uutta tietoa opiskelijoiden ajattelusta itselleni ja uskoakseni myös laajemmalti tutkimusyhteisölle. Tutkimuskysymykset saattoivat olla hiukan suurellisia, mutta ainakin joitakin vastauksia kykenin löytämään. Tutkimussuunnitelmaan olisi kannattanut panostaa alkuvaiheessa enemmän, samoin haastattelujen suunnitteluun. Aikataulu kylläkin oli tiukka, ja osa tutkimusnäkökulmistä selvisi melko myöhään, vasta tutkimuksen puolivälissä. Olisi luultavasti kannattanut strukturoida paremmin haastatteluja: kysyä yhtenäisemmin tarkentavia kysymyksiä kultakin oppilaalta esimerkiksi voimien tasapainotuksesta ja tuolien liikkumisesta.

Representaatiotestissä on melko monipuolisesti eri representaatioita, mutta mielestäni graafisia kysymyksiä voisi olla enemmän. Niitä oli vain kolme, joista kaksi koski Newtonin kolmatta lakia. Voiman ja vastavoiman laki oli sen verran hyvin hallinnassa, ettei graafinen representaatio kovin paljon lisätietoa tuonut, lähinnä ajatuksia voimien kumoutumisesta ja voiman suuruuden määräytymistä kuvaajien pystyjärjestyksestä. Kuvallisia kysymyksiä myös voisi ehkä olla enemmän. Toisaalta tietysti kovin monen lisäkysymyksen laadinta pidentäneisi testiä liiaksi.

Monilla opiskelijoilla on käsitteellisiä ongelmia, ja representaatiot voivat välillä edesauttaa niiden ilmentymistä. Kuitenkaan näiden tapausten perusteella ei pysty tarkalleen sanomaan, mikä representaatio johtaa harhaan ja miksi: ajattelu voi ailahtella kovin monen asian vaikutuksesta. Vaikka haastatteluissa ei ollutkaan tarkoitus opettaa, sovelsin k-teemassa varovaisesti Vygotskyn lähikehityksen vyöhykkeen ajatusta, jolloin kaksi opiskelijaa (Sini ja Minna) oivalsi, että putoamisessa molempien kappaleiden kiihtyvyydeksi tulee vakiosuure g , mutta Minna ei uskonut tulokseensa. Hänellä tosin fysikaalinen ymmärrys muutenkin oli paljon heikompaa.

Muita kysymyksiä, joita voisi pohtia tämän tutkimusaineiston valossa, voisivat olla, miten opetuksessa ja oppikirjoissa voitaisiin ottaa näitä seikkoja huomioon, ja miten opettajan käyttämät opetusmenetelmät vaikuttavat tuloksiin. Tässäkin tutkimuksessa jäi joitakin kysymyksiä avoimiksi, ja muutamia havaintoja voisi selvittää lisää, kuten putoamisajan ja -kiihtyvyyden sukupuolisidonnaisuus ja kategorioiden 3 ja 4 poissulkevuus. Arvelen kuitenkin näitä vain sattumiksi.

8 Kirjallisuus

Clement, J.

2000. Analysis of Clinical Interviews: Foundations and Model Viability. Teoksessa Kelly, A.E. & Lesh, R.A. (toim.), Handbook of Research Design in Mathematics and Science Education. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., luku 20, s. 547-589.

Duit, R. (toim.).

2007. Bibliography - Students' Alternative Frameworks and Science Education. Viitetietokannan WWW-lähde sivulla <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>, käyty 4.9.2007

Goldin, G.A.

2000. A Scientific Perspective on Structured, Task-Based Interviews in Mathematics Education Research. Teoksessa Kelly, A.E. & Lesh, R.A. (toim.), Handbook of Research Design in Mathematics and Science Education. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., luku 19, s. 517-545

Hestenes D., Wells M. & Swackhamer, G.

1992. Force Concept Inventory. The Physics Teacher, 30, 141-158.

van Heuvelen, A. & Zou, X.

2001. Multiple representations of work-energy processes. American Journal of Physics 69, 184.

Hirsjärvi, S. & Hurme, H.

2000. Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki, Yliopistopaino.

Kohl, P.B. & Finkelstein, N.D.

2005. Student representational competence and self-assessment when solving physics problems. Physical Review Special Topics – Physics Education Research 1, 010104

McDermott, L.C. & Redish, E.F.

1999. Resource Letter: PER-1: Physics Education Research. American Journal of Physics, 67, s. 755

Meltzer, D.E.

2002. The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible “hidden variable” in diagnostic pretest scores. American Journal of Physics, 70, 1259

Meltzer, D.E.

2005. Relation between students' problem-solving performance and representational format. David E. Meltzer, American Journal of Physics 73, 463

Meltzer, D.E.

2007. yleisöluento ja luentomateriaali Jyväskylän yliopiston fysiikan laitoksella 26.4.2007

Nieminen, Pasi.

2006. Esitysmuotojen hallinnan koherenssin arviointi. Jyväskylän yliopisto. (pro gradu)

Rebello, N.S. & Zollman, D.A.

2004. The effect of distracters on student performance on the force concept inventory. American Journal of Physics 72, 116

Redish, E.

2003. Teaching Physics: with the Physics Suite. University of Maryland

Savinainen, A.

2004. High school students' conceptual coherence in the case of the force concept. Dissertations 41, Department of Physics, University of Joensuu.

Savinainen, A. & Scott, P.

2002. The Force Concept Inventory: a tool for monitoring student learning. Physics Education 37, 45

Savinainen, A. & Viiri, J.

2004. A Case Study Evaluating Students' Representational Coherence of Newton's First and Second Laws. Teoksessa Marx, J., Franklin S. & Cummings, K. (toim.), 2003 Physics Education Research Conference [Madison, Wisconsin, August 6-7, 2003]. AIP Conference Proceedings, 720, pp. 77-80.

Savinainen, A. & Viiri, J.

2003. Using the Force Concept Inventory to Characterise Students' Conceptual Coherence. Teoksessa Haapasalo, L. & Sormunen, K. (toim.), Towards Meaningful Mathematics and Science Education, Proceeding on the IXX Symposium of Finnish Mathematics and Science Education Research Association. Bulletin of Faculty of Education, No 86, University of Joensuu, s. 142-152

Savinainen, A. & Viiri, J.

2007. The Force Concept Inventory as a Measure of Students' Conceptual Coherence, International Journal of Science and Mathematics Education.

Savinainen A., Nieminen P., Viiri J., Korkea-aho J., Talikka A.

2007. FCI-based Multiple Choice Test for Investigating Students' Representational Coherence. L. Hsu, C. Henderson and L. McCullough (toim.) teoksessa 2007 Physics Education Research Conference; AIP Conference Proceedings, 951, pp. 176-179

Schoultz, J., Säljö, R. & Wyndhamn, J.

2001. Heavenly Talk: Discourse, Artifacts, and Children's Understanding of Elementary Astronomy. Human Development, Vol. 44, No. 2-3, 2001

Viiri, J. & Savinainen, A.

2004. The development of students' representational coherence. Teoksessa Vosniadou, S., Stathopoulou, C. Vamvakoussi, X. & Mamalougos, N. (toim.), Abstracts, 4th European Symposium Conceptual Change: Philosophical, Historical, Psychological, and Educational Approaches, European Association for Research on Learning and Instruction, May 19-23, Delphi, Greece, s. 123-126.

Viiri J., Savinainen A., Korkea-aho J., Nieminen P., Talikka A.

2007. Using the Representation Test to Evaluate Students' Representational Coherence. ESERA-konferenssin esitelmä ja posterit Malmön yliopistossa 21.8.-25.8.2007:
<http://kotisivu.dnainternet.net/savant/>

Welzel, M. & Roth, W.-M.

1998. Do interviews really assess students' knowledge? International Journal of Science Education, 20, 25-44.

9 Hakemisto ja sanasto

harhatulos	representaationaalinen koherenssi; III, 4, 6, 11
false negative/positive; 1	r-testi; 2
kategoria; 8	teema; 3
representaatio; III, 1	vastaustilanne; 11
representaationaalinen; III	

Representaatio: esitystapa: jonkin ajatuksen tai ongelman esittäminen eri tavoin, kuten kuvilla, taulukoilla, sanoilla tai vektoreilla. Tässä tutkimuksessa käytetään viittä erilaista representaatiota:

S eli sanallinen:

D diagrammaattinen:

V vektoriaalinen: vastausvaihtoehdot ilmaistaan vapaakappalekuvioilla ja vektorimerkinnoillä

K kuvallinen:

G graafinen

Representaationaalinen: representaatioihin liittyvä, esitystapanäkökulman mukainen

R-testi: representaatiotesti, Pasi Niemisen maisterintutkielmassaan laatima monivalintatesti representaatioiden hallinnan selvittämiseksi (ks. liite 1)

Harhatulos: väärin perustein valittuja oikeita vaihtoehtoja (false positive) tai oikein perustein valittuja vääriä vaihtoehtoja (false negative)

Teema: r-testissä esiintyvien samansisältöisten kysymysten joukko; samaa asiaa kysytään eri representaatioilla

Representaatioita merkitään isolla kirjaimella ja teemoja pienillä kirjaimilla.

Kategoria: monivalinnan ja perustelun oikeellisuuden mittari: oikea tai väärä vastaus ja oikea, osittain oikea tai väärä perustelu

Koherenssiluokka: teeman kysymysten representaationaalisen johdonmukaisuuden vastaavuuden mittari; ensimmäisessä luokassa monivalinnat vastaavat toisiaan, olkootpa fyysisesti väärin tai oikein

Vastaustilanteet: kolmenlaisia vastauksia saatiin monivalintojen, perustelujen ja haastattelujen avulla; ensin monivalinnat perusteluineen kategorisoitiin, sitten haastattelujen avulla saatiin joskus lisätietoja r-testin aikaisesta ajattelusta, eli toinen vastaustilanne ilmeni, ja r-testin jälkeen opitut uudet käsitykset ovat kolmas vastaustilanne

AR, G ja I: lyhenteet yleisimmille tämän tutkimuksen opiskelijoilla esiintyneille virhekäsityksille, FCI-testin perusteella otettu tähän

AR dominanssiperiaate (vuorovaikutuksessa voimakkaampi, nopeampi jne. kohdistaa suuremman voiman), joka on ristiriidassa Newtonin kolmannen lain kanssa

G käsitys suurempien kappaleiden nopeammasta putoamisesta ilmanvastuksesta riippumatta (gravitaatiokiihtyvyyden vakioisuus maan pinnalla jäänyt ymmärtämättä) ja

I impetus eli liikevoima (luulo, että liike (esim. ilmalento) vaatisi pysyvän voiman) Newtonin I ja II lain vastaisesti.

10 Liiteluettelo ja selitykset

Kaikki liitteet, kuten tämän pro gradu –tutkielman päätekstikin, ovat luettavissa Internetissä. Selitän tässä hieman, mitä missäkin liitteessä on. Näitä lienee järkevintä lukea verkon kautta sopivalta päätteeltä.

- 1 Representaatiotesti (käytetty monivalintatesti, 22 sivua)
- 2 Haastatteluissa kysytyt lisätehtävät Maan ja Kuun gravitaatiovoimista (yksi sivu)
- 3 R-testin kysymysten vastausvaihtoehdot, oikeat vastaukset ja teemat (yksi sivu)

Samalla vaakarivillä on toisiaan vastaavat vaihtoehdot. Vasemmalla on lyhyesti kuvailtu, minkälainen tilanne missäkin vastausvaihtoehdossa on kyseessä. Kolariteemassa esimerkiksi $k > h$ tarkoittaa dominanssiperiaatteen mukaista ajatusta, että kuorma-auto kohdistaa suuremman voiman kuin henkilöauto. Teemojen a ja k rivit menevät kysymyksen 2 mukaisesti, eli R>K-rivillä raskaamman pallon puotomisaika on suurempi (tai kiihtyvyys pienempi) kuin kevyellä pallolla. Teemat a ja k ovat yhdistettyinä; a-teeman kysymysten 2 ja 13 tulkinnasta, ks. luku 4.1, R-testin tehtävät ja ratkaisut sekä analysointia lyhyesti. Heittoteemassa G tarkoittaa painovoimaa ja H heittovoimaa (impetus-virhekäsitys) 0..1 viittaa ylösmenovaiheessa esiintyvään voimaan ja 1..2 lakipisteen jälkeen vaikuttaviin voimiin. Tenniksessä vastaavasti on painovoima, lyöntivoima ja/tai ilmanvastus.

- 4 Opiskelijoiden monivalintavastaukset ja niiden kategoriat eri vastaustilanteissa.
4a: karkeasti vaiheen 1 tuloksia numerojärjestyksessä (yksi sivu)
4b: vaiheen 2 tuloksia teemoittain, koherenssit mukana (yksi sivu)
- 5 Kirjalliset vastaukset (monivalinnat ja perustelut) numerojärjestyksessä, ilman analyysia. Kategoriat ja kysymyksetkin kokonaisuudessaan mukana. (21 sivua opiskelijaa kohti; zip-tiedostoon pakattu kymmenen doc-tiedostoa)
- 6 Opiskelijoiden haastattelut (suulliset vastaukset) numerojärjestyksessä ilman analyysijä. (6-13 sivua opiskelijaa kohti; zip-tiedostossa kymmenen rtf-tiedostoa)
- 7 Kaikki vastaukset ja (pääasiassa vaiheen 1 mukaiset) analyysit teemoittain. Kymmenen opiskelijaa peräkkäin. Kirjallisten vastausten kohdalla oikea vastaus, opiskelijan vastaus ja perustelu sekä tutkijan antama kategoria, peruste ja analyysi. Suullisten vastausten kohdalla vastaavasti teeman haastattelulitertointi, analyysi 2 eli täydennetty analyysi ja mahdolliset luokittelumuutokset liitteiden 4 vastaustilanteisiin. (noin 170 sivua)
- 8 Vaiheen 2 mukaiset analyysit: kunkin oppilaan lisävirhekäsitykset, oienneet käsitykset ja representaatioasiat. (12 sivua)
- 9 Vaiheen 3 taulukko: opiskelijoiden vastaukset numeerisesti lajiteltuina vaiheen 3 mukaisiin kokonaisuuksiin