

Professori *KAARLE KURKI-SUONIO*
Helsingin yliopisto

FYSIIKAN OPETUKSEN ONGELMAKOHTIA¹

Lukusuunnitelman ristiriitaisuus

Opetusministeri Pär S t e n b ä c k on tuhonnut lukion kehittämiseksi tehdyn seitsenvuotisen työn ajamalla lukusuunnitelmaan määrätietoisesti ja häikäilemättömästi kehitystyön keskeisten perusteiden vastaisia muutoksia. Tuloksena on **sekä ylivoimaisen raskas että sisäisesti ristiriitainen lukusuunnitelma**. Tämä on uuden lukion suurin ongelma, jonka rinnalla kaikki muut ongelmat kalpenevat. Fysiikan opetuksen osalta ongelma keskittyy fysiikan tehtävään perusluonnontieteenä ja tekniikan perustieteenä.

Luonnontieteiden oppimääräsuunnitelmat rakennettiin kiinteästi yhteenkuuluvaksi kokonaisuudeksi, jossa fysiikka, kemia, maantiede ja biologia tukevat toisiaan. Fysiikan luonnollisena tehtävänä on antaa tämän kokonaisuuden tiedollinen, käsitteellinen ja metodinen perusta, erityisesti opettaa tuntemaan ne yleiset luonnon peruslait ja periaatteet, joiden avulla luonnontieteellinen tieto voidaan hahmottaa kokonaisuudeksi. Siirtämällä fysiikan valinnaiseksi aineeksi opetusministeri Pär S t e n b ä c k on purkanut luonnontieteiden nelikerroksisesta rakennuksesta pohjakerroksen ja romahduttanut näin kolme ylempää kerrosta irtotiedon tiilikasaksi.

Tekniikan osalta fysiikan opetukselle asetettiin Valtioneuvoston 3.5.1979 antamilla suunniteluohjeilla vaativa tehtävä: "Työkasvatuksen ja teknologian opetus toteutetaan **kaikille yhteisenä oppimääränä siten**, että... tuotantotoiminnan teknologista perustaa koskeva oppijakso opetetaan **fysiikan opetuksen yhteydessä**, ja siten, että mainittuihin oppiaineisiin opetuksellisesti kytkeytyvä työelämään tutustuttaminen järjestetään hyväksikäyttäen alueen elinkeinoelämän tarjoamia mahdollisuuksia". Fysiikan oppimääräsuunnitelmissa tämä tehtävä on otettu huomioon. Erityisesti työelämään tutustuttamisen oli tarkoitus tapahtua yhteistyössä muiden oppiaineiden kanssa. Opetusministeri Pär Stenbäck on siis fysiikan ohella muuttanut työkasvatuksen ja teknologian opetuksen valinnaiseksi ja tehnyt näin tyhjäksi Valtioneuvoston asettaman velvoitteen.

Fysiikan opetus uudessa lukiossa on nyt ristiriitaisen tilanteen edessä. Lukusuunnitelman perustana olevien asiakirjojen mukaan sillä on kaikkia oppilaita ja kaikille yhteisiä oppiaineita koskevia tehtäviä, mutta opetusministeri Pär Stenbäckin toimenpitein siltä on evätty mahdollisuudet huolehtia niistä. Vastuunsa tuntevan fysiikan opettajan tehtäväksi jää selvittää oppilaille, että kaikille yhteisten luonnontieteiden opiskelu lukiossa edellyttää välttämättä perustakseen fysiikan valitsemista.

Vasta tämän jälkeen ovat vuorossa varsinaiset fysiikan opetuksen ongelmat. Ne puolestaan ovat pitkälti sidoksissa fysiikan luonteeseen tieteenä ja oppiaineena. Opetettavan oppimäärän sisällöt, tavoitteet, opintojen hallinnolliset järjestelyt, kuten kurssitus, oppilaiden ikä ja taso yms. ulkoiset seikat eivät vaikuta näiden ongelmien luonteeseen, vaikka ne luonnollisesti edellyttävätkin ongelmien erilaisia didaktisia ratkaisuja.

Opetuksen fysikaalisuus

Fysiikan opetuksen päätavoitteena on **luonnonilmiöiden ymmärtäminen perusluonnonlakien avulla**. Muut mahdolliset tavoitteet sisältyvät tähän osatavoitteina tai tulevat mahdollisiksi vasta sen kautta. Sellaisia ovat esim. ilmiöiden, teorioiden, ja sovellusten tunteminen, laskennallisten menetelmien ja mittavälineiden käyttö jne.

Sana "sovellus" jo sellaisenaan ilmaisee, että on kysymys sekundaarisesta asiasta. Sovelluksia ei ole ilman teoriaa, jota sovelletaan. Niitä ei opita tuntemaan, hallitsemaan ja kehittämään ilman, että tunnetaan luonnonlait ja teoriat, joihin ne perustuvat. Opetukseen kuuluvat erottamattomina komponentteina tieto, sen ymmärtäminen, hankinta ja käyttö.

¹ Julkaistun artikkelin painovirheet on tässä korjattu. ks. liite.

Fysiikan menetelmä on se tapa, jolla fysiikka pyrkii ilmiöiden ymmärtämiseen. Opetuksen pää tavoitteen saavuttaminen riippuu siten olennaisesti siitä, miten hyvin ja tasapainoisesti opetus kuvastaa menetelmän eri osatekijöitä ja niiden suhdetta. Tätä voidaan pitää opetuksen fysikaalisuuden määritelmänä.

Kokeellisuus ja eksaktisuus

Fysiikan menetelmä perustuu fysiikan kahteen perusominaisuuteen:

Fysiikka on kokeellinen tiede.

Fysiikka on eksakti tiede.

Kokeellisuus eli empiirisuus tarkoittaa, että luonnon ilmiöitä koskevat havainnot ja mittaukset ovat kaiken fysikaalisen tiedon perusta.

Eksaktisuus merkitsee, että fysiikan tulokset pyritään ilmaisemaan **matemaattisessa** muodossa ilmiöiden havaittuja säännönmukaisuuksia esittävinä lakeina, joiden avulla voidaan tehdä ilmiöitä koskevia **kvantitatiivisia ennusteita**. (On huomattava sanojen "ennuste" ja "ennustus" merkityksen ero. Molemmat seuraavat verbistä "ennustaa". Ennusteet ovat fysiikassa hypoteeseista, laeista ja teorioista johdettuja päätelmiä, jotka ovat kokeellisesti verifioitavissa tai falsifioitavissa. Ennustukset ovat intuitiivisia povauksia ja profetioita. Kun teorian ja kokeellisten lähtötietojen perusteella ennustan kokeen tuloksen, olen tehnyt ennusteen. Kun ilmaisen epäilyni kokeen onnistumisesta tai ennustan tieteen kehityksen suuntaa, on kyseessä ennustus. Ilmatieteen laitos laatii sään ennusteen, Römpän ukko sään ennustuksen.)

Nämä kaksi ominaisuutta ilmaisevat samalla kokeellisen ja teoreettisen tutkimuksen osajaon fysiikassa. Kokeellinen tutkimus tuottaa tietoa ja testaa ennusteita. Teoreettinen tutkimus etsii kokeellista tietoa vastaavia matemaattisia struktuureja ja pyrkii niiden perusteella johtamaan ennusteita. Kokeellisuus yksin ei tee tutkimuksesta fysiikkaa, ei myöskään eksakti matemaattisuus. Fysiikka syntyy niiden vuorovaikutuksesta, kokeellisen ja teoreettisen tutkimuksen yhteistyöstä. Kumpikin toimii sekä toiselle antavana että toiselta vastaanottavana osapuolena. Tällä tavalla fysiikan metodi muodostaa järjestelmällistä tietoa luovan **kiertoprosessin**.

Tässä vuorovaikutuksessa eksaktisuus asettaa vaatimuksia kokeellisuudelle. Havaitseminen merkitsee kvalitatiivista luonnonilmiöiden tarkastelua. Se on ominaista kaikelle luonnontieteelle. Myös fysikaalinen tutkimus alkaa siitä, mutta se ei riitä. Eksaktisuus vaatii kokeellisuudelta kvantitatiivisuutta ts. mittausta.

Vastaavasti eksaktisuus on kokeellisuuteen sidottua. Fysiikan matemaattinen teoria voi edetä vain kokeellisen fysiikan ehdoilla, sillä teorian matemaattisen struktuurin on kuvastettava mittauksin todennettavia säännönmukaisuuksia. Muuten se ei ole fysiikkaa.

Tästä aiheutuu fysiikan opetuksen ensimmäinen yleinen vaikeus: **tiedon samanaikainen sidonnaisuus sekä mittaukseen että teoriaan**.

Tämä pätee kaikkeen fysiikassa. Niin pientä detaljia ei ole, etteivät sekä sen liittyminen kokeelliseen perustaan että sen asema teoreettisen tiedon rakenteessa olisi välttämättömät tuntea ennen kuin se voidaan ymmärtää.

Fysiikan opetuksessa ei voida koskaan tyytyä suoraviivaiseen ja helppoon laskemiseen tai viihdyttävään leikkiin demonstraatiovälineillä. Jokaisessa teoreettisessa tarkastelussa ja laskuesimerkissä on kuljetettava mukana tietoisuutta sen merkityksestä havaittavien ilmiöiden kannalta ja sen kokeellisesta toteutettavuudesta. Toisaalta demonstraatio, laboratoriotyö tai muunlainen ilmiön tarkastelu palvelee fysiikan opetusta vain sikäli kuin siihen liittyy tietty teoreettinen tarkoitus, kytkentä fysikaaliseen tietorakenteeseen. Tämä voi olla esim. ilmiölle ominaisten tai siihen vaikuttavien suureiden toteaminen, tietyn lain havainnollistus tai osoittaminen, ennusteen verifiointi tai teoreettiseen malliin liittyvän suureen määrittely.

Suureiden määrittely

Fysiikan kokeellisen ja teoreettisen puolen erottamattomuus sisältyy peruskäsitteeseen "suure". Fysiikan matematiikka on suurelaskentaa. Standardin määritelmän mukaan "luonnonilmiöiden mitat-

tavia ominaisuuksia sanotaan suureiksi".

Fysikaalisen täsmällisyyden kannalta matemaattinen tarkkuus on alkeellinen perusvaatimus. Olennaista on käsitteellinen täsmällisyys. Suureilla laskeminen edellyttää eksaktin matemaattisuuden lisäksi täsmällistä tietoa suureista itsestään. Suureita voidaan laskennassa käyttää vain niiden määrittelyn sanelemilla ehdoilla.

Suureen määrittely fysiikassa ei ole milloinkaan yksinkertainen tai itsestään selvä. **Määrittelyssä on otettava huomioon suureen sidonnaisuus ilmiöön, objektiin tai systeemiin, mittaamiseen, lakiin ja malliin tai teoriaan.**

Standardin määrittelemä suureen käsite näyttää ensi silmäyksellä viittaavan pelkästään kokeellisuuteen. Kuitenkin määrittelyn perustaksi asetettu

- suureen mitattavuus edellyttää ilmiön tiettyä lainmukaisuutta,
- lainmukaisuus merkitsee esitettävyyttä matemaattisella struktuurilla
- matemaattinen struktuuri liittyy suureen teoriaan.

Suure liittyy aina tiettyyn ilmiöön tai ilmiöluokkaan, esim. nopeus liikkeeseen, voima vuoro-vaikutukseen, varaus ja virta sähkömagneettisiin ilmiöihin, resistiivisyys virran kulkuun johteessa jne. Suuretta ei voi määrittellä toteamatta, mihin ilmiöön se liittyy.

Suureen määrittelyssä on välttämätöntä ilmaista, miten se mitataan. **Määritelmän on oltava "operationaalinen"**. Yleensä saman suureen mittaamiseen eri tilanteissa tarvitaan erilaisia menetelmiä. Sen tähden määrittely vain tietyn mittauksen avulla on aina rajoitettu, ilmiö- tai tilannespesifi. Esimerkiksi massan määrittely punnituksen avulla kilogramman määritelmään vedoten ei riitä, jos puhutaan elektronin, atomin, fotonin, valtamerilaivan, vuoren, maan, tähden tai galaksin massasta.

Sidonnaisuutta systeemiin voidaan katsantotavasta riippuen pitää joko kokeellisena tai teoreettisena sidonnaisuutena, esim. nopeus on hiukkasen nopeus, aaltoliikkeen nopeus on määriteltävä erikseen. Voima vaikuttaa kappaleeseen. Hitausmomentti liittyy jäykkään kappaleeseen. Liittymistapa vaatii oman huomionsa. Hitausmomentti on määritelty tietyn kappaleessa kiinteän akselin suhteen. – Katsantotavasta riippuu, pidetäänkö hiukkasta, aaltoliikettä tai jäykkää kappaletta objektina vai sen mallina.

Jokaisen **suureen määrittelyn motivoi jokin kokeellinen laki**, joka tekee suureen käyttöön mielekkääksi. Suureen määrittelyä ei voi erottaa tästä laista. Tiheyden määrittelyn motivoi kokeellinen laki, jonka mukaan hyvin monille aineille massan ja tilavuuden suhde on kappaleen koosta riippumaton. Energian käsitteen motivoi ja määrittelee suuri joukko erilaisia kokeellisia lakeja, jotka yhdessä voidaan tämän käsitteen avulla tulkita energian säilymislaiksi.

Tietyn **lain asema teorian struktuurissa on erilainen eri teorioissa**. Suureet ovat sen tähden myös sidoksissa teoriaan. Niiden määritelmät eri teorioissa voivat olla erilaiset. Eikä kaikkia suureita esiinny kaikkien samaa ilmiötä koskevien teorioiden käsitteistössä. Suureiden määritelmät ovat siten myös teoriaspesifisiä. Ajatellaan esimerkiksi voiman käsitteen asemaa klassisen mekaniikan eri kehitysvaiheissa sekä edelleen suhteellisuusteoriassa ja kvanttimekaniikassa. Newtonin mekaniikassa se on teorian keskeinen perussuure, johon koko teorian rakenne perustuu. Lagrangen ja Hamiltonin mekaniikassa energiaan perustuvat suureet kaappaavat vallan. Voima väistyy taka-alalle samalla kun se yleistyy ja abstrahoituu. Suppeampi suhteellisuusteoria käyttää voimaa vielä analogisesti klassisen mekaniikan kanssa, mutta kvanttimekaniikassa koko käsitettä ei enää tarvita, eikä sen määrittelevillä dynamiikan laeilla enää ole mitään merkitystä teorian rakenteen kannalta.

Suure vaatii siis aina erikseen kokeellista ja teoreettista määrittelyä. Kumpaankin liittyy kuitenkin useita eri näkökohtia. Eikä kokeellista ja teoreettista puolta ole mahdollista erottaa selvästi toisistaan.

Määritelmältä yleensä edellytetään, että se ilmaisee välttämättömät ja riittävät ehdot eli että se on tyhjentävä. Määritelmän avulla määrittelyn kohde pitäisi voida yksiselitteisesti tunnistaa. Esitetyt näkökohdat merkitsevät, ettei fysikaalisille suureille voida asettaa varsinaisia määritelmiä kuin enintään tietyn rajatun käytön yhteydessä. Suureiden määritelmät ovat **avoimia määritelmiä**. Fysiikan kehitys täydentää ja täsmentää niitä jatkuvasti.

Määritelmän kaikki sidonnaisuudet vaikuttavat suureen käytettävyyteen. Suuretta käytettäessä

on sen tähden oltavat tietoinen kaikista näistä sidonnaisuuksista. Niiden unohtaminen tai jättäminen huomioon ottamatta johtaa suureen väärään käyttöön ja vääniin tuloksiin. Tämä koskee yhtä hyvin suureen kokeellista kuin sen teoreettista ja laskennallista käyttöä.

Fysiikan kerroksellisuus

Fysiikan kiertoprosessiluonne johtaa fysikaalisen tiedon kerroksellisuuteen. Tämä ilmenee ennen kaikkea teorianmuodostuksen eri vaiheina, jotka merkitsevät tiedon järjestyneisyyden eri asteita. Samalla tämä kuvastuu kuhunkin kehitysvaiheeseen liittyvän kokeellisen työskentelyn luonteessa. Yksinkertainen induktio – deduktio -silmukka toimii kuitenkin läpi kaikkien vaiheiden. Tiedon eri järjestäytymisasteet muodostavat tälle perussilmukalle rakentuvan kerroksellisen rakenteen.

Tarkastellaan esimerkkinä heilurin liikkeen tutkimista. Havaintojen perusteella heilahdusaika on ilmiölle luonteenomainen suure. Sitä mittaamalla saadaan ilmiöstä kokeellista tietoa.

Ensiksi tutkija mittaa saman heilurin heilahdusajan monta kertaa ja saa joukon melkein yhtä suuria mittauservoja. Hän tekee induktiopäätelmän: heilurin heilahdusaika on vakio.

Hän on näin päätenyt kokeelliseen lakiin, joka pätee ainakin hänen tutkimalleen heilurille hänen kokeensa olosuhteissa ja mittaustulosten vaihtelun ilmaisemalla tarkkuudella.

Toisessa vaiheessa tutkija pyrkii selvittämään lain pätevyysaluetta ja täsmentämään lakia. Hän tutkii erilaisia heilureita erilaisissa olosuhteissa ja tarkentaa mittausten menetelmäänsä. Lähtökohtana on nyt ennuste: heilahdusaika on vakio, joka kullekin uudelle heilurille on saatuun lakiin perustuva deduktiopäätelmä. Hän voi esim. todeta ilmanvastuksen ja heilahdusten laajuuden vaikutuksen. Induktiopäätelmänä mittauksistaan hän täsmentää lain muotoon: Pienten heilahdusten heilahdusaika tyhjiössä on heilurille luonteenomainen vakio T . Tämän perusteella tutkija tietää nyt jokaisen tutkimansa heilurin käyttäytymisen, jos hän panee sen uudelleen heilahtelemaan.

Kolmannessa vaiheessa hän haluaa oppia ennustamaan heilahdusajan mittaamalla sitä erikseen kullekin heilurille. Hänen pitäisi siis selvittää, miten vakio T riippuu heilurin laadusta. Tämän tutkimiseksi hänen on ensin löydettävä ja määriteltävä sopivat heilurin laatua ilmaisevat suureet.

Hän yksinkertaistaa ongelmaa. Hän ottaa heiluriksi pienikokoisen painon kevyen langan varassa ja vaihtelee langan pituutta. Hän mittaa heilurin pituuden l ja heilahdusajan T , ja saa tulokseksi joukon yhteenkuuluvia arvopareja (l, T) . Hän toteaa, että suureella T^2/l on lähes sama arvo kaikille pareille, ja esittää induktiopäätelmänä uuden kokeellisen lain: Heilahdusaika T riippuu heilurin pituudesta siten, että $T^2 = cl$ missä c on vakio.

Laki koskee vain tutkittua yksinkertaista heiluria, mutta se on etsittyä tyyppiä. Vakio $c = T^2/l$ voidaan määrittää yhdellä heilurin pituudella. Sen jälkeen laki antaa ennusteen saman heilurin heilahdusajalle, kun pituutta on muutettu.

Seuraavassa tutkimuksen vaiheessa hän määrittää vakion c arvon eri painoja käyttämällä. Hän saa arvoja, jotka poikkeavat toisistaan hyvin vähän. Tämän "kierroksen" induktiopäätelmä on siis ilmeinen: T^2/t on kaikille yksinkertaisille heilureille yhteinen vakio. Näin hänellä on jälleen yleisempi kokeellinen laki, joka antaa yleisempiä ennusteita.

Esimerkkiä voi helposti täydentää ja jatkaa. Se havainnollistaa fysiikan kiertoprosessia mittausta – induktio – laki – deduktio – ennuste – mittausta –... tietyn, hyvin spesifisen ilmiön tapauksessa. Siitä ilmenee eräitä tyypillisiä kokeellisen tutkimuksen ja teorian kehityksen vaiheita. Toisaalta se antaa harhaanjohtavan kuvan fysiikan luonteesta. Se näyttää automaatilta, joka etenee helposti luonnollisten yleistysten kautta yhä laajempaan ja tarkempaan teoriaan.

Kaksi huomautusta on paikallaan. Esimerkki on jälkiviisas. Sen näennäinen helppous johtuu siitä, että tunnemme hyvin etukäteen lait, jotka on löydettävä. Jokin nykyaikainen tutkimuksen kohde saattaisi antaa paremman kuvan siitä, miten suurta intuitiivisen ideoinnin panosta jokainen yksityinen päättelyaskel, jo pelkkä oikeiden suureiden löytäminen ilmiöstä, saattaa edellyttää.

Toiseksi, esimerkki pysyy fysiikan tietorakenteiden alemmalla tasolla. Siinä tarkastellut eriaisteiset lait ovat kaikki suppeita ilmiöspesifiä lakeja, joilla selvästi on vain mittauservoja kuvaava luonne. Riittävän pitkälle näin jatkaen voidaan muodostaa teknisesti käyttökelpoinen "heilurien käyttöteoria", joka ei kuitenkaan periaatteessa poikkea luonteeltaan taulukoidusta numeerisesta tiedosta.

Fysiikalle on tunnusomaista "selittävien" teorioiden muodostaminen. Ne edustavat ratkai-

sevasti korkeampaa tiedon järjestysastetta. Teoriaan kuuluu joukko yhteenkuuluvia peruslakeja, jotka yhdessä muodostavat teorialle ominaisen "selityksen" tietyille luonnonilmiöiden luokalle. Näiden ilmiöiden spesifiset lait voidaan johtaa teoriasta deduktion avulla.

Heilurin tapauksessa klassinen mekaniikka on luonnollisesti se korkeamman hierarkian rakenne, teoria, joka tarjoaa selittävän mallin. Tarkastellut ilmiöspesifiset lait saavat siinä selityksen, joka perustuu heiluriin vaikuttaviin voimiin. Tämä merkitsee ilmiön tarkastelussa harppausta täysin eri kertaluokkaa olevan tietorakenteen tasolle. Sitä ei voida luontevasti toteuttaa tarkastelemalla heiluria. Eteneminen teknisen käyttömallin ilmiöspesifisellä tasolla on olennaisesti helpompaa kuin siirtyminen fysikaalisen teorian, "selittävän mallin" tasolle. Uudelle tasolle pääseminen opetuksessa edellyttää koko sen ajatusketjun seuraamista, jolle teorian kehitys on perustunut. Tämä tietorakenteen laajuuden ja yhtenäisyyden aste on klassisen mekaniikan synnystä alkaen ollut saavutettavissa vain suurten, vallankumouksellisten oivallusten kautta. Fysiikan menetelmän kiertoprosessissa on **käyttövoimana intuitiivinen luova oivallus**. Ilman sitä se ei pyöri – tai pyörii tyhjiä.

Fysiikan päättymättömyys.

Kiertoprosessiluonteesta ilmenee kerroksellisuuden ohella fysiikan **päättymättömyys**. Ylintä kerrosta ei ole. Ilmiölle voidaan muodostaa eriasteisia malleja, jotka kuvaavat sitä yhä tarkemmin ja yhä laajemmalla käyttöalueella. Jokaisella mallilla ja teorialla on **pätevyysalue**, joka laajenee tutkimuksen edistyessä. Laajeneminen voi olla vähittäistä tai se voi olla siirtymistä uuden paradigman myötä uuteen entistä laajempaan teoriaan. Fysiikassa (ainoana tieteenä) on näin muodostunut **valmiita teorioita**, kuten klassinen mekaniikka ja sähködynamiikka. Ne ovat sisäisesti konsistentteja tietorakenteita. Niillä on tunnettu pätevyysalue, jolla ne tuottavat ennusteita tiedetyllä tarkkuudella.

Luonnontieteellistä menetelmää usein luonnehditaan toteamalla, että teoria hylätään, jos se tuottaa vääriä ennusteita. Klassinen mekaniikka ja sähködynamiikka antavat vääriä ennusteita pätevyysalueensa ulkopuolella. Silti ei ole syytä odottaa, että ne hylättäisiin. Ne ovat valmiita hallittuja teorioita, jotka pätevyysalueillaan selittävät ilmiöt kvantitatiivisesti.

Tämä tilanne kuvastaa selvästi sitä tärkeää piirrettä fysikaalisessa ajattelussa, ettei teoriaa ole lupa pitää oikeana tai vääränä. Nämä adjektiivit antavat väärän kuvan teorian luonteesta. Teoria on vain hyvä tai huono. Se on sitä parempi, mitä laajempi sen pätevyysalue on. Teorian väärrien ennusteiden löytymisellä on aina tärkeä merkitys, koska niiden avulla teorian pätevyys alueen rajat voidaan hahmottaa.

Ei ole mitään syytä otaksua, että täydellinen kaiken kattava teoria joskus löydetään.

Opetuksen kannalta **tiedon kerroksellisuus ja päättymättömyys** muodostavat toisen yleisen vaikeuden:

Mitään asiaa fysiikassa ei voi opettaa kerralla valmiiksi! Sitä ei ylimalkaan voi opettaa valmiiksi, sillä fysiikassa mikään ei ole valmista. Tiedon rakenteessa ei ole ylintä kerrosta. Fysiikassa on sisäänrakennettuna päättymätön spiraaliperiaate. Jokainen käsite, jokainen laki, on kehityksen alainen. Ne tarkentuvat ja niitä voidaan tarkentaa jatkuvasti ja niiden käyttö ja pätevyysalue laajenevat. Vielä olennaisempaa on, että jokainen uusi tulos sijoitetaan jo saavutetun tiedon rakenteen uudeksi osaksi. Tällöin se vaikuttaa välttämättä myös aikaisempaan rakenteeseen, sen käsitteiden ja lakien sisältöön ja merkitykseen.

Ensiksi tämä merkitsee, että jokaisen ilmiön käsittelyyn kuuluu erilaisia tarkkuuden asteita tai ainakin viittauksia niihin. "Tarkennuskierrokset" merkitsevät uutta täydentävää sisältöä, uusia ilmiöön liittyviä suureita, tarkempia mittauksia, toisenlaisia kokeita, täsmennettyjä ja uusia kokeellisia lakeja ja tarkempia malleja, jotka ottavat huomioon useampia ilmiöön vaikuttavia tekijöitä.

Toiseksi tämä ilmenee siten, että ilmiön malleja voidaan käsitellä opetuksessa tietorakenteen hierarkian eri tasoilla. Tason valinta on didaktinen ratkaisu, joka riippuu kurssin laajuudesta, tavoitteista ja oppilaiden kehitystasosta. Voidakseen opettaa aihetta asianmukaisesti tietyllä käsittelyn tasolla opettajan on oltava asiaan liittyvän tietorakenteen hallinnassa ainakin "kierros edellä".

Tiedon rakenteellisuus

Fysikaalisen tiedon luonteelle on ominaista sen suunnaton rakenteellisuus. **Nykyaikaisen fysiikan tietämys on ylivoimaisesti laajin kvantitatiivisen tiedon yhtenäinen rakennelma.** Fysiikan

kehitys on koko ajan lisännyt sen laajuutta ja täsmällisyyttä liittämällä yhä uusia luonnon kohteita saman yhtenäisen perusselitystavan piiriin.

Fysiikan rakenteellisuus on opetuksen kannalta ilmeinen etu. Tieto sinänsä merkitsee aivojen hermosysteemeihin rakentuvaa struktuuria. Sen tähden valmiit tieto rakenteet ovat oppimisen kannalta edullisia. Toisaalta **kumuloituva rakenne** merkitsee fysiikan opetuksen kolmatta yleistä vaikeutta:

Fysiikassa jokainen uusi tulos rakentuu aikaisemmille tuloksille. Opetuksessa tämä merkitsee, että **jokainen kurssin kohta perustuu kaikkeen aikaisemmin opetettuun ja tähtää kaikkeen myöhemmin opetettavaan.**

Opettajan on raahattava joka hetki mukanaan tietoisuutta koko kurssin rakenteesta, jotta opetuksen olisi edes mahdollista johtaa tulokseen.

Opettajan on yritettävä myös huolehtia siitä, että oppilaan tieto rakentuu järjestelmällisesti. Aukot kasautuvat. Aukon jälkeen rakennetaan tyhjän päälle. Hetken matkaa se voi näennäisesti onnistua ulkolukuperiaatteella, mutta oppi on sisällyksetöntä, koska sen perusteet puuttuvat. Jossakin vaiheessa se on tuomittu romahtamaan.

Kumuloituvuus ilmenee aiheen käsittelyn kaikissa vaiheissa. Pelkästään ilmiön toteaminen ja siihen liittyvien suureiden määrittely voi edellyttää fysiikan tietorakenteen edeltävän kehityksen tuntemista. Tämä tulee sitä ilmeisemmäksi, mitä myöhemmin fysiikan historiassa vastaan tulleita ilmiöitä tarkastellaan.

Esimerkiksi sähkövirran havaitseminen ja mittaaminen perustuu virtojen keskinäisiin tai virtojen ja magneettien välisiin vuorovaikutuksiin ja niitä koskevien lakien tuntemukseen. Sähkövirran määrittely suurena perustuu voiman käsitteeseen ja jännitteen määrittely energian käsitteeseen. Siten klassisen mekaniikan teoria tarvitaan virtapiireissä tapahtuvien ilmiöiden käsittelyn pohjaksi.

Röntgensäteilyn synnyttäminen puolestaan edellyttää sähkövirtaan liittyvien käsitteiden hallintaa. Ilmiötä itseään voi tuskin erottaa virrankuljetukseen liittyvistä malleista, kuten elektronisuihkusta. Röntgenspektrin tarkastelu ilmiönä edellyttää kiderakenteen perusmallien tuntemusta (hilaspektrometri) ja säteilyn aaltoliikemallin teoriaa.

Jokaisen aiheen käsittely lepää jättiläisen harteilla.

Fysiikan opetuksen ongelmat eivät ole ensisijassa lokaalisia, kurssin tiettyihin kohtiin sidottuja, vaan läpäiseviä. Suurimmat vaikeudet ovat luonteeltaan yleisiä, fysiikan luonteeseen liittyviä, ja koskevat samalla tavoin kaikkia käsiteltäviä asioita. Niiden voittaminen vaatii fysiikan opettajalta intoa ja uurastusta, erilaisten lähestymistapojen etsintää ja kokeilua, mutta ennen kaikkea paljon ajattelua.

Liite (MAA 2/1982 s.179)

**Painovirhepaholainen kannattaa
kaavatautia**

Painovirhepaholainen on päässyt temmeltämään MAA:n numerossa 1/1982. Sivulla 14 piti sanomani, että teoria voi edetä vain kokeellisen fysiikan ehdoilla. Herra Pvp oli täsmälleen päinvastaista mieltä.

Tämän täysosuman lisäksi se on harjoittanut kaikenlaista pikku kiusaa. Esimerkiksi poimin kohdan sivun 18 loppupuolelta, jossa olevan omituisen lauseen paikalla piti lukea: "Jokainen UUSI tulos sijoitetaan **jo saavutetun** tiedon rakenteen uudeksi osaksi".

Kaarle Kurki-Suonio