

Hahmottava empiria fysiikan opettajien koulutuksessa

Riitta ja Kaarle Kurki-Suonio

Fysiikan laitos

PL 9, 00014 Helsingin yliopisto

Teoksessa Jorma Enkenberg ja Kari Sormunen (toim.) Uudet menetelmät ja mahdollisuudet matemaattis-luonnontieteellisten aineiden oppimisessa. Matematiikan ja luonnontieteiden opetuksen tutkimuspäivät 22.-24.9.1994. Päivien esitykset. Joensuun yliopisto. Kasvatustieteiden tiedekunta. 1994, ss. 32-36.

Hahmottava empiria fysiikan opettajien koulutuksessa

Riitta ja Kaarle Kurki-Suonio

Fysiikan laitos

PL 9, 00014 Helsingin yliopisto

Tiivistelmä

Fysiikanopettajien laboratorioskursilla kokeiltiin lukuvuonna 1993-94 opetuksen empirian kokonaisvaltaisen suunnittelun harjoittelua. Lähtökohdaksi annettiin tietyt aihekokonaisuudet ja niiden opettavien käsitteiden alustava jäsentely. Tehtävänä oli suunnitella kutakin kokonaisuutta varten johdonmukaisesti etenevä empiriaan nojautuva opetus ja sen keskeiset kokeet. Suunnittelua rakenteistettiin erottamalla siinä hahmottavan käsitteenmuodostuksen prosessuaalisten vaiheiden mukaisesti (Kurki-Suonio, K. ja R., 1994)

- (1) *perushahmottava*, ilmiöalueen olioita, ilmiöitä ja ominaisuuksia *tunnistava ja luokitteleva empiria*,
- (2) *esikvantifioiva ja mallintava empiria*, joka liittyy ominaisuuksiin komparatiivisia hahmoja ja luo niiden kautta mielikuvia vaikutuksista ja syy-yhteyksistä sekä
- (3) *kvantifioiva ja strukturoiva empiria*, joka luo ominaisuuksista suureita, ilmiöistä lakeja ja mentaalimalleista kausaalisuhteita esittäviä peruslakeja.

Tämän ohella kussakin vaiheessa oli erotettava

- (a) primaarinen, *empiirisiä merkityksiä luova* ja
- (b) sekundaarinen, *ennusteita testaava empiria*.

Ennako-odotukset osoittautuivat, erityisesti sisällöllisten tavoitteiden osalta, ylimitoitetuiksi. Ongelmia aiheuttivat pääasiassa tehtävien avoimuus ja vaikeus irrottautua perinteisen teoreettisen lähestymistavan kahleista. Työraporttien ja palautteen perusteella voidaan kuitenkin arvioida, että kurssin prosessuaaliset tavoitteet toteutuivat kohtuullisesti.

Tavoitteet

Opettajien syventävä laboratorioskursi on yksi kolmesta pakollisesta fysiikan opettajan suuntautumisvaihtoehdon kurssista Helsingin yliopiston fysiikan laitoksessa. Lukuvuonna 1993-1994 kurssi pidettiin ensimmäisen kerran viiden opintoviikon mittaisena. Samalla siitä pyrittiin kehittämään prosessuaalisia tavoitteita korostava kurssi, joka kehittäisi osanottajien valmiutta opetuksen empirian kokonaisvaltaiseen suunnitteluun ja erityisesti hahmottavan lähestymistavan periaatteiden soveltamiseen opetustyössä riippumatta luokkasteesta.

Uudistus noudattaa tässä peruskoulun ja lukion uusien opetussuunnitelmien perusteiden (Anon, 1994a; 1994b) viitoittamaa linjaa, joka korostaa luonnontieteiden kokeellisuutta ja tiedon hankinnan prosessien kehittämistä sisällöllisiä tavoitteita tärkeämpinä. Tavoitteiden prosessuaalisuus yhdis-

tettyä kokeellisuuden vaatimukseen viittaa empiirisen käsitteenmuodostuksen perusprosesseihin, havaitsemiseen, havaintojen esittämiseen ja tulkitsemiseen, niiden käsitteistämiseen, päättelyyn, hypoteesien ja ennusteiden tekemiseen ja niiden testaamiseen, soveltamiseen jne. Koulun tulisi kehittää näitä niin, että oppilas oppii itsenäisesti hankkimaan, tuottamaan, arvioimaan ja käyttämään tietoa ja luomaan maailmankuvaa.

Sisällöllisiä tavoitteita voidaan kärjistetysti luonnehtia yksittäisinä tietoina ja taitoina. Laboratorioskursilla ne merkittävämmin, että opiskelijan tulisi oppia tuntemaan ja suorittamaan tietyt ennalta määrätty kokeelliset työt, mikä vastaa paljolti perinteisten laboratoriotöiden periaatetta. Sisällöllisiin tavoitteisiin keskittyvän kurssin hyödyllisyys opettajan koulutuksessa edellyttäisi, että kaikki suorittavat riittävän monta työtä, jotka kattavat mahdollisimman laajalti koulussa opetettavaksi tulevat alueet ja kokeelliset menetelmät.

Koulun tavoitteiden perusteella kokeellisuudessa on kuitenkin tärkeintä, että fysiikan opettaja oppii käyttämään sitä opetuksessaan tietoisesti ja suunnitelmallisesti empiirisen käsitteenmuodostuksen prosessien kehittämisen välineenä. Sitä varten hänen on opittava jäsentämään minkä tahansa opetettavaksi tulevan ilmiöalueen keskeiset perushahmot, käsitteet ja niiden väliset relaatiot ja lähestymään niitä hahmottamalla empiirisestä havaintomaailmasta käsin tavalla, joka kytkee yhteen empiiriseen käsitteenmuodostukseen kuuluvat osaprosessit.

Laboratorioskurssin ongelmana on sellaisten keinojen löytäminen, jotka käynnistäisivät opiskelijassa hänen omana aktiivisena prosessinaan pyrkimyksen kohti tällaista opetuksen empiiristä lähestymistapaa.

Prosessin vaiheet ja kokeellisuus

Hahmottavan lähestymistavan periaatteet (Kurki-Suonio, K. ja R., 1994) tarjoavat teoreettisen viitekehyksen merkityksiä luovan empirian suunnittelulle.

Prosessi alkaa *perushahmotuksesta*, jossa hahmottuvat mielikuvat ilmiöalueen olioista, ilmiöistä ja näiden ominaisuuksista. Tämä edellyttää kvalitatiivista luokittelevaa ja tunnistavaa empiriaa, havaintoja, jotka hahmottavat järjestystä luonnon ja rakennetun ympäristön "kaaoksessa". Tämän vaiheen on oltava kartoittavaa, monipuolista, riittävän yleistä ja

kattavaa.

Tämä on samalla prosessin ensimmäinen käsitteistämisen vaihe, fysiikan puhekielen synty. Siihen liittyy elimellisenä osana *esikvantifiointi*, komparatiivisten hahmojen, ominaisuuksien eriateisuuden, muuttumisen, suunnan jne. liittäminen havaintoihin. Tämä johtaa edelleen tarkasteltavien ilmiöiden mentaalisen kausaalimallin rakentumiseen, mielikuviin ominaisuuksien välisistä relaatioista ja syy-seuraussuhteista, ilmiöiden "mekanismeista". Tähän tarvitaan kvalitatiivisia kokeita riippuvuuksien tutkimiseksi.

Kvantifiointi, siirtyminen kvantitatiivisen tiedon tasolle on fysiikan opetuksen ratkaiseva, mutta vaikea, abstraktioporras. Tämä on opetuksessa myös perushahmotuksen ja esikvantifiointin tähtäyspiste. Niiden tehtävänä on luoda ne merkitykset, ominaisuudet, riippuvuudet ja mentaalimallit, joiden kvantitatiivisina esityksinä suureet, lait ja teoriat otetaan käyttöön "valmiiksi ymmärrettyinä". Kvalitatiivisen empirian avulla pyritään kiinnittämään huomio ilmiöiden ja olioiden sellaisiin ominaisuuksiin, joita esittämään suureita tarvitaan. Sen on voitava myös johtaa kvantifiointiin kokeen ideaan. Yleisestä ominaisuuden hahmottamisesta on päädyttävä pelkistys-rajaus-vaiheeseen, sellaisen erityistilanteen löytämiseen, jossa ominaisuus tulee mitattavaksi, joko vertaamalla sitä sen valittuun yksikköasteeseen tai sen asteesta riippuvien tunnettujen suureiden avulla. Oikeiden idealisointien etsintää ohjaa periaate, jonka mukaan suure syntyy invarianttina.

Kvantifiointiin koesarjan on demonstraationakin oltava kvantitatiivinen, koska sen on todennettava kokeellisesti laki, jota ilmiötä kuvaavat tunnetut suureet noudattavat tässä tilanteessa. Tässä hahmotusprosessin vaiheessa tulosten graafisella esityksellä on keskeinen tehtävä.

Yleistysprosessissa suureen käyttöaluetta laajennetaan kvantifiointiin kokeen perustilanteen ulkopuolelle tilanteisiin, joissa suure ei enää ole vakio, ja yleisempiin ilmiö- ja olioluokkiin niin että sen yleisempi käyttö tulee mahdolliseksi.

Prosessin kaikkiin vaiheisiin liittyy sekä merkityksiä hahmottavia että mielikuvia testaavia havaintoja ja kokeita. Demonstraatioita ja oppilastöitä suunniteltaessa on kunkin kokeen perustuttava sille suunniteltuun tarkoitukseen, jonka sille antaa sen sijoittaminen tähän kokonaisuuteen. On tiedettävä, miksi koe tehdään juuri tässä opetuksen kohdassa.

Suunniteltavia laborointikokonaisuuksia

Kuvan antamiseksi kurssin toimintaperiaatteista esitetään tässä kolmen ensimmäisen aihekokonaisuuden perusjäsentelyt siinä muodossa, jossa niiden toimeksianto annettiin kurssilaisille. Muista todetaan vain otsikko. Lisäksi kurssilaiset saivat lyhyen ohjeen demonstraatioiden suunnittelusta ja toteutuksesta sekä työn raportoinnista.

1. Dynamiikan peruskäsitteet

Perushahmotus:

A) Tunnistava ja luokitteleva empiria

Luotavia ja luokiteltavia perushahmoja: kappaleet, vuorovaikutukset, liike, liiketilän muutos.

Perusominaisuudet: kappaleen hitaus, vuorovaikutuksen voimakkuus, liiketilän muutoksen suuruus.

Erilaiset vuorovaikutukset (etäis-, kosketusvuorovaikutus, kitka, väliaineen vastus) ja erilaiset liiketilän muutokset (vektoriluonteen hahmottaminen; liikkeelle lähtö, kiihdytys, kääntyminen, pysähtyminen)

B) Mallintava empiria (vaikutukset, syy-yhteydet)

- liiketilän muutoksen riippuvuus kappaleesta (hitaus) ja vuorovaikutuksesta

- vain vuorovaikutus voi muuttaa liiketilää

- vuorovaikutus vaikuttaa molempiin osapuoliin

- vuorovaikutusten yhteisvaikutus (kumoutuminen)

Kvantifiointi:

- vapaan kappaleen idea - ei vuorovaikutuksia; tasainen liike, nopeuden käsite

- hitauksien vertaaminen I. massa

Strukturointi:

- syy-suhteiden kvantitatiivinen toteaminen; liikemäärän muutos liiketilän muutoksen mittana; impulssi = liikemäärän muutos vuorovaikutuksen voimakkuuden mittana

2. Voima ja sen mittaaminen

- siirtyminen yhden kappaleen mekaniikkaan (idealisointi: toinen kappale äärettömän suuri)

- tasaisen vuorovaikutuksen idea; tasaisesti kiihtyvä liike, kiihtyvyyys; heittoliike

- voima = ma = liikemäärän muutos/ajan muutos vuorovaikutuksen voimakkuuden mittana

- voiman mittaamisen idea: kiihtyvyyden mittaaminen, vertaaminen tunnettuun voimaan tasapainotilassa tai tasaisessa liikkeessä, toteutus erilaisille voimille.

- Voimien lait: painon, jousivoiman, kitkan, tukivoiman, väliaineen vastuksen lait

3. Voima kiihtyvyyden aiheuttajana - dynamiikan peruslaki

- kiihtyvyyden erilaisissa liikkeissä

- kiihtyvyyden vektoriluonne

- kiihtyvyydestä voimaan

- voimasta kiihtyvyyteen, liike-ennusteiden todentaminen

4. Pyörimisliikkeen kokonaisuus, 5. Pyörimismäärään liittyvä kokonaisuus, 6. Mekaniikan energiaperiaate, 7. Energia lämpöopin kautta, 8. Sädeoptiikka. Taituminen ja kuvanmuodostus, 9. Aaltoliike. Valon luonne, 10. Tasavirtapiirin kokonaisuus, 11. Vaihtovirtapiirin kokonaisuus, 12. Induktio, 13. Sähkövaraus ja -kenttä, 14. Magneettisten voimien ja kenttien tutkimus, 15. Radioaktii-

visuus, 16. Värähtelyt ja ääni.

Kurssin järjestely ja toteutus

Kurssilla oli neljätoista opiskelijaa. Laborointikokonaisuudet valmistettiin kahden tai kolmen hengen pienryhmissä. Heidän käytettävissään oli (valitettavan suppea) laboratoriovälineistö, neljä tietokonepohjaista mittaussjärjestelmää ja pieni peruskirjasto. Opastusta ja apua sekä ideoinnissa että toteutuksessa ryhmät saivat, kurssin ohjaajan ohella, kahdelta demonstraatiovälineisiin ja myös tietokoneavusteiseen opetukseen hyvin perehtyneeltä assistentilta.

Kokonaisuuden suunnittelu aloitettiin analysoimalla aihetta: millaisia ovat siihen liittyvät perushahmot, mitkä oliot, ilmiöt ja millaiset niiden ominaisuudet siihen kuuluvat ja mitkä ovat sen keskeiset opetettavat suureet ja lait. Sen jälkeen opiskelijat suunnittelivat aiheen opetuskokonaisuuden, siihen tarvittavan empirian, kerrottu empiria mukaan luettuna, ja toteuttivat tärkeimpinä pitämänsä aiheen kattavat kvalitatiiviset ja kvantitatiiviset demonstraatiot.

Syyslukukaudella kaikki ryhmät toteuttivat kolme ensimmäistä laborointikokonaisuutta. Näiden valmistelua pidettiin tärkeänä kaikille niiden keskeisen sisällön vuoksi. Kevätlukukaudella ryhmät valmistelivat valitsemansa neljä muuta kokonaisuutta.

Kustakin kokonaisuudesta laadittiin kirjallinen raportti, keskimäärin 7-10 sivua. Lisäksi ryhmät esittelivät koko kurssille, kukin vuorollaan kevätlukukauden alussa sovitun aikataulun mukaisesti, joitakin suunnittelemaansa kokonaisuuksia tehden ainakin tärkeimmät niihin kuuluvat kokeet. Kuhunkin esittelyyn oli aikaa kaksi tuntia. Esityksistä keskusteltiin, pohdittiin esitettyjen demonstraatioiden merkitystä ja arvioitiin, miten hyvin ne toteuttivat tarkoitetun idean. Kaikkiaan esiteltiin 12 mahdollisista 16 kokonaisuudesta.

Kokeellisen työskentelyn kiinteyttämiseksi kokeiltiin kevätlukukaudella myös kaikille yhteisen tehtävän liittämistä esiteltävään olevaan kokonaisuuteen. Tehtävien ytimen piti olla niiden prosessuaalisessa ideassa, niiden vaatiman laitteiston piti olla yksinkertainen ja tarvittavien mittausten suoraviivaisia ja nopeita.

Tasavirtapiirien kokonaisuuden esittelyn yhteydessä annettiin tehtävä:

Määritä kahden erilaisen hehkulampan (tai polttimon) ominaiskäyrät $I = I(U)$ välillä $U = 0 \dots U_{\max}$, missä U_{\max} on lamppujen ilmoitettu käyttöjännitteen yläraja.

Ennusta niiden perusteella sähkövirta ja jännitehäviöt lampuissa piirissä, jossa lamput ovat sarjassa ja jonka napajännite on U_{\max} .

Testaa ennuste kokeillisesti.

Sädeoptikkaan liitettiin tehtävä:

Tutki suoraan mittaamalla kuperan linssin muodostaman kuvan etäisyyden riippuvuutta esineen etäisyydestä.

Esitä tulokset graafisesti (1/a,1/b)-akselistossa. *Lue* kuvaajalta linssin polttoväli.

Miten tulokset kuvaajan ekstrapolaation toiseen ja neljanteen kvadranttiin?

Laadi tulkintojen perusteella näitä ekstrapolaatioita vastaavat kuvan ja esineen paikkoja koskevat *ennusteet* ja *testaa* ennusteet.

Tämä kokeilu rajoittui näihin kahteen tehtävään pääasiassa ajankäyttöongelmien vuoksi.

Ongelmia

Opetuksen kokonaisvaltaisen empirian suunnittelu osoittautui vaikeaksi. Kohdattuja ongelmia selittää pitkälti kaksi päätekijää:

1. Tottumattomuus avoimiin, itsenäisyyttä ja omia ratkaisuja vaativiin tehtäviin ja
2. Sidonnaisuus perinteiseen teoreettiseen lähestymistapaan.

Lähtökohdaksi annetut kirjallisesti esitetyt jäsentelyt jättivät ilmeisesti toimeksiannon liian avoimeksi, jotta se olisi tukenut suunnittelua riittävästi. Erityisesti pelkkä luettelo laeista, joita tulisi demonstroida, ei ollut riittävä. Tarvitaan yksityiskohtaisempaa ohjetta sellaisten koetilanteiden etsimiseksi, joissa niitä pääsee tutkimaan. Alkuvaikeuksista olisi voitu selvittää nopeammin, jos kokonaisuuksista olisi ensin keskusteltu yhteisesti tai ryhmien kanssa erikseen.

Avoimuutta pyrittiin pakenemaan itse asetettuihin rajoituksiin esimerkiksi pitäytymällä tiettyyn luokkaan asteeseen, nykyisten oppimäärien tai tietyn oppikirjan sisältöihin. Tässä voidaan nähdä myös opetusharjoittelun käytäntöjen ja lähdemateriaalina käytettyjen kirjojen vaikutusta. Myös koulujen puutteelliseen välineistöön vedottiin helposti. Erityisesti tietokoneavusteisten demojen suunnittelua väistettiin tällä perusteella.

Ohjeiden mukainen tiukka pitäytyminen empiiriseen lähestymistapaan tuotti varsinkin aluksi suuria vaikeuksia. Suunnittelun periaate kääntyi helposti niin, että lähtökohdaksi valittiin prosessuaalisten vaiheiden ja aiheen asemesta joitakin tunnettuja aiheeseen liittyviä kokeita. Tämä johti usein vaikeuksiin demonstraation idean löytämisessä. Varsinkin alussa raportit esittelivät hyviä demoja, joiden opetustarkoitusta ei ollut kirjattu selvästi.

Teoreettisen perinteen rasitteisiin voidaan tulkita yleinen kvalitatiivisten kokeiden pysäyttäminen ilmiön todentamiseen jatkamatta hahmotusprosessissa välttämättömään esikvantifioivaan riippuvuuksien todentamiseen. Riippuvuuksien todentaminen nähtiin tarpeelliseksi pääasiassa vain kvantitatiivisissa, ennusteita testaavissa kokeissa, jotka dominoivat teoreettisen lähestymistavan empiriaa. Tottumus testaaviin kokeisiin, ja tottumattomuus empiirisiä merkityksiä hahmottaviin kokeisiin, ilmeni myös rajoittumisena ehkä vain

yhteen mittaukseen.

Silloinkin, kun tutkittiin aidosti riippuvuuksia, käytettiin helposti numeerista taulukkolaskentaa graafisen esityksen asemesta, nojautuen tulokseen, joka kokeessa vasta oli tarkoitus saada näkyviin. Näin jäivät etsimättä ne yksinkertaiset tilanteet, joiden kautta empiirisiä lakeja olisi voitu lähestyä. Graafisen esityksen käyttöön ja mahdollisuuksiin oli kiinnitettävä ohjauksessa huomiota paljon ennakoitua enemmän.

Osanottajilla ei ollut etukäteen paljon valmiutta kokeiden itsenäiseen suunnitteluun eikä itsenäisen työn raportointiin. Tästä johtuvat etenemisen hitaus ja raporttien vaatimat pitkät ajat voidaan lukea avoimuuden aiheuttamiin vaikeuksiin. Edeltävien fysiikan opintojen laboratoriotyöt ja työselostukset ovat ilmeisesti niin sisältöpainotteisia, suljettuja ja rakenteeltaan ennalta määrättyjä, etteivät ne valmenna näin avoimiin tehtäviin. Toisaalta ne eivät myöskään kehitä assistenttien valmiutta ohjata avoimia tehtäviä.

Tavoitteiden toteutuminen ja kurssin suoritus

Tarkasteltujen ongelmien vuoksi kurssin alussa asetetut odotukset ja tavoitteet osoittautuivat ylivoimaisiksi erityisesti sisältöjen suhteen. Osasyynä tähän varmasti oli myös kurssin suunnittelijoiden tottumus sisällölliseen tavoitteen-asetteluun. Kurssin tärkeimmät, prosessuaaliset tavoitteet ilmeisesti kuitenkin toteutuivat kohtalaisesti.

Kurssin kuluessa opiskelijoiden taidot ja valmiudet suunnitella aihekokonaisuuksia empiriasta käsin paranivat selvästi. Hahmottavan lähestymistavan perusidean omaksumiseen koko lukuvuoden kestävä kurssi näyttää riittävän.

Palautteen mukaan opiskelijat pitivät hyvänä usean erilaisen fysiikan osa-alueen jäsentämistä. Kaikkien kokonaisuuksien valmistelun vaatimistakin ehdotettiin. Kurssin tarjoama mahdollisuus kerrata fysiikan tietoja ja luoda kokonaiskuvaa uudesta näkökulmasta koettiin tärkeäksi.

Ensimmäinen kokeilu rohkaisee jatkamaan. Se tarjosi myös runsaasti kokemusta seuraavien lukukausien varalle. Suunnittelutehtävien avoimuus on melkoinen haaste kurssin pitäjälle ja assistenteille. Siitä seuraa myös erityinen välineistön monipuolistamisen tarve. Toinen varsin konkreettinen vaatimus on seikkaperäisemmät aihekohtaiset ohjeet suunnittelun pohjaksi. Ensimmäisistä kokonaisuuksista valmistaikin jo kurssin aikana alustavat raportit, joissa kurssin niitä koskevat tulokset ja kokemukset esiteltiin ja jotka sopivat tähän tarkoitukseen. Ne jaettiin osanottajille osana lopputenttiin valmistavaa materiaalia.

Kurssin hyväksyttävään suoritukseen vaadittiin seitsemän kokonaisuuden valmistelu. Arvostelussa raporttien arvosanojen paino oli 4/5 ja kirjallisen lopputentin 1/5. Tästä painotuksesta sovittiin keskustelussa opiskelijoiden kanssa, ja se vastasi heidän mielestään hyvin tehtyä työmäärää.

Lähteet

Anon (1994a). *Peruskoulun opetussuunnitelman perusteet 1994*. Opetushallitus. Helsinki.

Anon (1994b). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 1994*. Opetushallitus. Helsinki.

Kurki-Suonio, K. ja Kurki-Suonio, R. (1994). *Fysiikan merkitykset ja rakenteet*. Limes ry. Helsinki.