



Avauksia uudelleenlaiseen tiedekäsitykseen

Annala, Arto: *Kaiken maailman kvantit. Luonnontieteen maailmankuvan tarkistus*. Vastapaino 2019.

Viimeisen viidentoista vuoden aikana varsinkin biofysikaalista ja biokemiallista todellisuutta tarkastelevan tutkimuksen piirissä on suuntauduttu kohti monitieteisiä tutkimusongelmia. Todellisuudesta on pyritty saavuttamaan uudellinen käsitys tarttumalla kokonaisvaltaisemmin aikaisemmin yksittäisinä ongelmina pidettyihin tieteellisiin kysymyksiin. Luonnontieteilijöille on käynyt vähitellen selväksi, etteivät todellisuuden perimmäisten muotojen takeena olevat tekijät muodosta sellaisia selvärajaisia aineen, ajan ja liikkeen rakenteita, joihin voisi tarttua perinteisen fysiikan tai mekaniikan keinoin.

Helsingin yliopiston biofysiikan professorina toiminut Arto Annala tarkastelee tätä murrosta huomattavan laajojen aineistojen avulla teoksessaan *Kaiken maailman kvantit*. Kysymyksessä on syvälinen, 472-sivuinen perusteos tieteen, tieteenhistorian ja tieteenfilosofian keskeisiin ongelmiin siltä osin kuin nämä koskettelevat ajan, aineen, avaruuden, tietoisuuden ja elämän perusteita sekä ihmisen ja luonnon välisen suhteen tietoteoreettisia kysymyksiä.

Työn keskeisenä tavoitteena on haastaa luonnontieteen aikaisem-

mat käsitykset ja kutsua lukija pohtimaan uudella tavalla luonnontieteen tavoitteita, ihmisen asemaa maailmassa ja tieteellisen tiedon yhtenäisyyden eetosta. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi ja olemassa olevan luonnontieteellisen maailmankuvan tarkistamiseksi Annala joutuu tukeutumaan työssään klassisen fysiikan lisäksi ainakin biofysiikan, kvanttifysiikan, evoluutioteorian ja soveltavan tilastollisen luonnontieteen tuloksiin.

Viime aikoina on julkaistu huomattava määrä hyviä kvanttifysiikan ja aineorian esityksiä, mutta *Kaiken maailman kvantit* puolustaa paikkaansa perusteellisuudellaan. Teoksesta on oikeastaan mahdoton löytää mitään negatiivista sanottavaa. Yksityiskohtat ovat vakuuttavia, lähdeviitteet paikallaan ja rakenne sen verran johdonmukainen, että työtä on sen huomattavan laaja-alaisesta kysymyksenasettelusta huolimatta suhteellisen helppo seurata. Jo pintapuolinen tutustuminen työn sisältöön osoittaa, että meillä Suomessa osataan ja uskalletaan tehdä kansainväliset mitat täyttäviä tietokirjoja.

Kaiken maailman kvantit jakautuu rakenteellisesti kahteen osaan, mutta temaattisessa mielessä osien välillä ei ole syytä nähdä jyrkkärajaista repeämää: työn ensimmäinen osa "Olevaisen olemus" vastaa ajan, aineen ja kvanttien ontologisiin ja epistemologisiin ongelmiin ja perehdyttää samalla modernin fysiikan tapaan mallintaa maailmaa erilaisten matemaattisten ja tilastollisten välineiden avulla. Jälkimmäinen osa eli "Maailmankuvan merkitys" tutkii puolestaan elämän synnyn, tietoisuuden, arvojen ja maailmankuvan ongelmia. Osilla on suhteellisen selvä sisällöllinen yhteys toisiinsa, mutta jonkinlainen tietoteoreettinen raja kulkee siinä, mitä maailmasta voidaan tietää ja mitkä ovat tämän tiedon laadulliset ja arvoteoreettiset ehdot.

Teokseen kannattaa suhtautua samalla tavalla kuin tekijä on itse työhönsä suhtautunut, lähes-

tymällä tutkimuskohteena olevan luonnon perimmäisiä salaisuuksia kiihottomasti ja ennakkoluulottomasti. Maineikkaan yhdysvaltalaisen fyysikon Richard Feynmanin ajatuksia mukailien luonnon ymmärtäminen ei vaadi minkäänlaisia maagisia perusteita, vaan pikemminkin kykyä kysyä oikeita kysymyksiä ja halua kokeilla (ja hylätä) epätavallisia vastauksia.

Annala aloittaa työnsä erilaisen havainto- ja mittalaitteistojen ongelmilla ja pohtii samalla kausaaliiteetin ja lainalaisuuden kysymyksiä. Valinta saattaa vaikuttaa hätäiseltä, sillä tietyssä mielessä aineen olemus on mittalaitteiden kehitystä perustavampaa. Ratkaisu ei ole kuitenkaan käytännössä tuomittava, sillä tieteen toimivuuden ja tulosten relevanssin suhteen juuri mittalaitteiden roolin ymmärtäminen auttaa hahmottamaan luonnossa vallitsevien syiden ja seurausten vuorovaikutusta. Huomio on keskeinen pohdittaessa teoksen tematiikkaa tarkemmin. Esimerkiksi gravitaation kaltaiset tekijät eivät ole havaittavissa sellaisenaan, vaan niiden olemassaolo joudutaan päättämään mittalokseista. Tässä suhteessa erityisiä ongelmia nykyfysiikoille ovat tuotaneet muun muassa pimeän aineen tai pimeän energian määrittäminen. Säännönmukaisuuksia ja lainalaisuuksia löytyy kaikkialta ihmisen perimästä kosmoksen rakenteeseen saakka, mutta näiden saavuttaminen vaatii ilmiöiden näkyvien piirteiden keskinäisen vertailun lisäksi atomien ja kvanttien tutkimista.

Modernin biofysiikan näkökulmasta katsoen toisen keskeisen ongelman muodostaa ajan vaikea määriteltävyys (luku 2). Ajan ja sen muutosten taustalla vaikuttavien perusteiden tutkiminen auttaa ymmärtämään säännönmukaisuuden syitä, mutta tämä vaatii huomattavan tarkkoja mittauksia aineessa ja sen ympäristössä tapahtuvien muutosten suhteen. Kaikki suuret säännönmukaisuudet erilaisista matemaattisista jakaumista ja s-muotoisista kasvukäyristä

erilaisiin verkostoihin, spiraaleihin ja evoluutiopuihin ovat tapahtumien tuloksia, jolloin niiden sisäinen kehitys määräytyy ajan kulun mukaisesti. Ihmiskunnan historia karttuu jokaisen yksilön ainutlaatuisesta elämästä ja ajan merkit näkyvät samalla tavalla esimerkiksi maanjäilyksen laajentumisessa, varalisuuden jakautumisessa ja maailmankaikkeuden evoluutiossa.

Näin hahmoteltuun laajaan ongelmakenttään on jokseenkin mahdollon tarttua klassisen fysiikan keinoin. Annilan työn ansio on siinä, että se hahmottelee uudenlaista kokonaisvaltaista tiedekäsitystä perinteisten ongelmien ratkaisemiseksi. Tässä suhteessa on syytä huomata, etteivät luonnontieteessä muutu aina niinkään tutkimusongelmat, vaan pikemminkin keinot ongelmien selvittämiseksi. Tieteilijät ajattelivat vanhastaan, että yhden luonnossa havaittavan tekijän vaihtelu ei vaikuta muiden parametrien luonteeseen. Nykykäsityksen mukaan tätä ajatusta on kuitenkin vaikea hyväksyä, koska luonnon perustana oleva alkeishiukkasten todellisuus muuttuu kokonaisvaltaisesti kvanttien vaihdeltaessa paikkojaan ja virratessa järjestelmästä toiseen.

Asian tutkiminen vaatii uudenlaista ymmärrystä ilmiön ja sen ympäristön välisestä suhteesta. Perustavat muutokset tapahtuvat kvanttien tasolla, mutta klassinen fysiikka asettaa toiminnolle perustavat kehukset, jolloin esimerkiksi lämpötilaa ei voi laskea alle absoluuttisen nollapisteen eikä painovoiman vaikutusta hävittää olemattomiin. Käytännössä mikään järjestelmä ei ole täysin eristetty ympäristöstään. Kehitys on kulkenut pitkän matkan Arthur Eddingtonin muotoilemasta ajan nuolen ongelmasta ensin termodynamiikan kysymyksiin ja sen jälkeen kvanttifysiikan esittämään tilanteeseen, jossa todellisuus jakautuu useisiin keskenään lomittuviin nykyyhetkiin ja lopulta rinnakkaisiin maailmankaikkeuksiin. *Kaiken maailman kvantit* ei tarjoa välttämättä täysin uusia välineitä näiden

ongelmien ratkaisemiksi, mutta se myöntää modernin fysiikan tuloksiin sisältyvät ongelmat ja pyrkii osoittamaan ne mahdollisimman yksityiskohtaisesti.

Teos syvenee kahden ensimmäisen luvun jälkeen tekijän siirtyessä käsittelemään ensin aineen olemusta ja alkeishiukkasten reaktioita (luku 3) ja tämän jälkeen maailmankaikkeuden kehitystä, jolloin näkökulma siirtyy selvemmin pimeään aineeseen ja pimeään energian ongelmiin sekä muihin modernin kosmologian perustaviin kysymyksiin (luku 4). Aineen perusolemuksen hahmottaminen voi olla periaatteessa helppo tehtävä sikäli kuin lähtökohdaksi otetaan antiikin atomistien käsitykset aineen olemuksesta ja keskinäisistä suhteista, mutta tilanne käy erityisen ongelmalliseksi siirryttäessä Paulin, Schrödingerin, Sommerfeldin ja kumppaneiden muotoilemaan hiukkasfysiikan standardimalliin, joka ei selitä hierorakennevakiota, vaan ottaa sen annettuna. Järjestelmä alkaa näyttää kaikin puolin vaikeasti hallittavalta: matemaattisen fysiikan antamat lukuarvot vastaavat mittaustuloksia, mutta havaitsijan käsityskyky on koetuksella, koska saatu tulos kadottaa syyn ja seurauksen välisen yhteyden helposti näkyvistä.

Tutkimus muuttuu varsinkin kvanttifysiikan perusteiden kohdalla huomattavan monimutkaiseksi, mutta tämä johtuu osin myös siitä, ettei tekijä pitäydy aina täysin selvärajaisesti empiirisen luonnontieteen keskeisissä tuloksissa, vaan peilaa niitä paikoin huomattavan laaja-alaisesti tieteenfilosofian ja tieteenhistorian perintöön.

Erityisesti tutkimuksen kolmannen luvun loppu on huomattavan vaikeaselkoinen, mutta modernin kosmologian osalta neljännen luvun selostukset gravitaatiokentän ominaisuuksista, inflaatioteoriasta sekä korkea- ja matalaenergisten hiukkasten tyhjiökäyttäytymisestä eivät päästä lukijaa välttämättä yhtään sen helpommalla. Lisähaasteita aiheuttaa kvanttifysiikan standardimallin haastajaksi ehdol-

la olevan säieteorian hahmottele. Annilla ei esittele kovin laajasti säieteorioiden eri versioita (mainitsematta jäävät F-teoria, M-teoria sekä erilaisten supersäieteorioiden väliset erot), mutta hän nostaa esiin säieteorian taustalla olevat tietoteoreettiset ongelmat. Malli on varsinkin havaintojen suhteen ongelmallinen, sillä se tarjoaa avaruuden geometrian selitykseksi suuren määrän mahdollisia maailmoja eikä tyydy perinteiseen kolmeen geometriseen ulottuvuuteen. Toistaiseksi fyysikot eivät ole löytäneet hyvistä yrityksistään huolimatta sellaista yhtenäisteoriaa (tai kaiken teoriaa), joka selittäisi sekä aineen perustavan muodon kvanttien tasolla että neljän perusvoiman ilmentymät tyhjentävästi.

Jotta tämä kaikki ei olisi liian yksinkertaista (!), siirtyy Annilla pohtimaan teoksensa toisessa osassa elämän, talouden, kulttuurin ja ihmisen itsensä merkityksiä. Nämä tekijät eivät palaudu tietenkään kaikin osin alkeishiukkasten ja voimakenttien todellisuuteen, mutta teksti pitäytyy huomattavan paljon fysiikan ja kvanttiteorian tarjoamissa mahdollisuuksissa eikä ota juuri kantaa siihen, ovatko kulttuurin erilaiset ei-mitattavat muodot mahdollista palauttaa jossain suhteessa esimerkiksi biofysiikan tai kvanttifysiikan perustaviin tekijöihin.

Teosta ei ole tässä suhteessa syytä arvostella, sillä sen lähtökohta noudattaa suhteellisen hyvin biofysiikan tutkimusalan käytännöksi muodostuneita rajoja. Varsinkin työn kuudes luku käsittelee modernin luonnontieteen piirissä kehitettyjen teorioiden mahdollisuutta sanoa jotain ihmisen kehityksestä sikäli kuin tälle voidaan määrittää yleiset biofysikaaliset lainalaisuudet. Luku on siinä suhteessa keskeinen, että se sisältää laajan molekyyleistä biosfääriin yltävän kehityskertomuksen ja hahmottelee samalla uudenlaista, viime aikojen evoluutiobiologisissa ja systeemibiologisissa tutkimuksissa esillä ollutta käsitystä, joka pyrkii palauttamaan

elämän synnyn ja kehityksen kysymykset perinteisen evoluutioteorian sijaan ympäristön vaatimuksista laajemmin nousevaan ”kokonaisvasteeseen”.

Tätä taustaa vasten on selvää, ettei esimerkiksi tekoölyn mahdollisuuksia kehittyä ihmisälyn kaltaiseksi voi kiistää. Erityisen ansiokas *Kaiken maailman kvantit* on hahmotellessaan biofysiikan sekä biologian uusien tutkimuskysymysten avulla sellaista tieteellistä lähestymistapaa, jossa perinteinen jako elolliseen ja elottomaan luontoon menettää merkityksensä. Tavoitteena ei ole tarketa niinkään yksittäisiin tutkimusongelmiin, vaan luoda pikemminkin laaja-alainen näkökulma aineellisen todellisuuden kokonaiskehityksen hahmottamiseksi. Tämä vaatii paikoin suhteellisen rohkeiden analogiapäätelmien ja rinnastusten tekemistä eliökunnan molekyyliissä erottuvan orgaanisen elämän ja epäorgaanisissa aineksissa erottuvien kulttuuristen muotojen välille.

Kyseisen yleisperiaatteen mielekkyyks on siinä, että se pyrkii käsittelemään kaikkia ekologisia, materiaalisia ja symbolisia järjestelmiä laadullisesti yhteismitallisena kokonaisuutena. Ongelmana on lähinnä se, että monet varsinkin aineen hienorakenteen tasolla havaitut ilmiöt ovat huomattavan hypoteettisia ja niiden yhdistäminen laajaksi kokonaiskertomukseksi vaatii paikoin suhteellisen rajuotteisia yleistyksiä. Hyvän esimerkin työssä esillä olevan yleisperiaatteen hahmottamiseksi tarjoaa tietoisuuden määrittelmä sikäli kuin se halutaan nähdä yksilön tietoisuutta laajempana universaalina kokonaisuutena, jolloin esimerkiksi aivokuoren sähköisen aktiivisuuden ja maankuoren seismisen aktiivisuuden välillä ei ole tarpeellista tai mahdollista nähdä laadullista eroa (luku 7).

Annilla tarkastelee kysymystä osana kognition, materialismin ja ajan kulun säännönmukaisuuden kokonaisvaltaista kehitystä. Nämä eivät ole välttämättä uusia lähtökohtia, mutta uutta voi olla

se, ettei tekijä päädy tuloksiinsa uusdarwinistisen reduktionismin tai muiden perinteisten lähtökohtien kautta, vaan nykyaikaisiin biotieteisiin nojaavan holistisen ajattelutavan avulla. Sikäli kuin tietoisuuden sisältö ja todellisuus itsessään voivat muodostaa luonnon keskeisen perustan, selittää ajan kulun lainalaisuus tietoisuuden kehitystä samalla tavalla kuin muunkin olevan kehitystä. Tällöin esimerkiksi ihmisaivojen vakioitu tila ei ole täysin säädelty eivätkä geenien ilmentymät ole täysin virheettömiä. Perustavanlaatuisen vakauden ja yllättävän muutoksen välinen hienovarainen tasapaino noudattaa samansuuntaisia kehityslinjoja huolimatta siitä, otetaanko tarkastelun lähtökohdaksi ihmisen kehitys, taivaankannen ilmiöt vai erilaisissa ekosysteemeissä havaittava mikrobiologinen toiminta.

Edellä esitettyjen seikkojen lisäksi teos avaa lopulta kiinnostavia näkymiä myös ihmiskunnan tulevaisuuteen. Tämä ei ole temaattisessa mielessä irrallinen osio suhteessa työssä laajasti esillä olevaan kvanttien todellisuuteen. Sikäli kuin luontoa pidetään biofyysisenä kokonaisuutena, voidaan olettaa, että eliö- ja kasvilajien sukupuutot, ilmastonmuutos ja vieraslajien leviäminen voidaan selittää kvanttien virras tapahtuvien ajallisten ja aineellisten siirtymien avulla. Näkökulma haastaa pohtimaan sekä ihmistä kokonaisuuden osana että kokonaisuutta sellaisena vaikeasti hahmotuvana ja vaikeasti hallittavana ympäristönä, jonka kehitykseen vaikuttavat monet fyysiset, biologiset ja sosiaaliset tekijät aineen olemuksesta ja keskinäisistä suhteista talouden ja sosiaalisen eriarvoisuuden kysymyksiin. Hienorakenteiden tasolla tarkastellen vaikuttaa selvältä, että luonnon, kulttuurin ja yhteiskunnan toimintoja ohjaa samansuuntainen pyrkimys tasapainoon (luku 8).

Kaiken maailman kvantit on hienosti kirjoitettu perusteos, mutta sen monisyinen, paikoin raskas

tyyli puhuttelee todennäköisesti enemmän alan ammattitutkijoita kuin aiheeseen vihkitymätöntä lukijakuntaa. Teoksen omaksuminen vaatii lukijalta suhteellisen hyviä tietoja tieteenhistoriasta ja luonnontieteen kehityksestä varsinkin kvanttimekaniikan osalta. Tutkimuksessa ei ole mainittavia virheitä asiakysymysten tai muodon suhteen. Se etenee johdonmukaisesti ja kontekstoituu pääosin hyvin viimeaikaisiin tuloksiin, mutta peilaa näitä tuloksia huomattavan laaja-alaisesti tieteenhistorian ajallisiin kerrostumiin. Tämä ei ole kuitenkaan pelkkää koristusta, vaan sillä on keskeinen työn argumentaatiota tukeva merkityksensä. Luonnontiede on luovaa toimintaa ja sen kehitys todistaa itsessään, että tieteilijät ovat joutuneet kamppailemaan monenlaisien kysymysten ja osaongelmien parissa saavuttaakseen täsmällisen kuvan luonnosta. Viimeaikaisen tulosten nojalla voidaan sanoa kiistattomasti, että vanha paradigma on murtumassa ja biofysiikkaa odottaa uudet, aikaisempaa monitahoisemmat ongelmat.

JOUNI HUHTANEN

Kirjoittaja on Oulun yliopiston tieteiden ja aatteiden historian jatko-opiskelija.