

Fysikaalisen kielenkäytön analyysi ja harjoittelu fysiikanopettajien koulutuksessa¹

Riitta Kurki-Suonio ja Kaarle Kurki-Suonio

Fysiikan laitos
Helsingin yliopisto

Fysikaalista kielenkäyttöä tutkittiin fysiikan opettajille tarkoitettun kurssin yhteydessä. Analyysin ja harjoittelun pohjaksi otettiin käsitteiden luokittelu olioiksi, ilmiöiksi, ominaisuuksiksi ja suureiksi. Todettiin, että a) käsiteluookia sekoitetaan kaikilla kielenkäytön tasoilla, b) sekoittumista esiintyy myös fysiikan terminologiassa, jossa sanoilla voi olla usean kategorian merkityksiä, c) käsiteluookkien sekoittaminen vaikeuttaa käsitteiden oppimista, d) fysiikan kehitys on johtanut erityisesti suureiden olioitumiseen ja ilmiöitymiseen teoreettisessa kielenkäytössä, e) sekoittumisella on yhteys opetuksen perinteiseen teoreettiseen lähestymistapaan. Kurssilla kehitetyt kielelliset harjoitukset ja opiskelijoiden suhtautuminen niihin on esitelty. Tutkimusta kielenkäytön kehittymisestä kurssin aikana ei tehty. Opiskelijoiden kielellinen valmius ja kriittisyys paranivat kuitenkin selvästi.

1. Fysiikka kielenä

Fysiikka on kieli, jolla luonnonilmiöistä voidaan puhua. Ajattelutapoja on mahdollista ilmaista ja välittää vain kielen avulla. Uusien käsitteiden käyttöön-otto on ennen muuta niiden liittämistä kieleen. Käsitteiden hallinnan aste kuvastuu selvimmin ja täydellisimmin kielellisestä esityksestä. Virheellinen käyttö ilmentää aina väärinkäsityksiä käsitteiden luonteesta.

Fysiikan opetus on aina myös kielen kehittämistä. Ei riitä, että käsitteet määritellään ja niiden käyttö perustellaan fysikaalisesti. Niitä on opetettava ja opeteltava käyttämään. Eihän kieltä koskaan opita pelkästään opettelemalla sanojen merkityksiä sanakirjasta. Uusien käsitteiden merkitys sisäistetään vähitellen, kun niitä harjoitellaan käyttämään erilaisissa kielellisissä ja asiayhteyk-

¹ Teoksessa J. Laurén (toim.) Kokeellisempaan fysiikan ja kemian opetukseen. Jyväskylän yliopisto 1988. Kasvatustieteiden tutkimuslaitoksen julkaisusarja B. Teoriaa ja käytäntöä 28, 67-77.

sissä. Sen tähden opetuksen on tarjottava riittävästi käsitteiden oikean käytän kielellisiä malleja.

Noin kymmenen vuoden ajan olemme kehittäneet fysiikan opettajien koulutukseen uudentyypistä kurssia. Pääpaino tällä Fysiikan perusteet -kurssilla on ollut opetuksen fysikaalisuudessa. On pohdittu, kehitetty ja harjoiteltu opetustapoja ja -menetelmiä, jotka olisivat fysiikan käsitteenmuodostuksen, metodin ja tietorakenteen kannalta perusteltuja ja motivoituja. Fysikaalisen kielenkäytön analyysi on vähitellen muodostunut yhdeksi kurssin tärkeimpiä aiheita. Seuraavat lainaukset kirjallisen esityksen eri tasoilta valaisevat erästä keskeistä kurssin yhteydessä esille noussutta ongelmaa.

Esimerkit

Yläasteen oppikirja:

"Erisuurien massojen kiihtyvyys voiman pysyessä ... "

"Massalla on kaksi ominaisuutta, hitaus ja paino."

Lukion oppikirja:

"Kattoon on ripustettu allekkain kaksi massaa ... "

"Kierrejouseen ripustettu massa m värähtelee harmonisesti ... "

"Kuvan värähtelevä massa ... "

"Piiri yhdistetään vaihtojännitteeseen ... ja kytkemme kapasitanssin..."

Yliopiston lähtötasokokeen vastaus:

"Kaavaa käytetään silloin, kun tietty voima vaikuttaa jonkun ajan johonkin massa. Tällöin voidaan laskea massan saavuttama nopeus em. kaavasta"

Yliopiston harjoitustehtävät:

"Dimensioiltaan pieni dipolimomentti ... "

"Etäisyys kummastakin varauksesta ... "

Yliopiston oppikirja:

"Olkoon E yleinen sähkökenttä ... "

"Laske kenttä."

"Kierto ydinten välisen etäisyyden ympäri ... "

"Atomi lähettää taajuutta f eli aallonpituutta $\lambda = c/f$."

Opiskelijan tenttivastaus:

"Jännitelähteen ja jännitehäviön summa virtapiirissä on nolla."

"Lähdejännitteellä on sisäinen resistanssi."

Lisensiaattityö:

"Atomiketjujen pituus lyhenee."

"Suurin osa atomeista on liikkeellä ns. piikkitilavuudessa."

"Pinnan normaalin ja $N(\theta)$:n välinen kulma ... "

"Tätä ilmiötä sanotaan läpäisevyydeksi."

"Jarruuntuminen on verrannollinen nopeuteen."

Väitöskirja:

" ... incident energy minus the fluorescent lines ... "

" ... evaluated by subtracting the photoabsorption from the total cross section."

" ... small angle scattering was very small."

Standardi:

"Fysikaalista ominaisuutta, jolla on sama arvo kaikissa olosuhteissa..."

"Steradiaani on avaruuskulma, joka sen kärjen sijaitessa pallon keskipisteessä leikkaa pallon pinnasta alan, joka on yhtäsuuri kuin sellaisen neliön ala, jonka sivuna on pallon säde." (ISO 31/1-1978)

2. Käsittekatgoriat

Kielen fysikaalisuutta tarkasteltiin yksinkertaisen kaavion valossa. Fysikaalisia käsitteitä luokiteltiin niiden merkityksen mukaan erityisesti *olioiksi, ilmiöiksi, ominaisuuksiksi* ja *suureiksi*. Kunkin luokan käsitteillä on *luokalle ominaiset kielelliset käyttötavat*. Nämä ilmaisevat käsitteen yleisen luonteen ja niiden perusteella luonne tunnustetaan. Hyvin jäsenneily fysiikan kieli edellyttäisi, että eri luokkien käsitteitä vastaavat sanastot olisivat erilliset.

Käsitteen ymmärtämiseen kuuluu olennaisesti tietoisuus siitä, mitä luokkaa se edustaa. Tämä on käsitteen oikean kielellisen käytän perusedellytys. Käsite voidaan oppia oikein vain, jos sen käyttö opetuksen kielessä johdonmukaisesti kuvastaa sen luokalle kuuluvaa loogista merkityssisältöä. Ristiriidat hämmäntävät.

Oliot ovat luonnon subjekteja. Niitä ovat hiukkaset, kappaleet, kentät, aine, erilaiset systeemit, laitteet ja niiden osat. Oliot ovat, liikkuvat, toimivat ja vaikuttavat. Ne voivat muuttua, esimerkiksi kasvaa ja pienentyä, ne voivat lisääntyä, vähentyä, levitä, törmätä, yhdistyä, kasautua, hajota jne.

Ilmiöt ovat luonnon tapahtumista, kaikkea sitä, mitä oliot tekevät ja miten ne käyttäytyvät. Ilmiöiden luokkaan kuuluvat siten kaikki liike, toiminta ja muuttuminen, kuten kasvaminen, pieneneminen, lisääntyminen, väheneminen, leviäminen, törmäykset, hajoamiset jne. tai vaikkapa pelkkä oleminen, esimerkiksi tasapaino.

Olioita tai ilmiöitä ovat kielellisesti myös olioiden tai ilmiöiden *mallit*, kuten jäykkä kappale ja harmoninen liike. Geometriset objektit, janat, suorat, kolmiot, kartiot jne. kuuluvat siten luontevasti olioihin. Selvää rajaa "todellisten" ja mallien välillä ei olekaan. Kaikkiin ilmiöitä tai olioita tarkoittaviin fysikaalisiin käsitteisiin liittyy idealisointia, joka jo on mallintamista. Samoilla sanoilla voi kuitenkin yhteydestä riippuen olla joko todelliseen oloon tai ilmiöön taikka malliin viittaava korostus. Esimerkiksi hiukkanen voi tarkoittaa todellista luonnon perusoliota, elektronia, protonia, atomia jne. tai nimenomaan klasista hiukkasmallia rinnastettuna aaltomalliin. Siten hiukkasia voidaan esittää hiukkasilla, aalloilla tai kvanttimekaniikan duaalisilla olioilla.

Ominaisuudet ovat olioiden ja ilmiöiden havaittavia piirteitä, kvaliteetteja. *Suureet* ovat täsmällisesti määriteltäviä fysikaalisia käsitteitä, kvantiteetteja (quantity = suure), jotka vastaavat ja esittävät tiettyjä ominaisuuksia. Niillä on sekä lukuarvo että yksikkö. Suureita ja ominaisuuksia ei pidä sekoittaa toisiinsa, vaikka monet ominaisuuksia tarkoittavat sanat merkitsevätkin myös vastaavia suureita. Kaikilla ominaisuuksilla, kuten hyvyydellä, kauneudella, älykkyydellä tai värillä, ei suinkaan ole suurevastineita. Niistä ei myöskään tule fysikaalisia suureita, vaikka niille määriteltäisiin kvantitatiivisia asteikkoja, jotka perustuvat arvostelutuomareiden antamiin pisteisiin, mielipidetiedusteluihin tai psykologisiin testeihin.

Olioita ja ilmiöitä havaitaan ja tutkitaan. Myös niiden ominaisuuksia voidaan tutkia. Suureita tai suureiden arvoja mitataan ja määritetään. Ne voivat olla suuria tai pieniä, ne voivat suurentua tai pienentyä, ja niillä voidaan suorittaa laskutoimituksia. Suure sen sijaan ei liiku, toimi, vaikuta tai lisäännä, eikä sillä ole kärkiä, särmiä tai sivuja eikä muitakaan osia. Ilmiöitä, olioita ja ominaisuuksia ei puolestaan voi laskea yhteen, vähentää, kertoa tai jakaa keskenään eikä suureiden kanssa.

Esitettyjen esimerkkien pitäisi riittää osoittamaan sekä tarkasteltavan ongelman luonne että sen laajuus. Niissä esiintyvät lähes kaikki mahdolliset luokkien väliset sekaannukset, ja ongelma on sama kaikilla tasoilla.

Suureita käsitellään olioina. Niitä kiihdytetään ja ripustetaan, suureeseen vaikuttaa voima ja suure saavuttaa nopeuden, suureet värähtelevät ja niitä kytetään virtapiireihin, suureella on resistanssi, koko ja kärki, suureiden välisiä etäisyyksiä ja kulmia tarkastellaan, suure voi jopa erottaa osan pallon pinnasta ja sen ympäri voidaan kiertää, atomit voivat liikkua suureessa ja lähettää suureita, suureita kuvataan ominaisuuksilla. On myös varsin yleistä, että suureita kiihdytetään ja ohjataan olioilla (kentillä) tai jopa toisilla suureilla, kuten sähkökentän voimakkuudella ja magneettivuon tiheydellä

Olioita, ilmiöitä ja ominaisuuksia käsitellään suureina. Olioilla, ilmiöillä ja ominaisuuksilla on arvoja, joita myös lasketaan. Ilmiöitä ja olioita vähennetään suureista ja lasketaan yhteen suureiden kanssa. Ilmiö on verrannollinen suuree-

seen. Toisaalta esimerkeissä ilmiö nimetään myös ominaisuudeksi ja siitä puhutaan kuin oliosta.

Ongelmaa on helppo vähätellä. Tällaiseen kielenkäyttöön on niin totuttu, ettei siihen sisältyvää käsitteiden sekaannusta edes tiedosteta. Tosin on ainakin yksi poikkeus. Sanoista vastus ja resistanssi edellinen usein hyväksytään vain olioksi (komponentiksi) jälkimmäinen suureeksi, vaikka standardin mukaan molemmat ovat oikeita suurenimiä.

Fyysikoille ja fysiikan opettajille tämä ei aiheuta ongelmia. Ovathan lauseet täysin ymmärrettäviä. Kysymyksessä on kuitenkin harkitsematon, usein selvästi virheellinen ja harhaanjohtava kielenkäyttö. Ei virhettä pyhitä sen yleisyys eikä sen esiintyminen kaikilla tasoilla aina standardeja myöten. Oppilaat, jotka vasta ponnistelevat oppiakseen ymmärtämään käsitteiden merkityksiä, hämmentyvät ja oppiminen häiriintyy. Tällainen virheellinen kielenkäyttö, *käsitteiden sekoittaminen*, on todennäköisesti varsin keskeinen syy moniin fysiikan opetuksen ongelmiin, tutkimusten osoittamiin väärinkäsityksiin ja puutteisiin oppimistuloksissa.

3. Ensimmäinen harjoitus

Kurssiin liittyi harjoituksia, joiden tarkoituksena oli kehittää oppilaiden fyysikaalista kielenkäyttöä. Ensimmäisessä kielellisessä harjoituksessa tutkittiin käsitteiden jakautumista eri luokkiin analysoimalla lukion oppikirjasarjan hakemistot. Tehtävänä oli ryhmitellä sanat merkityksen mukaan ilmiöiksi, olioiksi, suureiksi ja malleiksi. (Ominaisuuksien luokkaa ei vielä liitetty tähän tehtävään, mallit otettiin mukaan epistemologisten pohdintojen virittämiseksi!)

Opiskelijat työskentelivät pareittain tai kolmen ryhmässä. Kukin ryhmä joutui käymään läpi noin 400 sanaa. Työ oli mittava, vaikka hakemistoissa esiintyikin varsin runsaasti sanoja, jotka selvästi jäivät luokkien ulkopuolelle. Yhdessä seminaarissa käsiteltiin kahden tai kolmen ryhmän tuotokset. Materiaalia kertyi niin paljon, että siitä voitiin käsitellä vain osa. Luonnollista oli keskittyä ongelmakohtiin.

Hieman yllättäen ilmiöitä tarkoittavat sanat aiheuttivat eniten vaikeuksia. Esimerkiksi sellaisia sanoja kuin kahtaistaittuminen, infraääni, maadoitus, gravitaatio ja vuorovaikutus ei tunnistettu ilmiöiksi. Tämä havainto on kuitenkin selvästi samansuuntainen kuin useat muut kurssilla tehdyt havainnot. Yhdessä ne viittaavat siihen, että opiskelijoiden tajunnassa fysiikalla on varsin vähän tekemistä luonnonilmiöiden kanssa. Niiden asemesta teoreettiset mallit vallitsevat heidän ajatuksiaan.

Olioita ja suureita merkitsevät sanat tunnistettiin helpommin. Ongelmia tuottivat lähinnä geometrisiksi objekteiksi luokiteltavat sanat kuten faasidiagrammi, ratakäyrä, heittoparaabeli, massakeskipiste, painopiste, tukipinta, vaikutuspiste.

Sanat, jotka eivät kuuluneet mihinkään tehtävässä mainittuun käsiteluo-kaan, aiheuttivat epävarmuutta. Ominaisuuksia(!), yksiköitä, matemaattisia käsitteitä, fysiikan osa-alueita (kuten dynamiikka) ym. tarkoittavat sanat herättivät vilkkaan keskustelun mahdollisuuksista ryhmitellä niitä joihinkin muihin käsiteluo-kiin.

Saman sanan kuulumista eri yhteyksissä eri kategorioihin ei yleensä ollut huomattu lukuun ottamatta tutuimpia ja jo luennolla esille tulleita esimerkkejä, kuten kulmaa (olio ja suure) ja sähkövirtaa (ilmiö ja suure). Kun sana oli sijoitettu yhteen kategoriaan, oltiin tyytyväisiä ja siirryttiin luettelossa eteenpäin. Keskustelua oli tässä kohden ohjattava poimimalla esille muita esimerkkejä. Se innosti opiskelijat keskustelemaan sanojen erilaisista merkityksistä ja käyttöta-voista eri yhteyksissä. Mahdollisuuksia sijoitella samaa sanaa eri luokkiin pohdittiin ja näkemyksiä perusteltiin:

- Onko dipolisidos pelkästään malli, vai voidaanko sitä ajatella myös oliona, ja eikä siinä voi aistia ilmiötäkin, vaikka sanan kielellinen käyttö ei siihen viittaa-kaan?
- Keskeisvoima on perussanan "voima" perusteella varmasti suure, mutta etu-liite "keskeis-" on viittaus malliin, niiden yhdelmä mielletään ehkä lähinnä ilmiöksi, samalla kun sillä on paljon oliolle ominaiset kielelliset käyttötavat.
- Erilaisia liikkeitä kuvaavat sanat, kuten tasainen liike, seisova aaltoliike, pyörimisliike jne. tarkoittavat ilmiöitä, attribuutit tekevät niistä malleja.

– Kenttä esiintyi jokaisen ryhmän luettelossa. Toiset päätyivät varmasti ja ai-noastaan malliin, toiset oloon. Molemmat näkemykset perusteltiin.

Etukäteen ajatellen tällaisesta harjoituksesta voi odottaa kuivaa, yksitoi-koista ja ikävystyttävää sanaluettelon läpiluentaa, tuskin muuta. Kuitenkin se-minaarin kaksituntinen kului aivan liian nopeasti vilkkaassa keskustelussa. Täl-laiset pohdiskelut tarjosivat hyvän pohjan myöhemmin luennoilla käydyille avartaville keskusteluille, fysiikan koko käsitteenmuodostukseen liittyvästä mallintamisesta, esimerkiksi sellaisten peruskäsitteiden kuin aika, avaruus ja liike malliluonteesta.

4. Toinen harjoitus

Seuraava harjoitus yhdisti sanojen luokittelun fysikaalisen käsitteenmuodostuk-sen perusvaiheen analysointiin. Tehtäväksi annettiin miettiä luettelon kullekin suureelle lyhyt luonnehdinta vastaamalla kysymyksiin:

- Mihin olioihin ja ilmiöihin suure liittyy?
- Millaista niiden ominaisuutta se kuvaa?

Tarkoituksena oli korostaa sitä, että fysikaalinen käsitteenmuodostus on jatkoa kielen luonnolliselle kehittymiselle ja nojautuu periaatteessa samanlai-seen hahmotusprosessiin kuin sanojen oppiminen. Uusia käsitteitä otetaan käyt-töön vain siitä syystä, että niitä tarvitaan kuvaamaan luonnon olioiden ja ilmi-öiden havaittuja ominaisuuksia. Hahmo tunnistetaan ensin, sitten sille voidaan antaa nimi. Sen tähden opetuksen luonnollisen kokeellisen lähestymistavan noudattamisessa on tärkeää, että ennen suureen käyttöönottoa kyetään osoitta-maan sillä esitettävä ominaisuus ja kuvailemaan sitä, vrt. Kurki-Suonio, K. & R. (1987).

Harjoituksessa kävi selvästi ilmi, että ominaisuuksien ja suureiden kielelli-nen erottaminen on usein vaikeaa eikä fysiikan terminologia juuri suosi sitä. Suoraan yleiskielestä otetut suurenimet kuten pituus, etäisyys, nopeus, kiihty-vyys, tiheys, voima, paine, työ, teho ja lämpö ilmaisevat paljolti myös suureen

esittämää ilmiön tai olion ominaisuutta juuri yleiskielisessä merkityksessään. Tämä on luontevaa ja hyödyllistäkin suureen merkityksen ymmärtämisen kannalta, mutta siitä aiheutuu myös ongelmia.

Joudutaan tautologisiin hankaluuksiin selvitettäessä, mitä ominaisuutta suure mittaa. "Nopeus ilmaisee liikkeen nopeuden." Samalla havaittavan ominaisuuden ja sitä esittävän fysikaalisen suureen välinen epistemologinen relatio ja koko käsitteenmuodostusprosessin luonne hämärtyvät. Sitä paitsi sanan yleiskielisten merkitysten koko pilvi salakuljettuu oppilaiden mielikuviin suureen merkityksestä. Tämä saattaa olla hyvinkin olennainen tekijä, joka vahvistaa epäfysikaalisen "arkiajattelun" itsepintaista säilymistä fysiikkaa opiskeltaessakin.

Tämä harjoituksen kokemukset tukevat aikaisempia havaintoja. Vaikeinta opiskelijoille on suureen liittäminen ilmiöön. He eivät kerta kaikkiaan löydä esimerkkejä ympäröivästä luonnosta tai jokapäiväisestä elämästä. He etsivät niitä mieluiten lapsuuden lelumaailmasta. Esimerkiksi tarkasteltaessa liikemäärämomenttia tai jotakin muuta pyörimiseen liittyvää suuretta, ainoa ilmiö, joka tuli mieleen, oli hyrrän pyöräminen, pienen miettimisen jälkeen lisättiin karuselli. Vaikeus löytää sopivia esimerkkejä lastenkamarin ulkopuolelta on jälleen oire, joka viittaa kapean teoreettisen näkemyksen piilevään ylivaltaan fysiikan opetuksessa.

Tällaista tehtävää valmistaessaan opiskelijat joutuvat selaamaan monia oppikirjoja ja miettimään saman suureen käyttöä fysiikan eri alueilla. Tämä on hyödyllistä sellaisenaankin, koska se vahvistaa heidän fysiikan osaamistansa ja opettaa heitä paremmin ymmärtämään fysiikan käsitteistön kehitystä. Lisäksi se auttaa luomaan kokonaiskuvaa fysiikan tietorakenteesta.

5. Kokemusten tarkastelua

Opiskelijajoukko oli hyvin heterogeenista. Osalla oli takanaan vasta kaksi tai kolme vuotta fysiikan opiskelua ilman mitään kosketusta opettajankoulutukseen. Osa oli ollut jo vuoden varsinaisessa opettajankoulutuksessa ja opetushar-

joittelussa. Muutamat olivat toimineet useita vuosia fysiikan opettajina. Näiden erilaisten ryhmien vuorovaikutus osoittautui erittäin hedelmälliseksi. Kokeneet opettajat oivalsivat paljon helpommin harjoitusten soveltuvuuden ja niiden merkityksen opetustilanteiden kannalta. Heidän osuutensa keskusteluissa oli tärkeä nuoremmille opiskelijoille, joille näiden täysin uudentyyppisten harjoitusten merkitys fysiikan yksioikoisen laskuharjoittelun jälkeen oli toisinaan ongelmallinen.

Opiskelijoiden kielenkäytön ja ajattelutapojen kehittymistä kurssin kuluessa ei erityisesti tutkittu. Heidän valmiutensa keskustella ja väitellä fysiikkaa ja fysiikan opetusta koskevista kysymyksistä parani kuitenkin silmännähtävästi. He valpastuivat seuraamaan ja analysoimaan omia ja toistensa puhetapoja ja ajatuskulkuja. He alkoivat kiinnittää huomiota käsitteiden huolimattomaan ja väärään käyttöön. Samoin he alkoivat perustellusti kritisoida oppikirjojen kieltä ja lähestymistapaa.

Kohdatut vaikeudet näyttävät viittaavan syvällisiin ongelmiin siinä tavassa, jolla fysiikkaa opitaan yliopistossa. Kielen osalta on kurssin yhteydessä selvästi todettu, että fysiikan ja fysiikan opetuksen kielenkäytössä esiintyy perustavanlaatuisia käsitteiden sekoittamista, joka ulottuu kaikille tasoille.

Osittain fysiikan oikea terminologiakin on jäsentymätöntä eikä erottele selvästi käsiteloukkia toisistaan. Erityisesti fysiikan käsitteistön epistemologinen kehitys on vähitellen johtanut olioiden ja ilmiöiden korvautumiseen suureilla luonnon todellisuuden peruselementteinä. Tämä näkyy hyvin selvästi fysiikan teorian kielestä, jossa suuretta merkitsevien sanojen kielellisellä käytöllä on ilmeiset oliolle ja ilmiöille kuuluvat ominaispiirteet. Osoitetut sekaannukset voidaankin siten tulkita teorian kielellisten peruspiirteiden ulottamiseksi alueille, jossa ne eivät ole oikeutettuja. Ne kytkeytyvät sen tähden läheisesti fysiikan opetuksen teoreettisen lähestymistavan traditioon, jossa luonnon olioiden ja ilmiöiden olennaisten piirteiden havaintoon ja kokeisiin perustavasta hahmotamisesta alkava luonnollinen käsitteenmuodostus on laiminlyöty.

Tarkastellut tehtävät muodostivat alkuosan sarjalle harjoituksia, joiden tarkoitus oli auttaa opiskelijoita avaamaan silmänsä, lopettamaan pelkkä liitutauluun tuijottaminen ja katsomaan sen sijaan ikkunasta ulos. Heidän toivottiin

oppivan näkemään, miten fysiikan käsitteet, suureet, lait ja teorit syntyvät tarpeesta kuvata ympäröivästä maailmasta saatavia havaintoja, ei kaavoja manipuloimalla eikä loogisen välttämättömyyden pakosta vaan hahmottamisen kaltaiseen oivallukseen perustuvien nerokkaiden idealisointien kautta. Se ainakin kävi ilmi, että opiskelijoiden on paljon avarrettava näkemystään siitä, minkä he ovat omaksuneet fysiikan opintojensa perusteella, jotta he pystyisivät välittämään omille oppilailleen kuvan fysiikasta luonnontieteenä.

Lähteet

Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. (1988). Kokeellisen ja teoreettisen lähestymistavan tuntomerkit fysiikan opetuksessa. Teoksessa J. Laurén (toim.) Kokeellisempaan fysiikan ja kemian opetukseen. Jyväskylän yliopisto. Kasvatustieteiden tutkimuslaitoksen julkaisusarja B. Teoriaa ja käytäntöä **28**, 29–42.