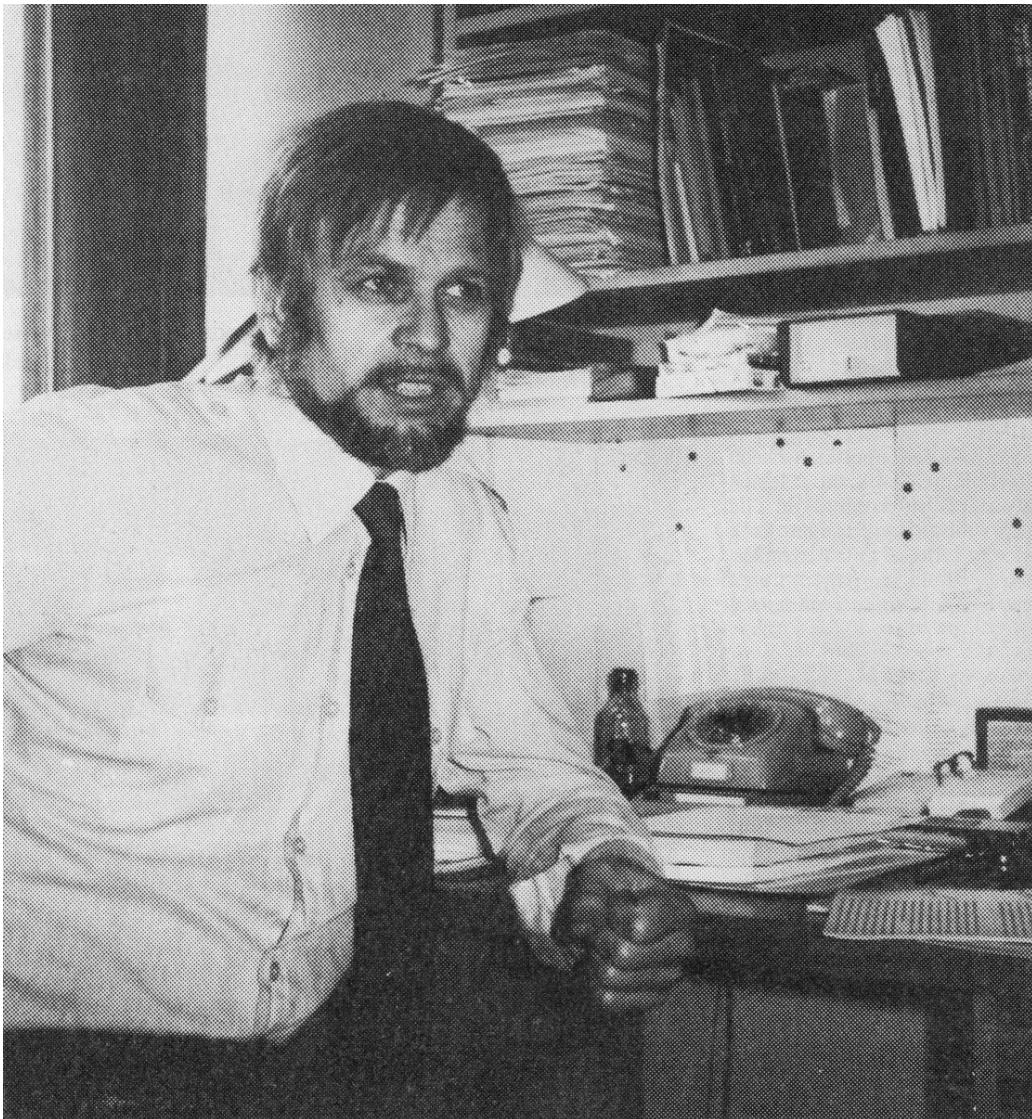


TEORIA, KÄYTÄNTÖ JA FYSIIKANOPETUS

– professori Kaarle Kurki-Suonion haastattelu

Erik Arnkil
Yrjö Engeström
Nauhatyö Toini Nikander



Professori Kaarle Kurki-Suonio työhuoneessaan.
Kuva Erik Arnkil

Tässä haastattelussa käsitellään fysiikan opetusta. Se on arvokas myös muille kuin fysiikan opettajille. Professori Kurki-Suonio käsittelee kysymyksiä teoriasta ja käytännöstä tavalla, joka on merkittävä kaikkien aineiden kannalta!

Eräässä tuoreessa tutkimuksessa¹ suomalaisten peruskoulun yläasteen ja lukion oppilaiden luonnonlakeja koskevista käsityksistä Kävi ilmi, että miltei kaikki oppilaat käsittävät luonnonlait pelkästään biologian/ ja elollisen luonnon / alaan kuuluviksi. Ani harvat oppilaat viittaavat vastauksissaan kemiallisiin tai fysikaalisiin lakeihin. Miten kommentoitte tätä tulosta?

Se on mielenkiintoinen tulos ja vahvistaa aikataavalla minun käsityksiäni meidän koululaitoksestamme. Meillähän ei yksinkertaisesti tiedetä, mitä fysiikka ja kemia ovat. Sen sijaan kaikki oppilaat kyllä tuntevat jo varsin varhaisessa vaiheessa biologisen luonnon.

Tämä on ehkä tekemisissä sen asian kanssa, minkä näemme joistakin peruskoulun ympäristöopin oppikirjoista. Niissä selitetään, että fysiikka käsittelee elottoman luonnon ilmiöitä ja biologia elollista luontoa. Tämä vanhentunut karsinointi luo piiloarvostuksia: biologia on tärkeää, fysiikka on kuollut tiede. Tällä tavalla tosiaankin luonnonlaeista jää se kuva, että ne ovat jonkinlaisia kvalitatiivisia yleisperiaatteita, sillä vasta fysiikassa tulevat kvantitatiiviset luonnonlait vastaan. Se on kyllä suuri vahinko, jos ajattelemme esimerkiksi luonnonsuojelua ja teknisen kulttuurimme huonojen vaikutusten eliminoimista. Biologien ääni kuuluu nykyisin selvästi näissä asioissa, mutta fysikaalista asiantuntemusta on mukana minimaalisen vähän. Sitä nimenomaan tarvittaisiin.

LUONNONTIETEELLINEN
MAAILMANKUVA

Mikä on luonnontieteellisen maailmankuvan merkitys ja mikä on fysiikan osuus siinä?

Fysiikka on tiede, joka käsittelee luonnon yleisiä peruslakeja. Sitä varten se on jo määritelmän mukaan kaikkien luonnontieteitten perustiede. Fysiikka on tuonut tieteeseen mittaamisen ja kvantitatiivisen lain ajatuksen. Fysiikasta tämä on levinnyt ensin kaikkiin luonnontieteisiin sitten myös muihin tieteisiin. Kvantitatiivisen mittauksen mahdollisuuksien tutkimus on aivan olennainen piirre nykyään kaikissa tieteissä. Se tietysti merkitsee, että matematiikankin merkitys on kasvanut aika tavalla. Mittaamiseen liittyy väkisinikin aina matematiikkaa. Se on välttämätöntä mittaustulosten analysoinnissa, esittämisessä sekä johtopäätösten ja ennusteiden tekemisessä niiden perusteella. Tältä pohjalta katsoen fysiikka ei ole ainoastaan perusluonnontiede vaan eräässä mielessä perustiede. Se on tuonut tilanteeseen erään hyvin olennaisen, suhteellisen selväpiirteisesti määritettävän metodisen mallin. Minusta tähän liittyy olennaisesti se, että kasvatuksessakin pitäisi ajatella enemmän sitä, **minkälaisia ajattelun ja käyttäytymisen malleja oppilaille tarjotaan** ja mitä eri oppiaineet tässä suhteessa merkitsevät. Minulla on ollut tapana sanoa hiukan kärjistetysti, että kasvatuksella on kolme henkisen kehityksen tavoitetasoa. Ensimmäinen on itsenäisen ajattelun ja luovuuden taso. Sitä meillä korostetaan nykyisin niin, että unohdetaan muut. On välttämätöntä, että oppilasta rohkaistaan oppimaan oman ajattelun ja luovuuden oikeutus. Tällä tavalla vapautetaan hänen henkiset voimavaransa toimintaan. Monet oppiaineet tarjoavat tähän hyviä mahdollisuuksia. Mutta jos kasvatus pysähtyy tälle tasolle, niin me saamme todella näitä estotomasti luovia yksilöitä, jotka eivät koskaan kuuntele muita, jotka eivät pysty suvaitsemaan ja vastaanottamaan toisten mielipiteitä, jotka näkevät vain oman

luovuutensa arvon. Sitä varten puhun toisesta tavoitetasosta, jolla oivalletaan että luovuudella ja ajattelulla on omat sisäiset lakinsa. Selvimmin tämä tulee vastaan matematiikassa: ajattelulla on omat sisäiset lakinsa., joiden mukaan ajattelu on oikein tai väärin. Tämä asia on matematiikan kasvatustavoitteena paljon arvokkaampi, kuin konsanaan mikään spesifisen soveltamisen taito, joka on luonteeltaan lähinnä tekninen tavoite. Luovuus vaatii kurinalaisuutta ollakseen hedelmällistä. Tämä on jo korkeampi henkisen kehityksen aste. Kolmas aste on vieläkin vaikeampi saavuttaa. Loogisen ajattelun lakien oppiminen on sittenkin yhä jotakin sellaista, joka pitää ihmisen kiinni itsessään. Se on ihmisen omaa ajattelua, ja ihminen voi ylpistyä siitä, että hän hallitsee logiikan lainalaisuudet. Hän pystyy operoimaan erilaisilla abstrakteilla käsitteillä ja tuntee sen perusteella pystyvänsä arvostelemaan muita. Kolmas taso on reaaliajattelun taso. On opittava, että luovuudella ja ajattelulla on korkeampi tuomari: ulkopuolinen todellisuus. Aliarvostettuun asemaan joutuneitten reaaliaineitten tehtävä on näyttää miten ulkopuolta todellisuutta voidaan jäsentää niin, että sieltä paljastuvat todellisuuden meidän luovuudellemme asettamat rajat. Luonnontieteiden opetuksessa ei ole keskeistä ja tärkeintä asiasisältö ja tekninen tieto vaan sen osoittaminen, etten minä kaikkine hienoine loogisine ajatuksineni välttämättä sittenkään ole aina oikeassa, vaan että on ulkopuolinen todellisuus, joka asettaa omat rajoituksensa olemassa olemiselle. Tässä näen reaalityieteitten ja erityisesti fysiikan merkityksen. Samalla tavalla kuin matematiikka on selvin logiikan lakien ja oikean ajattelun malli, fysiikka on kaikkein selvin konkreettinen malli sille millä tavalla todellisuus pakottaa ih-

misen muuttamaan käsityksiään. Tämän merkitys on nähdäkseni siinä, että se luo asenneperustan toisen ajatusten ymmärtämiseen, siis suvaitsevaisuuteen, ja luo eräänlaisen nöyrän asenteen. Näin ihminen voi oppia näkemään oman maailmankaikkeudessa, luonnossa ja ihmiskunnassa. Maailmankuva avartuu. Tärkeintä ei enää olekaan oma minä, oma hieno ajattelu ja oma loogisuus. On myös ympäristö, johon on sopeuduttava, ja vasta oikea, sopeutuva vuorovaikutus ympäristön kanssa antaa yksilöllekin merkityksen. Tässä minusta on luonnontieteellisen kasvatuksen syvällisin tarkoitus. Tietysti on tärkeää, että me opimme erilaisia tietoja. Tiedot ovat maailmankuvan rakennusaineita. Viisautta ei voi olla ilman tietoa. Yleisin ja yleispätevin tieto on tärkeintä. Fysiikka ylivoimaisesti rakenteellisimpana tiedon alana antaa kauniin esimerkin myös siitä, että tieto voi olla rakenteellista ja millä tavalla laajoja tiedon alueita voidaan hallita muutaman harvan, yksinkertaisen peruslain avulla.

TEOREETTISUUS OPETUKSESSA

Fysiikka ehkä yhtenä, matematiikka varmasti toisena ja monet muutkin aineet ovat tulilinjalla, kun puhutaan, että koulu on liian teoreettinen. Vaaditaan teoreettisuuden vähentämistä opetussuunnitelmassa ja sen sijaan pitäisi tehdä tilaa, väljyyttä ihmissuhteiden kasvattamiselle, tunteiden kasvattamiselle jne. KYSYMYSON: Mikä on mielestänne nykyisen Kouluopetuksen todellinen teoreettinen taso, jos ajatellaan yhteiskuntaelämän kehitystä ja sen asettamia vaatimuksia? Monesti kuulee varsinkin opettajamaailmassa mm. viitattavan Piagetin sillä tavalla kuin olisi olemassa jotkut täysin muuttumattomat

tasot, esim. abstraktiajattelun oppimisessa. Sitten on tutkijoita, jotka lähtevät siitä, että sekin on opetettavissa. Jos ei opeteta ollenkaan käsitteellistä ajattelua, saadaan sellainen tulos, että sitä ei opita. Hyvin mielenkiintoinen ongelma on, millä tavalla se on opetettavissa. Fysiikalla rakenteellisena, selväpiirteisenä tieteenä voisi olla melkoinen merkitys teoreettisen ajattelun, käsitteellisen ajattelun oppimisessa.

Ehdottomasti, olen myös ymmärtänyt, että kasvatustieteilijät ympäri maailmaa ovat tätä mieltä.

Yksi tärkeä asia on ero abstraktin ja teoreettisen välillä. Pitäisi tavallaan "takoa" kouluviranomaistenkin päähän, että ne ovat kaksi eri asiaa. Kielellisistä, sanallisista määritelmistä tai kaavoista lähtevä tieto ei välttämättä ole ainoa tapa esittää teoriaa. Mutta juuri se voi pahimmassa tapauksessa vieroittaa teorias-

Minusta nimenomaan teoriaa oikeassa mielessä tarvittaisiin enemmän, toisin sanoen keskittymistä siihen, mikä on yleistä ja yleispätevää periaatetta. On liian paljon detaljitietojen pänttäämistä, liian vähän kokonaisnäkömyksen opettamista. Mutta paljon polemisoidaan teoreettisuutta vastaan. Fysiikan osalta olen siihen puuttunut matemaattisten aineitten aikakauskirjassa keväällä 1980, kun kirjoitin "kaavataudista". Se on minun tulkintani siitä, mitä ihmiset teoriolla tarkoittavat. Teoria merkitsee heille tyhjää kaavojen pyöritystä, joka ei ole sen paremmin teoriaa kuin fysiikkaakaan, koska siitä puuttuu yhteys todellisuuteen. On kutakuinkin selvää, että sellainen abstraktiopetus ei onnistu. Sillä ei ole mitään mahdollisuuksia mennä

perille, koska oppilailla ei ole "vastaanotinta" sitä varten. Fysiikassa on varmasti myös liian varhaisessa vaiheessa pyritty siirtymään sellaiseen opetukseen, jossa abstraktit argumentit ja abstraktit päättelyt ovat käsitteilyn perustana. Tämä on väärää teoreettisuutta.

Kysymys ei siis ole siitä, että opetus olisi liian teoreettista tai että teoriaa olisi liian paljon, vaan siitä, että teoreettista tietoa lähestytään väärällä tavalla. Muuttuvassa yhteiskunnassa on mahdotonta lähteä siitä, että opetetaan tietoa ilman teoriaa. Näin jaetaan väkisinkin pelkkää detaljitietoa, joka on suurelta osin ainoastaan sen hetken pätevää. Yleiset periaatteet vanhenevat paljon hitaammin. Hieman huvittavastikin on usein viitattu siihen, että fysiikka kehittyi nykyaikana niin nopeasti, ettei sitä kannata opettaa koulussa, koska fysikaalinen tieto muka vanhenee pian. Asiahan on juuri päinvastoin. Fysiikka on reaali-tiedon alueista kutakuinkin ainoa, jossa saavutetun yhtenäisen tietorakenteen vanhenemista ei ole syytä pelätä. Se mikä vanhenee, on modernein, epävarmin tieto, jota ei ole vielä onnistuttu liittämään mihinkään vankkaan, laajaan tietorakenteeseen. Ei ole mitään syytä uskoa että klassisen mekaniikan, sähködynamiikan ja termodynamiikan tietorakenteet ikinä vanhenisivat. Ne ovat hyvin hallittuja valmiita teorioita, jotka ovat päteviä omilla tunnetuilla pätevyysalueillaan. Sen tähden niillä tulee olemaan aina oma arvonsa, ja niitä tullaan aina käyttämään.

Ehdottomasti olen myös ymmärtänyt, että kasvatustieteilijät ympäri maailmaa ovat tätä mieltä.

Kun olen kiertänyt puhumassa opettajille, olen toistanut iskulauseita: jos ette osaa opettaa jotakin lakia ilman kaavaa, niin on turhaa yrittää opettaa sitä kaavan kera. Annettua ongel-

matilannetta ei pidä lähteä käsittelemään miettimällä, mikä kaava tähän sopisi ja sitten ruveta laskemaan. On lähdeittävä tilanteen konkretisoimisesta. On ensin ajateltava, mistä ilmiöstä on kysymys. minkälaiset suureet tätä ilmiötä kuvaavat ja minkälaisia lainalaisuuksia ne mahdollisesti noudattavat. Vasta sen jälkeen lakien ja tilanteen täsmennyksenä tulee kaava. Kaavat ja laskeminen ovat välttämätön osa fysiikkaa. mutta ne ovat alistetussa asemassa. Ne ovat jo oivalletun ja ymmärretyn täsmenämistä eivätkä lähtökohta. Ne ovat myös välineitä täsmällisemmän ymmärtämisen saavuttamiseksi. eivät kohde, jota yritetään ymmärtää.

lasku tehtävien käsittelyyn. käsittelevät fysiikan tehtäviä niin kuin lasku tehtäviä. Sen jälkeen heille tietenkin on annettu nämä tehtävät korjattavaksi niin, että niiden käsittely olisi fysikaalista. Tällöin tulee eteen toinen vaihe. jossa oppilaat yhä lähtevät liikkeelle kaavasta. Siihen vain liitetään jäsentelyjä. Tämä ei ole vielä fysikaalinen vaihe. Siinä kaava on vielä primäärinen, ja fysiikka koetaan sen selittelyksi. Mutta kyllä opettamalla päästään kolmanteenkin vaiheeseen, jossa asioiden järjestys on oikea: ensin selvitetään mistä on kysymys. sitten vasta tulee kaava ja sen laskennallinen käsittely. Perinteinen fysiikan opetus on juurruttanut kaavatautisen lähestymis-

telun tarve. Vielä selvempänä tämä tulee vastaan arvostelussa ja mallivastausten esitystavassa, jossa tärkeimmälle fysikaaliselle perustelulle usein annetaan vähiten painoa tai unohdetaan se kokonaan: "Se on sitä selittelyä."

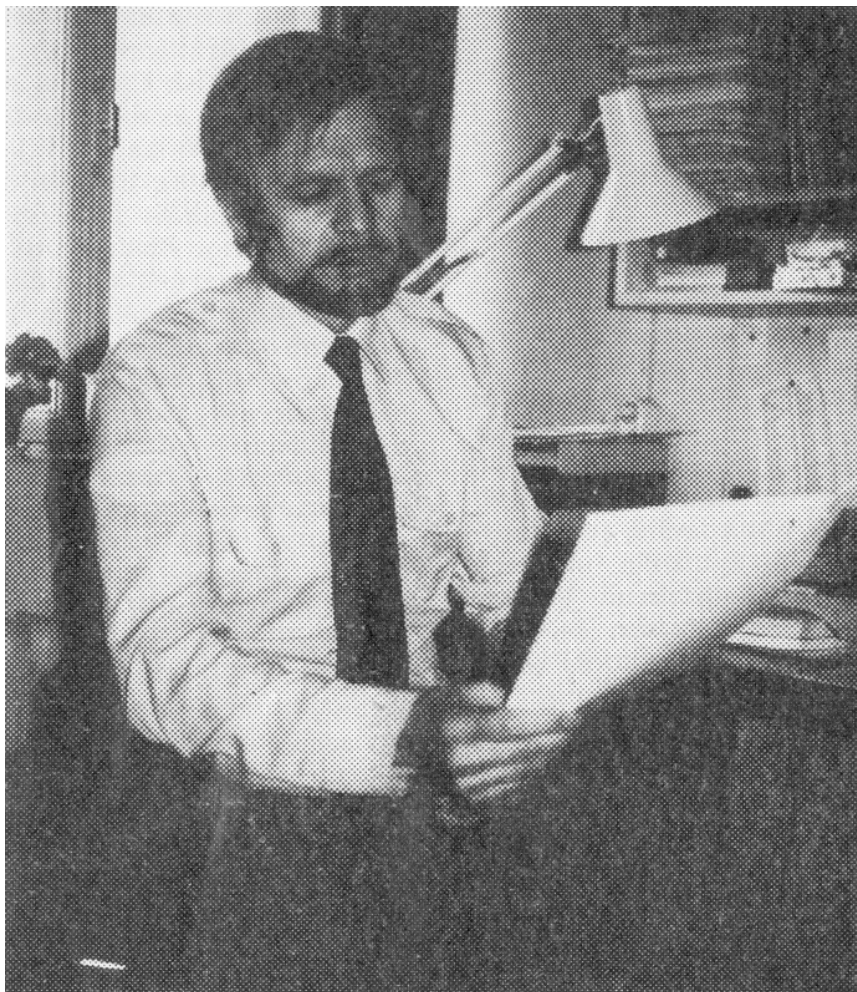
Oletteko onnistunut saamaan oppikirjan sisään tämän ajattelutavan?

Ainakin olen kovasti yrittänyt. Olen ollut tekemässä lukion fysiikan laajan oppimäärän kirjaa, jonka ensimmäisen luokan osa on juuri ilmestynyt. Sitä tehtäessä vasta on todella tullut näkyviin, miten syvälle perinteiseen fysiikan kielenkäyttöön ja lähestymistapoihin "kaavatautisuus" on juurtunut. Välillä on tuntunut sillä. että joka ainoan detaljin käsittely on mietittävä alusta lähtien uudelleen ...

TIETEEN HISTORIAN MERKITYS

Göteborgissa toimiva luonnontieteellisten käsitteiden oppimista selvittelevä tutkijaryhmä 4 on osoittanut, että ainakin Ruotsin peruskoulussa vain vähemmistö oppilaista näyttää omaksuvan ne luonnontieteiden (varsinkin fysiikan) PERUSkäsitteet, joille näiden aineiden ymmärtämisen pitäisi rakentua. Valtaosa oppilaista jää ajattelussaan esitieteellisen arki ajattelun sekä toisaalta ulkoa opittujen verbaalisten tietojen varaan, mutta ei kykene käyttämään opetettuja peruskäsitteitä ongelmien ratkaisemisessa.

Tutkijat ovat osoittaneet, että tämä epäonnistuminen näyttää johtuvan siitä, että teoreettiset peruskäsitteet näyttää johtuvan siitä, että teoreettiset peruskäsitteet esitetään suppeasti, kuin ohimennen, ja valmiina määritelminä. Niiden syntyä ja kehitystä ei tutkita eivätkä ne avaudu oppilaille.



Kun opettajat ovat yrittäneet opettaa tällaista lähestymistapaa. on ollut nähtävissä selvästi kolme vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa oppilaat, jotka ovat jo hamasta lapsuudestaan tottuneet

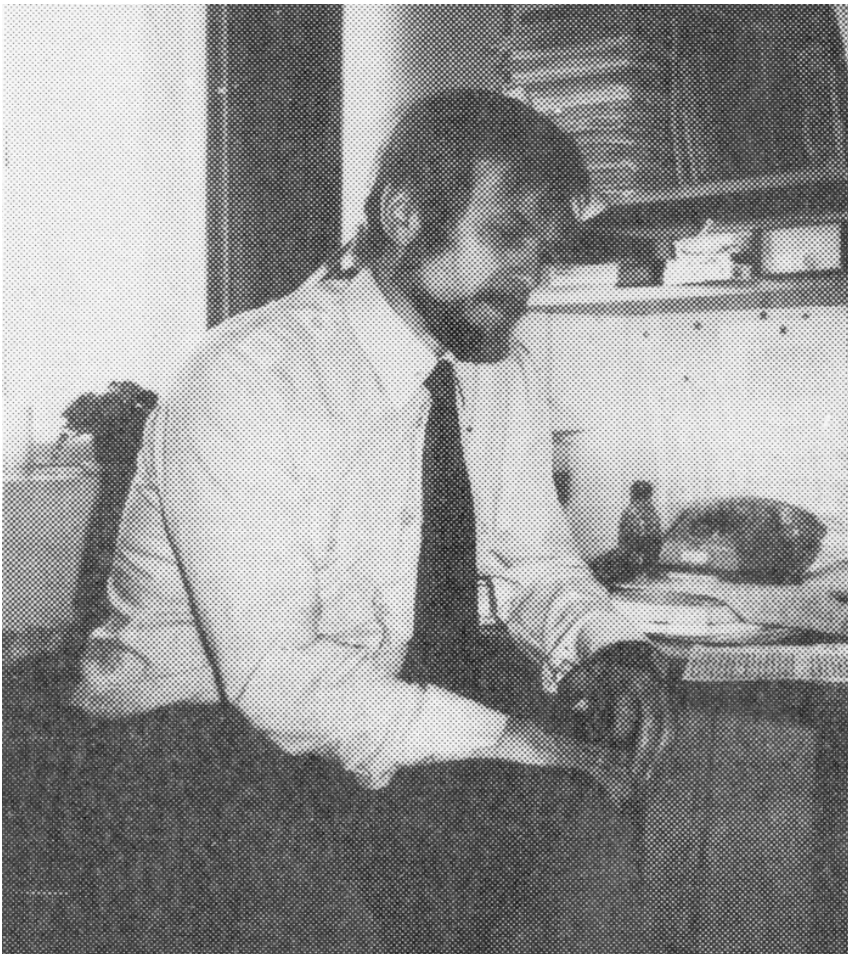
tavan myös opettajiin kaikilla opetuksen tasoilla. Tämä ilmenee tehtävien asettelussa. jossa usein eliminoidaan tarpeettoman tarkoilta täsmennyksillä jo etukäteen tilanteen fysikaalisen tarkas-

Tutkijat suosittavat tietehistoriallista otetta esim. fysiikan opetukseen: peruskäsitteet tulisi johtaa ongelmista ja jäljittää niiden synty ja kehitysvaiheet. Näin voitaisiin samalla kumota oppilaiden virheelliset arkikäsitteet ikään kuin tieteen historian kautta.

Mitä mieltä olette tällaisesta tieteen historian hyväksikäytöstä opetuksessa?

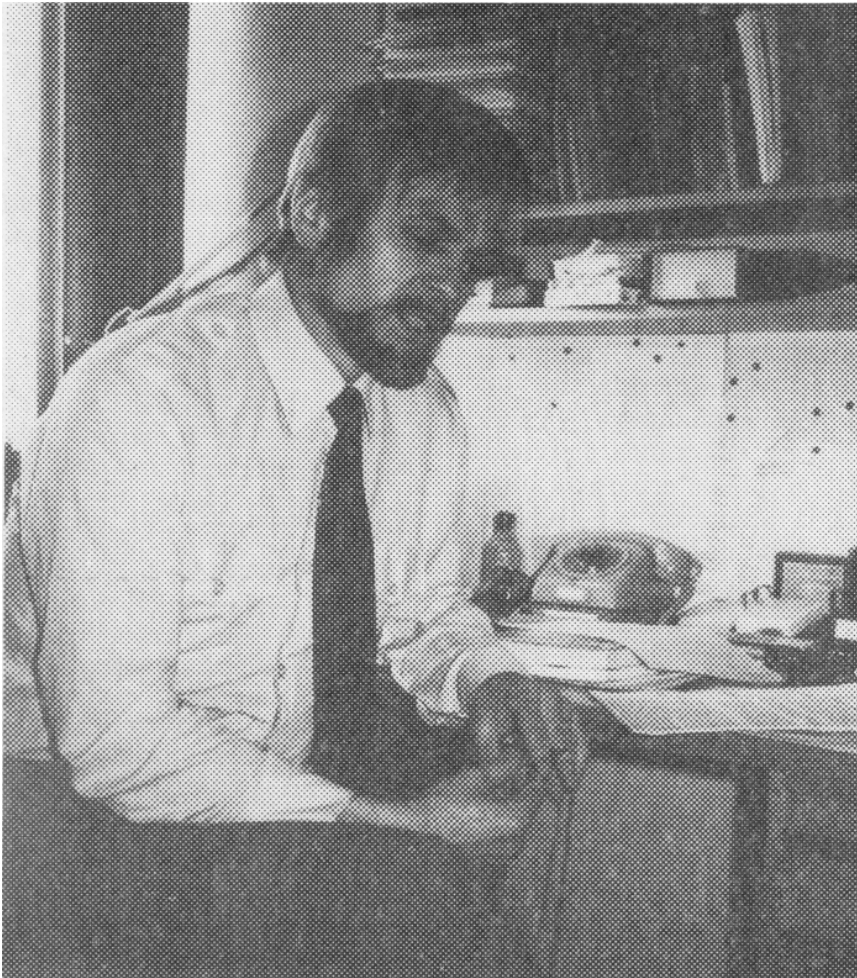
suoraa opeteta nykyaikaista käsitystä? Tällaisessa ajattelussa on perusvirhe. Näitten modernien teorioitten käsitteet ja koko niiden sisältö perustuu klassisen mekaniikan käsitteille. Ne on rakennettu klassisen mekaniikan käsitteitten päälle. Ilman klassista mekaniikkaa niillä ei ole mitään merkitystä. Tämä käsitteiden kerroksellinen, kehityshistorialle kasautuva luonne on äärimmäisen hankalaa fysiikan ope-

voiman kokeellista määrittelyä. Fysiikan kehittyessä voima saa kokonaan toisen, alistetun aseman teorian rakenteessa. Jokainen uusi kehitysvaihe asettaa uuteen valoon kaikki vanhat käsitteet mutta on toisaalta ymmärrettävissä vain näiden kautta. Sitä varten, jos haluamme opettaa fysiikkaa kunnolla, meidän on pakko lähteä Galileista ja Newtonista. Toisaalta jos aina tarkkaan jäljitetään käsitteitten synty- ja kehitysvaiheet, niin tullaan hirveän vaivalloiseen ja hitaaseen opetusmetodiin. On pakko tehdä kompromisseja. Meillä on perinteisesti kaksi lähestymistapaa, empiiris-induktiivinen ja aksiomaattis-deduktiivinen. Edellinen lähtee ilmiöstä. Ilmiötä tarkastellaan kokeelliselta kannalta yhä tarkemmin. Näin saatu tieto kasautuu teorian puolelle laajenevaksi tietorakenteeksi. Jälkimmäinen metodi lähtee yleisistä teoreettisista perusteista tai aksiomeista. Niistä johdetaan laskemalla uusia tuloksia. Näitä kyllä voidaan testata kokeellisesti mutta perusta ja lähtökohta on teoreettinen. Kumpikin menetelmä on omalla tavallaan yksipuolinen ja johtaa väärään käsitykseen fysikaalisen tiedon luonteesta. Sitten on tämä historiallis-geneettinen metodi, jossa käydään läpi käsitteen synty- ja kehitysvaiheet. Se on semmoinen menetelmä, jossa ikään kuin kelataan kokeellisen ja teoreettisen tiedon kiertoprosessia niin kauan että saadaan luoduksi käsitteet synthyistoriansa kautta. Kaikkeen sovellettuna se on liian hidaskäyttöinen menetelmä. On etsittävä parasta mahdollista kompromissia, metodien sopivaa vuorottelua ja yhdistämistä, jossa saadaan esille sekä tiedon empiirinen perusta että teoreettiset lait ja periaatteet ja selvitetään näitten välinen vastaavuusstruktuuri. Samalla on sopivin kohdin paneuduttava kehityshistorialliseen taustaan.



On kuin omasta suustani... Koko fysikaalinen käsitteistö on ymmärrettävissä vain sen kautta, miten se on kehittynyt. Mielestäni hyvin yleinen perusvirhe fysiikan opetuksessa ja fysiikan oppikirjoissa on, että yritetään opettaa suoraan nykyaikaista tieteellistä käsitystä ikään kuin se olisi sellaisenaan valmis irrallinen kokonaisuus. Minulta on kysytty esimerkiksi, miksi vielä opetetaan Newtonin mekaniikkaa koska kvanttimekaniikka ja suhteellisuusteoria ovat sen kumonneet aikapäiviä. Minkä tähden ei

tuksen kannalta. Esimerkiksi voiman käsite on ikuinen didaktinen ongelma. Ei ole mahdollista lähteä liikkeelle selvästä kertakaikkisesta ja tyhjentyvästä määritelmästä. Fysikaalisilla suureilla ei sellaisia yleensä ole. Voimankin käsittelyssä on välttämättä monta kehitysvaihetta. Aluksi koko Newtonin mekaniikka rakentuu sille. Teorian koko struktuuri palvelee voiman määrittelyä. Samalla se liittyy voiman hyvin monenlaisiin kokeellisiin tilanteisiin, jotka taas kaikki yhdessä edustavat



Klassisia esimerkkejä tästä on sellaisten mekaniikan ensimmäisten peruslakien opettaminen kuin jatkuvuuden lain, jonka mukaan kappale pyrkii jatkaamaan liiketilaansa tasaisesti ja suoraviivaisesti, jos ei siihen mikään ulkopuolinen tekijä vaikuta, tai putoamisliikettä koskevan lain, joka sanoo että kaikki kappaleet putoavat samalla kiihtyvyydellä. Jos opetus lähtee siitä, että todetaan tällaiset lait, niin itse asiassa ollaan jyrkässä ristiriidassa oppilaan oman kokemusmaailman kanssa. Eivät kappaleet liiku ikuisesti suoraviivaisesti, eivätkä kappaleet putoa samalla putoamiskiihtyvyydellä, senhän jokainen näkee. Jos sitten paneudutaan erityisesti Galilein aikaan, niin ei voi olla ihmettelemättä sitä, miten nerokkaita idealisointeja ja pelkistyyksiä on tarvittu ennen kuin on voitu päätyä näin tavat loman abstrakteihin tuloksiin. Ihan pähkinänkuoressa: sekä puhtaasti

deduktiivinen että puhtaasti empiirinen lähestymistapa aliarvioivat huikeasti tutkijan intuitiivista panosta, sitä neroutta joka on ollut tulosten takana.

Tieteellishistoriallisen lähestymistavan yksi merkitys on, että on opettaa kunnioittamaan ja arvostamaan tieteen edistysaskelten vaatimaa neroutta. Samalla se auttaa ymmärtämään, millä tavalla fysiikan metodi toimii ja millä tavalla uudet käsitteet kehittyvät. Tämä on myös olennaista, koska se antaa mielikuvan siitä, millä tavalla kehitys voi jatkua.

PERUSKÄSITTEISTÄ JA NIIDEN OPETTAMISESTA

Itävaltalainen fyysikko Roman Sexl on äskettäin kirjoittanut kriittisen artikkelin tavasta, jolla energian käsite opetetaan koulussa 5. Hän pitää tätä käsitettä tyypillisesti sellaisena teoreettisena perus-

käsitteenä, jonka ymmärtämiseksi on oppilaat pantava vaiheittain itse löytämään säilymisen laki ja merkitys.

Mitä itse sanoisitte fysiikan peruskäsitteistä – minkä tyyppisiä olisivat keskeiset avainkäsitteet ja miten niitä voitaisiin lähestyä opetuksessa?

Fysiikan kaikki käsitteet sisältävät hirveän monta eri komponenttia. Ensinnäkin ne ovat suureita, niiden pitää olla mitattavissa. Mutta ei ole mitään yhtä mittausta, joka määrittäisi tyhjentävästi jonkin käsitteen. Jo yksinkertainen ajan käsite riittää esimerkiksi. On ihan eri asia mitata jonkin urheilusuorituksen aika, kuin määrittää alkeishiukkaskasen elinaika, joka on esimerkiksi 10^{-20} s. Koko ajan käsite on ihan uudenlainen silloin, kun se on 10^{-20} s. Toisaalta kosmologisilla ajanjaksoilla on oma erityinen luonteensa. Niiden määrittämisellä on oma kokeellinen perustansa. Kokeelliselta kannalta kosmologisilla ajoilla ja alkeishiukkasten elinajoilla on tuskin mitään yhteistä. Kuitenkin niitä pidetään saman suureen ilmentymänä. ja niiden pituudet ilmaistaan samoissa yksiköissä. Paitsi, että suureen on oltava mitattavissa. se liittyy aina johonkin kokeelliseen lakiin, mahdollisesti useampiin kokeellisiin lakeihin. jotka yhdessä motivoivat suureen käyttöönnoton. Energia on tyypillinen suure. jonka käytön motivoi hyvin suuri joukko lakeja. jotka yhdessä voidaan tulkita energian säilymislaiksi. Lakien kautta suureet kytkeytyvät teorioihin, joiden struktuuriin lait kuuluvat. Käsitteet ovat edelleen teoriasidonnaisia sillä tavalla, millä on erilainen merkitys eri teorioissa. Esimerkiksi voiman käsite on Newtonin mekaniikan peruskäsite. Kaikki lähtee liikkeelle voiman käsitteestä. Myös energian käsite johdetaan voimasta. Mutta kun klassinen mekaniikka kehittyi edelleen, osat

vaihtuvat. Energiapohjaiset suureet tulevat peruskäsitteiksi. Voima jää sekundääriseksi ja selitetään energiapohjaisten käsitteitten avulla. Kvanttimekaniikassa voiman käsitettä ei oikeastaan ole enää ollenkaan. Ainoa tarve on löytää kvanttimekaniikan struktuurista vastineet klassisen mekaniikan laille, joissa voimaa tarvitaan. Kaikki tämä johtaa siihen, ettei fysiikan peruskäsitteillä ole tyhjentäviä määritelmiä. Fysikaalisten suureitten määritelmät ovat aina avoimia. Ne kehittyvät sitä mukaa kuin fysikaalinen tieto lisääntyy ja suureita käytetään uusissa yhteyksissä. Fysiikan opetuksen keskeisiä perusongelmia on, millä tavalla suureet pitää ottaa käytäntöön. Lähteepä opettaja liikkeelle mistä tahansa, aina hän voi tuntea olevansa epärehellinen. Silloin on hyvä palauttaa mieleen iskulause: Tiede lähtee aina keskeltä. Tämä koskee sekä tutkimusta että opetusta. Jotkin lähtökohdat on valittava. Lähtökohtien oikeutusta voidaan myöhemmin tutkia ja tunkeutua yhä syvemmälle tiedon perusteisiin, mutta pohjaa ei ole. Toisaalta tietoa voidaan käyttää ja edetä eteenpäin yhä vaikeampiin probleemeihin, mutta päätepidettä ei ole. Opetuksessa on varsin luontevaa lähteä liikkeelle tämmöisistä avaruuden peruskäsitteistä kuin pituus ja aika sekä massasta punnittavana massana. Tämä on näennäisen ongelmatonta. Myöhemmin voidaan paneutua siihen, mitä näitten käsitteitten takana on. Esimerkiksi sellainen perusasia kuin fysikaalisen suureen perustuminen lakiin, joka motivoi sen käyttöönoton, on hirveän vaikea kysymys vielä laudaturtasollakin oivaltaa tarkasteltaessa aikaa ja matkaa tai vaikkapa nopeutta. Semmoisista laeista ei juuri koskaan puhuta. Esimerkiksi aika mitattavana suureena lähtee liikkeelle siitä, että on olemassa jatkuvasti sa-

manlaisena toistuvia ilmiöitä. Tämä on kokeellinen laki. Nämä tulkitaan jaksollisiksi ilmiöiksi, joiden toisto on aina ajassa saman pituinen. Näin saadaan ajalle mittayksikkö. Mutta on huomattava, että tähän jo sisältyy syvällinen teoreettinen ajatus. Kun näitä ilmiöitä on paljon ja niitä verrataan toisiinsa, havaitaan kokeellinen laki, jonka mukaan kahden tällaisen ilmiön samalla aikavälillä tapahtuneitten toistojen lukumäärien suhde on vakio. Tämä antaa lisävahvistusta muodostetulle ajankäsitteelle, koska se on sopusoinnussa jaksollisuuden idean kanssa. Näin saadaan muodostetuksi eri pituisia ajan yksiköitä, joiden avulla aikaa voidaan mitata yhtäpitävästi. Sitten tulee pitkä ja vaikea kehitysprosessi, jossa käytetään hyväksi kaikennäköisiä fysiikan lakeja sitä mukaa kuin fysiikka edistyy, jotta voitaisiin muodostaa kriteerit sille, mitä ilmiöitä on pidettävä tarkimmin jaksollisina. Ensimmäisen perustan tarjosivat maan pyörimisliike ja kiertoliike auringon ympäri. Atomifysiikan ajalla kohdataan uusia jaksollisia ilmiöitä, joita voidaan perustellusti pitää vielä pysyvämpinä. Näin tulee mahdolliseksi valita uusi tarkempi perusta ajan mitaukselle.

Miten sitten toteutetaan teorian ja käytännön yhteys opetuksessa?

Teorian ja käytännön on olettava yhtä aikaa läsnä jokaisessa opetuksen vaiheessa ja jokaisessa käsiteltävässä detaljissa. Kokeellisen työskentelyn, demonstraation tai laboraation motivoi sen liitännä teoriaan. Teoreettisen tarkastelun koko merkitys perustuu siihen, millä tavalla se vastaa havaittavia ilmiöitä ja miten sitä voidaan soveltaa käytäntöön. On mahdollista esittää eräänlainen yleispätevä fysikaalisen aiheen jäsentelykaavio. Käsitteilyyn

kuuluu aina ilmiö tai joukko ilmiöitä, joukko mitattavia suureita, jotka luonnehtivat ilmiötä ja sen olosuhteita, yksi tai useampi kokeellinen laki, jota mitatut suureet noudattavat sekä malli tai teoria, joka kuvaa tai "selittää" kokeelliset lait, sekä teorian pätevyysalue. Käsitteilyyn saattaa liittyä lain motivoivan, ilmiötä kuvaavan uuden suureen käyttöönotto. Siihen kuuluu edelleen välttämättä lain, mallin ja teorian pätevyysalueen tarkastelu niiden antamien oikeiden ja väärin, tarkempien ja epätarkempien ennusteiden sekä näiden tarjoamien sovellusmahdollisuuksien valossa.

Kaikki nämä komponentit kuuluvat elimellisesti fysikaalisen aiheen opetukseen. Niiden järjestys ja painostus voi vaihdella, mutta jonkin unohtuminen jättää käsitteilyn vajaaksi. Opetuksen didaktiseksi probleemaksi jää kysymys, mistä kohtaa kiertoprosessia aletaan. Sinne voidaan käydä sisään kokeellisesta tai teoreettisesta päästä. Tämä riippuu käsiteltävän asian luonteesta ja käsitteilyn tavoitetasosta. Jotkut asiat ovat hyvin vaikeasti lähestyttävissä suoraan kokeellisesti. Monessa tapauksessa käsitteilyhistoria suorastaan edellyttää teoreettista lähtökohtaa. Esimerkiksi puhdas empiiris-induktiivinen lähestymistapa on mahdollon termodynamiikan toisen pääsäännön esittämisessä. Voidaan kyllä esittää lukemattomin esimerkein, että luonnossa tapahtuminen on tietyllä tavalla yksisuuntaista. Mutta siitä on suunnattoman pitkä matka kvantitatiivisen lain toteamiseen. On lähdettävä liikkeelle teoreettisesta päästä ja todettava, että tämä laki, joka voidaan tehdä ymmärrettäväksi aineen atomirakenteen perusteella selittää todetun ilmiöitten yksisuuntaisuuden. Lakia ei kuitenkaan saa koskaan erottaa ilmiöstä, johon se liittyy. Pyrin siihen, että ainakin motivointi lain formulointiin löytyisi aina

ensin luonnosta.

Mikä voisi olla visualisoinnin ja erityisesti mallien käytön merkitys kun ajatellaan, että meillä on raskas verbaalinen määrittelyn ja kaavojen mekaanisen käytön painolasti opetuksessa?

On uskomatonta miten erilainen ihmisten mielikuvitus voi olla ja miten eri asteinen on ihmisten kyky kuvitella mielessään tilanteita ja tapahtumia. Siksi pitäisi aina olla käsillä välineitä tai edes kuvia, jotka konkretisoivat tarkasteltavan tilanteen. Samalla on kuitenkin pyrittävä harjaantumaan ilmiöiden elävään kuvitteluun, sillä fysiikan lakien merkitys on niiden ennustavuudessa. Tämä merkitsee, että niiden merkitystä ja vaikutusta erilaisissa ilmiöissä ja tilanteissa on opittava arvioimaan ennalta, mikä aina edellyttää nojautumista mielikuviin.

Fysikaalisten tehtävien käsitelyssä on tästäkin syystä harjoiteltava oikeata ilmiöön sidottua fysikaalista käsittelyjärjestystä: Ensiksi on muodostettava selvä mielikuva tarkasteltavasta ilmiöstä ja olosuhteista. On ajateltava, miten ilmiö tapahtuu todellisuudessa ja miten tehtävän tilanne käytännössä toteutettaisiin. Tässä kyllä tehdään paljon syntiä. Esimerkiksi annetaan tehtäviä, jotka ovat täysin mahdottomia toteuttaa. Ne ovat mielettömiä tehtäviä, pelkkää manipulaatiota, jolla ei ole mitään fysikaalista merkitystä. Yksi asia tekisi vielä mieli sanoa loppuhuomautukseksi: Oikeaoppisuuden ja uuden oivalluksen välinen ristiriita on mukana kaikessa tieteessä. Normaalitiedettä on se, että kaikki uusi selitetään tunnetun rakenteen avulla. Mitä laajemmaksi tämä rakennelma tulee, sitä vaikeampi on tehdä vallankumouksellisia uudistuksia. Fysiikan tavattomasta rakenteellisuudesta seuraa, että fysii-

kan opettamiseen sisältyy erityisen suurena kangistumisen vaara. Annetaan tieteestä sellainen kuva kuin se olisi tällainen valmis rakennelma ja tutkimus merkitsisi vain kaiken uuden tiedän sijoittamista paikalleen vanhaan kehikkoon. Vaikka tunnetun tietorakenteen oppiminen ja hallinta on tärkeä tavoite, sen rinnalla ei ole koskaan lupa unohtaa, että tieteeseen kuuluu ennen kaikkea uusien teiden etsiminen.

VIITTEET

- 1 **Engeström Y**: 1981 The Laws of Nature and the Origin of Life in Pupil's Consciousness. A Study of Contradictory Modes of thought. Scandinavian Journal of Educational Research 25: 39-61
- 2 **Kaavatauti – oireet, hoito ja ehkäisy**. Matemaattisten aineiden aikakauskirja. No, 44/80: 147–153
- 3 **Kvantti 1**, Weilin & Göös 1982 Kaarle Kurki-Suonio, Martti Kervinen, Reino Korpela
- 4 Kyseessä on **Björn Anderssonin** johtama **EKNA**-projekti. Ks. esim. Andersson B & Kärrqvist C, 1981: Elevperspektiv på ljust och dess egenskaper, Göteborgs Universitet, EKNA-rapport nr 8,
- 5 **Sexl R**, 1981. Some Observations concerning the Teaching of the Energy-Concept. European Journal of Science Education 3:285–289.