

Kaarle ja Riitta Kurki-Suonio

Empiirinen käsitteenmuodostus fysiikassa¹

Pohjustavia ajatuksia

Empiirisen tieteen dualismi.

Empirian ja teorian suhde on reaalitieteiden perusongelma, dualismi, johon jokainen fysiikan tutkija ja opettaja joutuu ottamaan kantaa työssään joka päivä.

Empiria on tieteen kokeellisuutta, "suoria" *havainnot*, kvantitatiivisia *mittauksia*, kontrolloituja *kokeita* tai suunnitelmallisia *kokeellisia tutkimuksia*.

Käsitteet ovat *teorian* peruselementtejä. Ne voivat vastaavasti merkitä *mielikuvia*, jotka on kvalitatiivisin kriteerein täsmennetty olioita, ilmiöitä ja niiden ominaisuuksia luokitteleviksi *termeiksi*, kvantitatiivisia *suureita*, suureiden välisiä relaatioita eli *lakeja* tai yhteen kuuluvien peruslakien muodostamia struktuureja, varsinaisia *teorioita*.

Empirian näkökulmasta fysiikka on luonnonilmiöiden kokeellista tutkimusta, teorian puolelta katsottuna se on matemaattinen struktuuri. Nämä osapuolet ovat sillä tavalla erottamatomat, että toinen saa merkityksen vain toisen kautta, kumpikin yksinään on merkityksetön – tieteen koko edistyminen perustuu niiden vuorovaikutukseen.

Käsitys empirian ja teorian suhteesta on maailmankuvan filosofisia peruskysymyksiä. Se vaikuttaa ratkaisevasti sekä tutkijan että opettajan työhön – ja päinvastoin. Vastakkain on tällöin kaksi erilaista perusnäkemystä sen mukaan, ymmärretäänkö dualismi erottavaksi vai yhdistäväksi käsitteeksi.

Sama koskee ihmisen suhdetta kaikkiin suuriin dualismeihin, kuten tiedon ja uskon, tieteen ja uskonnon, rationaalisen ja irrationaalisen, hyvän ja pahan, oikeuden ja armon tai elämän ja kuoleman ongelmaan. Perinteisesti niihin suhtaudutaan erottavan dualismin hengessä, ikään kuin kahden toisensa poissulkevan vastakohdan väliseen taisteluun. Yhdistävä dualismi voi merkitä uutta, vastakkaista, mutta monessa suhteessa vapauttavaa näkökulmaa, joka voi johtaa ulos ankaran fundamentalistisen kaksijakoisuuden ahdistuksesta.

Rajatun, yksinkertaisen ja neutraalin esimerkin tarjoaa fysiikan hiukkasten ja aaltojen dualismi. Klassinen fysiikka näkee sen ehdottoman erottavana ja johtaa juuri sen tähden umpikujaan. Kvanttimekaniikka katsoo sitä uudesta, yhdistävän dualismin näkökulmasta, joka avaa tien uudelle ymmärtämisen tasolle.

Otan vapauden kutsua erottavaan dualismiin perustuvaa ajattelua *perinteiseksi*, yhdistävän dualismin mukaista *moderniksi*.

Erottava dualismi.

Myös empirian ja teorian suhdetta perinteinen ajattelu näyttää katsovan erottavan dualismin valossa. Kokeellinen ja teoreettinen fysiikka nähdään erillisiksi osa-alueiksi, jotka kehittyvät pitkälti toisistaan riippumatta. Ne myös halutaan pitää erossa. Toiset fyysikot harjoittavat kokeellista, toiset teoreettista tutkimusta – varokootkin astumasta toistensa reviiireille. "Empii-

¹ Artikkelin perustuu ajatuksiin, joita on käsitelty kirjoittajien pitämällä, fysiikan opettajien koulutukseen kuuluvalla kurssilla, sekä samoin otsikoituun luentoan, jonka ensimmäinen kirjoittaja piti 19.09.1991 Helsingin yliopiston suurenergiafysiikan laitoksen seminaarisarjassa "Johdatus luonnonfilosofiaan".

rikko" ei piittaa teoriasta. Hänen kunnia-asianaan on olla ymmärtämättä kvanttimekaniikan ja suhteellisuusteorian perusteita – eihän niitä "käytännössä" mihinkään tarvita. "Teoreetikko" taas ei likaa käsiään laboratoriossa. Hänen pätevyytään mittaa Pauli-ilmiö²: mitä kauempaa hänen läsnäolonsa pystyy turmelemaan empiirikon laitteiston, sitä pätevämpi hän on.

Erottava dualismi johtaa *kaksitasoajatteluun*, jonka mukaan fysiikan käsitteistä jakautuu havaintotermeihin ja teoreettisiin termeihin, kokeellisiin ja teoreettisiin käsitteisiin. Opetetaan, että on kahdenlaisia suureita. Tietyt suureet, ensi sijassa vain yksikköjärjestelmän perussuureet, ovat mittausten avulla määriteltyjä kokeellisia suureita. Muut ovat strukturaalisten relaatioidensa kautta määriteltyjä teoreettisia suureita, jotka voidaan ilmaista perussuureiden algebrallisina lausekkeina. Tämän esityksen otsikko näyttää tässä valossa yksipuoliselta: Mihin unohtui fysiikassa vallitseva "teoreettinen käsitteenmuodostus"?

Kokeellisen ja teoreettisen fysiikan välillä on heikko vuorovaikutus, keskustelusuhde, joka ei häiritse osapuolten identiteettiä. Havaintotermien ja teoreettisten termien välillä on jokin vastaavuus, kuvaus, joka tekee mahdolliseksi kokeiden teoreettisen tulkitsemisen ja kokeellisesti testattavien ennusteiden johtamisen teoriasta. Jos vastaavuus ei kokeiden mukaan toimi tulkinnan edellyttämällä tavalla, ts. kokeet eivät vahvista ennusteita, tehdään uusia, parempia ja tarkempia kokeita tai korjataan teoreettista struktuuria taikka tehdään peräti kuhnalainen vallankumous, vaihdetaan paradigmaa, rakennetaan uusi teoria ja kannetaan vanha kaatopaikalle. Kaikki olennaiset tiedettävät edistävät prosessit ovat kuitenkin osapuolten sisäisiä, joko kokeellisia tai teoreettisia prosesseja.

Fysiikkaa opitaan parhaiten teorian kautta, joka tiivistää kaikki ilmiöt kouralliseksi yksinkertaisiksi peruslakeiksi. Käsitteet otetaan käyttöön toteamalla niiden algebralliset relaatiot, teorit esitellään postuloimalla niiden peruslait. Ne voi oppia ymmärtämään vain jälkikäteen, kun ne "osoittautuvat hyödyllisiksi" laskennallisten probleemien käsittelyssä. Käsittelemällä riittävästi erilaisia esimerkkejä opitaan vähitellen näkemään, miten "peruslait toimivat", miten "kaikki ilmiöt seuraavat loogisesti peruslaeista". Opiskelijat naitetaan järkiavioliittoon fysiikan kanssa. Ei rakkautta ennen häitä tarvita, kyllä se siitä vähitellen syntyy, kunhan lähemmin tutustutaan!

Yhdistävä dualismi.

Vastakkaisen käsityksen mukaan fysiikan edistymistä on tarkasteltava yhdistävän dualismin pohjalta. Fysiikan empiria ja teoria ovat kuin janan päätepisteet tai "vektorin" pyrstö ja kärki. Pääasia on se, mikä niitä yhdistää. Olennaista eivät ole kokeellisen ja teoreettisen fysiikan sisällät vaan vuorovaikutus, joka kytkee ne yhteen. Fysiikka ei perustu erillisiin kokeellisiin ja teoreettisiin prosesseihin, vaan kaikki olennaiset prosessit ovat osapuolten välisiä.

Kaksitasoajattelussa, jossa empiria ja teoria pidetään erossa, pimitetään olennaisin. Empirian ja teorian vuorovaikutus on niin vahva, että se hävittää kummankin osapuolen identiteetin. *Fysiikassa ei ole mitään puhtaasti kokeellista eikä mitään puhtaasti teoreettista*. Ei ole puhtaasti kokeellisia kokeita eikä puhtaasti teoreettisia teorioita [12]. Ei ole kokeellisia ja teoreettisia termejä, vaan kaikki käsitteet, termit, suureet, lait ja teorit ovat perusolemukseltaan samanlaisia duaalisia empiiris-teoreettisia entiteettejä.

Kaikkien käsitteiden merkityksen luo prosessi, joka sulauttaa empirian ja teorian yhdeksi kokonaisuudeksi, niin että niiden empiiriset ja teoreettiset komponentit eivät enää ole erotettavissa. Se on kuitenkin *suunnattu prosessi*, joka alkaa havainnosta ja etenee kohti teoriaa. Teoria rakentuu havaintojen perustalle. Sen tähden kaikki käsitteenmuodostus on pohjimmiltaan "empiiristä". Esityksen otsikko paljastuukin implisiittiseksi kannanotoksi yhdistävän dualismin puolesta.

² Heidelbergin yliopiston laboratoriossa tapahtui kerran salaperäinen räjähdys. Kävi ilmi, että Wolfgang Paulia kuljettava juna oli juuri sillä hetkellä pysähtynyt Heidelbergin asemalle.

Kunkin käsitteen osalta erikseen tämä prosessi on *päättymätön*. Käsitteet ovat *avoimia*, koska niiden merkitykset ovat jatkuvan kehityksen alaisia. Tällaisia "käsitteitä", joilla on jatkuvalla empirialle rakentuva dynaamisesti kehittyvä teoreettinen merkitys, kutsun *hahmoiksi*.

Käsitettä ei voi erottaa merkityksestään eikä merkitystä sitä luovasta prosessista. Näin hahmo samastuu sen luoneeseen ja sitä jatkuvasti luovaan hahmotusprosessiin. Yhdistävän dualismin perusnäkemys merkitsee siis, että jokainen *fysikaalinen käsite on hahmo, Gestalt, prosessi, jossa empiria ja teoria yhdistyvät yhdeksi, jatkuvasti kehittyväksi merkitykseksi*.

Opetustyö on minut käännänyt pois erottavan dualismin pakanuudesta. Se on vakuuttanut minut siitä, että ymmärtäminen on ensin ja että se perustuu ilmiöiden empiiriseen hahmotamiseen. Teoria on vain jo ymmärretyn täsmennettyä esittämistä. Käsitteitä ei opita postuloimalla, ottamalla ne käyttöön valmiina tuotteina, joita poimitaan hyllyltä tarpeen mukaan ja heitetään pois, kun uusia muodikkaampia tulee markkinoille. Ne voidaan ymmärtää vain sen synty- ja kehitysprosessin kautta, joka luo niille merkityksen. Tämä prosessi on fysiikan empiirisen käsitteenmuodostuksen perusta. Sen tunteminen on tärkeää samalla tavalla opetuksen kuin tutkimuksenkin kannalta.

Tieteen ja oppimisen ykseys.

Oppimisen rinnastaminen tieteeseen fysiikan käsitteenmuodostusta tarkasteltaessa on hyvin perusteltua sen tähden, että tutkimus ja oppiminen ovat perusolemuksestaan sama *tiedon luomisen prosessi*. *Tutkimus* on tiedon yleistä luomista. Se luo uutta tietoa liitettäväksi inhimillisen sivistyksen yhteiseen pääomaan. *Oppiminen* on tiedon henkilökohtaista luomista. Yleisesti tunnetun tiedonkin voi omaksua vain luomalla sen itselleen.

Oppimisen prosessi alkaa ihmisen syntymästä. Prosessit, joiden avulla lapsi alkaa aistiensa välityksellä hahmottaa ympäristöä, ovat sen alkioita. Jo niissä voidaan nähdä idullaan kokeellis-teoreettisen luonnontieteellisen tutkimuksen peruselementit. Ärsykkeiden vastaanottaminen, aistimusten ja niihin perustuvien mielikuvien rakentuminen sekä käyttäytymisen sopeuttaminen näin rakentuvaan kuvaan ympäristöstä ovat kokeellisen, teoreettisen ja soveltavan tutkimuksen ituja.

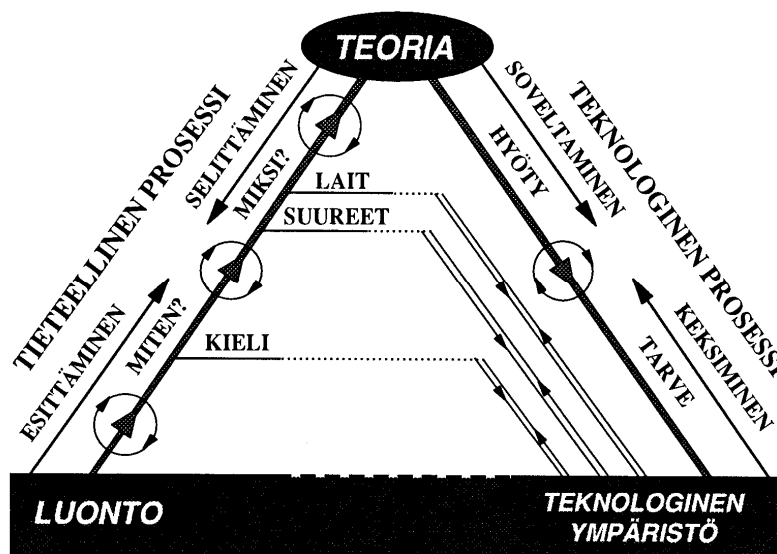
Siirtyminen aistihahmotuksesta selvästi jäsenyvään tietoiseen oppimiseen tapahtuu portaattomasti. Havaitsemisesta kasvaa oppiminen, oppimisesta opiskelu, opiskelusta tutkimus, tutkimuksesta tiede. Samalla heräävä tietoisuus kasvaa ajatteluksi, joka kehittyy prosessin laajetessa luonnollisesta ajattelusta kohti tieteellistä päättelyä. Mutta jo luonnollisessa ajattelussa voidaan tunnistaa tieteellisen ajattelun peruselementit. Tieteellinen päättely on vain täsmennettyä luonnollista ajattelua, kuten Einstein on sanonut.

Tiede on suoraa jatkoa ympäristön hahmottamisen prosessille, joka käynnistyy lapsen mielessä hänen syntyessään ja aistien alkaessa toimia. Tämä on havainnon ja ymmärryksen välinen ihmismielen prosessi, joka laajenee hierarkkisesti aistihahmotuksen alkeisprosessista kokeellisen, teoreettisen ja soveltavan tutkimuksen vuorovaikutukseksi.

Neljän prosessin malli.

Tiedon luomisen prosessin käynnistää ja sitä ylläpitää kaksi perusmotiivia *ymmärtäminen ja hyöty*. Kysymykset "miksi" ja "mitä hyötyä" jakavat prosessin kahteen ortogonaaliseen haaraan, *tieteelliseen* ja *teknologiseen* prosessiin, jotka ovat kaksi erilaista ihmismielessä virittyvää vuorovaikutusta ympäristön ja tiedon tai luonnon ja teorian välillä, kuva 1. Molemmat vaikuttavat aina ja kaikkialla tutkimuksessa ja opetuksessa, niiden historiassa, tavoitteenasettelussa ja toteutuksessa. Niistä ovat saaneet alkunsa ja niistä elävät tieteellinen ja teknologinen kulttuuri.

Kummankin prosessin osapuolina ovat luonto ja tieto tai empiria ja teoria, joten molemmilla on osuutensa empiriisen tieteen perusdualismissa ja niitä voidaan tarkastella perinteisen erottavan tai modernin yhdistävän dualismin pohjalta.



Kuva 1: Empiirisen tieteen perusprosessit.

Molemmat ovat yhteen suuntaan eteneviä prosesseja, mutta kummankin eteneminen perustuu kahden vastakkaisen osaprosessin ylläpitämään *fraktaalisesti*³ *kaksisuuntaiseen* dynamiikkaan. Yhdessä ne muodostavat tiedon luomisen *fraktaalisesti syklisen* perusdynamiikan, jolla on tietty primaarinen kiertosuunta ja joka sen vuoksi tekee koko prosessista *spiraalisesti* etenevän.

Tieteellinen prosessi

Havainnosta maailmankuvaan.

Tieteellinen prosessi suuntautuu luonnosta teoriaan. Se on empiriisen käsitteenmuodostuksen ydinprosessi. Se perustuu empiriaan, luonnon havaitsemiseen ja tutkimiseen, ja sen tavoitteena on ymmärtäminen, tietoisuus luonnon lainalaisuuksista, ilmiöiden syistä ja seurauksista.

Se on tiedon luomisen primaariprosessi, "*miten – miksi*" -prosessi, jota ylläpitää primaarisuuntaisen *esittämisen* ja sekundaarisuuntaisen *selittämisen* välinen jännitys. Edellinen merkitsee empiriisten hahmojen tunnistamista ja käsitteistämistä, jälkimmäinen niiden tulkitsemista teoreettisten mallien avulla.

"*Miten*" on ainoa tie kysymykseen "*miksi*". Tämä on empirian galileinen perusoivallus yhdistävän dualismin mukaisesti tulkittuna. Se ei kiellä kysymystä "*miksi*" perinteisen positivistisen kaksitasoajattelun tavoin, vaan antaa sille merkityksen tavoitteena, jota kohti voidaan pyrkiä, tai suuntana, johon on kuljettava. Samalla se ilmaisee ymmärtämiseen johtavan tieteellisen prosessin luonteen empiriaan nojautuvana *hahmotusprosessina*.

Ymmärtäminen merkitsee luonnonilmiöiden yhä laajempien ja yleisempien rakenteellisten hahmojen tunnistamista ja niiden esittämistä asteittain yhä yleisemmillä käsitteillä. Ha-

³ Fraktaalisuus tarkoittaa tässä sitä, että ne prosessin dynaamiset peruspiirteet, joita malli kuvaa, ovat näkyvissä samalla tavalla kaikissa mittakaavoissa, prosessin kaikissa hierarkkisissa kehitysvaiheissa aistihavainnon alkeisprosessien mikrotasolta alkaen kokeellisen ja teoreettisen tutkimuksen sekä tieteen ja teknologian vuorovaikutuksen kosmiselle tasolle.

vainnot ymmärretään, kun ne hahmotetaan luonnon olioita ja ilmiöitä kuvastaviksi hahmoiksi. Yksittäiset tapahtumat ymmärretään, kun ne hahmottuvat saman ilmiön eri ilmenemismuodoiksi. Ilmiöt ja niiden empiiriset lait ymmärretään, kun monia ilmiöitä tutkimalla löydetään yleisempiä ilmiöitä ja lakeja. Riippumattomat ilmiöt tunnistetaan yhä yleisempien ilmiöiden erilaisiksi toteutumiksi erilaisissa tilanteissa. Perusilmiöt, -oliot ja -lait ovat hyvin yleisiä hahmoja, joiden erityistapauksina suuri joukko erilaisia ilmiöitä ymmärretään. Teoria ymmärretään syvemmin, kun se nähdään yleisemmän teorian erityistapaukseksi tai reduktioksi.

Tieteen saavutukset ovat ilmiöalueita yhdistäviä käsitteellisiä perusoivalluksia! Ne ovat porraspuita ymmärtämisen tikkaissa.

Oikeastaan ymmärtäminen on hahmottamista ja hahmottaminen ymmärtämistä. *Hahmo on merkitys, joka syntyy ennen käsitettä.* Käsitteet otetaan käyttöön tunnistettujen tai oivalletujen hahmojen abstrakteina vastineina esittämään jo ymmärrettyä. Niistä tulee kielen ja teorian elementtejä, edelleenhahmottamisen ja ymmärryksen syventämisen välineitä. Näin käsitteistäminen palvelee jatkuvasti yleistyvää rakenteellista hahmotusta.

Hahmottaminen on *kumuloituvaa*. Uudet hahmot rakentuvat aikaisemmille. Oppiminen perustuu aikaisemmin opittuun, tutkimus ennen tutkittuun. Hahmottaminen johtaa *hierarkkisesti kerrostuvaan rakenteelliseen tietoon*, kehittyvään ja täydentyvään kokonaiskuvaan, jossa uudet kerrokset rakentuvat aikaisempien varaan. Ylemmän kerroksen käsitteenmuodostus on alemman tason käsitteistön rakenteiden kertalukua laajamittaisempaa ja abstraktimpaa hahmotusta. Yleistyminen merkitsee aina samalla abstrahoitumista, etäntymistä suorasta havainnosta.

Muuta ymmärtämistä ei ole. Kun ihminen kysyy olevaisen olemusta, "Mitä on aine, valo, sähkö, magnetismi, lämpö, painovoima jne.", fysiikka ohjaa tutkimaan näiden ilmiöiden havaittavaa luonnetta, niiden empiirisiä lakeja ja niiden välisiä yhteyksiä. Fysiikka ei tarjoa lopullisia selityksiä vaan johtaa *yhä yleisempien ja syvällisempien selitysten hierarkkiseen ketjuun*. Toistamalla kysymystä "miten" yhä uudelleen ja yhä yleisempänä saadaan vastauksia, jotka yhä enemmän näyttävät kertovan "miksi".

Näin tieteellinen prosessi johtaa fysiikan tutkimuksessa ja oppimisessa asteittain kohti ympäristön ja sen ilmiöiden yhä laajenevaa ja syvenevää käsitteellistä hallintaa. Eteneminen sen primaarisuuntaan luo edellytyksiä ja voimistaa sekundaarisuuntaista selitysprosessia.

Tieteellinen prosessi rakentaa maailmankuvaa!

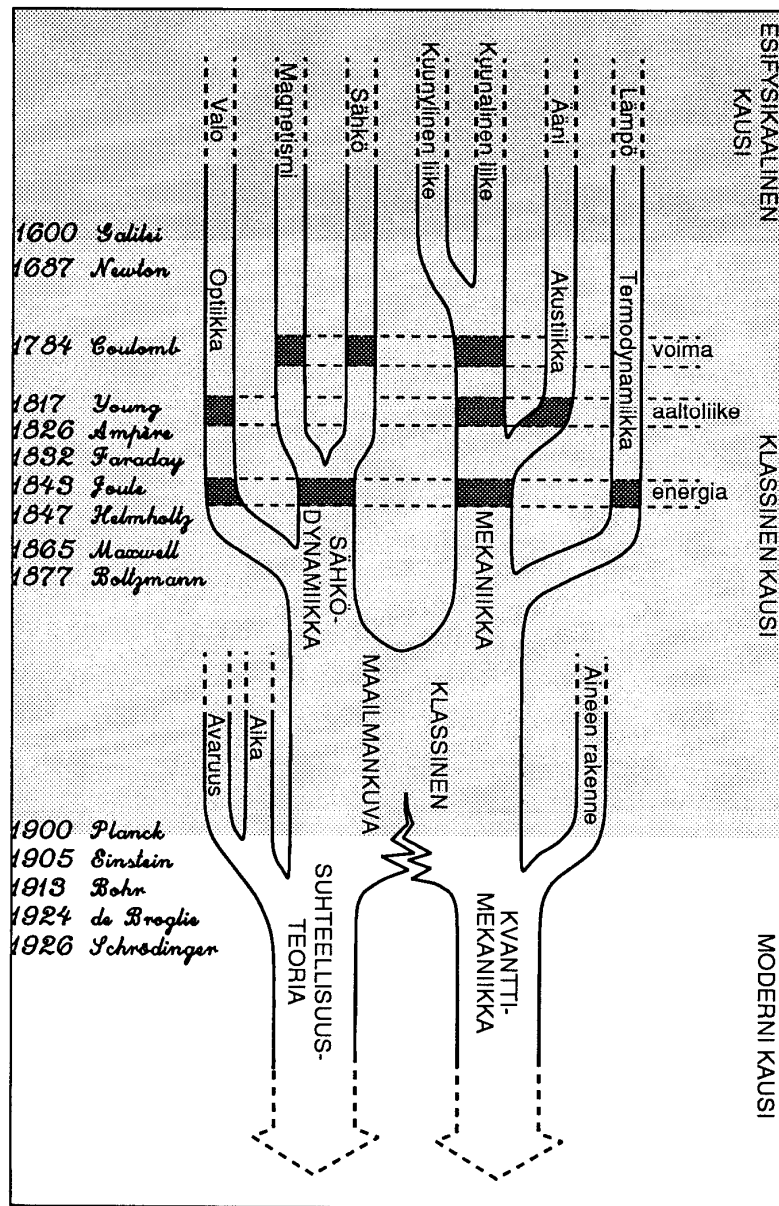
Hahmotusprosessiin perustuvaa tieteen edistymistä kuvaa "yhtyvien purojen malli". Kuvan 2 kaavio esittää esimerkkinä fysiikan kehitystä klassisella kaudella⁴. Haarojen yhtymäkohdat vastaavat käsitteellisiä perusoivalluksia, joiden ansiosta aikaisemmin riippumattomina pidetyt osa-alueet kytkeytyvät yhteen yleisempien perusilmiöiden ja -lakien eri ilmenemismuodoiksi.

Tiede on edennyt askelen, kun on oivallettu

- "kuunylisten" ja "kuunalisten" liikeilmiöiden yhteiset lait,
- äänen luonne aineen mekaanisena aaltoliikkeenä,
- sähköisen ja magneettisen vuorovaikutuksen lait, jotka kytkevät sähkö- ja magnetostatiikan osaksi mekaniikkaa,
- sähkövirran ja -varauksen yhteys,
- kemiallisten ilmiöiden sähköinen perusta,
- sähkövirran ja magnetismin yhteys,
- sähkö- ja magneettikenttien yhteys,
- valon luonne sähkömagneettisena ilmiönä,
- energian säilymlaki kaikkia ilmiöalueita yhdistävänä peruslakina,
- lämpöilmiöiden luonne aineen perusosasten mekaanisina ilmiöinä,
- atomirakenne aineen ominaisuuksien mekaanisena selityspäivästä,

⁴ Kaavio on alunperin syntynyt opetuskäyttöön, [1–3, 8]. Viitteessä [6] se esiintyy tapaturmaisesti muodossa, jossa sen ajalliset suhteet ovat vääristyneet.

- luonnon kaikkien rakenneosien duaalinen luonne,
- vuorovaikutusten eri lajien palautuminen perusvuorovaikutuksiin,
- ajan ja avaruuden sekä massan ja energian yhteys,
- aika-avaruuden ja painovoiman yhteys jne.



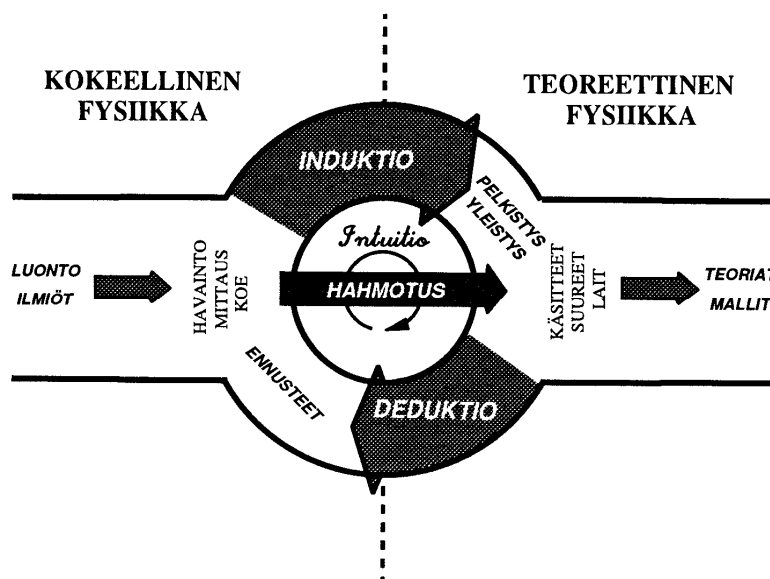
Kuva 2: Tieteen saavutukset ovat yhdentäviä oivalluksia.

Fysiikan koko tietorakenne perustuu tällaisiin yhtenäistäviin oivalluksiin, yhä laajempien rakenteellisten hahmojen tunnistamiseen ja yhä yleisempien ja abstraktimpien käsitteiden luomiseen.

Hahmottamalla luotu tieto on luonteeltaan *pysyvää*. Kerran hahmotettu kivi, tuoli, pallo, putoaminen, pyöreä, punainen, terävä, kova jne. ovat hahmottajalle pysyvästi kivi, tuoli, pallo, putoaminen, pyöreä, punainen, terävä, kova jne. Samalla tavalla kerran hahmotetut vuorovaikutusten ja liikeilmiöiden väliset syy-yhteydet tai varauksen, sähkövirran, sähköisten ja magneettisten vaikutusten ja niiden välisten yhteyksien hahmot jäävät osaksi hahmottajan rakentuvaa maailmankuvaa ja muodostuvat sen edelleen rakentamisen aineksiksi.

Logiikka ja intuitio.

Kuvan 3 kaavio havainnollistaa loogisten prosessien osuutta tieteellisen prosessin käsitteenmuodostuksessa⁵



Kuva 3: Käsitteenmuodostuksen kaksisuuntainen logiikka.

Hahmottava käsitteenmuodostus etenee yhteen suuntaan – ilmiöstä teoriaan, mutta sen dynamiikka on fraktaalaisesti kaksisuuntaista. Se ei etene lineaarisesti vaan muodostuu vastakaissauntaisista esittämisen ja selittämisen prosesseista. Siihen sisältyy aina sekä induktiivinen että deduktiivinen komponentti, sekä yleistäviä johtopäätöksiä, jotka nojautuvat kokeelliseen tietoon, että teoriasta johdettuja spesifisiä ennusteita, näiden testaamista uusien kokein, jotka johtavat induktiivisesti täsmennyksiin ja yleistyksiin tai kokonaan uusiin johtopäätöksiin jne.

Kysymys "miksi" ei odota tien päässä, vaan se on koko ajan läsnä. Hahmottaminen on havainnon ja mielikuvien vuorovaikutusta, jossa "miten" ja "miksi" -kysymyksiä ei voi erottaa toisistaan. Jo hahmottamisen alkeisprosessissa, aistihavainnossa, aistinten, hermoston ja ihmismielen rakenteeseen kätkeytyvät *arkkityypit* säätelevät mahdollisten hahmojen luonnetta. Nämä ovat lakeja, jotka ovat paljolti yhteisiä kaikille ihmisille – muutoin kanssakäyminen kielen välityksellä ei voisi olla mahdollista. Kaikki syntyvät mielikuvat ovat kuitenkin havainnolle alistettuja.

Sama perusdynamiikka ilmenee käsitteenmuodostuksen kaikissa vaiheissa. Se on aina samalla tavalla luonnon ja ihmismielen, teorian ja empirian yhteen sulauttavaa vuorovaikutusta. Sen tähden tieteellinen prosessi on perusolemukseltaan *intuitiivinen – ei looginen*. Se perustuu ihmismielen ainutlaatuihin hahmottamisen kykyyn. Se on signaalin erottamista kohinasta, idealisointia ja pelkistämistä, jota mielen rakenteen ohjaavat intuitiiviset mielikuvat säätelevät. Sitä säätelee intuitiivinen mielekkyys, ei looginen välttämättömyys. Hahmojen tunnistamiseen ei ole ainoaa oikeaa tietä, jolle ajatuksen loogiset lait voisivat pakottaa.

Fysikaalinen käsitteenmuodostus, olipa kysymyksessä ilmiöiden tunnistus, suureiden määrittely, lakien oivaltaminen tai teorian kehittäminen, ei ole missään vaiheessa sitovaa loogista päättelyä vaan intuitiivista hahmottamista, joka omien sisäisten lakiansa vaatimuksesta pyrkii kohti loogis-rakenteellisia hahmokokonaisuuksia.

Intuition perusteella lainalaisuuksien ajatellaan hallitsevan ilmiöitä. "Sisäinen silmämme" katsoo varsinaisten mittaustulosten taakse. Se pitää lakeja aidommin todellisina, ja oikeuttaa meidät sillä perusteella löytämään ne "tasoittamalla" mittaustuloksia, interpoloimalla ja ek-

⁵ Kaavion juuret ovat oppikirjoja varten suunnitellussa fysiikan metodin esittelyssä, [1, 10, 7].

rapoloimalla tuloksia mittausarvojen välisille ja niiden ulkopuolisille arvoalueille ja yleistämällä niitä uusiin systeemeihin ja tilanteisiin. Induktiota sanotaan loogiseksi operaatioksi, mutta yleistävää päättelyä ei koskaan sido looginen välttämättömyys. Sitä ohjaamassa on aina tietty intuitiivinen komponentti.

Vielä olennaisempaa on, että kaikkea käsitteiden kehittämistä ohjaavat intuitiiviset mielikuvat, mentaaliset mallit, jopa siinä määrin, ettei aina ole edes selvää onko niillä lainkaan varsinaista empiiristä lähtökohtaa. Einsteinkin oli sitä mieltä, että hän loi suhteellisuusteoriaansa vain ajatteleamalla. Tieteellisen prosessin käyttövoimana on luova intuitiivinen oivallus. Se erottaa tieteellisen tutkimuksen "tutkimusten" nimellä kulkevista selvityksistä, joita poliittinen tiedehallinto suosii.

Teknologinen prosessi

Tieto ja tuote.

Teknologinen prosessi suuntautuu teoriasta luontoon. Se perustuu tieteellisen prosessin luomaan käsitteelliseen tietoon, luonnonilmiöiden tunnettuihin lakeihin ja teoreettisiin malleihin. Se toimii vain, jos on tietoa, jota voidaan soveltaa.

Se luo toisenlaista tietoa kuin tieteellinen prosessi – oikeastaan sen varsinaisena päämäärä ei olekaan tieto vaan tuote. Sen tavoitteena on ihmisen elämän helpottaminen, elintason parantaminen sekä mukavuuden lisääminen luontoa hyväksi käyttämällä, luonnon ilmiöitä säätelämällä ja elinympäristöä muokkaamalla. Se rakentaa teknologista ympäristöä, jota se itse muuttaa ja kehittää. Samalla se luo uusia tarpeita. Sen tuottama tieto koskee tätä muuttuvaa ympäristöä ja sen muuttuvia ongelmia. Niinpä se vanhenee ja on korvattava uudella sitä nopeammin, mitä nopeammin tämä kehitys kulkee.

Teknologinen prosessi käyttää tieteellisen prosessin luomaa ajatonta, pysyvää ja rakenteellista tietoa luodakseen ajankohtaista, mutta nopeasti vanhenevaa detaljitietoa.

Sitä hallitsee *hyödyn ja tarpeen* kaksisuuntainen logiikka. Sen vastakkaiset osaprosessit ovat primaarisuuntainen tiedon *soveltaminen* ja ympäristön asettamista tarpeista lähtevä sekundaarisuuntainen *keksiminen ja kokeilu*.

Teknologian saavutukset ovat keksintöjä, "hyödyllisiä" tuotteita ja menetelmiä, kuten höyrykone, sähkömoottori, vaihtovirta, auto, lentokone, radio, transistori, muovi, tietokone, ydinreaktori ja ydinpommi, joista useimmin puhutaan tarkasteltaessa tieteen edistymistä.

Teknologinen prosessi muuttaa maailmaa!

Tieteen ja teknologian erottamattomuus

Tiede ruokkii teknologiaa luomalla käsitteellistä perustietoa, jonka avulla luonnonilmiöitä voidaan ymmärtää ja sen tähden myös käyttää hyväksi. Teknologinen prosessi kuitenkin kytkeytyy takaisin tieteelliseen prosessiin kahdellakin tavalla.

Ensiksikään *teknologista ympäristöä ei voi erottaa luonnosta*. Teknologisen prosessin sivutuotteena on opittu tuntemaan, tuottamaan ja kontrolloimaan uusia ilmiöitä, jotka kuuluvat fysiikan tutkimaan luonnon pysyvään rakenteeseen.

Fysiikan historiasta nähdään, että teknologian "luomilla" ilmiöillä on usein ollut ratkaiseva merkitys tieteellisen prosessin uusien käsitteellisten oivallusten lähtökohtina. Arkhimedeiden koneiden merkitys hänen statiikan ja hydrostatiikan lakeja koskeville oivalluksilleen, sähköparin keksimisen laukaisema vallankumouksellinen tieteellinen kehitys ja lämpövoimakoneiden merkitys termodynamiikan toisen pääsäännön oivaltamiselle tiedetään. Sähködynamiikan ja elektroniikan historiasta löytyy runsaasti muita vastaavia esimerkkejä.

Toiseksi, kokeellisen tutkimuksen suunnittelu ja toteuttaminen johtavat aina ongelmiin, jotka kuuluvat luonteeltaan teknologisen prosessin piiriin samalla tavalla kuin muillakin elämän alueilla kohdatut käytännölliset ongelmat. Niiden ratkaiseminen on johtanut uusiin ja tarkempiin mittausten menetelmiin ja tehnyt siten mahdolliseksi yhä tarkemman kvantitatiivisen tutkimuksen ja kokonaan uudenlaisten kontrolloitujen kokeiden suorittamisen. Tässä suhteessa esimerkiksi riittänee elektroniikan mainitseminen. Vaikka kokeellista perustutkimusta harjoittavan tutkimuslaitoksen probleemanasettelua hallitseekin tieteellisen prosessin tavoitteisto, sen jokapäiväistä työskentelyä dominoi teknologinen prosessi.

Näin *teknologia ruokkii tiedettä* kehittämällä uusia ja parempia kokeellisen tutkimuksen menetelmiä ja paljastamalla tai luomalla siinä ohessa myös aikaisemmin kohtaamattomia ilmiöitä. Tieteellinen ja teknologinen prosessi kytkeytyvät fysiikassa erottamattomasti yhteen. Ne muodostavat silmukan, jolla on tietty kiertosuunta. Sen määräävät näiden prosessien priimaarisuunnat. *Tämä sykliisyys ei ole pelkästään suuren mittakaavan rakenne, joka solmii yhteen tieteen ja teknologian, vaan se on fysiikan dynamiikan fraktaalinen peruspiirre.* Alusta alkaen ihmisen jokaiseen havaintohahmoon liittyy myös ajatus sen käytännön merkityksestä. Esineiden ominaisuuksia ei mielletä – niin kuin ei luonnonlakejakaan – pelkästään ympäristöä jäsentäviksi hahmoiksi vaan myös käyttöpotentiaaliksi, joksikin, joka vaikuttaa ja pitää ottaa huomioon käytännön toiminnassa. Kiveen voi kompastua ja kivistä voi rakentaa, tuolilla voi istua, palloa voi vierittää, ja heittää, pudotessaan voi satuttaa itsensä ja esineitä voi pudottaa, pyöreä voi pyöriä, punaiseksi voi värittää, terävä voi pistää jne.

Kysymyksiä "miksi" ja "mitä hyötyä" ei esitetä erikseen ja peräkkäin vaan yhtäaikaan. Jokaiseen käsitteeseen kätkeytyy sovelluksen siemen. Käsitteillä on sekä ympäristöä jäsentävä maailmankuvallinen *tieteellinen merkitys* että välineellinen ja käytännöllinen *teknologinen merkitys*.

Teknologinen prosessi on aina läsnä empiirisessä käsitteenmuodostuksessa. Sen tähden sitä ei voi myöskään sivuuttaa, vaikka se ei osallistukaan aktiivisesti varsinaiseen hahmojen käsitteistämiseen. Käsitteenmuodostuksen luonteesta ei voi saada oikeata kuvaa ottamatta sitä huomioon.

Suhde arvoihin.

Tieteen ja teknologian suhde on ongelmallinen. Ne kuuluvat yhteen. Teknologia on fysiikan julkinen näyteikkuna, eikä nykyaikaista kokeellista tutkimusta voi tehdä ilman teknologian apua. Lähtökohtiensa mukaisesti ne edustavat kuitenkin kahta arvoperustaltaan täysin erilaista *asennetta luontoon*:

Tiede kunnioittaa luontoa sellaisena kuin se on ja pyrkii kehittämään teoriaa yhä paremmin luonnon todellisuutta vastaavaksi.

Teknologia käyttää teoriaa sellaisena kuin se (kulloinkin) on ja pyrkii muokkaamaan luontoa yhä paremmin ihmisen "tarpeita" vastaavaksi.

Niiden *arvomaailmat* ovat niin erilaiset, että niiden välille näyttää syntyvän sovittamattomia ristiriitoja. Vedenjakajaksi nousee niiden suhde nykyaikana vallitseviin *kaupallisiin arvoihin*. Teknologia sopeutuu niihin hyvin, mutta ne kieltävät tieteellisyyden perusarvot jopa uhaten tieteen olemassaoloa. Rahan antamalla vallalla ja hallitusten tuella ne vaativat ja anastavat yksinoikeuden ohjata tiedettä ja opetusta. Niihin perustuvat nuorisokoulun ja ammattikorkeakoulujen ideat, yliopistoille sanellut tutkintojen ja hallinnon nk. uudistukset, tulosvastuullisuuden ja tulosjohtamisen periaatteet, ja muu tutkimuksen ja opetuksen jatkuva holhoava hallinnollinen häirintä. Ne tahtovat myös määrätä tutkimuksen tulokset ja omistaa ne. Niistä ovat lähtäisin tulosten patentointi ja tutkimusten julistaminen salaiseksi.

Teknologia on tieteen tytär, joka mielellään flirttailee kaupallisuuden kanssa. Poliittinen tiedehallinto on ryhtynyt sutenööriksi, joka pyrkii alistamaan sekä "idin että tyttären kaupallisuuden huoriksi.

Tutkimus, jonka tulosten ei anneta tulla yleisen inhimillisen kulttuurin osaksi, ei voi rakentaa maailmankuvaa. Siltä on eväty oikeus olla tiedettä!

Teknologisen prosessin yhteys *eettisiin arvoihin* on ilmeinen. Tietoa voidaan käyttää sekä hyviin että pahoihin tarkoituksiin. Tieteellisen prosessin luonne hahmottamisena rinnastaa sen havaitsemiseen ja näyttää oikeuttavan tieteen nk. arvovapauden. Hyvän ja pahan leiman liittäminen siihen merkitsee yhtymistä vanhaan pyhäkoululauluun: "Älä silmä pieni katso mitä vain, älä korva pieni kuule mitä vain ... ! Älä Kiltti pikku tutkija, älä huomaa massan ja energian ekvivalenssia, älä näe valonnopeuden absoluuttisuutta äläkä havaitse energian säilymistä, älä, älä, älä, ...!"

Tieteellisen ja teknologisen prosessin erottamattomuus heittää epäilyksen varjon tämän argumentoinnin ylle. Jos kerran teknologinen prosessi ruokkii ja elättää tieteellistä, ei sen tuomia arvo-ongelmiakaan voida sivuuttaa käsitteenmuodostuksessa. Mutta mitä tämä merkitsee? Onko ydinpommi "paha" vai vain sen käyttö, käyttäjä tai käytöstä päättäjä? Jos on, onko myös ydinenergia pahaa energiaa? Onko oivallus energian ja aineen samuudesta, ja ehkä koko suhteellisuusteoria, ovatko siis Lorentz-muunnos, ajan suhteellisuus, valonnopeuden absoluuttisuus, Michelsonin ja Morleyn koe pahoja? Ja kun ketjua on alettu kelata, on mentävä yhä syvemmälle perusteisiin, niihin fysikaalisen tiedon kerroksiin, joiden päälle nämä kaikki rakentuvat, energian, liikemäärän ja liikemäärämomentin säilymiseen, jatkavuuden lakiin, kappaleiden hitauden ja kappaleiden välisten vuorovaikutusten hahmottamiseen. Newtonin ja Galilein perusoivalluksetkin siis ovat pahoja?

Mutta eikä tämä kytke empiirisen tieteen perusdualismin suoraan ihmisen eettiseen dualismiin, hyvän ja pahan tiedon puuhun, josta ihminen maistoi? Ja eikä tässäkin ole näkyvissä kaksi eri näkökulmaa, erottavan dualismin mukainen ahdistava ja repivä ajattelu: on hyvää tietoa ja paha tietoa, on hyviä ihmisiä ja pahoja ihmisiä, ja yhdistävän dualismin tarjoama mahdollisuus – hyvä ja paha ovat kaikessa erottamattomat, tieto ja etiikka ovat hyvän ja pahan vuorovaikutuksen fraktaalaisesti kaksisuuntaisia ihmismielen prosesseja ... ?

Tekee kuitenkin mieli ajatella, että luonnontieteissä, jotka tutkivat tahdosta riippumattomia luonnonlakeja, tieteellisellä ja teknologisella prosessilla on selvästi erottuvat tehtävät ja tavoitteet huolimatta niiden elimellisestä dynaamisesta kytkennästä. Vaikka ne toimivatkin päällekkäin ja sisäkkäin, ne ovat ortogonaalisia.

Vertailu muihin tieteisiin selvittää tämän huomautuksen merkitystä. Esimerkiksi yhteiskuntatieteissä ja kasvatustieteissä pyrkimys vaikuttaa tutkittavaan yhteiskunnalliseen ja kasvatukselliseen todellisuuteen kuuluu erottamattomasti tieteen tavoitteisiin. Tieteellinen ja teknologinen prosessi ovat niissä samansuuntaiset, jopa täysin yhteen sulautuneet. Toisin kuin luonnontieteissä, tai ainakin täysin eri mitassa, niissä on mahdollista luoda arvoväritteistä, tarkoitushakuista ja poleemista käsitteistöä, jolla voidaan manipuloida yleistä mielipidettä. Tieteellistä käsitteenmuodostusta voidaan käyttää yhteiskunnallisen ja kasvatuksellisen vaikuttamisen välineinä ja informaationsodan aseena.

Läheinen esimerkki on yleiseksi tavaksi muodostunut tieteen alojen ja menetelmien luokittelu *pehmeisiin* ja *koviin* – tarkoittaen *humaaneja* ja *epäinhimillisiä* – sen sijaan, että tyydyttäisiin puhumaan neutraalisti *kvalitatiivisista* ja *kvantitatiivisista* tai *laadullisista* ja *määrällisistä* menetelmistä. Fyysikot taas mielellään puhuvat päinvastaiset arvot sisältävin termein *epäeksakteista* ja *eksakteista* tieteistä – tarkoittaen mielessään *epätäsmällisiä* ja *hämäriä*, *oikeastaan kyseenalaisia* ja *epäluotettavia* ja *täsmällisiä* ja *selviä*, *luotettavia* ja *aidosti tieteellisiä* aloja ja metodeja.

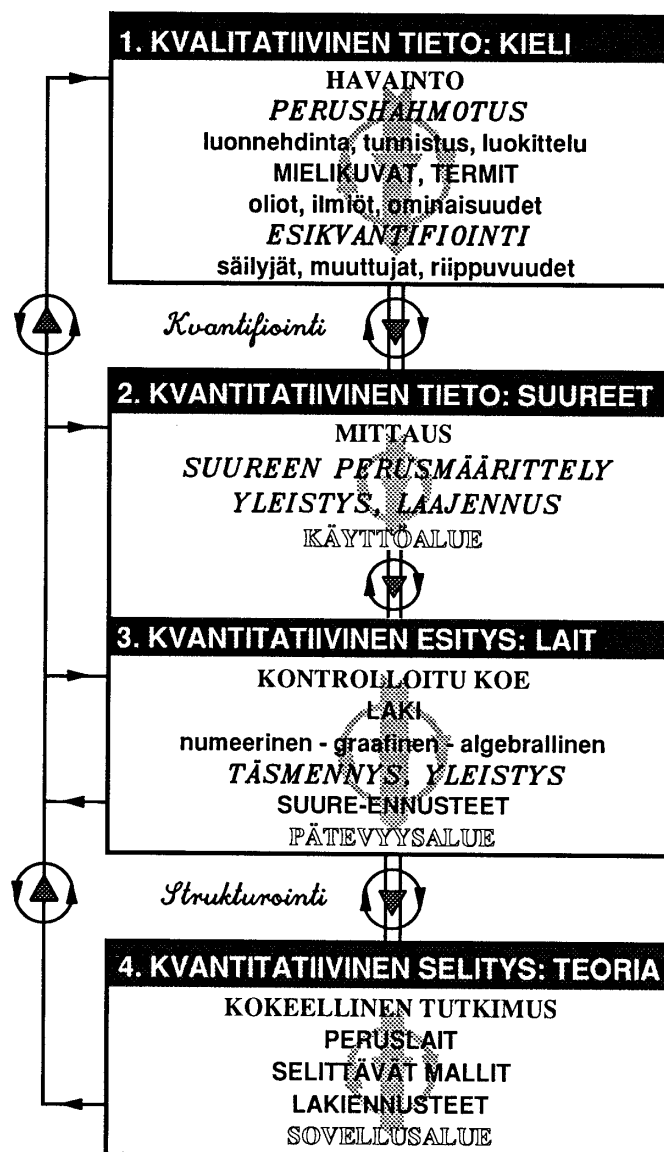
Fysiikan käsitteellinen rakenne

Käsitteiden hierarkkiset tasot.

Kaaviot 1 – 3 soveltuvat paljolti havainnollistamaan kaikkea käsitteenmuodostusta. Neljän prosessin malli, ymmärtämisen syveneminen hierarkkisesti yleistyvän hahmotusprosessin kautta ja loogisten prosessien alistus intuitiolle koskevat samalla tavalla kaikkia reaalitieteitä. Havaintomaailman käsitteistäminen johtaa aina yleistymiseen, *abstrahoitumiseen* ja *hierarkkiseen kerroksellisuuteen*. Sillä on aina suunta empiriasta teoriaan, havainnoista käsitteisiin, konkreettisesta abstraktiin ja yksinkertaisesta rakenteelliseen.

Kuvan 4 kaavio kiinnittää huomion siihen, mikä on fysiikalle ominaista⁶

Fysiikkaan kuuluu siirtyminen kvantitatiivisen empirian ja kvantitatiivisten käsitteiden tasolle, kvantitatiivisen esityksen ja kvantitatiivisen selittämisen prosesseihin. Tämä tuo käsitteiden ja prosessien hierarkiaan aivan uuden, vain fysiikalle ominaisen ulottuvuuden, joka erottaa fysiikan kaikista muista tieteistä ja fysiikan oppimisen muusta oppimisesta.



Kuva 4: Fysiikan käsitteiden hierarkkiset tasot.

⁶ Kaavion juuret ovat opetusta varten laadituissa fysikaalisen esityksen jäsentelykaavioissa [4, 7].

Fysiikan käsitteellisessä rakenteessa voidaan erottaa kielen, suureiden ja lakien sekä teorioiden⁷ hierarkkisesti eriasteiset tasot, [10, 11]. Kaikki, mitä edellä on todettu käsitteenmuodostuksen luonteesta, koskee samalla tavalla sekä etenemistä kullakin tasolla erikseen että siirtymistä tasolta toiselle

Kullakin tasolla käsitteistä yleistyy ja abstrahoituu hierarkkisesti. Prosessi etenee kielellisistä termeistä, suureiden ja lakien kautta teorioihin. Käsitteenmuodostus ylemmällä tasolla perustuu alempaan tasoon mutta luo samalla uusia mahdollisuuksia edetä alemmilla tasoilla ja rakentaa näin uutta hahmotusperustaa ylempien tasojen käsitteenmuodostukselle. Näin prosessista tulee moninkertaisesti syklinen ja kaikilla tasoilla spiraalisesti etenevä. Koko tasorakenteen vaikutus projisioituu kaikkien tasojen *sisäiseen hierarkkiseen rakenteeseen*.

Siirtyminen ylemmälle tasolle on tasojen sisäisiin prosesseihin verrattuna jyrkkä porras, jossa käsitteiden abstraktioaste kasvaa hyppäyksellisesti.

Kvalitatiivinen tieto.

Kaikki fysiikan käsitteenmuodostus alkaa *perushahmotuksesta*, jossa rakennetaan *hahmokonaisuuksia* tunnistamalla ja luokittelemalla ilmiöalueen *perushahmoja* ja jäsentämällä niiden *keskinäisiä suhteita*. Perushahmoihin kuuluvat erityisesti *oliot*, luonnon subjektit, *ilmiöt*, luonnon tapahtumiset, ja niiden *ominaisuudet* sekä ilmiöihin liittyvät ominaisuuksien *pysyvyyden* tai *muuttumisen*, keskinäisen *riippuvuuden*, *aiheuttamisen* ja *vaikuttamisen* hahmot.

Tämän tason *empiria* on *havaitsemista* ja *kvalitatiivisia kokeita*, jolloin tunnistamista ja luokittelua voidaan edistää muuntelemalla systeemiä ja ympäristöä. Sen *teoria* on näiden hahmojen käsitteistämistä, niitä kuvaavan ja jäsentävän *terminologian* ja sitä käyttävän *kielen* luomista sekä niihin liittyviä *mielikuvia*. Mielikuvat luovat odotuksia ilmiöiden luonteesta ja niitä korjataan, elleivät havainnot vastaa odotuksia. Jokainen harjoittaa tämän tason käsitteenmuodostusta jokapäiväisessä elämässään.

Ylempien tasojen käsitteiden hahmottaminen vaikuttaa takaisin kieleen ja mielikuviin. Tästä on kysymys tarkasteltaessa, miten käsitys äänen, sähköön, lämmön, valon, säteilyn eri lajien, aineen, hiukkasten jne. luonteesta on kehittynyt fysiikan edistyessä.

Lait ja teoriat tarjoavat uusia luokitteluperusteita ilmiöille. Esimerkiksi sähköistä polarisoitumista, magnetoitumista, sähkö- ja lämmönjohtavuutta luokitellaan eri osailmiöiksi niiden lämpötilariippuvuuden lakien perusteella, ja teoria, joka ennusteina tuottaa erityyppisiä lämpötilariippuvuuksia luo mielikuvia osailmiöiden mekanismeista. Kaikki atomi-, ydin- ja hiukkasfysiikan ilmiöt ratsastavat "jättiläisen hartioilla". Niiden tuottaminen ja tunnistaminen on mahdollista vain fysiikan koko aikaisemman teoreettisen kehityksen kautta.

Teoriat kuuluvat olennaisesti nykyaikaisen fysiikan "kvalitatiivisen" käsitteistön hahmotusperustaan. Yksinkertaisimmatkin peruskäsitteet kuten *hiukkanen* tai *aaltoliike* kantavat tätä kasautuvaa merkitysten taakkaa. Tämä on fysiikan kansantajuistamisen perusongelma, sen mahdottomuuden sinetti, helpoimmiltakaan näyttävät sanat ja käsitteet eivät paljasta merkitystään sille, joka ei ole kulkenut kvantifioinnin ja strukturoinnin tietä riittävän pitkälle.

⁷ "Teoriaa" käytetään käsitteenmuodostuksesta puhuttaessa kahdessa eri merkityksessä. Se viittaa yleisesti kaikkien käsitteiden teoreettiseen luonteeseen riippumatta niiden hierarkkisesta asemasta. Kaikki käsitteet ovat "teoriaa" empirian vastakohtana. Tässä "teoriaa" käytetään sen erityisessä merkityksessä tarkoittamaan tiettyjen peruslakien muodostamaa koherenttia rakennetta, joka on niin laaja, että se ymmärretään kokonaisen ilmiöluokan yhteiseksi selittäväksi perusmalliksi. Teorioita ovat siis esimerkiksi Newtonin mekaniikka, Maxwellin sähködynamiikka, termodynamiikka, tilastollinen mekaniikka, kvanttimekaniikka ja suhteellisuusteoria. Väärinkäsityksiä aiheutuu helposti sen tähden, ettei vastaavaa kvantitatiivisen tiedon rakenteellisuuden astetta esiinny muilla tiedon alueilla.

Kvantitatiivinen esitys.

Kvantifiointi eli metritys nostaa käsitteenmuodostuksen kvalitatiiviselta kvantitatiiviselle tasolle. Se luo kvaliteeteista kvantiteetteja. Se rakentaa kvantitatiivisen käsitejärjestelmän ilmiöalueen kvalitatiivisen hahmokokonaisuuden varaan.

Kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen ajattelun välillä on valtava kuilu. Kvantifiointi on silta tämän kuilun yli. Se johtaa kvaliteettien pehmeän hierarkian kukkivilta kedoilta kvantiteettien kovan hierarkian maailmaan, jota hallitsee ankaran hierarkkisesti rakentuva fysikaalinen suurejärjestelmä. Vaikka monilla tieteenaloilla voidaankin puhua mittaamisesta, ei "mittaaminen" missään muualla johda suureisiin, tutkittavien kvaliteettien kuvaamiseen suureilla, joilla on lukuarvot ja yksiköt, eikä korrelaatioiden kvantifioitumiseen laeiksi, joita voidaan esittää suureyhtälöinä. Kvantifiointi on avain fysiikan käsitteistään ja sen ymmärtämiseen. Se on fysiikan käsitteenmuodostuksen ensimmäinen suuri perusabstraktio.

Kvalitatiivisen tason *esikvantifiointi* valmistaa sille tietä. Tämä merkitsee *komparatiivisten hahmojen* luomista. Ominaisuuksiin, niiden muuttumiseen, vaikutuksiin ja keskinäisiin riippuvuuksiin liitetään niiden *astetta* tai *voimakkuutta* luonnehtivia mielikuvia, jotka tekevät mahdolliseksi *vertailun*. Systeemin ominaisuuden voimakkuuksia eri tilanteissa ja eri hetkinä, ja eri olioiden saman ominaisuuden voimakkuuksia voidaan tällöin verrata toisiinsa, jolloin ilmiöihin saadaan liitetyksi *suunnan* ja *voimakkuuden* tai *nopeuden* mielikuvia. Tulee mahdolliseksi puhua *voimistumisesta* ja *heikkenemisestä*, *lähenemisestä* ja *etääntymisestä*, *epätasapainosta*, *tasapainosta* ja *pyrkimisestä kohti tasapainoa* jne. sekä ominaisuuksien heikoista, voimakkaista ja tietyn suuntaisista *korrelaatioista* ilmiöiden kvalitatiivisina lakeina.

Ominaisuuksien kvantitatiiviset vastineet ovat suureita. Ilmiöiden – oikeastaan ilmiöitä luonnehtivien pysyvyyksien ja muuttumisten, korrelaatioiden tai riippuvuuksien, aiheuttamisten ja vaikuttamisten – kvantitatiiviset vastineet ovat lakeja.

Lait ovat suureiden välisiä relaatioita, mutta kaikkien suureiden määrittely perustuu lakeihin. Näin suureiden ja lakien tasot kietoutuvat portaattomasti yhteen.

Suureiden ja lakien tason *empiria* on *mittaamista* ja *kontrolloituja kokeita* suureiden välisen riippuvuuksien, *empiiristen lakien* määrittämiseksi. Sen *teoria* on lakien matemaattisten esitysten muodostamista ja niiden kytkemistä kvalitatiivisen tason mielikuviin. Tällainen esitys on matemaattinen malli, joka tekee mahdolliseksi ilmiötä koskevat kvantitatiiviset *ennusteet*. Testaamalla ennusteita kokeellisesti saadaan selville lain pätevyysalue, joka vasta tekee laista valmiin käsitteen.

Tällä tasolla edetään määrittämällä asteittain yhä yleisempiä empiirisiä lakeja, joilla on yhä laajempi *pätevyysalue* ja jotka esittävät ilmiötä yhä tarkemmin.

Suureet ja lait saavat uusia yleisempiä merkityksiä, ja niiden käyttö laajentuu uusille alueille sen mukaan, mikä asema niillä on uusissa teorioissa. Näin niille muodostuu omat hierarkkiset järjestelmänsä. Esimerkkinä voidaan ajatella vaikkapa termodynamiikan ja tilastollisen mekaniikan vaikutusta lämpötilan käsitteen merkitykselle taikka energian, liikemäärän ja liikemäärämomentin merkityksen kehittymistä.

Kvantitatiivinen selitys.

Fysiikan tietorakenteen ylin hierarkkinen taso on teorioiden taso, ilmiöiden kvantitatiivisen *ymmärtämisen* ja *selittävien mallien* taso, jonka hahmot, teoriat, ovat lakien muodostamia loogis-rakenteellisia kokonaisuuksia. Sinne johtavaa kynnysprosessia voidaan kutsua *loogiseksi strukturoinniksi*. Tämän prosessin perustaksi voidaan nähdä perushahmotukseen ja esikvantifiointiin aina liittyvä kvalitatiivinen mallintaminen, joka luo mielikuvia ilmiöalueen relaatioista ja kausaalisuhteista, ja se voidaan tulkita näiden kvantifioinniksi.

Fysikaalisen teorian määrittelevät systeemin yleinen *perusmalli* ja *peruslait*, jotka ovat perusmallin käyttäytymissäännöt. Perusmallia rajoittamalla on mahdollista muodostaa erityi-

siä malleja, jotka vastaavat erilaisia todellisia ilmiöitä ja systeemejä erilaisissa olosuhteissa. Tällöin peruslaeista seuraa tutkittavaa ilmiötä koskevia *lakiennusteita*. Tämän *mallintamiskapasiteettinsa* perusteella teoriasta muodostuu erilaisten kokeellisten lakien ymmärtämisen perusta.

Myös teoriat abstrahoituvat ja yleistyvät. Esimerkkeinä voidaan todeta klassisen mekaniikan kehitysvaiheet: Newtonin, Lagrangen ja Hamiltonin mekaniikka, sekä kvanttimekaniikan eri esitysmuodot.

Niissä erottuu myös eriasteisia hierarkkisia tasoja, kuten klassinen mekaniikka => kvanttimekaniikka => kenttien kvanttiteoria, klassinen mekaniikka => suppea suhteellisuusteoria => yleinen suhteellisuusteoria, termodynamiikka => tilastollinen mekaniikka => kvanttistatistiikka taikka yleisesti jatkuvan aineen teoriat => atomaarisen aineen klassiset teoriat => kvanttimekaaniset aineen teoriat.

Tasojen väliset prosessit, kvantifiointi ja strukturointi, ovat kuitenkin fysiikan käsitteenmuodostuksen avainkohdat. Ne ovat kynnyksiä, joiden ylittämiseen eivät hyvälläkään tieteellisellä rutiinilla suunnitellut projektit yllä – tarvitaan hallinnon inhoamaa yksilöiden neroutta!

Suuret prosesseina

Suureiden määrittely.

Suuret ovat fysiikan käsitteenmuodostuksen perusta. Luonnonilmiöiden kvantitatiivinen esittäminen perustuu suureisiin. Ne ovat silta havainnosta teoreettisiin malleihin. Suuret solmivat yhteen fysiikan empirian ja eksaktisuuden. Kokeellinen tieto ilmaistaan niiden avulla. Teoriat käsittelevät niiden välisiä relaatioita.

Suureiden merkityksen ymmärtäminen on siten koko fysiikan ymmärtämisen avainkysymys. Tämä taas edellyttää sen prosessin tuntemista, joka luo suureen ja johon sen merkitys perustuu⁸. Suureen tällainen "määrittelyä voidaan jäsentää vaiheisiin, jotka vastaavat tämän prosessin kulkua fysiikan käsitteiden hierarkkisten tasojen kaaviossa:

1. Suureen empiirinen merkitys on hahmo, joka syntyy ennen suuretta. Se käsitteistyy kvalitatiivisen tiedon tasolla joidenkin olioiden tai ilmiöiden ominaisuudeksi.

Luonnehdinta ja kiinnitys on suureen määrittelyn ensimmäinen tehtävä. On ilmaistava *ominaisuus*, jota suure esittää, ja ne *oliot* tai *ilmiöt*, joilla tällainen ominaisuus on, ja miten ominaisuus *liittyy* niihin. Kiinnitys seuraa suuretta sen kaikkeen käyttöön. Kiinnittämättömät suuret – fysiikan opetuksen perinteinen helmasynti – ovat merkityksettömiä.

2. Kvantifiointi luo ominaisuudesta suureen. Se nojautuu kokeeseen, jossa todennetaan *suureen määrittelylaki*. Koe ilmaisee samalla, miten suure voidaan *mitata* ja miten sille voidaan valita *yksikkö*. Usein, mutta ei aina, määrittelylaki johtaa myös suureen algebralliseen lausekkeeseen.

Määrittelylaki ja mittausmenetelmä muodostavat suureen määritelmän ytimen. Monet valemääritelmät⁹ paljastuvat kysymällä, miten suure niiden perusteella mitataan.

3. Teoreettisen merkityksen suure saa strukturoinnin kautta. Sen ilmaisee suureen asema fysiikan teorioiden rakenteessa. Sen perusteella tulee mahdolliseksi muodostaa suureen arvojen teoreettisia ennusteita eri tilanteissa.

⁸ Standardin mukaan *luonnonilmiöiden mitattavia ominaisuuksia sanotaan suureiksi*, [13]. Tämä "määritelmä" on harhaanjohtava, koska se peittää näkyvistä kvantifiointiin, suureen syntyprosessin ensimmäisen suuren abstraktion, samastamalla kvaliteetit ja niiden kvantitatiiviset vastineet.

⁹ Esimerkiksi hitausmomentti määritellään oppikirjoissa lähes aina vain integraalilausekkeena, ja aktiivisuus on jopa standardin mukaan yhden nuklidin yhden viritystilan ominaisuus.

Tämä on suureen määrittelyssä täydentävä näkökulma, jonka tärkeys riippuu olennaisesti siitä, miten korkealla suure on käsittehierarkiassa. Sen sijaan teoreettiset ennustelausekkeet, joita useimmin esitetyt valemääritelmät ovat, eivät olennaisesti kuulu määrittelyyn. Ne ovat aina tiettyyn malliin sidottuja, ja niiden muodostaminen on mahdollista vain, jos suureen merkitys jo tunnetaan.

4. Yleistyminen merkitsee suureen merkitysten jatkuvaa laajenemista, rakenteistumista ja abstrahoitumista. Monet sen aspektit kuuluvat olennaisena osana suureen määrittelyyn. Tämä korostaa suureiden luonnetta prosesseina ja tekee niiden määritelmät avoimiksi. Prosessi palaa yhä uudelleen kaikkiin aikaisempiin määrittelykysymyksiin ja tekee niistä hierarkkisesti kerrostuvia.

Suureen määrittely ei ole yksi askel konkreettisesta abstraktiin vaan jatkuva prosessi tai prosessikimppu. Suure sikiää perushahmotuksessa ominaisuutena, se syntyy kvantifioinnissa ja varttuu jatkuvassa moninkertaisesti spiraalisessa yleistysprosessissa. Suureella on näin hierarkkisesti eriasteisia merkityksiä, jotka rakentuvat toisilleen niin että vasta ne kaikki yhdessä ovat suureen merkitys.

Kvantifioinnin ahdas portti.

Kvantifiointi vaatii *pelkistystä ja idealisointia*. Perushahmotuksen nojalla on löydettävä sellainen ideaalinen koetilanne, jossa kvantifioitava ominaisuus esiintyy mahdollisimman pelkistettynä ja jossa ominaisuutta koskeville komparatiivisille hahmoille voidaan antaa kvantitatiivinen merkitys niin että ominaisuuden eri asteiden määrällinen vertailu tulee mahdolliseksi. Tällöin kokeesta tulee suureen kokeellinen perusmääritelmä. Siihen liittyy aina myös mahdollisuus *yksikön valintaan* joko asettamalla jokin helposti toistettava ominaisuuden aste yksiköksi tai kytkemällä yksikkö kokeessa mitattujen muiden suureiden yksiköihin.

Tällainen koe vaatii yleensä tilanteen ankaraa *rajausta*, esimerkiksi tiettyä geometriaa, tiettyjä olosuhteita, homogeenisuutta, isotrooppisuutta, tyhjiötä, kitkattomuutta, kappaleiden pienuutta tai jäykkyyttä tahi rajoittumista pieniin poikkeamiin tasapainoasemasta tms. Rajausten on oltava luonteeltaan empiirisiä siinä mielessä, että niiden mukaisia ideaalitalanteita voidaan huolellisesti suunnitelluissa kokeissa lähestyä.

Tarvittavien idealisointien ja rajausten etsimistä ohjaa periaate, jonka mukaan *jokainen suure syntyy invarianttina*. Suureta vastaavan ominaisuuden on oltava koetilanteessa tarkasteltavan ilmiön pysyvä, olosuhteista riippuva, perusominaisuus.

Määrittelevässä kokeessa on voitava todeta ominaisuuden säilymistä vastaava kvantitatiivinen invarianssi, ja sen perusteella on voitava verrata suureen arvoja rajausten puitteissa varioiduissa kokeissa. Näin saatu *määrittelylaki on siis aina suureen säilymislaki*, hyvin määriteltä riippumattomuus joistakin ilmiöön vaikuttavista tekijöistä, ja samalla menetelmä invariantin arvon määrittämiseksi valituissa yksikäissä. Kvantifiointi on ahdas portti, josta tulevan suureen käyttöalue on suppea. Se rajoittuu määrittelylain pätevyysalueelle, tilanteisiin, joissa suure on invariantti.

Invarianssit voivat olla hyvin erilaisia. Jokainen lain muoto voidaan ilmaista invarianssina. On helppoa luetella esimerkkejä.

Ohmin laki, jonka mukaan vastuksen napojen välinen jännitehäviö U on verrannollinen vastuksessa kulkevaan sähkövirtaan I , on *resistanssin* määrittelylaki. Sen perusteella komponentin kykyä vastustaa sähköä voidaan esittää virrasta riippumattomalla invariantilla U/I , joka määrittelee komponentin resistanssin, [8].

Nopeuden määrittelylaki on *liikkeen tasaisuuden laki*, kappaleen siirtymän verrannollisuus aikaväliin, $\Delta x \sim \Delta t$. Sen mukaan suhde $\Delta x/\Delta t$ on liikkeelle ominainen, aikavälistä Δt riippumaton invariantti. Nopeus siis syntyy kvantifioinnissa vain tasaiseen liikkeeseen kiinnitty-

neenä suurena. Muuttuvaa liikettä kuvaava hetkellinen nopeus on yleistyksenä saatava abstraktio, [7].

Tiheyden määrittelylaki on *aineen homogeenisuuslaki*, jonka mukaan tiettyä ainetta olevan kappaleen massa on verrannollinen kappaleen tilavuuteen. Siihen perustuva, homogeenisen aineen tiivyyttä kuvaava tilavuudesta riippumaton tiheys voidaan yleistää jatkuvan aineen pisteittäiseksi tiheydeksi, joka on voimakas abstraktio, [4].

Snelliuksen lain mukaan kahden homogeenisen aineen väliseen tasomaiseen rajapintaan osuvan säteilyn taite- ja tulokulman sinit ovat verrannolliset. Se määrittelee rajapinnan *taitesuhteen*, tulokulmasta riippumattoman invariantin, joka on näiden sinien suhde, [9].

Gaussin kuvausyhtälö on laki, joka koskee kuvan muodostumista kahden väliaineen välisessä heijastavassa tai taittavassa pallomaisessa rajapinnassa. Sen perusteella kuvan ja esineen etäisyyksien käänteisarvojen summa on linssille (ja väliaineille) ominainen invariantti. Tämä kvantifioi pinnan *taittovoimakkuuden*, joka yleistyy helposti koskemaan useita lähekkäisiä pintoja, esim. ohuita linsejä, [5].

Suureen varttuminen.

Yleistysprosessi merkitsee asteittaista luopumista kvantifioinnin perustana olevista rajauksista, suureen käyttöalueen laajentamista tilanteisiin, joissa suure ei säily, uusiin oloihin ja ilmiöihin ja uusille arvoalueille. Suureen määritelmää on tällöin täydennettävä uusilla laeilla ja näihin perustuvilla mittausmenetelmillä. Tämä tulee mahdolliseksi teorioiden välityksellä, jotka kytkevät lait suureen määrittelylakiin. Näin tulee mahdolliseksi puhua esimerkiksi elektronin, viruksen, pesäpallon, laivan, Maan ja Auringon massasta taikka systeemin kokonaisuudesta ja kahden kappaleen systeemin redusoidusta massasta saman suureen ilmentyminä.

Yleistymiseen liittyy myös eri suureiden *yhdentymistä* yleisemmiksi kattokäsitteiksi. Esimerkiksi kappaleen hidas ja painava massa ovat empiiriseltä hahmotusperustaltaan eri käsitteitä. Eötwösin koe kytkee ne empiirisesti yhteen, mutta vasta yleinen suhteellisuusteoria yhdistää ne samaksi käsitteeksi. Energia on ehkäpä kaikkein yleisin kattokäsite, joka kytkee sekä empiirisiin että teoreettisiin perusteisiin yhteen suuren joukon eri ilmiöalueisiin liittyviä käsitteitä, nk. energian lajeja, ja nielaisee suhteellisuusteorian perusteella myös massan.

Yhdentyminen voi olla myös useamman suureen kytkeytymistä *rakenteellisiksi yhdistelmäsuureiksi*, kuten vektoreiksi, tensoreiksi tai nelivektoreiksi. Tämäkin perustuu määrittelylakeihin, jotka ovat invariansseja. Esimerkiksi kahden vektorisuureen verrannollisuus määrittelee invariantin "verrannollisuuskertoimen", joka on tensori. Nelivektoreita määrittelevät lait ovat Lorentz-invariansseja eli riippumattomuuksia koordinaatiston liiketilasta.

Kaikkiaan yleistymisprosessiin liittyy hyvin monia yhteen kytkeytyviä erityyppisiä abstrahoitumisen ja strukturoitumisen linjoja, joiden tarkastelu ohi esitettyjen viitteellisten mainintojen ei ole mahdollista tässä yhteydessä.

Suureiden hierarkkinen verkko.

Suureen määrittelylaki on, kuten jokainen laki, joidenkin suureiden välinen relaatio. Tämä luo suureiden välille hierarkkisia suhteita. Suureen määrittely on mahdollinen vain, jos tietyt hierarkiassa alemmat suureet tunnetaan. Vastaavasti suure voi olla uusien hierarkiassa ylempien suureiden määrittelylain elementti.

Näin muodostuu suureiden relaatioiden *hierarkkinen verkko*. Verkossa jokainen suure kytkeytyy eri tavoin moniin muihin suureisiin, ja kaikki suureet kytkeytyvät verkon välityksellä toisiinsa moniakkin eri reittejä pitkin.

Esimerkiksi resistanssia edeltävät sähkövirta ja jännite. Sähkövirran määrittely perustuu voimaan, jännitteen energiaan. Näitä kumpaakin taas edeltää pitkä ketju hierarkiassa alempia suureita.

Etäisyyttä ja *aikaväliä* pidetään tavallisesti fysiikan ensimmäisinä perussuureina. Ne mittaavat kaikkien fysikaalisten ilmiöiden yhteisiä yleisiä puitteita, avaruutta ja aikaa ja muodostavat sen tähden fysiikan kvantitatiivisuuden perustan. Niiden merkitys on intuitiivisesti ilmeinen, mutta niilläkin on omat määrittelylakinsa.

Menetelmä, jolla *pituus* kvantifioidaan suureeksi, perustuu kahden kappaleen pituuksien vertaamiseen, toisen mittaamiseen toisella. Voidaan todeta kaksi empiiristä lakia.

Ensiksikin tällainen mittaustulos on invariantti, riippumaton vertailun ajasta, paikasta ja kappaleiden asennosta. Se määrittelee kappaleparille ominaisen suureen, joka esittää niiden "pituuksien suhdetta". Toiseksi, kun molemmat kappaleet mitataan kolmannella, saatujen lukujen suhde on toisella tavalla invariantti. Se on riippumaton käytetystä "yksikkökappaleesta" ja yhtä suuri kuin kappaleiden suorassa vertailussa saatu "pituuksien suhde". Nämä invarianssit yhdessä muodostavat pituuden määrittelylain. Niiden perusteella jokaisella kappaleella on sille ominainen pituus. Mielivaltaisen sopivan kappaleen pituus voidaan valita sen yksiköksi.

Aikavälin kvantifiointi perustuu samanlaisena jatkuvasti toistuvien ilmiöiden kestojen vertaamiseen. Tällaisia ilmiöitä ovat esimerkiksi taivaankappaleiden kiertoliike ja pyöriminen, erilaiset värähtelyt ja heilahtelut. Tällöin voidaan todeta vastaavalla tavalla kaksi empiiristä invarianssia, jotka yhdessä muodostavat tällaisten ilmiöiden *jaksonajan* määrittelylain. Minkä tahansa sopivan ilmiön jaksonaika voidaan valita yksiköksi. Tällainen yksikkö tekee suoraan mahdolliseksi käsitteen yleistämisen kahden hetkellisen tapahtuman *aikaväliksi*.

Etäisyyden ja aikavälin määrittelylait ovat fysiikan perusinvariansseja. Samalla niihin kätkeytyy syvä intuitiivinen mielikuva, jonka mukaan *avaruus ja aika ovat homogeeniset ja isotrooppiset* niin, että yksikkökappaleen pituus on aina ja kaikkialla sama ja ajan yksikköilmiö on aidosti jaksollinen. Empiiriset invarianssit koskevat vain pituuksien ja jaksonaikojen suhteita, eivätkä siten sulje periaatteessa pois sitä mahdollisuutta, että kaikki pituudet ja aikavälit vaihtelevat samassa suhteessa.

Molemmat määrittelylait koskevat kokeellisesti määritettäviä lukumääriä tai lukumäärien suhteita. "Perussuureet" etäisyys ja aikaväli perustuvat siten vielä perustavampaan suureeseen, *lukumäärään*. Näin kaiken kvantitatiivisuuden lähtökohtana ovat luonnolliset luvut. *Lukumäärä on suureiden hierarkkisen verkon pohjimmainen suure, kaikkien suureiden äiti*.

Verkkoa on helppo jatkaa avaruutta tai tilaa jäsentäviin geometrisiin ja liikettä kuvaaviin kinemaattisiin suureisiin. Pituuden mittaaminen tekee mahdolliseksi kulman [7], pinta-alan, tilavuuden ja esimerkiksi käyrän kaarevuuden [7], pituuden ja pinta-alan mittaukset yhdessä avaruuskulman [8], määrittelylakien todentamisen,

Nopeuden määrittelylaki todennetaan mittaamalla etäisyyttä ja aikaväliä, ja *kiihtyvyyden* mittaamalla nopeutta ja aikaväliä. *Kulmanopeus* määritellään mittaamalla kulmaa ja aikaväliä, ja edelleen *kulmakiihtyvyys* mittaamalla kulmanopeutta ja aikaväliä.

Kytkevien suunnat verkossa eivät ole yksikäsitteiset. Useisiin suureisiin voidaan päätyä erilaisista empiirisistä ovista ja erilaisista reittejä. Sähkövirta on ilmeinen esimerkki. Yleistysprosessiin kuuluvat täydentävät määrittelylait johtavat suureiden uusiin verkkokytkeihin, jotka tekevät verkosta monikerroksisen.

Dynamiikan peruskäsitteet.

Newtonin mekaniikan lähtökohtana on perushahmotus, jossa syntyvät ja käsitteistyvät olioita, ilmiöitä ja niiden helposti esikvantifioituvia ominaisuuksia jäsentävät hahmot: liikkuvat *kappaleet* ja niiden *hitaudet*, kappaleiden *liiketilojen* muuttuminen ja *muutosten suuruudet tai nopeudet* sekä kappaleiden väliset *vuorovaikutukset* ja niiden *voimakkuudet*. Kappaleen liiketilaa on sitä vaikeampi muuttaa, mitä suurempi on sen hitaus, ja sen liiketila muuttuu sitä enemmän

tai nopeammin, mitä voimakkaammin siihen vaikutetaan. Samalla rakentuu hahmojen kausaalirelaatioita koskeva mentaalimalli, jonka mukaan *vuorovaikutukset ovat kappaleiden liiketilän muutosten ainoita aiheuttajia*. Kappaleella voi olla vuorovaikutuksia monien eri kappaleiden kanssa, jolloin näiden yhteisvaikutus määrää kappaleen liiketilän muuttumisen. Erityisesti vaikutukset voivat myös kumota toisensa.

Tällainen hahmotus ei ole ilmeinen, vaan se edellyttää useita idealisoivia ja yhdentäviä oivalluksia. Liikkeelle lähteminen, kiihtyminen, hidastuminen, pysähtyminen ja liikesuunnan muuttuminen on osattava yhdistää yhdeksi kattokäsitteeksi. On oivallettava, että kappaleeseen on vaikutettava, jotta sen liiketila muuttuisi. Vaikutusten on nähtävä muodostuvan kahden kappaleen välisistä vuorovaikutuksista. Pahimman esteen poisti Newtonin oivallus, jonka mukaan heittoliike on taivaankappaleiden liikkeiden erityistapaus ja heitetyn kappaleen jatkuva liiketilän muuttuminen johtuu vuorovaikutuksesta Maan kanssa. Tämä hävitti samalla vaakasuorien liikkeiden erityisaseman.

Tämän hahmokokonaisuuden kolme korreloivaa perusominaisuutta kvantifioituvat Newtonin teorian perussuureiksi, liikemäärän muutokseksi tai muuttumisnopeudeksi, massaksi ja impulssiksi tai voimaksi, ja siihen liittyvä mentaalimalli strukturoituu teorian peruslaeiksi.

Kvantifioiva ideaalikoelma on kahden kappaleen törmäytys, jossa kappaleiden liiketiloja muuttaa vain niiden välinen törmäysvuorovaikutus. Se merkitsee ensi sijassa kappaleiden *hitauksien vertaamista*. Sillä, jonka nopeus muuttuu vähemmän, on suurempi hitaus.

Mittaamalla nopeuden muutoksia todetaan kaksi lakia, jotka ilmeisellä tavalla rinnastuvat pituuden ja aikavälin määrittelylakeihin:

1. Törmäävien kappaleiden A ja B nopeudenmuutokset Δv_A ja Δv_B ovat vastakkaissuuntaiset ja niiden itseisarvojen suhde on invariantti, riippumaton törmäyksen voimakkuudesta ja luonteesta. Tämä suhde on kappaleparille ominainen suure, jonka määrittäminen voidaan tulkita kappaleen A hitauden mittaamiseksi kappaleen B hitaudella.
2. Kun kappaleiden A ja B hitaudet näin mitataan kolmannen kappaleen hitaudella, tulosten suhde on riippumaton käytetystä "yksikkökappaleesta".

Yhdessä nämä muodostavat kappaleen hitaan massan määrittelylain. Kvantifioiva koelma on periaatteellinen menetelmä kappaleen massan mittaamiseksi. Tällöin mielivaltaisen kappaleen massa voidaan valita yksikäksi, jolle voidaan antaa haluttu nimi, esimerkiksi 1 kg, [7, 14].

Tämän jälkeen törmäyslait voidaan ilmaista liikemäärän $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ avulla muodossa $\Delta \mathbf{p}_A = -\Delta \mathbf{p}_B$. *Liikemäärän muutos* tulee näin määritellyksi liiketilän muutoksen suuruuden ilmaisevana suurena. Sen invarianssi tässä kokeessa on riippumattomuutta kappaleesta, (vaikka kappaleita onkin vain kaksi kussakin törmäyksessä).

Mentaalimallin strukturointi voidaan nyt toteuttaa määrittelemällä törmäyksen voimakkuuden ilmaiseva suure *impulssi* siten, että se on yhtä suuri kuin sen aiheuttama liikemäärän muutos. Syy ja seuraus tehdään näin yhtä voimakkaiksi. Tämä voidaan ilmaista kahdella yhtälöllä, $\mathbf{I}_A = \Delta \mathbf{p}_A$ ja $\mathbf{I}_B = \Delta \mathbf{p}_B$, jotka esittävät törmäyksen vaikutusta erikseen kumpaankin kappaleeseen ja joita yhdistää laki $\mathbf{I}_A = -\mathbf{I}_B$. Voimakkaasti abstrahoiva päättely, jossa törmäys ajatellaan hetkellisten vuorovaikutusten ketjuksi, johtaa impulssista *voimaan*, vuorovaikutuksen hetkellistä voimakkuutta kuvaavana suurena.

Tämän prosessin tarkastelu kiinnittää dynamiikan perussuureiden järjestyksen hierarkkisessa verkossa. Massa käsitteenä syntyy ensin. Sen määrittelyyn tarvitaan vain nopeutta. Sitä seuraavat liikemäärä, impulssi ja voima tässä järjestyksessä.

Evoluutio, ei revoluutio

Tieteellisen prosessin ymmärtäminen hahmotukseksi yhdistävän dualismin hengessä johtaa olennaisesti erilaiseen käsitykseen tieteen käsitteiden luonteesta kuin perinteinen erottavan

dualismin mukainen kaksitasoajattelu. Ei ole erikseen teoreettisia ja kokeellisia käsitteitä, vaan kaikki käsitteet ovat luonteeltaan hahmoja. Niillä on, niiden hierarkkisesta asemasta riippumatta, sama perusluonne kuin arkiympäristömme esineiden, tapahtumien ja niiden ominaisuuksien, kokojen, muotojen, värien ym. hahmoilla. Niihin kuuluu aina sekä kokeellinen että teoreettinen komponentti ihmismielen intuitiivisen elementin yhteen sulauttamina.

Teorioiden tulkitseminen yhdistävän dualismin hengessä korkeimman kertaluvun hahmoiksi antaa niille samalla tavalla pysyvän merkityksen. Kuhnilainen käsitys, jonka mukaan tiede edistyy vallankumousten kautta, edustaa kaksitasoajattelua. Paradigman muutokset on siinä ymmärretty "puhtaasti teoreettisiksi prosesseiksi", jotka luovat uusia teorioita irrallaan empiirisestä hahmoperustasta.

Tästä käsityksestä on ollut paljon vahinkoa luonnontieteiden tutkimukselle ja opetukselle. Pitkälti sen varaan rakentuu *tieteen merkityksettömyyden myytti*, jonka mukaan tieteellinen tieto muuttuu jatkuvasti ja uudet tulokset voivat milloin tahansa mitätöidä kaiken aikaisemman tieteen tulokset. Sen avulla on lietsottu erityisesti luonnontieteiden vastaisia asenteita. Myytin toisena savijalkana on sekaannus, tieteen pysyviä ja teknologian muuttuvia tuloksia ei osata erottaa toisistaan.

Ei ole mitään aihetta kuvitella, että sellaiset maailmankuvaa jäsentävät käsitteelliset perusoivallukset, joita kaavion 2 yhteydessä tarkasteltiin muuttaisivat merkitystään sen helpommin kuin muodot voivat lakata olemasta muotoja, värit värejä taikka eläimet eläimiä, kasvit kasveja ja eliöt eliöitä – kukin lajinsa mukaan.

Kvanttimekaniikka ja suhteellisuusteoria, jos mitkään, merkitsevät fysiikan kehityksessä paradigman muutoksia, vallankumouksia. Klassisen fysiikan teoriat eivät kuitenkaan ole menettäneet merkitystään. Uudet teoriat ovat uusi ymmärtämisen kerros, joka rakentuu alemmille ja tarjoaa samalla niille syvemmän selityspohjan. Ne eivät tuhoa aikaisempia vaan kiteyttävät ne selkeiksi hahmoiksi, valmiiksi teorioiksi, joilla on hyvin määritellyt sovellusalueet. Monille ne ovat merkinneet henkilökohtaista revoluutiota, valmiiksi luutuneen maailmankuvan perusarvojen luhistumista. Tieteen kehityksessä ne ovat kuitenkin olleet vain evoluution välttämättömiä kvanttihyppyjä.

Valmiin käsiterakenteen viimeistely esitystapa ja sen luomisen prosessi ovat kaksi eri asiaa. Fysiikan teorioiden aksiomatisoidut loogiset struktuurit ovat inhimillisen sivistyksen kruunuun ajateltuja kirkkaiksi hiottuja timantteja. Mutta ihminen ei olekaan kuningatar, joka voisi ostaa timantit loogisen välttämättömyyden selvillä seteleillä ja kiinnittää ne kruunuunsa, vaan raataja, joka voi voittaa osuuden niiden omistamiseen vain suostumalla osalliseksi niistä pois hiottuun luomisen tuskaan. Mutta hiominen jatkuu. Onko kruunukin vain haaveilijoiden mielessä väikkyvä utopia?

Kirjallisuusviitteet

1. Kurki-Suonio K., Kervinen M. ja Korpela R. *Kvantti 1. Fysiikan laaja oppimäärä*. Weilin + Göös. 1982.
2. Kurki-Suonio K., Kervinen M. ja Korpela R. *Kvantti 2. Fysiikan laaja oppimäärä*. Weilin + Göös. 1983, 1988, 1991.
3. Kurki-Suonio K., Kervinen M. ja Korpela R. *Kvantti 3a. Fysiikan laaja oppimäärä*. Weilin + Göös. 1984, 1990.
4. Kurki-Suonio K., Kervinen M. ja Korpela R. *Kvantti 3b. Fysiikan laaja oppimäärä*. Weilin + Göös. 1985.
5. Kurki-Suonio K. ja R. *Fysiikan perusteet. Kurssimoniste*. Helsingin Yliopisto. Fysiikan laitos. 1991.
6. Kurki-Suonio K. ja R. *Tutkimuksen ja oppimisen perusprosessit*. Dimensio 5/91, 18 – 24.
7. Kurki-Suonio K. ja R. *Vuorovaikuttavat kappaleet – mekaniikan perusteet*. Limes ry., Helsinki, 1991.
8. Kurki-Suonio K. ja R. *Vuorovaikutuksista kentiin – sähkömagnetismin perusteet*. Limes ry., Helsinki, 1991.
9. Kurki-Suonio K. ja R. *Aaltoliikkeestä dualismiin*. Limes ry., Helsinki, 1991.
10. Kurki-Suonio K. ja R. *Kokeellisen ja teoreettisen lähestymistavan tuntomerkit fysiikan opetuksessa*. Dimensio 52, 1/1988, 14 – 19.
11. Kurki-Suonio K. ja R. *The characteristics of the experimental and theoretical approach in the teaching of physics*. Nordisk Forskarsymposium: Naturvetenskapen i Grundskolan. Göteborg, 1988, 126 – 135.
12. Kurki-Suonio K. *Ajatuksia fysiikasta ja todellisuudesta*. Artikkelikirjassa "Kohti uutta todellisuuskäsitystä". Yliopistopaino, Helsinki 1990, 77–88. Dimensio 55, 8/1991, 38–45.
13. Standardi SFS–2300. Suureet ja yksiköt. Kansainvälinen mittayksikköjärjestelmä SI. Suomen Standardisoimisliitto. 4. painos (1984).
14. Andersson S., Hämäläinen A. ja Kurki-Suonio K. *Demonstraatiot fysikaalisen käsitteenmuodostuksen tukena. Hidas massa*. Report Series in Physics HU–P–A70, Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos, Helsinki, 1987. 14 s.