

Kokeellisen ja teoreettisen lähestymistavan tuntomerkit fysiikan opetuksessa

Kaarle ja Riitta Kurki-Suonio
Fysiikan laitos, Helsingin yliopisto

Käsitteiden hierarkkiset tasot

Fysikaalinen käsitteenmuodostus on perusluonteeltaan hahmotusprosessi. Se on ympäröivässä luonnossa havaittavien hahmojen tunnistamista ja nimeämistä. Fysiikan koko nykyinen tietorakenne perustuu yhdyntymiskehitykseen, jonka ytimenä on yhä laajempien rakenteellisten hahmojen tunnistaminen ja siten yhä yleisempien ja abstraktimpien yhdistävien käsitteiden luominen. Aivan pääpiirteittäin siinä erottuu neljä hierarkkista käsitetasoa, joille voidaan antaa yksinkertaiset otsikot: 1. **ilmiöt**, 2. **suureet**, 3. **lait** ja 4. **teoriat** (kuva 1, vrt. myös KURKI-SUONIO, K. *et al.* 1985, 10).

(1) Ensimmäinen, **ilmiöiden taso** on **havaintojen** ja **kvalitatiivisen tiedon taso**. Tällä tasolla **tunnistetaan** ilmiöt ja niihin osallistuvat oliot tai systeemit sekä niiden ympäristöt ja **luonnehditaan** ja **luokitellaan** niitä. Todetaan ilmiössä muuttuvat ja säilyvät sekä ilmiöön vaikuttavat systeemin ominaisuudet ja olosuhteet ja tehdään niistä havaintoja. Tämä on luonnollisen käsitteenmuodostuksen ensimmäinen vaihe, jossa olioille, ilmiöille ja ominaisuuksille annetaan nimet. Tähän kuuluu myös ilmiöiden **pelkistäminen** yksinkertaisiksi perustyypeiksi, joiden tutkiminen tekee mahdolliseksi etenemisen ylemmille tasoille.

(2) Toinen, **suureiden taso** on **mittausten** ja **kvantitatiivisen tiedon taso**. Tällä tasolla otetaan käyttöön mitattavat suureet, jotka vastaavat ilmiön yhteydessä olennaisia havaittavia ominaisuuksia. Ne tekevät mahdolliseksi kvantitatiivisen kokeellisen tiedon ilmiöstä, systeemistä ja sen ympäristöstä.

(3) Kolmas, **lakien taso** on ilmiön **täsmällisen esittämisen** ja **järjestelmällisen kvantitatiivisen tiedon taso**. Tällä tasolla tutkitaan suunniteltujen, hyvin määriteltyjen **kokeiden** avulla ilmiöön liittyvien erityyppisten suureiden välisiä **korrelaatioita** ja tulkitaan ne näiden suureiden väliseksi **riippuvuuksiksi**. Tuloksiksi saadaan ilmiötä esittäviä kokeellisia lakeja, joita voidaan käyttää ilmiön yksinkertaisina matemaattisina malleina. Nämä lait tekevät mahdolliseksi kvantitatiiviset **ennusteet**, jotka koskevat tarkasteltavaa ilmiötä tutkituissa tai samantapaisissa olosuhteissa. Testaamalla ennusteita kokeellisesti saadaan selville lakien **pätevyysalueet**.

(4) Neljäs, **teorian taso** on tietorakenteen ylin hierarkkinen taso, joka on olemassa vain fysiikassa. Se on ilmiöiden kvantitatiivisen **ymmärtämisen** ja **selittämisen taso**. Teorian määrittelevät systeemin yleinen **perusmalli** ja **peruslait**, jotka ovat mallin käyttäytymissäännöt. Yleistä perusmallia sopivasti rajoittamalla on mahdollista muodostaa erityisiä malleja, jotka vastaavat erilaisia todellisia ilmiöitä ja systeemejä erilaisissa olosuhteissa teorian sovellusalueella. Tällöin peruslaeista seuraa tutkittavaa systeemiä koskevia **lakiennusteita**. Tämän mallintamiskapasiteettinsa perusteella teorias-ta muodostuu erilaisten kokeellisten lakien ymmärtämisen perusta.

Käsitteenmuodostuksen ymmärtäminen hahmotusprosessiksi liittyy fysiikan tietorakenteeseen yleisen suunnan havainnoista käsitteisiin ja käsitteistä yleisempiin käsitteisiin, konkreettisesta abstraktiin ja yksinkertaisesta rakenteelliseen. Tämä suunta on ilmeinen edettäessä tasolta toiselle, ilmiöstä suureiden ja lakien kautta teoriaan. Käsitteenmuodostus korkeammalla tasolla nojautuu alempaan tasoon ja merkitsee alemman tason käsitteistön kertalukua laajamittaisempaa hahmotusta. Suunta koskee kuitenkin samalla tavalla kaikkia prosesseja kullakin tasolla erikseen.

Yleisestä suunnastaan huolimatta käsitteenmuodostus ei ole lineaarinen prosessi, se ei etene suoraviivaisesti tasolta toiselle. Se on paremminkin syklinen tai oikeastaan monikertaisesti spiraalinen prosessi. Ylemmän tason käsitteet ovat alemman tason käsitteiden rakenteellisia hahmoja. Sen tähden ne avaavat mahdollisuuden edetä alemmalla tasolla ja luoda uutta perustaa ylemmän tason käsitteenmuodostukselle. Näin koko tasorakenteen vaikutus projisioituu kullekin tasolle, niin että niille muodostuu omat sisäiset hierarkkiset rakenteensa.

Ilmiöitä luokitellaan ja uusia tunnistetaan lakien ja teorian kautta. Monet fysiikan tutkimat ilmiöt on voitu hahmottaa vain kehittyvän teoreettisen tietämyksen avulla. Suureet ja lait muodostavat omat hierarkkiset järjestelmänsä erityisistä yleisiin ja yksinkertaisista rakenteellisiin suureisiin ja lakeihin (ANDERSSON *et al.* 1987). Teorioiden kehitysvaiheissa ja modernien teorioiden rakentumisessa klassisille näkyy samanlainen hierarkkisuus, jonka perusteella fysiikka tarjoaa eriasteisia ilmiöiden selityksiä.

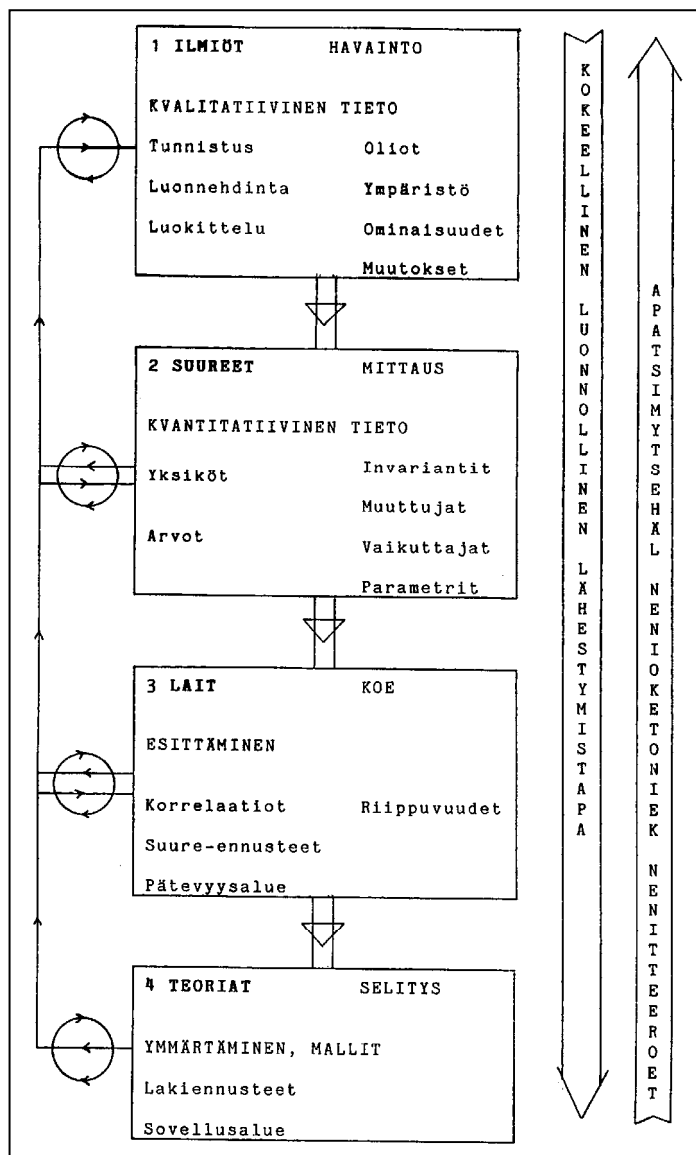
Jälkikäteen analysoitaessa käsitteenmuodostusta voidaan jossakin määrin jäsentää myös loogiseksi ajatuskuluiksi. Tällöin sen syklinen rakenne näyttää muodostavan loogiselle päättelylle ominaisia induktio-deduktio silmukoita tavalla, jota kuva 2 kaavamaisesti esittää (ks. myös KURKI-SUONIO, K.

et al. 1982, 15). Sekä kunkin tason sisäisissä yksityiskohtaisissa prosesseissa että tasojen välisissä vuorovaikutuksissa voidaan erottaa induktioaskelia kokeellisten tulosten yleistyksinä teoreettisiksi johtopäätöksiksi ja deduktioaskelia erityisinä teoreettisina johtopäätöksinä, ennusteina, jotka voidaan kokeellisesti testata.

Fysikaalinen käsitteenmuodostus, oli pa kysymyksessä ilmiöiden tunnistus, suureiden määrittely, lakien keksiminen tai teorian kehittäminen, ei kuitenkaan missään vaiheessa ole sitovaa loogista päättelyä vaan intuitiivista hahmottamista. Se perustuu aivojen samaan erityiseen hahmotuskykyyn kuin koherenttien aistimusten syntyminen aistinärsykkeistä ja sellaisten mielikuvien luominen, joille voidaan antaa nimiä. Perusolemukseltaan se on idealisointia: pelkistystä, olennaisen erottamista ja kohinan eliminointia, johon ei sisälly minkäänlaista loogista välttämättömyyttä.

Kokeellinen lähestymistapa

Fysiikka on luonnonilmiöistä puhumisen kieli. Sen oppiminen on oppilaan käsitteenmuodostusta. Sen opettaminen on niiden hahmojen osoittamista, joita ihmiskunnan nerot ovat poikkeuksellisen kykynsä perusteella ensimmäisinä onnistuneet hahmottamaan ja joihin opittavat käsitteet nojautuvat. Kun hahmot on ker- ran tunnistettu, ne on myös opittu. Ne tunnistetaan, kun ne esiintyvät uudestaan, ja niille voidaan antaa nimet, joista tulee kielen elementtejä.



Kuva 1. Käsitteiden hierarkkiset tasot.
K. & R. Kurki-Suonio

Sen tähden fysiikan oppimisella ja opettamisella on sama luonnollinen suunta kuin käsitteenmuodostuksella, havainnoista käsitteisiin ja kokeista teoriaan, eikä päinvastoin. Niiden tulee seurata sen suuntaa ja vaiheita ilmiöistä suureiden ja lakien kautta teorioihin, yksinkertaisesta rakenteelliseen, konkreettisesta abstraktiin. Näin käsitteenmuodostuksen kaaviosta tulee luonnollisen **kokeellisen lähestymistavan** peruskaavio, joka määrää opetuksen suunnan ja rakenteen, ja loogisten prosessien kaaviosta muodostuu ohje tähän liittyvien päättelysilmukoiden erittelemiseksi.

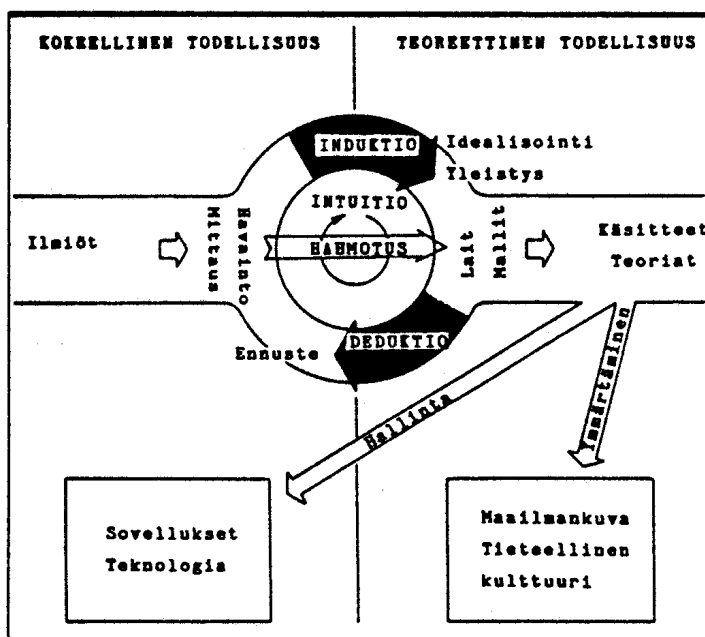
Fysiikan oppimisen luonnollinen kulku vastaa varsin läheisesti tapaa, jolla ihminen oppii äidinkieltään. Lapset oppivat, mikä on kirja, kun heille annetaan ja näytetään kirjoja, kun he tutustuvat kirjoihin ja käyttävät niitä. He oppivat, mikä on talo, kun he asuvat talossa, näkevät toisia taloja ja käyvät niissä. Periaatteessa esimerkiksi hitausmomentin oppimisen ei pitäisi olla kovinkaan erilaista. Kun hahmo on havaittu ja tunnistettu, sille voidaan antaa nimi.

Hierarkkiset tasot muodostuvat oppimisen luonnollisiksi välitavoitteiksi. Kunkin tason käsittely erikseen voi olla ehjä kokonaisuus, jossa käydään läpi kaikki edellä todetut erilaiset hahmotusprosessit.

Jokainen taso on tärkeä, mutta kunkin aiheen käsittelyssä ensimmäinen, ilmiöiden taso, on tärkein, koska ylemmille tasoille päästään vain sen kautta. Tällä tasolla on suora kytkentä yleiskieleen ja sen kehittymiseen, sillä ilmiöt ja niiden ominaisuudet on ensin kuvattava yleiskielen avulla. Tällä tasolla luodaan fysikaalisen kielenkäytön perusta, johon kuuluu kvalitatiivisen tason perusterminologian käyttöönotto. Kokeellinen lähestymistapa johtaa ilmiöitä, olioita ja niiden ominaisuuksia koskevien pelkistysten kautta jäsenneltyyn perussanastoon ja luo automaattisesti tarpeen erottaa ylempien tason käsitteitä, erityisesti suureita, vastaavan terminologian tästä. Kokeellinen lähestymistapa tai sen puute kuvastuu sen tähden jo opettajan ja oppikirjan kielenkäytöstä (KURKI-SUONIO, R. & K. 1987).

Toisella tasolla kokeellinen lähestymistapa paljastaa suureiden järjestelmällisen hierarkian, joka määrää niiden luonnollisen käyttöönottajärjestyksen. Uuden suureen määrittelemiseksi on tunnettava tietyt suureet, koska määritelmä perustuu tunnettujen suureiden noudattamiin kokeellisiin lakeihin. Tämän tason käsitteenmuodostuksella on tiivis syklinen kytkentä lakien tasoon. Demonstraatioilla ja laboratoriotöillä on tässä yhteydessä keskeinen merkitys (ANDERSSON *et al.* 1987, HAUTALA *et al.* 1987).

Lakien tasoon liittyy erityisesti kysymys matemaattisten esitystapojen opettamisesta. Hahmotusprosessin luonnollinen suunta johtaa tällöin kokeellisista mittauksista numeerisen ja graafisen esityksen kautta algebralliseen esitykseen. Graafinen esitys liittyy kokeelliseen lähestymistapaan käsitteenmuodostuksen tar-



Kuva 2. Loogisten prosessien kaavio.
K. & R. Kurki-Suonio

keänä vaiheena. Se on abstrahointi, konkreettisten kokeiden kvantitatiivisten tulosten matemaattinen esitys, josta on mahdollista edetä algebrallisen esityksen korkeammalle abstraktitasolle. Perinteisesti graafista esitystä opetetaan konkretisointina, abstraktien algebrallisten relaatioiden havainnollistukseksi. Tällöin se koetaan helposti vähempiarvoiseksi, koska abstraktimpi ja siksi "arvokkaampi" algebrallinen esitystapa on opittu ensin. (KURITTU 1987).

Teorian taso on ylin tavoitetaso, jolle voidaan edetä vain seuraamalla tiettyjä suurten nerojen oivaltamia hahmotusprosesseja, joiden tuloksena teorioiden peruslait ovat löytyneet. Oppilaiden kehityksestä riippuu ratkaisevasti se, minkä ilmiöalueiden yhteydessä tämä taso on mahdollista asettaa tavoitteeksi. Kaikkiaan tarvittaisiin perusteellista oppimäärä- ja opetussuunnitelmien analyysiä sopivien tavoitetasojen selvittämiseksi sekä peruskoulun että lukion eri luokilla.

Teoreettisen lähestymistavan päättelytyyppejä

Tasokaavion suuntanuoli ilmaisee opetuksen kokeellisen lähestymistavan. Vastakkainen suunta osoittaa teoreettisen lähestymistavan, joka lähtee liikkeelle teoreettisista malleista. Siinä käsitteet annetaan teorian matemaattisina elementteinä, jotka niiden keskinäiset matemaattiset relaatiot määrittelevät.

On perusteltua ajatella, että teoreettinen lähestymistapa voi olla nopea tie laajojen fysiikan alueiden jäsentyneeseen hallintaan. Se vaatii kuitenkin valmiutta hyvin abstraktiin ajatteluun, joka on mahdollista vasta sitten, kun kokeellisella lähestymistavalla on luotu tarpeellinen peruskäsitteistä ja edetty riittävän monen ilmiöalueen kautta teorian hierarkiatasolle. Sen tähden se ei sovi kouluun, perusopetuksessa sen suuntaiset askelet ovat virheitä.

Esitetty kaavio tarjoaa perustan myös teoreettisen lähestymistavan analysoinnille. Näin voidaan tunnistaa mm. seuraavia usein esiintyviä virheellisiä päättelytyyppejä käsitteenmuodostuksessa:

Mallista alkaminen. Mallin ottaminen aiheen käsittelyn lähtökohdaksi ilmiön asemesta on sitä yleisempää, mitä modernimpiin aiheisiin opetuksessa edetään. Perinteinen peruskoulun sähköopin opetus tarjoaa selvän esimerkin (AHTEE *et al.* 1987, AARONEN 1986). Käsittely aletaan määrittelemällä **varaus** elektronien ylimääränä tai vajauksena ja **sähkövirta** elektronien liikkeenä: "sähkövirta **ilmiönä** on elektronien liikettä". Tämä merkitsee, että lähdetään liikkeelle sähköilmiöiden teoreettisesta mallista, niiden selityksestä, ennen kuin on edes tunnistettu ilmiöitä, jotka pitäisi selittää. (Sitä paitsi selitys on väärä ja vaatii myöhemmin "poisoppimista".)

Kuitenkin tiedetään, että Volta "keksi" sähkövirran ilmiönä, että Coulomb määritteli varauksen mitattavana suureena ja että staattisia sähköilmiöitä tutkittiin jo paljon aikaisemmin. Varmaa on, etteivät nämä tutkijat kummastelleet: "Kas mokomaa, näkyypä olevan liikaa elektroneja!" tai "Kuinkas elektronit nyt noin pyyhälvät?"

Kuten edellä on todettu, fysiikan edistyessä uusien ilmiöiden tunnistus perustuu yhä enemmän teoreettisiin malleihin ja kokeellisten lähtökohtien kokeellisuus etäännyy yhä enemmän aidosta havaitsemisesta. Esimerkkinä voidaan ajatella vaikkapa uusien säteilylajien, atomi-, ydin- ja hiukkasfysiikan käsittelyä. Uusien tulosten opettaminen muuttuu sen tähden helposti yhä enemmän pelkkien teoret-

tisten mallien opettamiseksi. Tällä tavalla voidaan kyllä antaa nopeasti jonkinlaista yleiskuvaa nyky-aikaisesta maailmankuvasta ja sen uusimman kehityksen suuntaviivoista. Mutta kun tulosten kokeellinen perusta sivuutetaan, sen olemassaolokin helposti unohtuu.

Tietokonesimulointi on uusi mielenkiintoinen opetusmenetelmä. Se on nopea ja havainnollinen tapa esittää fysikaalisten mallien toimintaperiaatteita ja visualisoida mallien mukaisia ennusteita. Samalla se houkuttelee entistäkin enemmän korvamaan ilmiöt malleilla koko käsittelyn lähtökohtana ja näin sivuuttamaan luonnon fysiikan opetuksesta.

Suureen määrittely mallin perusteella. Pyörimisliikkeen dynamiikka tarjoaa tästä hyvän esimerkin. Kappaleen pyörimishitautta kuvaava suure, **hitausmomentti**, otetaan usein käyttöön julistamalla juhlallisesti, että lauseke $J = \sum m_i r_i^2$, missä m_i ja r_i ovat systeemin hiukkasten massat ja etäisyydet pyörimisakselista, tulee osoittautumaan käyttökelpoiseksi.

Lausekkeen merkitystä pyörimisliikkeen kannalta on mahdotonta ymmärtää, eikä siitä voi päätellä, miten hitausmomentti voidaan mitata. Sen väittäminen hitausmomentin määritelmäksi on karkea, vaikkakin yleinen, periaatteellinen virhe. Sehän on ennuste, joka saadaan sovellettaessa Newtonin mekaniikkaa jäykäksi kappaleeksi kutsuttuun malliin. Ennusteen johtamiseksi on luonnollisesti ensin tiedettävä, mikä hitausmomentti on. Lauseke ei sitä ilmaise.

Luonnollinen käsitteenmuodostus alkaa pyörimisliikkeen tarkastelusta. Kokeilemalla erilaisten kappaleiden pyörittämistä ja pysäyttämistä hahmotetaan pyörimishitausta ominaisuutena, joka riippuu sekä kappaleesta että pyörimisakselista. Todetaan, että tätä ominaisuutta voidaan tutkia kvantitatiivisesti tutkimalla kulmakihtyvyyden riippuvuutta kappaleeseen vaikuttavasta voimasta sekä sen vaikutuskohdasta ja -suunnasta. On helppoa demonstroida laki, jonka mukaan kiinteän akselin ympäri pyörivän kappaleen kulmakihtyvyys on verrannollinen siihen vaikuttavaan momenttiin akselin suhteen, $\alpha \sim M$. Sen perusteella suhde M/α on invariantti, voimasta riippumaton. Se voidaan ottaa käyttöön uutena, kappaleen pyörimishitautta akselin suhteen täsmällisesti kuvaavana suurena $J = M/\alpha$, joka saa nimen "kappaleen hitausmomentti akselin suhteen". Hahmottamista helpottaa rinnastus etene-misliikkeeseen.

Esimerkiksi energiaperiaatteen avulla hitausmomentin käyttöön otto ei voi onnistua "kokeellisen lähestymisen periaatteella", koska ei ole mitään suoraa tapaa mitata niin abstraktista suuretta kuin pyörimisen liike-energiaa.

Muita esimerkkejä malliin perustuvan ennusteen käytöstä suureen määritelmänä löytyy runsaasti opiskelijoiden koevastauksista. **Sähkökentän voimakkuus** halutaan määritellä Coulombin lain ja **magneettivuon tiheys** Biot'n ja Savartin lain mukaisella lausekkeella ja esimerkiksi **kapasitanssin** määritelmäksi saatetaan väittää ideaalisen levykondensaattorin kapasitanssin lauseketta. Erehdys paljastuu nytkin kysyttäessä, miten tarkasteltava suure mitattaisiin esitetyn määritelmän perusteella, ellei kentän aiheuttajaa tai kondensaattorin rakennetta tunneta.

Lain todistaminen mallilla. Taantumislain todistaminen valon aaltomallin avulla olettamalla, että sillä on hyvin määritelty taajuus ja aallonpituus, on monissa oppikirjoissa esiintyvä esimerkki. Tämän opin mukaan MALLI TODISTAA, että TODELLISESSA ILMIÖSSÄ tulo- ja taitekulman sinien suhde on vakio ja yhtä suuri kuin rajapintaan tulevan ja sen läpäisevän valon (vaihe)nopeuksien suhde. Tämä suhde määritellään rajapinnan taitesuhteeksi ja sovitaan, että tyhjiön ja aineen välisen rajapinnan taitesuhdetta sanotaan aineen taitekertoimeksi. Päätelyyn liittyy siis myös edellistä tyyppiä oleva virhe.

Tällainen opetustapa kääntää fysikaalisen ajattelun päälaelleen alistamalla luonnon todellisuuden teorian vaillinaiseksi toteutumaksi. Kokeellisen lähestymistavan mukaisesti käsiteltynä valon taituminen rajapinnassa tarjoaa hyvän tilaisuuden fysikaalisen käsitteenmuodostuksen ja ajattelutavan opettamiseen. Sen yhteydessä on helppoa valottaa havaittavan ilmiön, kokeellisten lakien ja teoreettisten mallien välisiä suhteita demonstraatioilla tai oppilastäällä (HAUTALA *et al.* 1987).

Rajapinnan läpi kulkevan valon tulo- ja taitekulman sinien suhteen invarianssi, riippumattomuus tulokulmasta, on helppo demonstroida. Tämä suhde voidaan ottaa käyttöön uutena, pinnan taittamiskykyä täsmällisesti esittävänä suurena, taitesuhteena, jonka arvo on rajapinnalle (ja siihen osuvalle valolle) ominainen.

Edelleen voidaan demonstroida eri aineiden välisten rajapintojen taitesuhteiden "liitäntälaki" $n_{AB}n_{BC} = n_{AC}$, missä ensimmäinen indeksi viittaa tulevan, jälkimmäinen taittuneen säteen väliaineeseen. Sen perusteella rajapintojen aineparikohtaiset vakiot voidaan tulkita ainekohtaisten vakioiden suhteiksi. Näiden määrittelyssä on valinnaista, kirjoitetaanko $n_{AB} = n_A/n_B$ vai $n_{AB} = n_B/n_A$. Lisäksi yhden aineen taitekerroin n_A voidaan valita mielivaltaisesti. Jälkimmäinen yhtälö ja valinta $n_{\text{tyhjiö}} = 1$ määrittelevät fysiikassa käytetyn suureen "aineen taitekerroin", ja kiinnittävät kaikkien aineiden taitekertoimien arvot.

Tämän jälkeen voidaan tarkastella, miten aaltomalli selittää havaitut lait ja miten se tuottaa taitekertoimelle yksinkertaisen ennustelausekkeen valon vaihenopeuksien suhteena. Jos aika ja kiinnostus sallivat syventävän tarkastelun, voidaan kiinnittää huomiota siihen, että myös hiukkasmalli tarjoaa selityksen ja antaa oman ennustelausekkeensa taitekertoimelle. Jo tietoisuuskin tästä avartaa ajatte-

lua. Samalla tulee selväksi myös se, ettei vaihenopeuksien suhde kelpaa taitekertoimen määritelmäksi.

Vaikka aitoon demonstrointiin (tai oppilastäihin) ei olisikaan aikaa tai mahdollisuutta edes osoittaa, tämä on kuitenkin käsitteenmuodostuksen luonnollinen suunta, jota ajatuksen pitäisi noudattaa.

Toinen esimerkki on monissa oppikirjoissa esiintyvä **Ohmin lain** "todistaminen" klassisella mallilla, jossa johdinelektronit ovat metallin ionihilassa liikkuvia klassisia hiukkasia ja johteen resistiivisyys johtuu elektronien törmäyksistä atomeihin. Tämän käsittelyn virheellisyys on vieläkin dramaattisempi, koska malli ei edes selitä Ohmin lakia. Sen mukaiset rehelliset ennusteet ovat päin vastoin jyrkässä ristiriidassa Ohmin lain kanssa. Virheen vuoksi menetetään Ohmin lain tarjoama erinomainen tilaisuus tarkastella fysikaalisen tiedon edistymistä, teorioiden malliluonnetta, klassisen mekaniikan rajalista pätevyyttä ja tarkemman teorian tarpeellisuutta.

Suureen määrittely kaavalla. Mekaniikan energiaperiaate tarjoaa tyypillisen esimerkin. Sen käsittely aletaan perinteisesti määrittelemällä uusi suure, **työ**, voiman ja siirtymän tulona, (skalaaritulona tai vastaavana integraalilausekkeena esityksen tasosta riippuen). Oppikirja saattaa uhrata tilaa sivukaupalla työn laskemisen harjoitteluun viittaamattakaan mihinkään kokeellisesti havaittaviin luonnonilmiöiden ominaisuuksiin, joiden esittäminen saattaisi vaatia tällaisen suureen käyttöönottamista.

Menettely johtaa nopeasti laskennallisiin sovelluksiin mutta ei anna oppilaalle käsitystä suureen merkityksestä. Näin opetetaan oppilasparolle, että fysiikassa otetaan käyttöön uusia suureita kokeilemalla sopivan tuntuisia laskutoimituksia tunnetuilla suureilla. Kerrotaan, jaetaan, korotetaan potenssiin jne., jospa sattumalta syntyisi jotakin käyttökelpoista, joka voitaisiin julistaa uudeksi suureeksi.

Jälkimmäisiä

Fysiikan perusteet -kurssilla, jota olemme kehittäneet noin 10 vuoden ajan fysiikan opettajan koulutusta varten, esitettyä kaaviota on käytetty monenlaisten keskustelujen ja harjoitusten pohjana. Sen avulla harjoiteltiin mm. fysikaalisten aiheiden jäsentelyä, tehtäväsarjojen laadintaa tietyistä aiheista ja tiettyjä opetuksen vaiheita varten sekä tehtävien tyyppianalyysiä. Kokeellisen lähestymistavan ideaa selvitettiin tarkastelemalla aiheen käsittelyä erikseen kullakin neljällä hierarkkisella tasolla ja tutkimalla, miten ylempien tasojen käsittely lepää alemmilla. Harjoituksissa esiintyneitä poikkeamia analysoitiin pyrkimällä selvittämään niihin sisältyvien askeleiden asemaa ja suuntaa tasokaaviossa. Samalla tulivat luonnollisesti esiin myös käytetyt lähteet, usein lukion tai yliopiston oppikirjat, jolloin analyysi voitiin kohdistaa näiden esitystapaan.

Harjoitusten vaikein kohta oli selvästi ilmiö, käsitteenmuodostuksen aivan ensimmäinen taso. Ilmiöksi otettiin teoreettinen malli, tai se määriteltiin heti yleisimmällä mahdollisella teoreettisen tietämyksen sallimalla tavalla. Myös portaittainen eteneminen ylemmille tasoille ja siihen liittyvä tarkennusten ja yleistysten syklisen prosessin seuraaminen oli vaikeaa. Suureina lueteltiin heti kaikki mahdolliset, ja ajattelun suunta kääntyi huomaamatta päinvastaiseksi. Kaikki edellä tarkastellut virheellisen päättelyn tyypit kohdattiin.

Kurssin yhteydessä kävi selvästi ilmi, että voimakas sitoutuminen teoreettiseen lähestymistapaan vallitsee fysikaalisessa ajattelussa. Se läpäisee oppikirjat ja fysiikan opetuksen kaikilla tasoilla. Se hallitsee kielenkäyttöä ja yksityisten opetustapahtumien motivointia ja on siten piilevänä mukana kaikissa yksityiskohdissa.

Lähestymistapojen erot voivat näyttää mitättömiltä. Tulevathan samat "asiat" esitetyiksi vaikkakin vähän eri järjestyksessä. Mutta juuri asioiden järjestys on olennainen. Ymmärtämisen ja fysikaalisen ajattelutavan kannalta on ratkaisevaa, annetaanko tulokset, käsitteet, lait, laskentamenetelmät jne. ilmoitusasioina, valmiina kaavoina ja resepteinä, vai otetaanko ne käyttöön siksi, että niitä tarvitaan ilmiöiden havaittavien ominaisuuksien esittämiseen ja kuvaamiseen.

Runsaatkaan demonstraatiot, ilmiöiden ja sovellusten esittely tai retket ja teollisuuskäynnit eivät sellaisenaan tee lähestymistapaa kokeelliseksi. Lähestymistapa on etenemissuunta, joka ilmenee opetustoimenpiteiden keskinäisistä suhteista ja niihin liitetystä ajatuksesta. Sen kokeellisuus merkitsee, että kaikki käsitteet syntyvät tarpeesta esittää kokeellisen todellisuuden hahmoja, ilmiöiden havaittavia ominaisuuksia ja niiden kokeellisia lakeja. Käsite, jonka tarvetta luonnon ilmiöiden esittämisen kannalta ei osata näyttää ilmeiseksi, on opettajalle liian vaikea ja oppilaalle mahdoton. Opetuksessa ei saa olla niin kiire luonnonilmiöiden selittämiseen, ettei ehditä opettaa kieltä, jota selityksissä käytetään.

Kokeellinen lähestymistapa kytkee alusta lähtien kaiken havaintoihin. Se opettaa näkemään fysiikan luonnon esityksenä, epätäydellisenä ja epätarkkana mallina, jolla on rajallinen pätevyysalue. Se esittelee fysiikan jatkuvasti täsmentyvänä, laajenevana ja kehittyvänä dynaamisena luonnontieteenä.

Teoreettinen lähestymistapa opettaa näkemään luonnon ilmiöt tarkan, täydellisen ja kauniin teorian epätarkkoina, vajavaisina ja huonoina toteutumina. Se esittelee fysiikan staattisena matemaattisena tieteenä, joka perustuu kertakaikkisesti annettuihin ajatusmalleihin.

Yleisten kasvatustavoitteiden kannalta katsottuna lähestymistapojen erot vain korostuvat. Teoreettinen lähestymistapa tarjoaa oppilaille nykyaikaiset mallit ja niihin perustuvat selitykset mutta ei

tiedon perusteita. Jos heidän tietonsa asetetaan kyseenalaisiksi, he eivät kykene puolustamaan oppimaansa millään muulla kuin toteamuksella: Näin on koulussa opetettu. Näin kasvatetaan auktoriteettiin, jonka seurauksista historia tarjoaa kylliksi varoittavia esimerkkejä. Kokeellinen lähestymistapa ei ehkä anna yhtä paljon tiedollisia malleja mutta se osoittaa, miten tieto syntyy ja mihin se perustuu. Se kasvattaa samalla arvioimaan kriittisesti uutta tarjottua tietoa ja torjumaan perusteettoman auktoriteetin.

LÄHDEVIITTEET

- AARONEN, H. 1986. Sähköopin perussuureet fysiikan kouluopetuksessa. Pro gradu. Fysiikan laitos. Helsingin yliopisto.
- AHTEE, M. , AARONEN, H. & KURKI-SUONIO, K. 1987. Teaching of the basic electric quantities. Rapport. Nordisk Forskarsymposium. Göteborg.
- ANDERSSON, S. , HÄMÄLÄINEN, A. & KURKI-SUONIO, K. 1987. Demonstraatiot fysikaalisen käsitteenmuodostuksen tukena. Hidas massa. Lähetetty julkaistavaksi Matematiikan ja luonnontieteiden opetuksen tutkimusseuran vuosikirjassa.
- HAUTALA, M. & KURKI-SUONIO, K. 1987. Fysiikan peruskurssien täiden uudistus Helsingin yliopistossa. Lähetetty julkaistavaksi Matematiikan ja luonnontieteiden opetuksen tutkimusseuran vuosikirjassa.
- KURITTU, P. 1987. Pro gradu (käsikirjoitus). Fysiikan laitos. Helsingin yliopisto.
- KURKI-SUONIO, K. , KERVINEN, M. & KORPELA, R. 1982. KVANTTI 1, Fysiikan laaja oppimäärä, Espoo: Weilin & Gääs.
- KURKI-SUONIO, K. , KERVINEN, M. & KORPELA, R. 1985. KVANTTI 3b, Fysiikan laaja oppimäärä, Espoo: Weilin & Gääs.
- KURKI-SUONIO, K. & R. 1987a. Kokeellisen ja teoreettisen lähestymistävän tuntomerkit fysiikan opetuksessa. Lähetetty julkaistavaksi Matematiikan ja luonnontieteiden opetuksen tutkimusseuran vuosikirjassa.
- KURKI-SUONIO, K. & R. 1987b. Everybody physics eli Fysiikan peruskurssi I. Helsinki: Limes ry.
- KURKI-SUONIO, K. & R. 1987c. Somebody physics eli Fysiikan peruskurssi II. Helsinki: Limes ry.
- KURKI-SUONIO, R. & K. 1987. Fysikaalisen kielenkäytön analyysi ja harjoittelu fysiikanopettajan koulutuksessa. Lähetetty julkaistavaksi Matematiikan ja luonnontieteiden opetuksen tutkimusseuran vuosikirjassa.
- KURKI-SUONIO, R. & K. 1987. Käsiteluoikkien sekoittuminen fysiikan kielenkäytössä. Dimensio 9/87.

SUMMARY

Kaarle and Riitta Kurki-Suonio

THE CHARACTERISTICS OF THE EXPERIMENTAL AND THE THEORETICAL APPROACH IN THE TEACHING OF PHYSICS.

A hierarchical level scheme is presented to describe the conceptual structure of physics. The primary role of perception-like intuitive processes determines the general direction of concept formation from observation to concepts, from the concrete to the abstract and from the simple to the structural. This defines also the natural experimental approach of teaching proceeding stepwise from phenomena through quantities and laws to theory following the scheme. Some typical steps of wrong-way reasoning of the opposite theoretical approach found in text books are described and classified by means of the scheme. The scheme has been used on a teachers' education course as the basis of several kinds of discussions and exercises involving studies of approach and planning of teaching events and procedures. Strong binding of the present physics teaching to the theoretical approach is noted.