

Fysiikan peruskurssien töiden uudistus Helsingin yliopistossa¹

Mikko Hautala ja Kaarle Kurki-Suonio

Fysiikan laitos
Helsingin yliopisto,

Artikkelissa tarkastellaan Helsingin yliopiston fysiikan laitoksessa syksyllä 1986 toteutettua fysiikan peruskurssien töiden uudistusta, uudistukseen johtaneita syitä ja uudistuksen didaktisia periaatteita. Lisäksi selvitetään uudistuksen nykyvaihetta ja kehityssuunnitelmia esimerkkien valossa sekä arvioidaan saatuja kokemuksia.

1. Uudistuksen tausta

Fysiikan laboratoriotöihin liittyy joukko perinteisiksi muodostuneita didaktisia ongelmia. Niiden selvimpänä ulkoisena merkinä on ollut töiden viivästyminen jopa vuosia. Työt eivät ole kiinnostaneet opiskelijoita ja suoritusmotivaatio on puuttunut.

Vuosien varrella tehdyt kyselyt ja muu palaute ovat vahvistaneet tätä diagnoosia. Keskeisiksi syiksi on mainittu töiden irrallisuus muusta opetuksesta, niiden kaavamaisuus, joka johtaa mekaaniseen suoritukseen ja kopiointiin, sekä selostuksiin liittyvä työ perusteellisine virhetarkasteluineen, joiden mielekkyys on usein jäänyt opiskelijoille epäselväksi.

Töiden kehittämisyrittäykset ovat jääneet irrallisiksi ja niiltä on puuttunut koordinaatio. Kehitystyö on ollut assistenttien oma-aloitteisuuden varassa, jota Suomen korkeakoululaitoksen nuiva suhtautuminen ns. opetusansioihin ei ole ollut omiaan kannustamaan.

Vuoden 1980 tutkinnonuudistus tarjosi ainakin muodollisen tilaisuuden suureen muutokseen. Tällöin ajateltiin, että töiden liittäminen kursseihin kiinte-

¹ Teoksessa J. Laurén (toim.) Kokeellisempaan fysiikan ja kemian opetukseen. Jyväskylän yliopisto. Kasvatustieteiden tutkimuslaitoksen julkaisusarja B. Teoriaa ja käytäntöä 28, 57-66.

ästi kuuluviksi opintosuorituksiksi poistaisi irrallisuuden ja parantaisi näin suoritusmotivaatiota. Töiden suunnittelussa pyrittiin sisällölliseen yhteistyöhön kurssien luennoitsijoiden kanssa.

Työmotivaatio ei kuitenkaan olennaisesti parantunut. Palaute pysyi samanalaisena. Töiden entisenä jatkunut viivästyminen vain pahensi tilannetta opintosuoritusilastojen kannalta, koska kurseista ei opiskelija saanut mitään suoritusmerkintää ennen töiden suoritusta. Oli ilmeistä, että ongelmat olivat syvemmällä ja tarvittiin muutosta töiden luonteeseen.

Matemaattis-luonnontieteellisen osaston tutkintovaatimusten tarkistus tarjosi syksyllä 1986 tilaisuuden seuraavaan uudistukseen. Tällöin voitiin soveltaa didaktisia periaatteita, jotka nojautuivat fysiikan opettajien koulutuksessa, erityisesti sen kokeiluluonteisen kurssin "Fysiikan perusteet" yhteydessä, jo pitkään kehiteltyihin ajatuksiin opetuksen fysikaalisuuden perusteista. Näitä ajatuksia oli itse asiassa sovellettu jo kahden vuoden ajan peruskursseihin liitetyissä ns. itsepalveludemonstraatioissa (IPD), joista oli saatu hyvin positiivista palautetta. IPD-laboratorioiden kokemuksia voitiin suoraan hyödyntää ja suuri osa niitä varten kehitetyistä demonstraatioista ja semikvantitatiivisista kokeista voitiin ottaa käyttöön lähes sellaisenaan.

2. Didaktiset periaatteet

Fysiikan opetuksen kiinnostavuus ja siten myös sen onnistuminen riippuvat ratkaisevasti siitä, miten hyvin tiedollisen ja metodisen kokonaisuuden muodostaminen ja fysikaalisen ajattelutavan kehittäminen pystytään kytkemään käsiteltäviin yksityiskohtiin. Kokonaisuuden muodostamisen ja fysikaalisen ajattelun opettamisen mahdollisuuksia on tarkasteltu laajasti "Fysiikan perusteet" -kurssin yhteydessä (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1987; Kurki-Suonio ym. 1986 ja 1987). Apu-välineinä voidaan käyttää kahta yksinkertaista kaaviota (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio 1988; Kurki-Suonio ym. 1982, 15 ja Kurki-Suonio ym. 1985, 9-10). Fysiikan loogisia prosesseja esittävän metodikaavion avulla on helppoa antaa opetuksen erilaisille toimenpiteille mielekäs looginen sisältö. Tietorakenteen hierarkkisten tasojen kaavion avulla voidaan käsitteen-

muodostuksessa noudattaa johdonmukaisesti luonnollista kokeellista lähestymistapaa ja välttää perinteiseksi muodostuneen teoreettisen lähestymistavan jättämiä aukkoja.

Kun opetus noudattaa kokeellista lähestymistapaa, demonstraatiot ja laboratoriotyöt muodostuvat välttämättömiksi. Jotta suureiden merkitys luonnon olioiden ja ilmiöiden ominaisuuksia esittävinä käsitteinä voitaisiin oppia ymmärtämään, on ominaisuudet, joiden esittämiseen niitä tarvitaan, voitava oma-kohtaisesti hahmottaa. Tällöin luento-opetus muodostuu laboratorio-opetukseen tähtääväksi, eikä laboratorio-opetus enää jää irralliseksi. Kun toisaalta demonstraatioille ja laboratoriotöille saadaan teoreettisen opetuksen kautta looginen ja metodinen ajatussisältö, kokeellisen opetuksen muodot voivat muodostaa kvalitatiivisista demonstraatioista alkavan, yhä kvantitatiivisempien ja systemaattisempien kokeiden ketjun, joka luontevasti kasvattaa opiskelijaa myös kokeelliseen tutkimukseen.

Motivaatio perustuu tällöin olennaisesti töiden loogiseen sisältöön, joka antaa niille tavoitteellisen merkityksen fysiikan tutkimus-metodin kannalta. Sekä demonstraatioissa että laboratoriotöissä on olennaista, että tiedetään ja myös selvästi ilmaistaan, mitä varten niitä tehdään. Työt voidaan luokitella sen perusteella, mikä tehtävä niillä on käsitteenmuodostuksessa ja mihin niissä tarvittava päättely sijoittuu fysiikan metodikaaviossa, esim. seuraavasti:

1. Ilmiön toteaminen, havainnollistus,
2. Ilmiöiden luokittelu, tunnistus,
3. Tutustuminen mittaamenetelmään tai -laitteeseen,
4. Suureen arvon määrittäminen mittaamalla,
5. Kokeellisen lain määrittäminen tai toteaminen,
6. Lain käyttö ilmiötä koskevan käsitteenmuodostuksen perustana ja siihen perustuva suuremäärittäminen,
7. Teoreettisen suure- tai lakiennusteen testaus,
8. Mallin parametrien määrittäminen mittaustulosten perusteella,
9. Teoreettisen mallin pätevyysalueen havainnollistus tai tutkimus ja siihen liittyvä mahdollinen lain tarkennus,
10. Ilmiön hyväksikäytön esittely,
11. Teorian sovellusten esittely.

Luettelon järjestys ei seuraa kvantitatiivisuusastetta vaan noudattaa metodikaavion loogista kiertojärjestystä puhtaasti kokeelliseen toimintaan kuuluvas- ta induktion kautta teoriaan ja edelleen deduktiivisen päättelyn kautta takaisin kokeelliseen. Kaikilla tyypeillä on tehtävänsä opetuksen yhteydessä, joko demonstraatioina tai laboratorio-töinä. Kokeelle voidaan antaa jokin luettelon mukainen tarkoitus, joka osaltaan määrää sille loogisen sisällön. Koe sellaisenaan ei ilmaise loogista merkitystään, vaan merkitys on sille annettava. Kokeen suoritustapa ja sen esittely riippuvat sille annetusta merkityksestä.

Eryteisesti tyyppejä 5- 9 olevilla töillä voidaan tehokkaasti tukea teoreettista luento-opetusta. Ne valaisevat käsitteenmuodostuksen perusteita ja teorioiden merkitystä (Andersson ym. 1988). Samaan työhön voidaan luonnollisesti liittää useampiakin päättelytyyppejä. Työ muodostuu mielenkiintoisemmaksi, kun se sisältää ainakin yhden fysiikan menetelmälle ominaisen loogisen silmukan, jolloin se sellaisenaan muistuttaa fysiikan tutkimusmenetelmän pienoismallia.

3. Töiden rakenne

3.1. *Toteutus*

Yhteys luento-opetukseen luotiin laatimalla peruskurssien oppikirjat ja työohjeet samojen, kokeellisen lähestymistavan periaatteiden mukaan, jolloin teoreettinen käsitteenmuodostus vaatii tuekseen kokeellista työskentelyä. Työt nojautuvat oppikirjassa käsiteltyihin sisältöihin, ja työohjeet rajoitettiin suppeiksi teknisiksi ohjeiksi. Työt on myös liitetty kurssien tentittävään materiaaliin ja töitä koskevia kysymyksiä tehdään sekä välikokeissa että lopputenteissa.

Kunkin kurssin työt ryhmiteltiin viideksi paketiksi, jotka suoritetaan kurssin aikana muun opetuksen tahdissa. Nykyisin peruskurssien työt jakautuvat seuraavasti. *Peruskurssi I (mekaniikka)*: 1) Perusmittauksia, 2) Etenemisliikkeen dynamiikka, 3) Liikemäärän ja liikemäärämomentin säilyminen, 4) Energian säilymlaki sekä 5) Jäykän kappaleen liike. *Peruskurssi II (sähkö- ja magnetismioppi)*: 1) Tutustuminen laitteisiin, 2) Sähköstatiikka, 3) Tasavirtapiirit,

4) Magnetismi ja induktio sekä 5) Vaihtovirtapiirit. *Peruskurssi III (aaltoliikeoppi)*: 1) Säteilynsuojelu ja tutustuminen aaltoliikkeeseen, 2) Ominaisvärähtelyt ja resonanssi, 3) Valon heijastuminen, taittuminen ja polarisaatio, 4) Valon intensiteetti, diffraktio ja geometrinen optiikka sekä 5) Moderni fysiikka.

Kuhunkin pakettiin kuuluu kaksi tai kolme päätyötä ja joustava määrä lyhyempiä töitä, joihin kuuluu erityisesti luentodemonstraatioiden toistoja ja täsmennyksiä. Työssä käytettävät laitteet pyritään esittelemään luentodemonstraatioiden yhteydessä.

Nk. päätöissä erityinen paino asetettiin edellisessä luvussa esitellyn kaavion kohdille 5, 6 ja 7, jotka valaisevat käsitteen-muodostuksen perusteita. Yhdistämällä nämä tyypit samaan työhön voidaan opiskelijalle antaa pienoismittakaavassa mielikuva fysiikan tutkimusmenetelmän logiikasta.

Töiden yksinkertaisuuteen ja selkeyteen on kiinnitetty huomiota, koska useimmille opiskelijoilla ei ole yliopistoon tullessaan kokemusta kokeellista työskentelystä. Erityisesti on pyritty siihen, että työn mittaustulokset saadaan kirjatuksi helposti ja nopeasti ja että työssä tarkasteltavat lait voidaan esittää välittömästi graafisessa muodossa, johon myös mahdollinen käsitteenmuodostus ja työn tulosten tarkastelu voivat nojautua. Toisaalta opiskelijalla pitää olla tilaisuus tarkempaan ja kehittyneempään työskentelyyn. Suunnittelussa on sen tähden pyritty siihen, että samoja töitä voisi suorittaa eri asteisina tekijän mielenkiinnosta ja valmiuksista riippuen.

Työt tehdään assistentin ohjaamissa pienryhmissä, ja tulokset käsitellään yhteisessä keskustelussa työvuoron lopuksi. Varsinaisia kirjallisia työselostuksia ei laadita.

4. Muutamia esimerkkejä

4.1. Perusmittauksia: Jousivoiman laki.

Työssä on kaksi osaa. Ensimmäisessä osassa tutkitaan jousen venymän riippuvuutta venyttävästä voimasta, $x = x(F)$. Todetaan (likimääräinen) verrannollisuus $x \sim F$, jonka perusteella suhde F/x on invariantti, venyttävästä voimasta (punnuksen painosta $F = mg$) riippumaton. Se voidaan siten ottaa käyttöön uutena, jouselle ominaisena suureena, joka on jousen jousivakio $k = F/x (= mg/x)$. Työssä mitataan jousen venymä neljällä eri punnuksella ja esitetään tulokset graafisesti (x, m) -koordinaatistossa. Todetaan, kuinka hyvin mittausarvot osuvat samalle origon kautta kulkevalle suoralle. Pisteisiin sopiva suora piirretään ja sen kulmakertoimesta määritetään jousivakio k . Virhesuorien avulla arvioidaan myös tuloksen tarkkuus.

Työn toisessa vaiheessa tutkitaan edellisen tarkastelun perusteella johdetun dynaamisen ennusteen paikkansapitävyyttä riippumattomalla mittauksella. Ensimmäisen osan tuloksena saatiin määritetyksi jousivoiman laki $F = -kx$, missä k on nyt tunnettu vakio. Newtonin mekaniikan perusteella päädytään jousen päähän kiinnitetyn kappaleen liikettä koskeviin ennusteisiin, joita voidaan testata kokeellisesti. Yksinkertaisin testattava suure on kappaleen pystysuoran värähtelyn jaksonaika. Sille saadaan yksinkertainen ennuste $T = 2\pi\sqrt{m/k}$, missä m on kappaleen massa.

Vertaamalla mitattuja jaksonaikoja ennusteeseen päädytään pohtimaan mahdollisten poikkeamien syitä. Ryhmässä voidaan pohtia, miten mallia voisi parantaa. Työtä voidaan jatkaa tutkimalla tätä kysymystä kokeellisesti käyttämällä erilaisia jousia ja punnuksia. Kurssin oppikirja tarjoaa luonnollisesti Newtonin mekaniikan pohjalta teoreettisen vastauksen, johon tulosta voidaan verrata.

Hyvin ohjattuna työ demonstroi kokeelliseen lakiin perustuvaa käsitteenmuodostusta. Siinä tulee esille lain likimääräinen luonne ja käsitteen käyttöalueen liittyminen lain pätevyysalueeseen. Se demonstroi myös lain määrittelemän mallin (harmoninen voima) ja mallin käytön ennusteiden perustana. Siinä ilmenee alkeismuodossa teoreettisen ja kokeellisen tutkimuksen suhde ja tutkimuk-

seen liittyvä täsmennysten ja yleistysten tarve. Edistyneempiä opiskelijoita varten työtä voidaan kehittää siten, että tutkitaan selvästi toisenlaista voiman lakia ja siitä seuraavia ennusteita.

4.2. Sähköstatiikka: Kondensaattorilaki

Työssä tutkitaan kondensaattorin varauksen riippuvuutta jännitteestä $Q = Q(U)$. Erityisesti osoitetaan (likimääräinen) verrannollisuus $Q \sim U$ (kondensaattorilaki), jonka mukaan suhde Q/U on invariantti, jännitteestä riippumaton. Näin nähdään kondensaattorin kapasitanssin $C = Q/U$ käyttöönoton kokeellinen perusta.

Kondensaattorin varaus mitataan työssä ballistisella galvanometrillä. Galvanometri voidaan kalibroida purkamalla tunnettuja varauksia sen läpi, jolloin siitä tulee suoraan varauksen mittari. Toistaiseksi testataan vain verrannollisuutta $Q \sim U$, joten kalibrointia ei tarvita.

Tässä työssä on useita vielä toteutumattomia kehitysperspektiivejä. Tarkoituksena on mm. rakentaa erikokoisia ja -muotoisia kondensaattoreita, jotka voidaan täyttää eri eristeaineilla. Tällöin voidaan tutkia kokeellisesti eristelakia, jonka mukaan tyhjiön ja täytetyn kondensaattorin kapasitanssien suhde on kondensaattorien geometriasta riippumaton. Näin saataisiin näkyviin suhteellisen permittiivisyyden kokeellinen perusta.

4.3. Aaltoliikeoppi: Taantumislaki

Työssä todennetaan taantumislaki, jonka mukaan monokromaattisen valon osuessa kahden aineen (A,B) rajapintaan tulokulman ja taitekulman sinit ovat verrannolliset $\sin\beta \sim \sin\alpha$. Tämän mukaan sinien suhde on siis invariantti, tulokulmasta riippumaton, ja se voidaan ottaa käyttöön uutena suureena, joka määrittelee pinnan taitesuhteen $\sin\alpha/\sin\beta = n_{AB}$.

Seuraavaksi todetaan kolmen eri aineen A,B,C rajapintojen taitekertoimille pätevä "liitännäislaki" $n_{AB}n_{BC} = n_{AC}$, jonka perusteella rajapintojen taitesuhteet voidaan tulkita ainekohtaisten vakioiden, taitekertoimien, suhteiksi. "Yksikköaine" voidaan periaatteessa valita mielivaltaisesti. Tyhjiö on kuitenkin kiistatta luonnollinen valinta. Tyhjiön O ja aineen A välisen rajapinnan tai-

tesuhde määrittelee siten aineen A taitekertoimen $n_{OA} = n_A$, jolloin $n_{BC} = n_C/n_B$.

Taitesuhteiden ja taitekertoimien määritysten lisäksi työssä tarkastellaan myös valon kulun käänteisyyttä ja kokonaisheijastusta sekä määritetään kokonaisheijastuksen rajakulmia.

Yhteisessä keskustelussa on tarkoitus kiinnittää huomiota erityisesti siihen, miten aaltomalli selittää havaitut kokeelliset lait ja tuottaa taitekertoimelle yksinkertaisen ennustelausekkeen valon nopeuksien suhteena. Toisaalta myös hiukkasmalli tarjoaa selityksen ja antaa oman ennustelausekkeensa taitekertoimelle. Tämän toteaminen avartaa käsityksiä ja tekee samalla selväksi, ettei vaihenopeuksien suhde kelpaa taitekertoimen määritelmäksi.

4.4. Gaussin kuvausyhtälö

Työssä tutkitaan kuvan muodostumista linssissä. Erityisesti todetaan kokeellisesti suureen $a^{-1} + b^{-1}$ (likimääräinen) invarianssi, riippumattomuus esineen paikasta optisella akselilla. Näin jälleen nähdään, miten suureiden määrittely perustuu invariansseihin. Tässä tapauksessa saadaan määritellyksi taittokyky $D = a^{-1} + b^{-1}$ ja polttoväli $f = 1/D$, jotka ovat linssille (ja väliaineelle) ominaisia suureita.

Työssä mitataan sekä esineen etäisyys linssistä (a) että kuvan etäisyys linssistä (b). Mittauspisteet esitetään graafisesti $(1/a, 1/b)$ -koordinaatistossa ja sovitaan pisteisiin suora. Graafisen esityksen perusteella tehdään päätelmiä Gaussin kuvausyhtälön pätevyydestä ja tarkkuudesta ja määritetään linssin polttoväli. Samalla tarkastellaan, miten kuvan laatu riippuu vastinpisteen paikasta kuvajalla.

Keskustelua voidaan jatkaa pohtimalla mittausalueen ulkopuolisten suoran osien fysikaalista merkitystä. Päädytään mahdollisiin uusiin ennusteisiin ja niiden testaamiseen.

5. Kokemuksia

Opiskelijoiden mielipiteitä uudistuksesta tiedusteltiin joulukuussa 1986 yksinkertaisella kyselykaavakkeella. Lähes kaikkien vastaajien mielestä uudistus oli parannus. Kysymykseen "Uuden järjestelmän hyvät puolet vanhaan verrattuna" vastattiin: pareittain oppii paremmin, paneudutaan pääasioihin, mahdollistaa monen eri työn tekemisen, ei tarvitse tehdä selostuksia (joiden tekemiseen koettiin kuluvan kohtuuttomasti aikaa suhteessa saatuun oppiin), saadaan innostumaan fysiikasta. Vastaajien mielestä myös töihintulokynnys madaltui, ei ole "työpelkoa".

Huononuksena pidettiin sitä, että töitä voi tehdä vain tietyn ajan lukukaudessa, työt tulevat pinnallisemmin käsitellyiksi, kirjalliset valmiudet eivät kehity ja että "porukassa voi lintsata".

Kritiikkiin oli osittain syynä opiskelijoiden tulva osastolle. Riittävää määrää työvuoroja oli vaikea järjestää. Vaikka ns. vanhoja opiskelijoita, jotka olivat kuunnelleet peruskurssien luennot aikaisemmin, osattiin odottaa, heidän määränsä yllätti: ensimmäisen lukuvuoden aikana noin sata vanhaa opiskelijaa/peruskurssi teki uudenmuotoiset työt.

Töiden kehittäminen on jatkunut. Osa töistä on korvattu paremmilla. Vajaisiin paketteihin on kehitelty uusia. Tarkoitus on pyrkiä monipuolisempaan valikoimaan. Yritetään löytää töitä, joita voidaan tehdä vaativuudeltaan eriasteisina. Tämä on tärkeää opiskelumotivaation säilymisen kannalta.

Aluksi mittauksiin ja laskuihin kuluva aika yliarvioitiin. Osoittautui, että pareittain mittaukset sujuvat huomattavasti joutuisammin kuin yksin. Toisaalta tähän on saattanut vaikuttaa se, etteivät ohjaavat assistentit vielä sisäistäneet töiden muuttunutta luonnetta. He pyrkivät ohjaamaan töitä samalla periaatteella kuin heitäkin oli aikanaan ohjattu ja opetettu. Tämä heijastui jossakin määrin välinpitämättömyytenä töiden ohjauksessa mutta myös tietämättömyytenä tavoitteista. Tila- ja laitepulan vuoksi kunkin paketin laitteisto joudutaan pystyttämään joka lukukaudeksi uudelleen. Toisena lukukautena ilmeni, että tietyn paketin kvalitatiiviset työt olivat unohtuneet, koska ne mainitaan vain monisteen sisällysluettelossa. Tämä osoitti, ettei perimätieto säily edes puolta vuotta. Parannusta näihin ongelmiin on saatavissa mm. ohjaajien koulutuksella ja seik-

kaperäisillä lisäohjeilla. Tarkat ohjeet ovat oleellisia jo senkin vuoksi, että assistentit vaihtuvat lähes lukukausittain.

Uudistuksen onnistuminen riippuu myös yhteistyöstä luennoitsijan kanssa. Tässä onkin esiintynyt ongelmia. Luentojen pitäisi seurata samaa aikataulua kuin töiden. Tällä hetkellä kaikilla peruskursseilla on luentomonisteet, joissa asiat etenevät töiden kanssa samassa järjestyksessä. Saattaa olla, että luennoitsija tulee olemaan uudistuksen kriittinen lenkki. Hänen tehtävänsä olisi motivoida opiskelijat töiden tekoon luennoimalla töihin liittyvä teoria ja valmistamalla sopivia harjoitustehtäviä. Hänen pitäisi myös sisäistää töiden didaktiset periaatteet ja tavoitteet. Kaikki tämä edellyttää, että luennoitsija ymmärtää opetuksen etuoikeudeksi eikä vain opetusvelvollisuudeksi.

Lähteet

- Andersson, S., Hämäläinen, A. & Kurki-Suonio, K. 1988. Demonstraatiot fyysisen käsitteenmuodostuksen tukena - esimerkkinä hidas massa. Teoksessa J. Laurén (toim.) Kokeellisempaan fysiikan ja kemian opetukseen. Jyväskylän yliopisto. Kasvatustieteiden tutkimuslaitoksen julkaisusarja B. Teoriaa ja käytäntöä 28, 43-56.
- Kurki-Suonio, K., Kervinen, M. & Korpela, R. 1982. Kvantti 1. Fysiikan laaja oppimäärä, Espoo: Weilin & Göös.
- Kurki-Suonio, K., Kervinen, M. & Korpela, R. 1985. Kvantti 3b. Fysiikan laaja oppimäärä, Espoo: Weilin & Göös.
- Kurki-Suonio, K., Kervinen, M. & Korpela, R. 1986. Kvantti-kirje 2. (rajoitettu jakelu). Espoo: Weilin & Göös.
- Kurki-Suonio, K., Kervinen, M. & Korpela, R. 1987. Kvantti-kirje 3. (rajoitettu jakelu). Espoo: Weilin & Göös.
- Kurki-Suonio, K. & Kurki-Suonio, R. 1987. Fysiikan perusteet. Luentomoniste (rajoitettu jakelu). Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos.
- Kurki-Suonio, K. & R. 1987b. Kokeellisen ja teoreettisen lähestymistavan tunto-merkit fysiikan opetuksessa. Teoksessa J. Laurén (toim.) Kokeellisempaan fysiikan ja kemian opetukseen. Jyväskylän yliopisto. Kasvatustieteiden tutkimuslaitoksen julkaisusarja B. Teoriaa ja käytäntöä 28, 29-42.