

Fysiikan merkitykset ja rakenteet¹

Abstrakti

Tämä on raportti fysiikan opetuksen lähestymistapojen pitkäaikaisesta tutkimuksesta sekä fysiikan opettajan suuntautumisvaihtoehdon syventävästä kurssista, joka on toiminut tutkimuksessa sekä periaatteellisen kehittämisen että sovellusten ideariihenä. Tässä esitellään lyhyesti periaatteelliset lähtökohdat, joihin tutkimuksessa kehittynyt hahmottavan lähestymistavan idea nojautuu, sekä näkökohtia, jotka liittyvät sitä noudattavan opetuksen kehittämiseen ja harjoitteluun opettajankoulutuksessa.

Asiasanat: fysiikan opetus, empiirinen käsitteenmuodostus, hahmottava lähestymistapa, aineenopettajan koulutus.

Johdanto

Tässä esiteltävä fysiikan opetuksen lähestymistapoja koskeva tutkimus on kietoutunut tiiviisti fysiikan opettajien koulutuksen aineenopintojen kurssiin, jota on pidetty keväästä 1981 alkaen nimellä "Fysiikan perusteet". Tutkimuksen perusideat ovat suurelta osin kehittyneet ja kiteytyneet tämän kurssin luentojen, keskustelujen ja seminaarien yhteydessä, niitä valmisteltaessa, toteutettaessa ja jälkikäteen analysoitaessa. Niitä on koeteltu ja sovellettu fysiikan opetuksen eri tasoilla peruskoulusta yliopiston peruskursseihin, kurssien yleisessä ja luentokohtaisessa suunnittelussa, oppikirjojen laadinnassa, demonstraatioiden ja laboratoriotöiden kehityksessä käyttämällä hyväksi myös opinnäytetöiden tarjoamia mahdollisuuksia. Kurssilla kertyneestä aineistosta koottu kirja (Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994.) kertoo yksityiskohtaisemmin käytyjen keskustelujen ja pohdintojen luonteesta ja aiheista sekä tähänastisista tuloksista.

Kurssi on samalla pyrkinyt luomaan hahmoa didaktiselle fysiikalle. Se lähestyy fysiikan opetusta fysiikan käsitteellisen ja metodisen rakenteen ja sen erilaisten merkitysten näkökulmasta. Varsinaisen didaktiikan kasvatustieteellinen metodiikka ja kysymyksenasettelu on haluttu pitää ulkopuolella, vaikka tarkastellut kysymykset johtavatkin väistämättä ajatuksiin, joita voi pitää reviiririkkomuksina.

Sama koskee filosofiaa. Fysiikan metodiset ja rakenteelliset kysymykset ovat filosofian peruskysymyksiä, samoin arvokysymykset, jotka kytkeytyvät kasvatustavoitteiden kautta keskusteluun fysiikan merkityksestä. Niitä on siten mahdotonta välttää. Tarkoituksena on auttaa opettajia ja opiskelijoita näkemään fysiikan filosofisia perusongelmia ja tiedostamaan omaksumaansa opetusfilosofiaa, pohtimaan sen perusteita ja kehittämään opetustaan tällä perusteella: problematisoimaan ajatustottumuksiaan ja itsestään selvinä

¹ Seppo Tella (toim.) Näytön paikka. Opetuksen kulttuurin arviointi. Ainedidaktiikan symposiumi Helsingissä 4.2.1994. Osa 2. Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos. Tutkimuksia 130, 1994, 129 - 136.

pitämiään lähtökohtia.

Kurssin hätäinen työnimi "Fysiikan perusteet" jäi käyttöön paremman puutteessa ja vakiintui, vaikka se vastaakin huonosti kurssin tarkoitusta ja sisältöä. Kirjan nimi, joka on myös tämän kirjoituksen otsikkona, heijastaa tutkimuksen teemaksi vähitellen kypsynttä perusnäkemystä, jonka mukaan *merkitykset ovat ensin*. Fysiikkaa ja fysiikan opetusta lähestytään erilaisten merkitysten näkökulmasta. Fysiikan opetuksen tulisi rakentaa merkityksilleen ja luoda merkityksiä. Merkitykset taas luovat rakenteita ja kehittyvät luomiensa rakenteiden välityksellä.

Viikoittaiset seminaariharjoitukset ovat olleet olennainen osa kurssin työskentelyä. Tehtävät on valmisteltu 2-3 hengen pienryhmissä. Ryhmät ovat esitelleet työnsä seminaarissa keskustelun alustukseksi ja laatineet niistä myös kirjalliset raportit.

Merkitys oppiaineena

Fysiikan merkitystä oppiaineena tarkastellaan koulun kasvatustavoitteiden ja fysiikan historiallisen, kulttuurisen, yhteiskunnallisen jne. merkitysten valossa. Tarkastelu perustuu pitkälti kurssimuotoisen lukion suunnittelutyöhön (1975-81). Silloin luodut puitteet ovat nyt korvautumassa uusilla, mutta tavoitteita ja kasvatuksellista perustaa koskevat pohdinnat loivat käsitteitä ja ideoita, joilla on pysyvä arvo ja joiden pohjalta opetuksen merkityksiä ja rakenteita voidaan tarkastella puitteista riippumatta. Tätä kautta hahmottuu kuva fysiikan opetuksen ideaalisesta "voisi olla" -merkityksestä.

Vastakkaisen näkökulman tarjoaa fysiikan opetuksen toteutunut "on" -merkitys sellaisena kuin se ilmenee palautteessa, oppilaiden, vanhempien ja muiden alojen opettajien käsityksissä ja asenteissa, julkisessa keskustelussa sekä koulua koskevassa suunnittelussa ja päätöksenteossa. Ylivoimaisesti vallitsevan käsityksen mukaan "fysiikka on pelkkiä merkityksettömiä kaavoja" ja "koulun hyödyttömin oppiaine". Näiden kahden näkökulman välinen äärimmäinen ristiriita on todistusvoimainen indikaatio fysiikan opetuksen laajamittaisesta epäonnistumisesta. Siitä seuraa lähestymistapojen tutkimuksen perusongelma: *millaista olisi merkitystään toteuttava fysiikan opetus?*

Fysiikan opettajaksi aikovien kurssille tämä ristiriita tarjoaa valitettavan negatiivisen lähtökohdan. Mutta viisaus alkaa tosiasioiden tunnustamisesta. On hyvä varautua kohtaamaan fysiikan opettajaa odottava inhimillisten, ammatillisten ja sosiaalisten ristiriitojen kenttä, jotta pystyisi kantamaan sen paineet pää pystyssä ja vastaamaan sen haasteeseen tietoisena oman alansa arvosta muiden oppiaineiden joukossa.

Seminaariharjoituksissa näitä kysymyksiä on lähestytty eri tahoilta. *Lähestymistapa- ja jäsentelyharjoituksissa*, jotka ovat olleet kurssin keskeistä ohjelmaa alusta alkaen, ongelma kohdataan omakohtaisena. Fysiikan opetus on katkaissut myös osanottajilta fysiikan yhteyden ilmiöiden todellisuuteen. Heidän on lähes mahdotonta riisua teorian kaikkivoipaa viittaa yltään. Jäsenntäessä aiheen käsittelyä ilmiöihin, suureisiin, lakeihin ja teoriaan, ilmiöiden lokero täyttyy ensin teorialla, laeilla ja suureilla, ja kun ne siirretään oikeitten otsikoittensa alle, lokero tyhjenee. Eräässä aivan ensimmäisten kurssien harjoituksia etsittiin pyörimistä luonnosta. Pitkän miettimisen jälkeen mieleen nousi hyrrä, toisen tovin kuluttua karuselli, sitten ei mitään. Pyörimisliikkeestä oli tullut vain tietyn kaavakokoelman

otsikko. Ilmiöitä löytyi vain lapsuudesta, ajalta, jolloin opetus ei ollut vielä katkaissut lapsen oppimisen luonnollista yhteyttä niihin.

Kurssin myöhemmissä toteutuksissa otettiin käyttöön *fysiikka elinympäristössä - harjoitukset*, joissa harjoitellaan uudelleen havaitsemaan ympäristöä ja näkemään fysiikka siellä. Tämänvuotisen kurssin ensimmäiseen tällaiseen harjoitukseen valittiin aiheet peruskoulun ala-asteen ympäristöopista: Turvallinen koulutieni, Eläinlajeja, Vuodenajat luonnossa, Lapset ja terveys, Pukeudun oikein ja Leikkipuisto. Kukin harjoituspari sai valita kaksi aiheetta. Tehtävänä oli aiheisiin liittyvän fysiikan jäsentäminen pohtimalla, mitä fysikaalisia ilmiöitä, käsitteitä ja lakeja annettujen aihepiirien tarkastelussa voidaan kohdata. Aiheet ovat inspiroineet ja yllättäneet. Aidon vilpittömästi opiskelijat ovat todenneet uutena oivalluksena, että jokaisen tällaisen aiheen kauttahan voidaan kirjoittaa koko fysiikka! Toisessa harjoituksessa ryhmien tehtävänä on ollut esitellä valitsemansa sanomalehden jonkin uutissivun jokaisen artikkelin yhteydet fysiikkaan. Palautteen mukaan on koettu, että tämä on ollut "mielenkiintoinen tapa lukea uutissivu perusteellisesti." Molempiin harjoituksiin kuului myös oman lähestymistavan tarkkailu ja raportointi, tehtävän erilaisten mahdollisten käsittely- ja jäsentelytapojen analysoimiseksi.

Näyttää siltä, että tällaiset harjoitukset voivat avata silmiä näkemään, miten monella tavalla fysiikka on läsnä jokapäiväisessä elämässä. Fysiikka ei ole ainoastaan läsnä kaikkialla - katsoessasi kelloa harjoitat fysiikkaa - vaan lähes kaikki fysiikka on mukana kaikessa. Tämä taas on johtanut opinnäytetöiksikin sopivaan problematiikkaan: fysiikan kurssien suunnitteluun erilaisista elämän alueista käsin, viimeisenä esimerkkinä fysiikan kurssi perheenäideille.

Integraatiotehtävissä kohdataan merkitysten ristiriita opettajan työssä. Tehtävänä on ollut toisaalta pohtia oppiaineiden välisen yhteistyön ulottuvuuksia ja mahdollisuuksia. Erityisesti on keskitytty fysiikan ja ei-luonnontieteellisten oppiaineiden välisten yhteyksien ja yhteistyön mahdollisuuksien tarkasteluun. Kun osanottajat ovat saaneet valita omien mieltymystensä mukaisesti toisen oppiaineen, tulokseksi on saatu varsin laajoja ja monipuolisia raportteja näiden kahden oppiaineen välisistä mahdollisista yhteyksistä ja vakuuttavia selvityksiä fysiikan tärkeydestä muille oppiaineille sekä toisten oppiaineiden tarjoamista mahdollisuuksista fysiikan opetukseen.

Sittemmin tähän harjoitukseen on liitetty tehtäväksi haastatella toisen aineen opettajaa tai opetusharjoittelijaa. Haastattelun kysymykset, muodon ja toteutuksen opiskelijat ovat saaneet itse suunnitella. Ainoana ohjeena on ollut selvittää, millaiseksi koetaan toisen aineen opetuksen merkitys toiselle ja miten toisen opetus vaikeutuu, jos toinen puuttuu. Tätä kautta on avautunut vastakkainenkin näkökulma, toisinaan varsin dramaattisesti. Raportit ovat hätkähdyttäneet fysiikasta kiinnostuneita ja sen ilmapiirissä kasvaneita opiskelijoita. On kohdattu aidosti ympäristön karmeaa todellisuus: fysiikka on useimmille haastatelluille todellakin vastenmielisin ja tarpeettomin oppiaine, pelkkiä merkityksettömiä kaavoja, joilla ei ole mitään yhteyttä jokapäiväiseen elämään. He eivät olleet koskaan suunnitelleet minkäänlaista yhteistyötä fysiikan kanssa, eivät olleet kuulleet kenenkään muunkaan suunnitelleen, eivätkä nähneet siihen mitään mahdollisuuksia. "Fysiikka on kaikkein kaukaisin oppiaine. Kieliä voi hyödyntää, kemiaankin joskus törmää. ... Se on hakemalla haettava."

Jonkin verran on käytetty myös *läpäisyaiheharjoituksia*. Kurssimuotoisen lukion suunnittelu toi läpäisyaiheet kouluun v. 1981. Kun opiskelijat ovat itse ennakkoluulottomasti miettineet fysiikan tarjoamia mahdollisuuksia, on löydetty paljonkin ilmeisiä yhteyksiä ja kosketuskohtia kaikkiin läpäisyaiheisiin. Ristiriita tulee tällöin vastaan vähän lempeämmässä muodossa, kun havaitaan miten tyhjäksi fysiikan anti on nähty opetussuunnitelmatoimikunnan mietinnössä.

Merkitys tieteenä

Fysiikan merkitys tieteenä tunnetaan ja tunnustetaan yleisesti. Se tarjoaa käsitteellisen perustan kaikille luonnontieteille. Metodisessa katsannossa sitä kunnioitetaan yhtenä keskeisiä perustieteitä. Luonnontieteellinen maailmankuva on piirretty fysiikan käsiällä ja teknologian kautta fysiikka vaikuttaa elämäämme kaikkialla ja kaikessa. Tässäkin kohdataan ristiriita. Fysiikan merkitys on syntynyt ja kehittynyt edelleen vuorovaikutuksessa inhimillisten, eettisten, kulttuuristen, poliittisten, kaupallisten ja yhteiskunnallisten rakenteiden ja arvojen kanssa. Sellaisena se on monien ristipaineiden polttopisteessä. Fysiikan opettaja joutuu kohtaamaan työssään modernin kritiikin argumentteja, kärjistyksiä, joilla pyritään kyseenalaistamaan fysiikan metodiset periaatteet, jopa kieltämään sen oikeutus mm. eettisin perustein. Opettajan on välttämätöntä pohtia tieteellisyyden perusteita, niiden toteutumista fysiikassa sekä tieteen ja teknologian suhdetta fysiikassa.

Seminaariharjoituksissa tieteen määrittelyn elementtejä - kohdetta, metodia, tietorakennetta, käyttöä ja sovelluksia - on mietitty väittelyn keinoin. Kukin pienryhmä on puolustanut valitsemansa luonnontieteen, kemian, tähtitieteen, meteorologian, geologian tai biologian itsenäisyyttä tieteenä, jonka aputieteenä fysiikkaa voidaan käyttää, muita ryhmiä vastaan, joiden tehtävänä on ollut osoittaa, että kysymyksessä on vain fysiikan osa-alue. Tieteen ja epätieteen rajankäyntiä on pohdittu keskustelemalla alustuksen pohjalta mm. parapsykologian oikeutuksesta tieteen nimeen. Näiden harjoitusten tavoitteena on myös oppia erottamaan argumentit mielipiteistä ja niin tarkastelemaan asioita puolueettomasti eri näkökulmista. Osapuolten on pyrittävä aidosti perustelevaan omaa väitettään omasta mielipiteestä riippumatta.

Merkitysten luominen

Empiirinen käsitteenmuodostus on sekä tieteen että opetuksen avainkysymys. Se on merkitysten luomista ja kehittymistä fysiikassa empirian kautta. Ihminen antaa havainnoilleen merkityksiä, joiden varassa hän toimii rakentaessaan luonnonilmiöiden malleja, tulkintoja ja sovelluksia. Oppiminen ja tutkimus samastuvat. Ne ovat vain eri vaiheita samassa merkitysten luomisen prosessissa, joka alkaa aistihahmotuksesta, tiedostuu ja rakenteistuu asteittain oppimiseksi, opiskeluksi, tutkimukseksi ja tieteeksi.

Aistimusten syntyminen aistinärsykkeistä on hahmotusprosessi. Se on luonteeltaan aistinärsykkeiden ja mielen rakenteen erottamatonta vuorovaikutusta, josta kehittyy kokeellisen ja teoreettisen tutkimuksen suhde. Hahmotus luo ympäristöä jäsentäviä hahmoja, joiden mukaan lapsi orientoituu ja joihin hän sopeuttaa käyttäytymisensä. Siihen kätkeytyy näin sekä tieteen että teknologian siemen. Kääntäen prosessin intuitiivinen perusluonne säilyy. Se ilmenee tieteessä ja oppimisessa empirian ja teorian sekä tieteen ja

teknologian erottamattomuutena. Kaikki fysiikan käsitteet ovat peruluonteeltaan hahmoja, joissa yhdistyvät erottamattomasti empiria ja teoria. Ne samastuvat merkityksiinsä, joihin aina kuuluu sekä tieteellinen, jäsentävä, että teknologinen, käytäntöön orientoiva komponentti. Merkityksiä taas ei voi erottaa prosessista, joka ne luo. Näin käsitteissä on olennaisesti aina mukana prosessi.

Motto "merkitykset ovat ensin" ilmaisee empiirisen käsitteenmuodostuksen keskeisen periaatteen, josta tulee myös opetusta ohjaava *hahmottavan lähestymistavan* periaate. Opetuksessa merkitykset on luotava ennen käsitteistämistä. Käsitteistä tulee kielen elementtejä ja uuden hierarkkisesti kerrostuvan hahmottamisen välineitä.

Yksittäisten aiheiden käsittelyä voidaan tarkastella hahmotusprosessin loogisten elementtien kannalta, jolloin puhutaan induktiivisesta ja deduktiivisesta lähestymistavasta. Eteneminen käsittehierarkiassa määrää varsinaisesti lähestymistavan kokeellisuuden tai teoreettisuuden, jolloin teoreettinen lähestymistapa kulkee vastoin luonnollisen hahmotusprosessin suuntaa.

Kurssin tärkeimmät ja vaikeimmat harjoitukset ovat lähestymistapa- ja jäsentelyharjoituksia, joissa tutkitaan ja harjoitellaan hahmottavan lähestymistavan periaatteiden soveltamista eri opetusmuotojen yhteydessä ja erilaisten aiheiden käsittelyssä, etsitään välineitä ja menetelmiä, jotka voisivat edistää, tukea ja ohjata merkitysten hahmottumista ja rakentumista oppilaan mielessä.

Kieli edustaa merkitysten käsitteistämisen ensimmäistä tasoa. Kieli on myös väline, jonka avulla merkityksiä voidaan ilmaista. Opetuksen selkeys riippuu hyvin paljon siitä, miten opettaja käyttää käsitteitä puheessaan. *Kielelliset harjoitukset* ovat perustuneet tehtävään, jossa oppikirjojen hakemistojen sanoja on pyydetty sijoittamaan olioiden, ilmiöiden, suureiden ja mallien käsiteluokkiin. Yksinkertaiselta tuntuvasta tehtävästä on todettu palautteessa: "Sanojen luokittelu oli yllättävän vaikeata." "... moni käsite on vaihtanut paikkaa alkuperäiseltä ehdotetulta paikalta. Vieläkään en ole täysin varma muuttamista." Harjoitus opettaa monia asioita: Sana yksin ei paljasta luonnettaan, on tutkittava sanan kielellistä käyttöä. Samoilla sanoilla on käytössä useampiin luokkiin kuuluvia merkityksiä. Yleinen kielenkäyttö, jopa standardinen terminologia sekoittaa käsiteluokkia. Erityisesti kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tason käsitteet sekoittuvat. Kaikki käsitteistäminen on samalla mallintamista.

Suuret ovat fysiikan kvantitatiivisen tason peruskäsitteitä. Fysiikan oppiminen riippuu kokonaan niiden merkitysten ymmärtämisestä. Sen vuoksi suuret ovat aiheena useammassa harjoituksessa. Ensimmäisessä *suureharjoituksessa* keskitytään suureen merkityksen luomisen perusvaiheeseen. Kielellisen harjoituksen jäljiltä kullakin ryhmällä on 30-40 suureen luettelo. Tehtäväksi annetaan niiden kiinnitys ja luonnehdinta. On selvitettävä lyhyesti mihin olioihin ja ilmiöihin kukin suure liittyy ja mitä niiden ominaisuutta se esittää. Lisäksi pyydetään toteamaan määrittelylaki, joka motivoi suureen käyttöönoton. Tehtävä on osoittautunut hyvin vaikeaksi. Lyhyen, osuvan ja oikean luonnehdinnan edellytyksenä on suureen erittäin hyvä ymmärtäminen. Moni tunnusti, että vaikeinta oli löytää ilmiö, johon suure liittyy. Mutta vasta ilmiön kautta on mahdollista miettiä suureen mittaamista ja sen määrittelylakia.

Seuraavissa harjoituksissa tutkitaan suureen merkityksen kehittymistä ottamalla valittuja suureita esimerkeiksi. Tehtävä nojautuu annettuihin jäsenteleviin kysymyksiin. Kiinnityksen ja luonnehdinnan, kokeellisen ja teoreettisen merkityksen lisäksi on tarkasteltu suureen mahdollisia arvoja. Erityisesti on kiinnitetty huomiota idealisointeihin ja pelkistykseen, joita ominaisuuden kvantifiointi suureeksi ja suureen perusmääritelmän löytäminen edellyttävät, sekä yleistyksiin, joihin näistä luopuminen johtaa.

Jäsentelyharjoituksissa näkökulma on aiheen fysikaalisesti ymmärrettävän käsittelyn harjoittelussa. Tehtävänä ei ole varsinaisen esityksen laatiminen, vaan annettujen tai valittujen aiheiden jäsentely ymmärtämisen elementeiksi kutsutun kaavion perusteella. On eroteltava aiheeseen kuuluvat ilmiöt, suuret, lait, teorit ja sovellukset sekä näiden yleistymiskehityksen perusvaiheet. Välttämätöntä on myös todeta "jättiläisen hartiat" eli se fysikaalinen tietoperusta, joka on tehnyt aiheen tarkastelun ilmiönä mahdolliseksi. Tehtävän ohjeeksi on esitetty erityyppisten aiheiden käsittelyä ohjaavat jäsentelykysymykset, joihin tehtävässä tulee vastata.

Viimeisenä ryhmänä tässä ovat *harjoitustehtäväharjoitukset*, joita on ollut useita eri tyyppisiä. Tehtävien suunnittelu- ja laadintaharjoitukset alkavat aiheen kartoituksella, jossa tehtävänä on eritellä aiheeseen kuuluvat erilaiset opetustarkoitukset. Tarkoituskartoituksen perusteella on sitten laadittu kattava joukko tehtäviä ja toisaalta analysoitu toisten laatimia tehtäväkokoelmia. On harjoiteltu sekä malliratkaisujen laadintaa että ratkaisujen analysointia ja arvostelua. Erikseen on analysoitu laadittujen tai kokoelmista poimittujen tehtävien suhdetta fysiikan metodiin eli loogista tyyppiä, niiden suhdetta empiriaan eli fysikaalisuutta ulottuvuuksissa fysikaalinen - matemaattinen, todellinen - mahdollon ja luonnollinen - keinotekoinen, sekä muotoilua kiinnittämällä huomiota erityisesti tehtävän asemaan akseleilla suljettu - avoin, hyvin määritelty - epämääräinen, reaalinen - ideaalinen ja erityinen - yleinen.

Merkitysten merkitykset

Viimeisessä jaksossa pohditaan lyhyesti fysiikan kehittyvää todellisuuskuvaa ja siihen liittyviä maailmankuvallisia, epistemologisia ja ontologisia peruskysymyksiä: Tyydyttääkö fysiikan kehittyvä merkitysten verkosto ihmisen tiedon tarvetta, mitä ja miten se vastaa ihmisen kysymyksiin?

Lähteet

Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1994. Fysiikan merkitykset ja rakenteet. Helsinki: Limes ry.