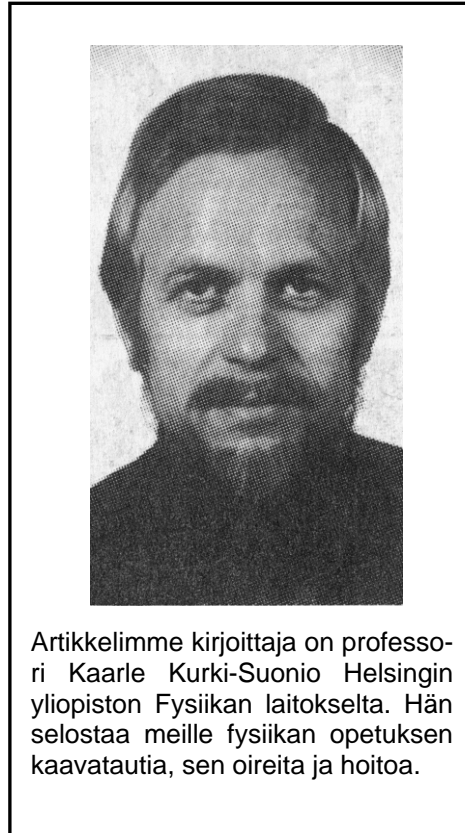


Kaavatauti fysiikan opetuksen ongelmana

Fysiikan nykyinen vastatuuli koulupolitiikassa johtunee osittain sen maineesta "kovana", kvantitatiivisena tieteenä. Toisaalta fysiikan menetelmän menestys on ollut dramaattinen. Sillä saavutettu tietämys muodostaa laajuudeltaan, täsmällisyydeltään ja sovellettavuudeltaan vertaansa vailla olevan tietorakenteen, joten on ymmärrettävää, että sitä on jopa kriittömästäikin pyritty lainaamaan muihin tieteisiin.

Fysikaalisen ajattelun perusta on tiedon matemaattisen esitystavan ja havaittavien ilmiöiden välisen vastaavuuden ymmärtäminen. Ongelmat, joita tämän opettamisessa kohdataan, ovat paljolti yhteisiä kaikille tieteille, joissa käytetään kvantitatiivisia menetelmiä. Eräitä näiden ongelmien piirteitä olen nimittänyt kaavataudiksi.

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



Monikerroksista tiedon rakennetta

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", 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. Matemaattikka on fysiikan kieli. Sen tähden kaavat ovat fysiikassa välttämättömiä, ja myös kaavatauti esiintyy fysiikan opetuksessa kärjistyneenä. Kaavatauti ei tarkoita kaavojen käyttöä sellaisenaan, vaan kaavojen käyttöä irrallaan niiden fysikaalisesta merkityksestä.

Vääristyneitä käsityksiä

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 mielekäästä 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 "nippelitaitona" sen sijaan, että he tuntisivat sen luonteen maailmankuvan ja kaikkien luonnontieteiden perustieteenä, täsmällisempänä ja yleispätevimpänä tietona, mitä inhimillinen kulttuuri koskaan on luonut.

Monenlaisia perusoireita

Eräässä Helsingin yliopiston valintakokeiden tehtävässä kysyttiin kuuluan 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. Kaavatauti! 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 kysy-

mys: Mikä on Ohmin laki? Ja kerran toisensa jälkeen saan saman vastauksen, jonka voin jäljentää tähän täydellisenä: $U = RI$.

Pahimmanlaatuista kaavatautia! Luonnonlait eivät ole merkkijonoja, 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 vakioolosuhteissa (vakio-ämpötilassa) 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.

Ymmärtämisen testausta

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 uudentyypisiä 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" kaavavastaus, joka päättyy tulokseen 14 m/s.

Tavoitteen mukaisesti arvosteltuna tämä on nollan arvoinen. Tosin siinä esiintyvä merkkijono on ilmiöiltään 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 kirjain tunnuksiin. Pitäisi aina

– käyttää ja vaatia käyttämään puheessa lakien ja suureiden nimiä kirjainten ja merkkien nimien asemesta.

– määrittellä ja vaatia määrittelemään kaikki suureet kunnolla

– perustella ja vaatia perustelevaan kaikki käytetyt kaavat fysikaalisesti

– välttää sisällyksetöntä sanaa "kaava", ja käyttää kaavan merkitykseen viittaavia sanoja kuten laki, määritelmä, lauseke, yhtälö ...

– käyttää kirjain tunnuksia esimerkeissä vain jos niitä välttämättä tarvitaan.

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

Uusi asenne välttämätön

Tunnukset ovat tehtävän tilanteen kannalta täysin epäolennaisia. Mutta oppilaalle ne ovat signaaleja, jotka saavat hänet muistelevaan 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 pudotetaankin korkeudelta $s = 10$ m, oppilas muistaa kaavat $s = gt^2/2$, $v = gt$, joista saadaan sama tulos, nytkin vailla mitään mikä viittaisi fysiikkaan.

Fysikaaliseen käsittelyyn kuuluu välttämättä niiden lakien tarkastelu, joita ongelmassa esiintyvä ilmiö noudattaa, ja lakien pätevyysaluetta on 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, ja kaikki käytetyt tunnuksot on määriteltävä.

Kokemukset osoittavat, että tällaista fysikaalista perusteltua käsittelyä voidaan opettaa ja oppia. Ongelmana on, että oppilaalla on jo melkoinen rutiini matematiikan laskutehtävien käsittelyyn, kun ensimmäiset fysiikan tehtävät tulevat vastaan.

Fysiikka edellyttää uutta asennoitumista, jota on harjoiteltava alusta lähtien. Muuten kaavatauti saa rauhassa itää ja kukoistaa; oppilaalle jää lopullisesti harhakuva, että fysiikka on vain kokeelma irrallisia kaavoja ja epätarkkaa matematiikkaa. Jos hän myöhemmin saa vallan vaikuttaa esim. koulujen luku-suunnitelmiin, hänen kaavatautinsa seuraukset voi joutua kantamaan kokonainen sukupolvi, jolta riistetään mahdollisuudetkin elinympäristönsä peruslakien tuntemiseen ja nykyaikaiseen maailmankuvaan – niin kuin Suomessa juuri nyt näyttää tapahtuvan.