

Kaarle Kurki-Suonio

KAAVATAUTI: OIREET JA HOITO. ESIMERKKI TIETEELLISEN AJATTELUN OPPIMISEN ONGELMISTA¹

Koulutuspoliittisessa keskustelussa on kuulunut runsaastikin ääniä, jotka moittivat kvantitatiivisia, "kovia" menetelmiä yleisesti. Ne halutaan korvata kvalitatiivisilla, "pehmeillä" menetelmillä. Fysiikan nykyinen vastatuuli koulupolitiikassa johtuneen osittain sen maineesta "kovana", kvantitatiivisena tieteenä.

Vastustus on kyllä inhimillisesti ymmärrettävää. Monet pitävät matematiikan loogista itsestäänselvyyttä vaikeana ja haluavat päästä oikotietä käsiksi tutkimukseen. Kvantitatiivinen menetelmä on myös armoton. Se paljastaa vaarat ennakkokäsitykset eikä jätä sijaa luuloille ja uskomuksille, rakkaillekaan.

On ilmeistä, etteivät kaikki ongelmat antaudu kvantitatiivisesti tutkittaviksi, mutta on yhtä selvää, että kvantitatiivinen tutkimus on korvaamatonta siellä missä sitä voidaan käyttää. Kvalitatiivisten vaihtoehtomenetelmien tieteellinen oikeutus voi perustua vain kvantitatiivisen ajattelun perusteelliseen hallintaan. Niiden käyttö voi olla perusteltua vain selvästi tiedettäessä, ettei kvantitatiivisin keinoin ongelmaan saada otetta, ja ymmärrettäessä, että kvalitatiivisuudesta seuraa monta kertaluokkaa suurempia epävarmuuksia ja tulokinnanvaraisuuksia

Fysiikan empiirisellä ja eksaktilla menetelmällä on nykyaikaisessa tieteessä selvä erityisasema. Se tarjoaa monessa suhteessa selvän, kvantitatiivisen ajattelun perusmallin, johon eri tieteenalojen menetelmiä on helppoa verrata. Näin voidaan kartoittaa täsmällisemmin eri tieteenalojen ajattelutapoja ja niiden mahdollisuuksia. Toisaalta fysiikan menetelmän menestys on ollut dramaattinen. Sillä saavutettu tietämys muodostaa laajuudeltaan, täsmällisyydeltään ja sovellettavuudeltaan vertaansa vailla olevan tietorakenteen. Niinpä on ymmärrettävää, että sitä on jopa kritiikittömästäkin pyritty lai-

¹ Jyväskylässä 3.-4.9.1984 järjestetyn II korkeakoulututkimuksen symposiumin artikkelit: "Tieteellisen koulutuksen nykykohtia." toim. Leena Lestinen. Kasvatustieteiden tutkimuslaitos. Selosteita ja tiedotteita 260/1985, 19-24.

naamaan muihin tieteisiin.

Empiirisuus merkitsee tiedon perustumista havaintoon. Eksaktisuus tarkoittaa tiedon esittämistä matemaattisessa muodossa. Fysikaalisen ajattelun perusta on tiedon matemaattisen esitystavan ja havaittavien ilmiöiden välisen vastaavuuden ymmärtäminen. Tämä opettamisessa kohdattavat ongelmat ovat paljolti yhteisiä kaikille tieteille, joissa käytetään kvantitatiivisia menetelmiä. Eräitä näiden ongelmien piirteitä olen nimittänyt kaavataudiksi. Sen erilaisia, opiskelun eri vaiheissa ja eri tilanteissa esiintyviä oireyhtymiä olen eritellyt lähemmin matemaattisten aineiden opettajille (Kurki-Suonio 1980, 147-153).

Fysiikan opetuksen keskeisiin tavoitteisiin kuuluu opettaa näkemään, löytämään ja esittämään luonnonilmiöiden lainallisuksia. Esittäminen merkitsee tässä tietojen pukemista idealisoitujen luonnonlakien matemaattiseen muotoon. Tietopilliselta merkitykseltään tällaiset lait ovat luonnonilmiöiden malleja. Tämä on yhteistä monille empiirisille tieteille.

Fysiikan ainutlaatuisena erityispiirteenä on tiedon monikerroksinen rakenteellisuus. Fysiikassa lait muodostavat hierarkkisen ketjun yhä yleisempiä lakeja. Koko tietorakennetta hallitsevat muutamat hyvin yleiset peruslait, joiden erilaisiksi ilmentymiksi yksityisiä ilmiöitä koskevat lait voidaan selittää. Tästä aiheutuu, että fysiikka todellakin näyttää vastaavan myös kysymykseen "miksi". Peruslait muodostavat luonnonilmiöiden "selittävän mallin", joka merkitsee olennaisesti syvällisempää tietoa kuin "kuvaavan mallin" tasolla olevat ilmiökohtaiset lait. Fysiikan opetuksen erityisenä tavoitteena on sen tähden luonnonilmiöiden ymmärtäminen perusluonnonlakien avulla.

Lait ja niiden väliset yhteydet voidaan ilmaista täsmällisesti vain matemaattista esitystä käyttäen. Matematiikka on fysiikan kieli. Sen tähden kaavat ovat fysiikassa välttämättömiä, ja myös kaavatauti esiintyy fysiikan opetuksessa kärjistyneenä. Kaavatauti ei tarkoita kaavojen käyttöä sellaisenaan, ei edes runsasta, niin kuin minua on usein vaarin ymmärretty. Kaavatauti on kaavojen käyttöä irrallaan niiden fysikaalisesta merkityksestä.

Kaavatauti on perusluonteeltaan samaa kuin mikä tahansa

määrittelemättömien käsitteiden käyttö. Yleensä tällainen kuihtuu omaan mahdottomuuteensa. Fysiikassa määrittelemättömistä käsitteistä kuitenkin muodostetaan yhtälöitä ja kaavoja, joilla voidaan laskea. Näin saadaan aikaan näennäisesti mielekästä askartelua omine sisäisine oikean ja väärän lakeineen, joiden harjoittelemisesta ja noudattamisesta voi saada tyydytystä. Fysiikan kanssa tällä puuhalla ei ole mitään tekemistä.

Kaavatautinen askartelu fysiikan opetuksen ja opiskelun korvikkeena on hämmästyttävän yleistä. Se on antanut monille vääristyneen kuvan fysiikasta oppiaineena. Kaavatauti on epäilemättä syynä myös korkeiden kouluviranomaisten harhakäsityksiin heidän pitäessään fysiikkaa "nippelitietona" sen sijaan, että he tuntisivat sen luonteen maailmankuvan ja kaikkien luonnontieteiden perustieteenä, täsmällisimpänä ja yleispätevimpänä tietona, mitä inhimillinen kulttuuri koskaan on luonut.

Kaavataudin perusoireita ovat käsitteiden määrittelemättömyys, toimenpiteiden perustelemattomuus ja tulosten älyttömyys. Esimerkkejä riittää.

Eräässä Helsingin yliopiston valintakokeiden tehtävässä kysyttiin kuulun lähtönopeutta kuulantyöntäjän kädestä, kun eräiden muiden perustietojen ohella tunnettiin lähtökulma (esim. 45°) ja heiton pituus (esim. 16 m). Vastaukseksi tarjottiin mm. nopeuksia 3 mm/s ja 1200 m/s, joka on noin kolminkertainen äänennopeus. Kaavatautia! Tällaisten tulosten antaminen on mahdollista vain, jos laskenta on irrotettu merkityksestään tietyn ilmiön esityksenä.

Kysyn usein tenteissä keskeisiä perusasioita aivan lyhyesti. Esimerkiksi sähköopin kokeessa toistuu usein kysymys: Mikä on Ohmin laki? Kerran toisensa jälkeen saan saman vastauksen, jonka voin jäljentää tähän täydellisenä: $U = RI$.

Pahimmanlaatuista kaavatautia! Luonnonlait eivät ole merkijonoja, eivätkä kirjaimet määrittele suureita. Kunnollisesta vastauksesta pitää selvittää, millaisia ilmiöitä, systeemejä ja mitä suureita laki koskee ja millä edellytyksellä se pätee. Olisi siis pitänyt todeta esimerkiksi, että tarkastellaan tasavirtapiirin komponenttia, erityisesti sen napojen välistä jännitettä U ja siinä kulkevaa virtaa I , että lain mukaan jännite on virtaan verrannollinen vakio-olosuhteissa (vakio-olosuhteissa).

tilassa) ja esimerkiksi, että kaikki metalliset vastukset noudattavat Ohmin lakia varsin hyvin niin kauan kuin virta ei ole liian suuri. Lisäksi tietysti sopii mainita, että laki antaa aiheen määrittellä vastuksen resistanssin $R = U/I$, joka lain pätiessä on vakio.

Pelkällä kaavalla vastaaminen saattaa olla jopa opetettu paha tapa. Sellaista "fysiikan" opetusta esiintyy, jossa tavoitteeksi ei aseteta luonnonlakien tuntemusta tai luonnonilmiöiden ymmärtämistä vaan yksinkertaisesti kaavojen oppiminen ulkoa. Opetetaan kaavoja, opitaan kaavoja, kysytään kaavoja, annetaan vastaukseksi kaavoja. Paljon käytetty sähkömiehen kolmio on tyyppiesimerkki opetusmenetelmästä, jolla tähdätään pelkästään ja yksinomaan kaavan oppimiseen.

Silloinkin kun opetus aidosti pyrkii fysikaalisiin tavoitteisiin, unohdetaan helposti, että kokeiden pitäisi testata tavoitteiden toteutumista, ja palkitaan tämän tarkoituksen vastaisesti perustelematon kaavojen muistaminen. Ymmärtämisen testaamiseksi ei ole välttämätöntä keksiä uudentyyppisiä tehtäviä, vaikka sekin on hyödyllistä. Perinteisiä laskutehtäviä voidaan aivan hyvin käyttää, mutta vaatimukseksi on asetettava fysikaalinen käsittely. Tarkastellaan yksinkertaista esimerkkiä:

Kivi pudotetaan 10 m:n korkeudelta. Millä nopeudella se osuu maahan?

Opettajalla on suuri kiusaus hyväksyä tyypillinen "oikea" vastaus: $mv^2/2 = mgh \Rightarrow v = \sqrt{2gh} = 14 \text{ m/s}$.

Tavoitteen mukaisesti arvosteltuna tämä on nollan arvoinen. Tosin siinä esiintyvä merkkijono on ilmiösultaan samanlainen kuin tehtävän käsittelyssä tarvittavien fysikaalisten lakien laskennallinen esitysmuoto. Mutta vastaus ei ilmaise mitään, mikä viittaisi tarkasteltavan tilanteen ja ilmiön ymmärtämiseen luonnonlakien perusteella. Eikä arvostelijan sovi ottaa huomioon omia kuvitelmiaan oppilaan mahdollisista ajatuksista.

Kaavataudin välttäminen opetuksessa vaatii melkoista huolellisuutta. On vältettävä kaikkea, mikä kiinnittää ensisijaisen huomion kaavoihin ja kirjaintunnuksiin. Pitäisi aina - käyttää ja vaatia käyttämään puheessa lakien ja suureiden nimiä kirjainten ja merkkien nimien asemasta

- määritellä ja vaatia määrittelemään kaikki suureet kunnolla
- perustella ja vaatia perustelemaan kaikki käytetyt kaavat fysikaalisesti
- välttää sisällyksetöntä sanaa "kaava", ja käyttää kaavan merkitykseen viittaavia sanoja kuten laki, määritelmä, lauseke, yhtälö, ...
- käyttää kirjaintunnuksia esimerkeissä vain jos niitä välttämättä tarvitaan.

Tarkasteltu tehtävä annetaan usein seuraavassa muodossa: Kivi pudotetaan korkeudelta $h = 10$ m. Millä nopeudella v se osuu maahan, kun painovoiman kiihtyvyys on $g = 10$ m/s²?

Tunnukset ovat tehtävän tilanteen kannalta täysin epäolennaisia. Mutta oppilaalle ne ovat signaaleja, jotka saavat hänet muistelemaan kaavoja sen sijaan, että hän ajattelisi tarkasteltavaa ilmiötä ja sen noudattamia lakeja. Tunnusten antaminen vetoaa kaavamuistiin ja edistää kaavatautia. Tämä tulee näkyviin, jos tunnuksia muutetaan. Jos kivi pudotetaan korkeudelta $h = 10$ m, mieleen tulee juuri esitetty kaava. Jos se pudotetaan korkeudelta $s = 10$ m, oppilas muistaa kaavat $s = gt^2/2$ ja $v = gt$. Niistä saadaan sama tulos, nytkin vailla mitään mikä viittaisi fysiikkaan.

Fysikaaliseen käsittelyyn kuuluu välttämättä niiden lakien tarkastelu, joita ongelmassa esiintyvä ilmiö noudattaa, Lakien pätevyysaluetta on myös verrattava tehtävän tilanteeseen. Tässä esimerkissä siis olisi lyhyesti tarkasteltava putoamisliikkeen lakeja, ensimmäisen esitetyn ratkaisun perusteluksi myöskin energiaperiaatetta. Yhtälöt tulee esittää näiden lakien esityksinä, jotka on sopeutettu tehtävän tilanteeseen. Lisäksi kaikki käytetyt tunnuksot on määriteltävä.

Kokemukset osoittavat, että tällaista fysikaalisesti perusteltua käsittelyä voidaan opettaa ja oppia. Ongelmana on, että saadessaan ensimmäiset fysiikan tehtävät oppilaalla on jomkoinen rutiini matematiikan laskutehtävien käsittelyyn.

Fysiikka edellyttää uutta asennoitumista, jota on harjoiteltava alusta lähtien. Muuten kaavatauti saa rauhassa itää ja kukoistaa; oppilaalle jää lopullisesti harhakuva, että fysiikka on vain kokoelma irrallisia kaavoja ja epätarkkaa matemaatiikkaa.

Jos hän myöhemmin saa vallan vaikuttaa esimerkiksi koulu-

jen lukusuunnitelmiin, hänen kaavatautinsa seuraukset voi joutua kantamaan kokonainen sukupolvi, jolta riistetään mahdollisuudetkin elinympäristönsä peruslakien tuntemiseen ja nykyi-kaiseen maailmankuvaan, - niin kuin Suomessa juuri nyt näyttää tapahtuvan.

LÄHDE

Kurki-Suonio, K. 1980. Kaavatauti - oireet, hoito ja ehkäisy.
Matemaattisten aineiden aikakauskirja 44 (3), 147-153.