

Teoksessa "Tuulta purjeisiin", toim. Jari Lavonen ja Matti Erätuuli.

Atena Kustannus. Jyväskylä, 1998.

Kaarle ja Riitta Kurki-Suonio

Ajatuksia didaktisesta fysiikasta

Didaktinen fysiikka ja fysiikan didaktiikka

Didaktisen fysiikan nimeksi lienee ensimmäiseksi käytetty Helsingin yliopiston fysiikan laitoksessa luonnehtimaan opettajien fysiikan opintojen ja opinnäytetutkimusten luonnetta¹. Käsitteenä se merkitsee fysiikan opetuksen problematiikkaan suuntautunutta fysiikan osa-aluetta erotukseksi fysiikan didaktiikasta, joka on fysiikan opetuksen sovellettua kasvatustiedettä². Opettajien matematiikan, fysiikan ja kemian valtakunnallisessa tutkijakoulussa, joka käynnistyi syyskuussa 1995, näitä ja muita vastaavia nimikepareja on käytetty erottamaan toisistaan ainelaitoksissa ja opettajankoulutuslaitoksissa suoritettavia tutkintoja varten tehtäviä opinnäytetutkimuksia. Joensuun yliopistoon nimitettiin ensimmäinen didaktisen fysiikan dosentti vuoden 1997 alussa. Liitteenä on tämän nimityksen yhteydessä laadittu kuvaus didaktisesta fysiikasta tieteenalana.

Fyysikko, joka ottaa päätehtäväkseen opetuksen tutkimuksellisen kehittämisen, kohtaa monia ristiriitoja. Ensimmäinen niistä on opetuksen ja tutkimuksen ristiriita, joka kärjistyy, jos hän pyrkii antamaan työnsä tieteen leiman. Kovan tieteen harjoittajien on usein vaikeaa nähdä sitä, mikä on olennaista opetuksen tieteellisyydessä ja mitä tieteellisyyttä voi liittyä opetuksen kehittämiseen. Mikä on ilmeistä kasvatustieteessä, on fysiikassa uutta ja vierasta.

Niin kauan kuin opetusta kehittävä tutkimus pysyy kasvatustieteen piirissä, perinteinen fyysikko tyytyy tuhahtelemaan halveksivasti moisele subjektiiviselle näennäistieteelle. Hänen mielestään opettamisen hyvyyden ainoa varteenotettava mitta on selkeän selittämisen kyky, johon riittää hyvä oman alan hallinta ja jota voi parantaa vain opiskelemalla lisää kovaa fysiikkaa ja harjoittamalla oman alansa eturintaman tutkimusta. Didaktinen fysiikka *esse delendam*³, sillä se loukkaa fysiikan itsestään selvää tieteellistä ylemmyyttä.

Tavallisten tutkijakoulujen tavoitteena on kouluttaa nuoria tohtoreita. Opettajien tutkijakoulun tavoitteeksi asetettiin matemaattisten aineitten opetuksen kehittäminen⁴. Tietysti siinäkin valmistutaan lisensiaateiksi ja tohtoreiksi, mutta opinnoilla ja tutkimuksilla on syvempi tavoite, jonka tulisi näkyä tutkimuksen aiheissa ja metodeissa. Kovassa fysiikassa metodi on ongelmaton.. Ei sen piirissä väitöskirjojen tarkastuksessa koskaan pohdita tutkimuksen tieteellistä metodologiaa. Kasvatustieteen kuten monen muunkin tieteenalan väitöksissä metodi on aina keskeinen kysymys. Se on ongelma, jonka myös didaktinen fysiikka väistämättä kohtaa täydellä painollaan. Tämä ei suinkaan merkitse kovan fysiikan metodin tieteellistä yliveraisuutta, vaan sen, ainakin näennäisesti, triviaalia helppoutta.

Kun tutkijakoulussa kasvatustieteen ja ainelaitosten tieteiden edustajat istuvat saman pöydän ääressä, opetuksen ja tutkimuksen ristiriita konkretisoituu ja laajenee fysiikan (kemian, matematiikan) ja kasvatustieteen vastakkainasetteluksi. Kaikkien ei ole helppoa sopeutua siihen ohjelmalliseen periaatteeseen, että tutkijakoulun jatko-opiskelijan vastuulaitoksesta riippumatta sekä aineen että kasvatustieteen opinnot ovat tasa-arvoisesti pääaineen jatko-opintoja, joiden tarkoituksenmukaisuudesta sopiminen jää ohjaajien vastuulle.

Tässä vuorovaikutuksessa kovan tieteen edustajilla on paljon opittavaa tieteellisyyden perusteista. Heidän pitäisi nähdä, mitä on se tieteellisyys, jota heidän omalla tieteellään on tarjota sen opetuksen kehittämistä palvelevalle tutkimukselle, kun se ei voi olla kovan tieteen metodisesti triviaalia tieteellisyyttä, joka kykenee arvioimaan vain kovan tieteen omia uusia saavutuksia. Heidän on kyettävä keskustelemaan tästä tasa-arvoisesti kasvatustieteen edustajien kanssa. Muuten kasvatustieteen tieteellisyys jää ainoaksi ohjenuoraksi, eikä tutkijakoulussa olekaan perusteita suorittaa ainelaitosten tieteiden jatkotutkintoja - didaktista fysiikkaa (kemiaa, matematiikkaa) ei voi olla.

¹Kaarle Kurki-Suonio: *Fysiikan didaktiikka ja didaktinen fysiikka*. Tiedonantoja koulukokeilusta ja tutkimuksesta. 3/1983, 21. Kouluhallitus.

²Kaarle Kurki-Suonio & Veijo Meisalo: *DFFD-Yhteistyöstä*. Yliopisto 4/1994, 39.

³Opetusministeriön selvitysmies, Olli V. Lounasmaa, vetää raportissaan erikseen esiin didaktisen fysiikan tarpeettomana alana, joka *olisi hävitettävä*. OPM 1996.

⁴Kaarle Kurki-Suonio: *Opettajien matematiikan, fysiikan ja kemian valtakunnallinen tutkijakoulu*. Dimensio 6/95, 12.

Opettajankoulutuksen ikaikaisiin perusteisiin kuuluu ajatus kahdenlaisesta tieteellisyydestä, joita kasvatustiede ja opetettava aine edustavat. Jotta "tieto" voisi olla arvokasta, sen on oltava sekä rakenteellista että oppilaan omaa. Tässä pelkistyy fysiikan ja kasvatustieteen roolijako.

Kasvatustieteen lähtökohta on oppilas, oppimisyhteisö- ja ympäristö. Se painottaa oppilaan mielen rakenteita ja tutkii oppilaan omia tietorakenteita, sitä, miten ja millaisilla edellytyksillä ne syntyvät ja kehittyvät, sitä, miten niihin voidaan vaikuttaa ja niin edelleen.

Fysiikan opetuksessa ei ole samantekevää, miten ja millaisiksi oppilaan tiedot ja ajattelu rakentuvat. Siinä ei ole kysymys vain oppilaan kasvamisesta sinänsä, vaan se on kasvamista johonkin. Sillä on tavoitteita, jotka ovat lähtöisin fysiikasta itsestään, sen sisällöistä sekä sen tiedollis-käsitteellisistä ja metodis-prosessuaalisista rakenteista. Tämä rakenteellisuus on varsin pitkälti absoluuttista. Käsitteillä on tietyt empiiriset merkitykset ja keskinäiset relaatiot, jotka kuuluvat luonnontieteellisen maailmakuvaan perusteisiin, ihmiskunnan sivistyspääomaan.

Siten fysiikan opetusta kehittävässä tutkimuksessa ovat väistämättä mukana oppilaan mielen rakenteiden ja oppimisen ongelmien ohella myös fysiikan rakenteellisuudesta nousevat kysymykset.

Opetussuunnitelmien perusteissa⁵ korostetaan oppimisen ja opiskelun prosessien kehittämisen tärkeyttä. Niiden prosessien oppiminen, joilla rakenteellista tietoa luodaan, on primaarista, tärkeämpää kuin tieto, joka on prosessien tuotetta.

*Suuren prosessin paradigman*⁶ mukaan tiede ja oppiminen ovat perusolemukseltaan sama tiedon luomisen prosessi. Niiden mittakaava vain on erilainen.

Tiede on ihmiskunnan yhteinen, ainutkertainen "suuri prosessi". Sitä rakentavat alansa kärjessä etenevät tutkijat. Ne, joiden halutaan lounasmaalaisittain väittelevän puberteetissa, pitää auttaa nopeasti tieteen etummaiselle aallonharjalle. He tarvitsevat tavanomaisia tutkijakouluja tullakseen nostetuiksi Tarzaneina puuhun, mahdollisimman suoraan poimimaan hedelmiä tieteen latvasta.

Oppiminen on tämän prosessin toistumista yksilöissä. Se on kunkin oppilaan oma, ainutkertainen ja elinikäinen "suuri prosessi". Opettajan tehtävänä on edistää ja ohjata prosessin toteutumista ja edistymistä sen alusta lähtien erikseen jokaisessa oppilaassaan. Tässä on opetuksen ja didaktisen fysiikan tieteellisyyden ydin. Opettajan on tunnettava tieteensä puun juuret ja elintoiminnot, sen rakenteet ja prosessit, pystyäkseen tunnistamaan niiden idut ja kasvun vaiheet oppilaassaan ja voidakseen auttaa häntä eteenpäin. Fysiikankin tieteellisyys on prosessissa eikä tuotteissa. Opettajankoulutuksen vanha osajako, jossa prosessi on jätetty kasvatustieteen huoleksi ja fysiikan tehtävänä on vain opettajan varustaminen riittävällä tuotevalikoimalla, ei anna fysiikan opettajille riittäviä valmiuksia.

Opettajan on mielekästä opiskella ja tutkia käsitteenmuodostuksen perusteita, tieteen prosesseja, sitä, miten tieteessä tieto on syntynyt ja syntyy. Se on yhtä tärkeää kuin sen opiskelu ja tutkiminen, miten tieto syntyy ja rakentuu oppilaassa. Didaktisen fysiikan koulutuksen perustavoitteisiin⁷ kuuluu sekä tieteen että oppimisen rakenteiden ja prosessien tunteminen - niiden välisen vastaavuuden tutkiminen on didaktisen fysiikan keskeinen tutkimusongelma.

Kolme perusjännitystä

Tieteen dynamiikkaan kuuluu kolme vastakkainasettelua, joiden luomat sisäiset jännitteet toimivat tieteen edistymisen käyttövoimana. Ne ilmenevät monin tavoin myös opetuksessa ja opetuksesta käytävässä keskustelussa, ja ne pitäisi valjastaa myös didaktisen fysiikan palvelukseen.

1. Empirian ja teorian välinen jännitys kuuluu jokaiseen tieteenalaan. Kysymys on empirian, ts. havaintojen ja kokeiden, suhteesta teoriaan eli mielikuviin, käsitteisiin ja niiden formaalisiin esityksiin. Opetuksessa tämä jännitys ilmenee kiistana lähestymistavoista: Onko parempi antaa tieteen tuotteet valmiina, kertoa modernin tieteen selitysmalleista, atomeista, elektroneista ja alkeishiukkasista ja opetella ulkoa joukko peruskaavoja ja harjaannuttaa niiden formaaliseen käsittelyyn, vai pitäisikö alkaa ympäristön havaitsemisesta ja ilmiöiden kokeellisesta tutkimuksesta?

⁵Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet 1994 ja Lukion opetussuunnitelman perusteet 1994 Opetushallitus. Helsinki

⁶Kaarle Kurki-Suonio: *Suuren prosessin paradigma*. Dimensio 3/96, 31.

⁷Ks. <http://www.physics.helsinki.fi/~didfys/kurssit.htm>

ja <http://www.physics.helsinki.fi/~dfcl/>

2. *Tieteen ja teknologian* jännitys näkyy mm. perustutkimuksen ja soveltavan tutkimuksen suhteessa ja keskustelussa niiden merkityksistä. Se on jatkuvasti ja monin eri korostuksin esillä tiede- ja teknologiakasvatusta koskevassa keskustelussa. Sen negatiivisina piirteinä on esiintynyt pyrkimystä kiistää perustutkimuksen oikeutus hyödyttömänä ja fysiikan perusteiden opetuksen merkitys soveltavilla aloilla. On ollut hämmentävää kokea, miten voimakkaasti tämä halutaan samastaa empirian ja teorian tai opetuksen kokeellisuuden ja teoreettisuuden vastakkainasetteluun⁸. Ajatellaan, että opetuksen tieteellisyys on sen teoreettisuutta, että *science* merkitsee teorialähtöisyyttä ja *technology* edustaa opetuksen ympäristölähtöisyyttä eli kokeellisuutta. Ei ole tiedostettu, että empirian ja teorian jännitys koskee samalla tavalla sekä tiedettä että teknologiaa. Teknologiassa lähdetään samalla tavalla sekä teoriasta että käytännön probleemoista kuin tieteessä nojaututaan sekä ympäristön havaitsemiseen että teoriaan. Sama lähestymistapojen valinnan ongelma esiintyy kummankin opetuksessa.

3. *Yksilön ja yhteisön* välinen jännitys on kolmas perustava vastakkainasettelu. Siihen kuuluvat kysymykset yksilön suhteesta tutkijaryhmään tiedon tuottajana, tiedeyhteisön merkitys tieteen edistymiselle sekä tutkijoiden tai tiedeyhteisön suhde ympäröivän yhteiskunnan paineisiin. Fysiikan opetuksessa ilmenee vastaavia paineita sosiaalisina jännityksinä erilaista oppimista ja opetusta haluavien oppilaiden ja opettajien välillä. Se näkyy myös vaatimuksissa, joita yhteiskunta kohdistaa fysiikan opetukseen. Ristiriitoja syntyy sen välillä, mitä ja miten yhteiskunta haluaa opettavan, ja sen, mikä meidän mielestämme on oikeaa ja mahdollista fysiikan opetusta ja miten fysiikan ja opetuksen kannalta parhaiten lähestytään tieteen ja teknologian muodostamaa kokonaisuutta.

Kaikki kolme jännitystä palautuvat syvällisiin, ihmisen ja todellisuuden suhdetta koskeviin epistemologisiin ja ontologisiin peruskysymyksiin. Luoko ulkoinen todellisuus tietoisuuden vai tietoisuus todellisuuden? Syntyvätkö käsitteet havainnoista vai havainnot käsitteistä? Kumpi edustaa aidommin todellisuutta, teoria vai havainto? Syntykö teknologia tieteestä vai tiede teknologiasta? Luoko kieli todellisuutta vai todellisuus kieltä?

Kaikista näistä on kiistelty ja väkeviä argumentteja on esitetty erilaisten näkemysten puolesta ja niitä vastaan. Sosiolingvistiikassa esiintyy kärkevä paradigma, jonka mukaan kaikki käsitteet, fysiikankin, ovat pelkästään sosiaalisia konstruktioita. Niillä olisi pelkästään kielen kautta neuvottelemalla luotuja merkityksiä vailla ontologista perustaa⁹. Luonnontieteetkin olisivat pelkkää kielipeliä. Toisaalta luonnontieteessä taas kärkkäästi kielletään tiedon ja käsitteiden sosiaalinen ulottuvuus ja kiistellään vain ontologisen ja episteemisen näkökulman sisäisistä ongelmista.

Fysiikan opetuksessa esiintyy ulottuvuudessa empiria-teoria vastakkaisia kärjistyksiä. Toiset ajattelevat käsitteet pelkästään empirian tuotteiksi. Vastakkaisen ajattelutavan mukaan ideat eli teoria ja mielikuvat ovat kaiken alku ja juuri, havainnot ja kokeet ovat vain ideoiden seurauksia ja tuotteita. Jotkut korostavat käytäntöä ja teknologiaa ainoana autuaaksi tekevästä opetuksen lähtökohtana kieltäen teoreettisen pohdiskelun merkityksen.

Nämä ovat ikivanhoja "munan ja kanan" ongelmia, joita ovat ajoittain sävyttäneet teoreetikoiden ja empiirikkojen, fyysikoiden ja teknologien sekä luonnontieteilijöiden ja sosiologien taistelut reviiereistään tieteen ja sivistyksen, yliopiston ja koululaitoksen kentillä.

Tieteen prosessuaalisessa rakenteessa on ilmeisesti vielä paljon tutkittavaa, jotta erilaisten lähestymistapojen perusteet, tiede- ja teknologiakasvatuksen ajattelutavat sekä kielen ja tieteellisen käsitteenmuodostuksen suhteet selvenisivät ja täsmentyisivät ja jotta tarpeettomat ristiriidat voitaisiin poistaa yhteisen tutkimus- ja opetustehtävän tieltä.

Erottamattomat prosessit

Kolmen prosessin malli tarjoaa tähän selkeyttävän näkökulman. *Tieteellinen* prosessi, joka tähtää ympäristön käsitteelliseen jäsentämiseen ja sen ilmiöiden ymmärtämiseen, ja *teknologinen* prosessi, joka pyrkii vaikuttamaan ympäristöön, muuttamaan sitä ja sopeuttamaan ihmisen toimintoja siihen, muodostavat yhdessä "suuren prosessin" ontologisen elementin, joka toimii ihmismielen ja todellisuuden välillä. *Sosiaalinen* prosessi, jonka ytimenä on neuvottelu merkityksistä, yhdistää yksilöiden ontologiset prosessit yhteisön prosessiksi.

Nämä kolme prosessia ovat välttämättömiä sekä tieteen edistymiselle että oppimiselle. Ne ovat kaksisuuntaisia ja erottamattomasti yhteen kytkeytyviä tavalla, joka on prosessin rakenteen fraktaalinen perusominaisuus. Tieteellisen, teknologisen ja sosiaalisen prosessin tuntomerkit voidaan nähdä samalla tavalla myös oppilaan oppimisessa ja todeta niiden tasapainoisen kytkeytymisen välttämättömyys. Ne ovat tunnistettavissa jo oppimisen ensimmäisissä iduissa, aistihavaintojen hahmottumisessa, ja niiden luonne ja keskinäiset suhteet säilyvät läpi "suuren prosessin" koko hierarkkisen kehityksen ja rakenteistumisen.

⁸Ks. esim. S. Waks: *Science-technology dimensions in physics education: prospects and impact*. Phys. Educ. **29**, 64. 1994.

⁹Ks. esim. Dan Steinbock: *Älyllisen hölynpölyn alkeet*. Yliopisto 11/96, 22.

Tämä johtaa ajatteluun, jota voidaan pelkistetysti kutsua *yhdistäväksi dualismiksi*, vastakohtana *erottavalle dualismille*, josta esitetyt kärjistyksen ja vastakkainasettelut nousevat.

Erottava dualismi näkee jyrkästi vastakkaisia osapuolia, jotka ovat erillisiä ja toisensa poissulkevia. Yhdistävä dualismi näkee osapuolet yhteen kuuluviksi, sisäkkäisiksi ja toisilleen välttämättömiksi sillä vasta niiden vastakkaisuudesta syntyy kehitystä ylläpitävä kaksisuuntainen dynamiikka.

Empiria, teoria, tiede, teknologia ja kieli ovat suuren prosessin peruselementtejä. Tieteellinen, teknologinen ja sosiaalinen prosessi ovat kaikki alusta alkaen yhtäaikaan ja erottamattomasti mukana tieteen ja oppimisen merkitysten rakentamisen prosessissa. Ne ovat mukana tämän prosessin jokaisessa alkiossa niin, että jokainen fysiikan käsite on samalla kertaa sekä empiirinen, teoreettinen että sosiaalinen, emmekä voi erottaa näitä sen eri elementtejä toisistaan. Munan ja kanan probleemassa muna ja kana ovatkin sisäkkäisiä ja samanaikaisia, samalla sekä kanoja että munia.

Kysymyksessä on syvälinen maailmankuvallinen periaate tai ajattelutavan valinta. Sillä saattaa olla moneen suuntaan ja kauas ulottuvia seurauksia, joita ei ole vielä täysin oivallettu ja analysoitu. Vakavasti otettuna tämä saattaa merkitä mm. sitä, että se varsin laaja teoreettinen ja filosofinen tutkimus, jossa pohditaan kvanttimekaniikan mittaustilaa, on lähtökohdiltaan jollakin tavalla väärä. Sillä kvanttimekaniikka kokonaisuutena, samoin kuin sen jokainen käsite erikseen, sisältää itsessään merkitysten luomisen empiirisen, teoreettisen ja sosiaalisen prosessin, kun koko mittaustilaa lähtökohdaksi on käsitteiden puhdas teoreettisuus ja sen projisiointi tästä erilliseen kokeellisuuteen.

Jos käsitteiden luonteesta teoria, empiria ja kieli ovat erottamattomat, kaikki käsitteet käsittehierarkian ylimpiin, laajoihin kokonaisvaltaisiin käsitteisiin saakka, joita kutsumme teorioiksi, ovat luonteeltaan samanlaisia kuin kieleemme ensimmäiset käsitteet, jotka näyttävät kuvaavan mahdollisimman suoraan aistihavaintoja. Sanat, joita käytämme puhuessamme luonnosta, erilaisista kappaleista ja aineista ja niiden ominaisuuksista, ovat merkityksensä luonteen puolesta samanlaisia. Siinä määrin kuin pidämme kuumaa, kovan, kylmän, ihmisen, koiran ja kissan käsitteitä pysyvinä ja muuttumattomina, ihmiskunnalle yhteisinä käsitteinä, myös fysiikan luomat käsitteet voima, massa, aaltofunktio jne. ovat pysyviä. Niitä ei mikään tieteen vallankumous voi kumota, niin kuin ei ole näkyvissä mitään aistihavaintojen vallankumousta, joka kumoaisi meidän perushavaintojamme kuvaavan käsitteistön.

Samalla kun käsitteet ovat sopimuksia, ne ovat sopimuksia jostakin, joka on niiden tieteellisen ja teknologisen prosessin kautta rakentuva ontologinen merkitys. Sovituilla käsitteillä on merkitys havaintojen tulkintana. Havainnot ja kokeet sitovat sekä sosiaalista keskustelua että merkitystä, josta sopimiseen neuvottelu tähtää.

Lähestymistavat

Lähestymistapa ilmaisee opetuksen suhteen tavoitteisiin. Sen luonne riippuu siitä, millä tavalla opetuksen peräkkäisissä yksittäisissä toimenpiteissä aktivoidaan tieteen prosessuaalisia peruselementtejä edettäessä kohti tavoitetta. Jotta lähestymistavasta voitaisiin puhua, tämän aktivoiminen on oltava johdonmukaista ja järjestelmällistä. Opetuksessa, jonka tavoitteena on ympäristön ilmiömaailman käsitteellinen hallinta, lähestymistapa on teoreettinen, jos käsittelyn lähtökohdaksi otetaan käsitteiden merkitykset sellaisina kuin ne ilmenevät niiden teoreettisissa relaatioissa ja ilmiöiden malleissa, ja kokeellinen, jos lähdetään liikkeelle hahmottamalla käsitteiden merkityksiä havaittavien ilmiöiden kautta.

Didaktisen fysiikan perusteiden kurssilla tarkastellaan erilaisten lähestymistapojen perusteita. Viime vuosina tähän on liittynyt myös harjoitus, jossa on analysoitu ja vertailtu oppikirjojen lähestymistapoja. On annettu valittavaksi joukko suuria fysiikan eri aloilta ja tehtävä on asetettu seuraavasti: *"Vertaa suureiden käyttöönottoa ja määrittelyä eri oppikirjoissa tai sarjoissa. Kiinnitä erityisesti huomiota siihen, miten suureen tarve ja käyttöönotto motivoitetaan tai perustellaan ja miten suureen empiirinen merkitys esitetään. Arvioi, onko lähestymistapa kokeellinen vai teoreettinen. Perustele arviointiasi."*

Harjoitus on pidetty kurssin loppuvaiheessa. Takana on tällöin useitakin harjoituksia, joissa on analysoitu suureiden merkitysten empiriaan perustuvaa synty- ja kehitysprosessia.

Osanottajat ovat huomauttaneet, ettei oppikirjoja voi arvioida erottamalla siitä yksittäisiä detaljeja. Huomautus on sellaisenaan oikeutettu, mutta suureet eivät ole fysiikan detaljeja vaan peruskäsitteitä, joiden avulla fysiikassa esitetään luonnon rakennetta ja ilmiöitä. Niiden merkitykset ovat kaiken fysiikan ymmärtämisen avain. Yksittäisten suureitten käyttöönotto on sen tähden ydin, joka pitkälti määrittelee koko opetuksen lähestymistavan. Tarkoitus ei kuitenkaan ollut arvostella oppikirjoja vaan pohtia lähestymistavan arvioinnin tilaa ja etsiä mahdollisia arvioinnin kriteereitä käytännön esimerkkien valossa. Oppikirjojen arviointi on luonnollisesti didaktisen fysiikan tutkimukselle tärkeä kohde.

Tämä harjoitus avaa yhtä näkökulmaa tällaisen tutkimuksen mahdollisuuksiin ja voi parhaimmillaan antaa joitakin työkaluja sen tekemiseen ja eväitä fysiikan prosessirakenteen kautta perusteltujen oppimateriaalien suunnitteluun.

Harjoituksen lähtöajatuksena oli arvion perustaminen ensi sijassa suureen käsittelyn ensimmäisen operaation tai prosessiaskelen luonteeseen, suureen varsinaiseen käyttöönottoon, suurelle annetun määritelmän luonteeseen sekä siihen, nojautuuko esitetty määritelmä sitä edeltävään kokeellisuuteen vai liittykö kokeellisuus siihen vasta selitellynä jälkikäteen.

Suorituksissa kiinnitettiin kuitenkin paljon huomiota myös suureen käyttöön määrittelyn jälkeen. Lähestymistapa tulkittiin tällöin peräkkäisten teoreettisten ja kokeellisten lähestymisten ketjuksi tai yhdistelmäksi. Sitä saatettiin pitää "vallitsevasti kokeellisena" pelkän jälkikokeellisuuden perusteella. Kuitenkin merkityksen hahmottuminen riippuu ratkaisevasti juuri käyttöönoton ensimmäisestä askelesta.

Pyydetty valinta lähestymistavan kokeellisuuden ja teoreettisuuden välillä oli monille odotettua ongelmallisempi. Harjoituksen oli tarkoitus johtaa tämän perusjaon kyseenalaistamiseen sekä empirian ja teorian suhteen syvempään pohdintaan. Ei riitä huomion kiinnittäminen siihen, käytetäänkö lähtökohtana havaintoja ja kokeita vai käsitteitä, teoriaa ja teoreettisia malleja, ja siihen missä järjestyksessä edetään. Olennaista on se, miten empiria ja teoria kytketään yhteen ja millä tavalla niitä käytetään hyväksi mielikuvien ja mielikuvarakenteitten luomisessa. Lähestymistavan käsite, erityisesti lähestymistavan suhde prosesseihin ja niiden aktivointitapoihin, ansaitsee perusteellisempaa pohdintaa.

Havainnot, mielikuvat ja kieli

Näin tämä harjoitus palaa fysiikan käsitteenmuodostuksen perusteisiin, nyt oppikirjojen ja opetuksen näkökulmasta. Jako teoreettisen ja kokeellisen lähestymisen vaihtoehtoihin on perinteistä, erottavaa dualismia. Nämä eivät ole fysiikan vaihtoehtoja, sillä ei ole puhdasta teoriaa eikä puhdasta empiriaa. Fysiikassa ei ole havainnoista riippumattomia käsitteitä eikä teoriasta - mielen rakenteesta ja mielikuvista - riippumattomia havaintoja. Merkityksiä luovassa hahmotuksessa havainnot ja mielikuvat, empiria ja teoria, ovat erottamattomasti sisäkkäin. Tästä nousee opetuksen kehittämisen utopistinen tavoite, *hahmottava lähestymistapa*, jossa havainnot ja mielikuvat, empiria ja teoria rakentuvat ja kehittyvät yhtäaikaan ja sisäkkäin koko ajan toisiaan tukien niin, että käsitteiden merkitykset hahmottuvat ensin ja formaalisen käsitteistämisen tarve tulee vasta sitten, niistä puhumisen ja niiden esittämisen tarpeena.

Tästä tavoitteesta nousee kaksi opetuksen perusongelmaa, joiden tutkiminen kuuluu didaktiseen fysiikkaan¹⁰: 1. Miten toteutetaan hahmottavaa kokeellisuutta, jossa mielikuvat ja havainnot tukevat toisiaan? 2. Millaisia ovat näin tavoiteltavat perusmielikuvat, jotka voisivat muodostua fysiikan eri ilmiöalueiden käsitteiden ymmärtämisen avaimiksi?

Merkitykset ovat mielikuvia. Ne ovat luonteeltaan sekä teoreettisia - mielen rakenteeseen nojautuvia ja siitä riippuvia - että empiirisiä - havaintojen herättämiä ja niiden perusteella kehittyviä. Merkitykset syntyvät ensin. Käsitteistäminen on merkityksen pukemista symboliseen asuun, joka voi olla kielellinen termi, tunnus, formaalinen lauseke, yhtälö tai joukko yhtälöitä.

Merkitysten syntyminen, käsitteistäminen ja kehittyminen kuuluvat ontologiseen prosessiin, joka kokonaisuudessaan on myös sosiaalisen prosessin alaista. Siinä ollaan keskellä kielen ongelmaa. Mielikuvia luodaan kielen välityksellä sosiaalisessa, merkityksistä neuvottelemisen prosessissa, joka kehittää ja muokkaa samalla sekä havaitsemista, mielikuvia että niistä puhumisen kieltä. Merkityksistä on voitava puhua. Siihen tarvitaan käsitteistämistä, joka liittyy ne kieleen. Tämän prosessi on kaksisuuntainen: kieli vaikuttaa mielikuviiin, mielikuvat kieleen.

Yleiskieli, jolla havainnoista ja ilmiöistä puhutaan, nojautuu pitkälti jokapäiväiseen, suoraan havaittavaan ympäristöön. Sen tähden se on sitoutunut ja sitoo meitä primaarihahmotukseen, ilmiöistä syntyviin välittömiin mielikuviiin, jotka tieteen historiassakin ovat esiintyneet ensimmäisinä mutta sittemmin syrjäytyneet. Niitä ovat monet nk. ennakkokäsitykset, joita on paljonkin tutkittu luonnontieteiden didaktiikassa. Niiden pysyvyys saattaa suurelta osin perustua siihen, että yleiskieli tiedostamattamme tukee ja vahvistaa niitä. Tarvitaan opetuksen ja oppikirjojen kielen huolellista analyysia, jotta oppisimme huomaamaan, millä tavalla opetuksen kielenkäyttö ehkä vahvistaa käsityksiä, joita opetuksella pyritään muuttamaan. Esimerkiksi sähkövirtaa ja sähköenergiaa koskeva yleinen kielenkäyttö tukee selvästi monia sähkövirtaa koskevia käsityksiä,

¹⁰Didaktisen fysiikan koulutuksessa laboratoriokurssi keskittyi ensimmäiseen ongelmaan ks. <http://www.physics.helsinki.fi/~opelab/> Toinen ongelma on keskeinen koulufysiikan tietorakenteiden kurssissa, ks. <http://www.physics.helsinki.fi/~didfys/kurssit.htm> Mekaniikan perusmielikuvasta ks. Kaarle Kurki-Suonio: *Neljä keskipakovoimaa*. Dimensio 1/96, 14.

joita jatkuvasti kummastelemme huomaamatta että ne ovat luonnollisia ja loogisia seurauksia monissa oppikirjoissakin käytetyistä "havainnollistavista" eli yleiskieleen palauttavista malleista¹¹.

Kieli on mukana teorian ja empirian vuorovaikutuksessa sekä oikeitten että väärin mielikuvien luomisessa. Sen kautta välittyy myös oppikirjan lähestymistavan "logiikka". Tekstin analyysi osoittaa, että tyypillinen luonnontieteellinen oppikirjateksti alkaa vastaansanomattomasta määritelmästä ja jatkaa määritelmän erilaisilla täsmennyksillä. Esitys ei aseta mitään kyseenalaiseksi, se vain kertoo valmiita faktoja¹². Tämä tukee voimakkaasti didaktisen fysiikan kurssien pohdinnoissa jatkuvasti vahvistunutta käsitystä, jonka mukaan fysiikassakin oppikirjan perinne on auttamattomasti sitoutunut teoreettiseen lähestymistapaan. Kirja tuputtaa tuotteita ja tappaa prosessin. Suu kiinni, kun kirja puhuu!

Käsiterakenteet

Prosessit ja rakenteet ovat erottamattomia. Prosesseihin ei voi harjaantua harjoittelematta, eikä niitä voi harjoitella muuten kuin siinä yhteydessä, missä ne toimivat, rakenteellisen tiedon luomisessa. Fysiikankin rakenteellista tietoa ja sitä luovia prosesseja voidaan oppia vain yhtäaikaan ja rinnakkain.

Fysiikassa on monia läpäiseviä käsitteellisen yleistymisen *kehityslinjoja*, fysiikan punaisia lankoja. Ne saattavat alkaa hyvinkin yksinkertaisista ja alkeellisista lähtökohdista. Eräiden linjojen tiedostaminen saattaisi olla tärkeää jo luokanopettajille, jotta he näkisivät, millaiselle kehitykselle ala-asteen opetus on rakentamassa perustaa, ja osaisivat antaa oikean alkusuunnan.

Esimerkiksi kappaleiden kokojen ja muotojen havaitseminen ja luokittelu, jota ala-asteen matematiikassa harjoitetaan, tarjoaa perustan kahdelle koko fysiikan läpäisevälle käsitteelle, verrannollisuudelle ja symmetrialle. Kummankin konkreettinen perusmerkitys voidaan hahmottaa luontevasti yksinkertaisten, ala-asteelle sopivien havaintojen ja luokittelujen kautta. Verrannollisuudesta tulee suureiden ja lakien empiirisen hahmottamisen ydin. Symmetriasta tulee kvantitatiivisen käsitteenmuodostuksen avain, periaate, johon suureet, lait ja lopulta modernin fysiikan teorit palautuvat.

Vielä selvemmin fysiikan opetuksen etenemistä rakenteistaa linja, joka alkaa liikeilmiöiden luokittelusta etenemiseen, pyörimiseen ja värähtelyihin. Tästä tulee ensin mekaniikan jako osa-alueisiin. Energian kautta tästä luokittelusta hahmottuu vähitellen esiin vaikea, mutta suunnattoman tärkeä vapausasteen käsite. Tämä käsite voidaan kohdata monessa eri yhteydessä, ja sen esilläpitäminen kannattaa, sillä siitä tulee lopulta kvantittumisen empiirisen perustan hahmottamisen lähtökohta. Ala-asteella liikkeitä luokiteltaessa rakennetaan siis perustaa kvanttimekaniikan perusajatuksille.

Käsitteiden teoreettiset merkitykset muodostuvat rakenteista, joita voidaan luonnehtia *suureverkoiksi*. Ne koostuvat suureiden relaatioista sellaisina, miksi ne ovat hahmottuneet suuressa prosessissa. Teorian kannalta ne ovat valmiita matemaattisia rakenteita, suureiksi kutsuttujen alkioiden algebrallisten relaatioiden verkkoja. Verkon rakenne kokonaisuutena määrittelee kaikkien sen suureiden merkitykset. Tällä tavalla suureiden kesken vallitsee teoriassa demokraattinen tasa-arvo.

Tämä avaa yhden näkökulman matematiikan ja fysiikan suhteeseen. Matematiikka on, ahtaasti tulkittuna ja monien matemaatikoiden mielestä nimenomaan, formaalisia rakenteita tutkiva tiede. Tähän sisältyy juuri se ajatus, että matemaattisten käsitteiden merkitykset seuraavat pelkästään niiden keskinäisistä relaatioista. Merkitykset ovat siten luonteeltaan pelkästään formaalisia ja abstrakteja. Fysiikassa matemaattisia rakenteita käytetään malleina. Matemaatikolle syntyy helposti mielikuva, että mallin käsite halventaa matematiikan kristallinkirkasta itseisarvoisuutta alistamalla sen epäpuhtaalle empirialle. Fysiikan näkökulma on toinen. Mallina matemaattinen struktuuri saa kokonaan uuden sisällön. Formaalisesta rakenteesta tulee hahmo, jolla on hahmoon erottamattomasti kuuluva empiirinen merkitys. Matematiikka saa fysikaalisen sielun ja herää elämään.

Empiria särkee suureiden demokratian idyllin. Käsitteiden lähestyminen niiden empiirisestä perustasta tekee suureiden verkkosuhteista suunnattuja relaatioita, jotka ilmaisevat suureiden merkitysten syntymisen järjestyksen. Kun suureet ovat kvantitatiivisen fysiikan opetuksen ydinkäsitteitä, suureverkoista tulee näin opetuksen kokonaisuunnittelun perusväline.

Fysiikan rakenteen ehkä hallitsevin ja opetuksen kannalta ongelmallisin piirre on sen *hierarkkinen kerroksellisuus*. Käsitteet jakautuvat pehmeiden kvalitatiivisten käsitteiden ja kovien kvantitatiivisten käsitteiden maailmaan. Kvantitatiivisen tason käsiterakenne, jossa erottuvat suureiden, lakien ja teorioiden hierarkkisesti eriaisteiset tasot, on vain fysiikalle ominainen. Hierarkkisesti korkeammat käsitteet perustuvat alemmille, eikä niiden opetuksen järjestyksessä ole vaihtoehtoja.

¹¹Outi Jokinen: *Sähköoppi fysiikan oppikirjoissa ja oppilaiden mielikuvat*. Dimensio 6/96, 44

¹²Pirjo Karvonen: *Oppikirjateksti toimintana*. Suomalaisen kirjallisuuden seuran toimituksia 632. Helsinki. 1995

Kaikille tarkastelluille rakenteille on ominaista niihin liittyvä etenemisen suunta, joka on peräisin käsitteiden merkitysten empiirisestä perustasta. Prosessin jäljet näkyvät rakenteissa, joita ne ovat luoneet. Rakenteet tarjoavat siten selkeän analyttisen perustan fysiikan opetuksen, erityisesti oppikirjoihin ja opetussuunnitelmiin kätkeytyvien lähestymistapojen tarkastelulle, kokonaisuuksien mittakaavassa. Käsitteellinen eteneminen näiden rakenteiden suuntien mukaisesti merkitsee aina samalla etenemistä konkreettisesta kohti abstraktia, minkä pitäisi olla opetuksen luonnollinen suunta.

Käsitteenmuodostuksen ahdas portti

Tämä johtaa suoraan korostettuun *ympäristölähtöisyyden* periaatteeseen. Hahmottavassa lähestymisessä ympäristö on itsestään selvästi käsitteenmuodostuksen alku. Tämän merkitystä voidaan havainnollistaa yksinkertaisella tiimalasimallilla. Ympäristölähtöisessä opetuksessa on kuljettava käsitteenmuodostuksen ahtaan portin kautta, niin kuin hiekan on valuttava tiimalasin kapean kaulan läpi.

Opetuksen kokeellisuus merkitsee usein pelkistettyjen, ideaalisten tai ideaaliksi tarkoitettujen laboratoriokokeiden tekemistä koetta varten suunnitelluin erityisvälinein. Oppilaiden silmissä fysiikka leimautuu merkityksettömäksi oppiaineeksi, joka käsittelee ympäristössä esiintymättömiä ilmiöitä.

Pelkistetyt kokeet ovat ahdas portti, josta on kuljettava. Vain sen kautta kulkee tie ympäristön ilmiömaailman jäsentymiseen ymmärrettäväksi, käsittein hallittavaksi kokonaisuudeksi. Mutta portti on ensin löydettävä havaitsemalla ympäristön ilmiöiden rajatonta moninaisuutta. Hahmottavan lähestymistavan terminologiassa ahdasta porttia etsivää, pohtivaa ympäristön havaitsemista sanotaan perushahmotukseksi. Pelkistetty koe on mielekäs vasta sitten, kun sen avulla etsitään vastausta ympäristön herättämään kysymykseen. Vastauksia ei voi antaa ennen kysymyksiä. Mutta vastaukset, joita luonto antaa kysyttäessä siltä laboratoriokokeiden yksinkertaisia kysymyksiä, avaavat ymmärrykselle sen kaaoksen, joka on kysymykset herättänyt. Portin toisella puolella sama ilmiöiden maailma avautuu uudelleen, mutta nyt jäsentyneenä.

Suuren prosessin paradigma

Kun lähtökohdaksi otetaan tieteen käsitteenmuodostuksen, tieteellisen tiedon ja prosessien rakenteellinen analyysi, koko fysiikan opetuksen maailma on edessä suurena avoimena tutkimuskenttänä.

Tästä näkökulmasta voidaan tutkia opetuksen käytäntöjä. Voidaan analysoida oppikirjoja sekä opettajien ja opiskelijoiden kielenkäyttöä. Voidaan seurata, mitä tunnilla tapahtuu ja eritellä erilaisten prosessuaalisten elementtien ilmenemistä. Pyrkiikö opettaja virittämään näitä prosesseja? Aktivoiko hän niitä kaikkia vai suosiiko joitakin? Salliiko hän oppilaan prosessien käynnistymisen ja edistymisen vai vaimentaako hän joitakin? Miten prosessit tunnistetaan oppilaassa? Onko oppilailla ehkä erilaisia taipumuksia tai mieltymyksiä eri prosesseihin?¹³ Millaisia opetuksen proseduureja voidaan käyttää niiden aktivoimiseen?

Voidaan ottaa historiallinen näkökulma ja selvittää esimerkiksi oppikirjojen lähestymistapojen kehitystä. Vanhoja oppikirjoja lukemalla saa helposti mielikuvan, että aikojen kuluessa on tapahtunut varsin voimakkaitakin vaihteluita.

Tutkimuksessa voidaan myös suoraan keskittyä siihen, miten näitä periaatteita - tieteen ja oppimisen yhteisiä prosessuaalisia ja käsitteellisiä rakenteita - voidaan soveltaa opetukseen, ja pyrkiä luomaan fysiikan opetukseen tältä kannalta mielekkäitä metodisia rakenteellisia kokonaisuuksia. Suuren prosessin paradigma merkitsee hyvin perusteltua työhypoteesia, jonka mukaan näin luodut kokonaisuudet saattavat tarjota tilaisuuden myös hyvään oppimiseen.

Voidaan myös tutkia tieteen historiaa ja analysoida käsitteenmuodostuksen hierarkkisten vaiheiden ilmaantumista luonnontieteen eri aloilla taikka tieteellisen, teknologisen ja sosiaalisen prosessin esiintymistä eri aikoina ja eri kulttuureissa. Esimerkiksi sähköstatiikan kehityksessä voidaan nähdä yllättävänkin selvästi hahmottavan lähestymistavan prosessuaaliset perusvaiheet¹⁴. Aluksi tutkimusta hallitsivat selvät, perushahmotukseen kuuluvat sähköisten olioiden, ilmiöiden ja ominaisuuksien luokittelun ja tunnistuksen prosessit. Tästä edetään esikvantifioivaan ilmiöiden ja ominaisuuksien eriasteisuuden havaintoihin, voimakkuuksien vertailuun ja keskinäisiä riippuvuuksia koskevien mielikuvien muodostumiseen. Näistä päädytään lopulta kvantifiointiin, sellaisten kokeiden suunnitteluun ja toteutukseen, joitten kautta näistä ominaisuuksista tulee mitattavia suureita ja riippuvuuksista niitä yhdistäviä lakeja.

¹³Marjo Myöhänen on alustavasti tutkinut oppilaiden prosessuaalisia mieltymyksiä didaktisen fysiikan pro gradu - tutkimuksessaan. Helsingin yliopisto. Fysiikan laitos. 1998.

¹⁴Veera Kallunki: *Kun sähkö syntyi - empiirisen käsitteenmuodostuksen vaiheet sähköstatiikan syntyhistoriassa*. Dimensio 1/98, 4.

On kiehtovaa nähdä, millaisiin nerokkaisiin intuitiivisiin ideoihin ensimmäiset kvantifioinnit perustuivat. Ne ovat hyvin kaukana nykyaikaisista mittareista, joista suureiden arvot vain mutkattomasti luetaan sen enempiä ajattelematta. Niissä tulee keskeisellä tavalla näkyviin kvantifioinneille ominainen yleinen piirre, nojautuminen intuitiivisesti ilmeisiin symmetrioihin, ilmiöiden tai olioiden samanlaisuuden tulkitsemiseen niiden ominaisuuksien kvantitatiiviseksi yhtäsuuruudeksi ja siitä seuraavaan ominaisuuden moninkertaistamisen tai tasan jakamisen mahdollisuuteen.

Fysiikan historiasta tulee näin tärkeä osa didaktista fysiikkaa. Se ei ole pelkästään mielenkiintoisten ja motivoivien tarinoiden lähde. Tieteen ainutkertaisesta "suuresta prosessista" voidaan ottaa oppia. Empiria ja pohdinnat, jotka ovat auttaneet tieteessä kehittämään primaarihahmotuksen mukaisia mielikuvia asteittain kohti nykyisiä käsityksiä, voivat didaktisen fysiikan tutkimuksessa osoittautua avaimiksi myös nykyaikaiseen fysiikan opetukseen.

LIITE. DIDAKTINEN FYSIIKKA TIETEENALANA

Arvioitaessa tutkimuksen kuulumista didaktiseen fysiikkaan ja sen tieteellisyyttä tämän alan piirissä voidaan kiinnittää huomiota seuraaviin keskeisiin tunnusominaisuuksiin ja näkökohtiin:

1. *Tutkimuksen kohteena tai lähtökohtana on fysiikan tiedollis-käsitteellinen ja metodis-prosessuaalinen rakenne ja sen merkitys fysiikan opettamiselle.* Tämä voi merkitä fysiikan tarkastelemista opiskeltavana tieteenalana tai fysiikalle ominaisten tieteen etenemisen rakenteiden käyttämistä opiskelun prosessuaalisena mallina ja tavoitteena. Didaktinen fysiikka ei etsi "varsinaisen" fysiikan tavoin uutta tietoa luonnon rakenteista ja peruslaeista eikä tällaisen tiedon uusia teknologisia sovelluksia, vaan se tutkii tällaisen tiedon rakenteita ja luonnetta sekä sen luomista ja kehittymistä. Tätä voidaan pitää didaktisen fysiikan *teoreettisena* tutkimuksena. Sen tieteellisyys on perustellun rakenteellisen käsitteenmuodostuksen tieteellisyyttä.

2. *Tutkimuksen tavoitteena on fysiikan opetuksen kehittäminen.* Fysiikan käsitteellisten ja prosessuaalisten rakenteiden perusteella arvioidaan fysiikan opetusta, opetussuunnitelmia, oppikirjoja ja muuta oppimateriaalia, kurssisuunnitelmia, projekteja, opetus- ja opiskelumenetelmiä, työskentelytapoja jne. ja etsitään niihin nojautuen uusia tutkimuksellisesti perusteltuja ratkaisuja fysiikan opiskelun ongelmiin. Tämä on didaktisen fysiikan *soveltavaa* tutkimusta. Sen yhteydessä syntyvät teoreettiseen viitekehukseen perustuvat opetukselliset tuotteet, opetussuunnitelmat, oppikirjat ja muu oppimateriaali, kurssisuunnitelmat, projektit, opetusmenetelmät, työskentelytavat jne. ovat didaktisen fysiikan *sovelluksia*. Niiden tieteellisyys on soveltavan tutkimuksen tieteellisyyttä. Se perustuu ensi sijassa teoreettisen viitekehysten tietoiseen hyväksikäyttöön, jonka tulee ilmetä sovellusten rakenteessa.

3. *Didaktinen fysiikka on monitieteinen ala.* Eri tieteenalojen käsitteellinen ja metodinen tuntemus ja kyky monitieteiseen yhteistoimintaan ovat tärkeitä elementtejä didaktisen fysiikan tieteellisyydessä. Teoreettinen (1) ja osittain myös soveltava tutkimus (2) tarvitsevat tai voivat käyttää tuekseen ainakin filosofiaa, tieteen historiaa, kielentutkimusta, kognitiotiedettä, aistin- ja aivofysiologiaa, psykologiaa, kasvatustiedettä ja sosiologiaa, sillä kaikilla niillä on oma olennainen näkökulmansa käsitteenmuodostuksen ja käsitteiden merkitysten rakentumiseen ja asemaan oppimisen prosesseissa. Erityisesti *kokeellisessa* tutkimuksessa, jota didaktisen fysiikan sovellusten käytön, toimivuuden, oppimistulosten ja vaikutusten testaaminen edellyttää, tarvitaan väistämättä kasvatustieteen, psykologian ja sosiologian tutkimusmenetelmiä. Sen tieteellisyyttä on arvioitava näiden tieteenalojen metodisten kriteerien mukaisesti. Tällaisen tutkimuksen kautta avautuu didaktisen fysiikan tutkimuksen tulosten arviointiin uusia perusteita, mutta yleensä vasta pitkän ajan kuluttua primaaritutkimuksesta ja siihen liittyvien sovellusten kehittämisestä.

4. *Didaktisella fysiikalla on korostunut kansallinen merkitys,* joka seuraa sen tavoitteesta. Suomessa fysiikan opetuksen kehittämisen - ja siksi myös siihen tähtäävän tutkimuksen - ensisijaisena kohdealueena on Suomen koululaitos. Tälle näkökulmalle antaa juuri nyt erityisen painon hallituksen käynnistämä valtakunnallinen talkoo-ohjelma suomalaisten matemaattis-luonnontieteellisen osaamisen nostamiseksi kansainväliselle tasolle. Didaktisen fysiikan tutkimuksia arvioitaessa myös suomenkielisellä tuotannolla on sen tähden huomattava painoarvo toisin kuin yleensä "varsinaisessa" fysiikassa.

5. *Didaktinen fysiikka on kansainvälinen tieteenala.* Tutkimuksen kansallisiakin tuloksia on arvioitava tieteenalan kansainvälisen kehityksen näkökulmasta, ja ne on saatettava alan kansainvälisen tiedeyhteisön arvioitaviksi. Sen tähden didaktisen fysiikan tieteellisyyteen kuuluu välttämättä tutkimusten julkaiseminen myös alan kansainvälisissä tieteellisissä sarjoissa ja tulosten esittäminen kansainvälisissä tieteellisissä kokouksissa.