

ARTIKKELIT

VOIKO LUONTOA YMMÄRTÄÄ, VAIKKA ARKIJÄRKI EI TAVOITA TODELLISUUTTA?

Kimmo Tuominen

Professori

Helsingin Yliopisto

Luonnontieteissä pyritään ymmärtämään maailmaa järjestelmällisellä tavalla. Antiikin Kreikasta alkanut kehityskaari on vuosisatojen kuluessa muovannut sääntöjen ja periaatteiden kokoelman, jonka avulla pyritään saamaan mahdollisimman luotettavaa tietoa todellisuudesta. Luonnontieteellisen metodin kehittyminen on kantanut ymmärryksemme ja ajattelumme valtavan kauas Thaleen ja Aristoteleen ”järkeilyyn” perustuvasta päättelystä. Modernissa fysiikassa aika ei ole absoluuttista, eivätkä arkisen kielenkäytön käsitteet, kuten kappaleen paikka, ole automaattisesti käytettävissä atomitason ilmiöiden kuvailussa. Luontoa ymmärtääkseen onkin opeteltava kieli, jolla maailma kertoo meille itsestään.

LUONNONTIETEELLISEN METODIN PERUSTA

Aristoteleelle havainnot olivat tärkeitä, mutta järki oli niiden yläpuolella. Luonto oli nähtävä järjestelmänä, jota voitiin ymmärtää järkeilemällä sen perimmäiset tarkoitukset, ei mittaamalla luonnon ilmiöitä. Tämä rajoittunut tapa tarkastella maailmaa hallitsi ajattelua vuosituhansien ajan.

Murros alkoi 1500-luvulla Nikolaus Kopernikuksesta ja ajatuksesta, että Maa ei olekaan maailmankaikkeuden keskus. Kepler ja Galilei jatkoivat rakentamista Kopernikuksen asettamalle perustalle.

Erityisesti Galilei rikkoi historian kaavan lopullisesti suorittamalla mittauksia, joiden perusteella hän muotoili yleisiä lakeja. Näin tieteellinen kysymys muuttui metafyyysisestä mekaaniseksi: ei miksi kappale putoaa, vaan *miten* kappale putoaa. Menetelmä huipentui Newtonin manifestiin *Principia Mathematica*: maailmaa voidaan ymmärtää yleispätevien matemaattisten lakien avulla. Luonnontieteellisen metodin ensimmäinen täysi versio oli syntynyt.

Keskiössä ovat siis havainnot: ne ovat tieteen ja arkitiedon yhteinen rajapinta, perusta, josta lähtien hypoteeseja muotoil-

laan ja teorioita testataan. Yksinkertaistusti luonnontieteellisen metodin vaiheet ovat: **Havaintojen tekeminen** tarkastelemalla ilmiötä ja tunnistamalla sen piirteitä. **Hypoteesin muotoilu** havaintojen perusteella, eli ilmiölle ehdotetaan testattavaa selitystä. Hypoteesin **testaus kokein ja mittauksin**. Testattuun hypoteesiin pohjautuva **teorian muodostaminen ja tarkentaminen**. Havaintojen merkitys ei rajoitu yksittäisiin kokeisiin, vaan useiden havaintojen muodostamasta aineistosta etsitään säännönmukaisuuksia. Kun useat havainnot tukevat samaa hypoteesia, sen selitysvaikutus vahvistuu. Jos jokin havainto osoittaa hypoteesin virheelliseksi, on hypoteesi hylättävä tai sitä on muokattava. Näin edellä mainitut vaiheet muodostavat kehän, jota toistetaan, korjataan ja laajennetaan.

Prosessissa on oleellista **tulosten julkisuus ja toistettavuus**. Muiden tutkijoiden on voitava tarkastella ja toistaa kokeet, teorioiden analyysit ja vahvistaa aiemmat tulokset. Lisäksi prosessi on dynaaminen ja uudet havainnot voivat horjuttaa vanhoja teorioita. Tällöin uusi teoria laajentaa teorian selittämien havaintojen kenttää ja selventää, mitkä ovat vanhan teorian rajoitukset. Usein vanha teoria säilyttää asemansa pätevyysalueellaan. Näin kävi esimerkiksi, kun ymmärrettiin, että suurella nopeudella liikkuvia kappaleita on kuvattava suhteellisuusteorian esittämällä tavalla, ja kun nopeudet ovat pieniä, suhteellisuusteoria vastaa Newtonin teoriaa. Tieteellinen metodi

sisältää siis itseään korjaavan elementin; se ei takaa erehtymättömyyttä, mutta pyrkii minimoimaan virheiden pysyvyyden.

HAVAINNOT, TEORiat JA MAAILMANKUVAN MUODOSTUMINEN

Havainnot ovat luonnontieteiden peruskivi. Ilman havaintoja hypoteesit olisivat pelkkää spekulatiota. Havainto voi olla arkitodellisuudessa tehty yksinkertainen huomio, kuten taivaankappaleiden liikkeiden tarkastelu, tai monimutkaisen mittalaitteen tuottama tulos mikroskooppisesta ilmiöstä, kuten hiukkaskiihdyttimessä tapahtunut törmäys.

Arkipäivän havaintoon verrattuna tieteellistä havaintoa leimaa sen järjestelmällisyys: havainnot pyritään tekemään mahdollisimman hyvin hallituissa olosuhteissa ja käyttämään toistettavia menetelmiä. Tavallisessa aistihavainnossa ympäristön vaikutuksia ei pystytä eristämään.

Luonnontieteellisessä tutkimuksessa havainto ei ole koskaan täysin neutraali. Se on aina jossain määrin teoreettisesti ohjattu ja vaatii ymmärrystä yksityiskohdistaan, kuten käytetyistä mittalaitteista. Teleskoopilla tehtävä havainto tähtitaivaasta perustuu optiikan teoriaan, kvanttikohteiden mittaaminen edellyttää tarkasteltavan ilmiön matemaattista mallintamista ja ymmärrystä kvanttimekaanisten mitausten luonteesta. Tämä tarkoittaa, että havaintoja ei voida täysin erottaa taustaoletuksista ja teoriasta.

Toisaalta juuri tämä vuorovaikutus tekee tieteestä voimakasta ja mahdollistaa teorioiden haastamisen havaintojen avulla. Esimerkiksi 1800-luvun lopulla havainnointu mustan kappaleen säteily ei sopinut olemassa oleviin malleihin. Havaintojen ja teorian ristiriita johti kvanttimekaniikan syntyyn – paradigman muutokseen, joka mullisti käsityksen luonnon perusrakenteesta.

Maailmankuvan muutoksen mahdollisuus on luonnontieteellisen metodin ytimessä: luonto ei ole mystinen ihmisen ulkopuolinen verkosto, vaan ihminen on osa luonnon jatkumoa. Kun fysiikka, kemia ja biologia kehittyivät itsenäisiksi tieteenaloiksi, ne mahdollistivat ymmärryksen siitä, että monimutkaisuutta voi olla ilman yliluonnollista suunnitelmaa.

Luonnontieteelliseen metodiin perustuva maailmankuvan muodostaminen sisältää myös kriittisyyden elementin korostamalla, että uskomuksia ei tule pitää totena ilman perusteluja ja väitteiden totuusarvo mitataan todellisuutta vasten. Näin ollen havainnot eivät vain lisää tietoa, vaan ne myös opettavat ajattelutapaa, jossa varmuus on suhteellista ja avoinna tarkistukselle. Toisaalta näin syntyy tietoa, jota voidaan pitää totena ja jota ei ole enää järkevää epäillä. Voidaan sanoa, että havainnot muodostavat konkreettisen kosketuspinnan todellisuuteen. Esimerkiksi havainnot ilmastonmuutoksen seurauksista muuttavat tiedeyhteisön käsitystä maapallon tilasta, ohjaavat yksion

toimintaa ja johtavat yhteiskunnallisiin vaikutuksiin.

Samalla tieteen luoma maailmankuva on dynaaminen: uusia havaintoja ja mitausmenetelmiä syntyy jatkuvasti, mikä muokkaa käsitystämme niin luonnon historiasta, kosmoksesta kuin ihmisen paikasta maailmassa. Luonnontieteellinen metodi sisältää myös eettisen ulottuvuuden, tieteenfilosofisen pohdinnan siitä, missä kulkee mahdollinen tutkimuksen moraalinen raja.

LUONNON YMMÄRRETTÄVYYS

Antiikin ajoista lähtien luonnon ymmärtämisessä keskeinen moottori on ollut todellisuuden ymmärtäminen ”järjen” perusteella. Luonnon ajatellaan noudattavan lakeja, jotka ovat havaittavissa, mitattavissa ja selitettävissä. Luonnontieteellinen metodi olettaa, että luonto on säännönmukainen ja matematiikan kielen avulla luonnon lait paljastuvat. Esimerkiksi taivaanmekaniikan avulla selviää, että planeetat liikkuvat tarkasti laskettavia ratoja pitkin ja tällainen lainalaisuus on vielä helposti ihmisen käsitettävissä.

Tämä klassinen varmuus rikkoutui vuonna 1905, kun Einsteinin suhteellisuusteoriat muuttivat ymmärryksemme todellisuuden rakenteesta. Aika ei ollutkaan universaali kello, joka tikittää samaa tahdia kaikkialla. Avaruus ei ollutkaan näytämö, vaan dynaaminen kudelma, jonka geometrian materia määrittää. Kvanttimekaniikka toi lisäksi mukaan todennä-

köisyyksien logiikan, joka poikkeaa meidän intuitiostamme. Kvanttimekaniikan hienoimpia seurauksia ymmärryksemme kehittymiselle on lokaalin realismin rikkoutuminen. Realismi tarkoittaa sitä, että havaittavilla objekteilla on olemassa todelliset ominaisuudet riippumatta siitä, havainnoidaanko niitä vai ei. Lokaalisuus tarkoittaa sitä, että mikään vaikutus ei voi kulkea valoa nopeammin. Lokaalin realismin rikkoutuminen luonnossa on havaittu Bellin epäyhtälöitä testaavien kokeiden avulla, ja on osoittautunut, että kvanttimaailmassa syy ja seuraus ilmenivät verkottuneina todennäköisyyksinä.

”Arkijärjen” vastaisuus ei kuitenkaan heikennä luonnon ymmärrettävyyttä, joka perustuu täsmälliseen matemaattiseen kieleen. Todellisuuden ei tarvitse olla ”yksinkertainen” vaan johdonmukainen. Luonnontieteen tavoitteena ei ole todistaa, että maailma olisi ymmärrettävä arkipäiväisemme avulla. Luonnontieteen pyrkimyksenä on löytää säännönmukaisuuksia, jotka tekevät ennustamisen mahdolliseksi. Kvanttimekaniikka on tämän menestyksen konkreettinen ilmentymä: se on tarkin ja ennustusvoimaisin teoria, jonka ihminen on koskaan kehittänyt. Kvanttimekaniikan avulla voimme laskea atomien energiaspektrin, puolijohteiden ominaisuudet ja monien muiden järjestelmien käyttäytymisen. Tulokset vastaavat havaintoja ällistytävällä tarkkuudella. Luonto saattaa näyttäytyä meil-

le hämmentävänä, mutta se ei ole mieltävaltainen. Vaikka luonnon kuvailu vaikuttaa meistä käsitteellisesti oudolta, se on empiirisesti totta.

YMMÄRRETTÄVÄ, VAAN EI ARKINEN

Ymmärtäminen ei ole sama kuin ”kuvittelemisen”. Vaikka tieteen popularisointi on tärkeää, voi erilaisten analogiaselitysten perusteella syntyä käsitys, että ilmiöitä voidaan ymmärtää piirtelemällä malleja tai muutoin visualisoimalla. Luonnontiede ei pyri tekemään maailmaa meille tutuksi arkipäivän termein, vaan tavoittelee jotakin paljon syvällisempää. Luonnontiede pyrkii kuvaamaan maailman toimintaa täsmällisesti ja teoreettisesti yhtenäisellä tavalla. Sekä kvanttimekaniikka että suhteellisuusteoria tavoittavat juuri tämän: ne ennustavat ilmiöitä, joita emme osaa hahmottaa, mutta jotka osoittautuvat kokeellisesti tosiksi. Näiden ilmiöiden mahdollistama teknologinen kehitys on muuttanut yhteiskuntaa ja arkeamme peruuttamattomalla tavalla.

Luonnontieteellinen metodi on paljon enemmän kuin vain tapa tehdä tutkimusta. Se kertoo suhteestamme todellisuuteen. Se kertoo, miten kuuntelemme maailmaa, jota ei ole tehty meitä varten.