

## Vaikuttaako havainto kohteeseensa biologiassa? (Petter Portin ja Kari Lagerspetz)

**Emeritusprofessori Raimo Lehti käsitteli *Tieteessä tapahtuu* -lehdessä (6/2000) [1] kysymystä vaikuttaako havainto kohteeseensa etupäässä fysiikan ja tähtitieteen kannalta. Samalla hän haastoi biologit vastaamaan siitä, miten tämän kysymyksen laita on biologiassa. Yritämme tässä kirjoituksessa vastata haasteeseen, mutta toteamme heti, ettei tämä ongelma ole biologiassa niin olennainen kuin kvanttifysiikassa, eivätkä biologeja tällaiset kysymykset (ehkä valitettavasti) suuremmin askarruta. Koska ongelma on kuitenkin tieteenfilosofian kannalta mielenkiintoinen mm. pohdittaessa tieteiden välisiä rajoja, kunkin tieteenalan autonomisuutta ja erityispiirteitä, esitämme kysymyksestä oman näkemyksemme.**

Biologian kannalta asiasta on melko vähän sanottavaa. Biologian havaintokohteet ovat samankaltaisia kuin makrofysiikan havaintokohteet, eikä havainto niihin mitenkään vaikuta. Sen sijaan biologiassa on hyvin tavallista, että ennen havainnon tekemistä kohteen olosuhteita joudutaan muuttamaan, mikä tietysti vaikuttaa siihen. Biologihan joutuu usein jopa tappamaan koe-eläimensä, -kasvinsa tai -sienensä, ennen kuin havainto voidaan tehdä.

### Havaitsija häiritsijänä

Lehden esittämässä havaintojen tyyppien luokittelussa tulee biologiassa kysymykseen hänen toinen jaottelunsa:  $b$  ja  $b\beta$ : joko havainnon kohde on havaittavissa havaitsijan puuttumatta siihen tai havainnon kohde on havaittavissa vain jos havaitsija vaikuttaa siihen jollain tavalla.

Esimerkkejä ensimmäisestä tapauksesta ovat vaikkapa amiraaliperhonen niityllä, kärpässieni metsässä tai laulava satakieli rantatiheikössä. Toisesta kohdasta esimerkkejä taas ovat värjätyt kromosomit valomikroskoopissa, mitokondrion pituus elektronimikroskoopissa, risteytyskokeiden tuloksena syntyneiden banaanikärpästen silmän väri, mittarilukemat eläimen hapenkulutuksesta eri lämpötiloissa tai DNA-molekyylit sekvensointilaitteistossa. Missään näistä tai vastaavista tapauksista ei havainto vaikuta kohteeseensa.

Biologinen koe on tarkoituksellisesti järjestetty havainnontekotilanne, jonka päämääränä on keksiä, testata tai havainnollistaa jokin tosiasia, tapahtuma, periaate tai yleinen totuus. Koe muotoillaan tavallisesti vastaamaan kysymykseen mikä on tekijän  $x$  vaikutus ilmiöön  $y$ , esimerkiksi lämpötilan ( $x$ ) vaikutus hapenkulutukseen ( $y$ ). Koetilanne redusoidaan asetelmaksi, jossa vain yksi muuttuja ( $x$ , vapaa muuttuja) vaihtelee kokeen kuluessa ja muut muuttujat, jotka saattaisivat vaikuttaa tutkittavaan ilmiöön pidetään vakioisina. Jos mahdollista kokeeseen liitetään verrokkiryhmä (kontrolli), jolle vapaata muuttujaa ei vaihdella. Se antaa riippuvan muuttujan ( $y$ ) ns. nolla-arvon, johon kokeessa saatuja arvoja verrataan.

Edellinen oli yksinkertaisin koejärjestely. Biologiassa tehdään myös monimuuttujakokeita, joissa esimerkiksi kasvualustan kemiallista koostumusta, lämpötilaa ja valaistusta muutetaan samanaikaisesti eri koeryhmillä, joiden kasvua voidaan seurata monin eri menetelmin. Varianssianalyysillä käsiteltävät havaintojen tulokset antavat todennäköisyyksiä eri tekijöiden erillisille ja yhteisvaikutuksille.

Biologiset kokeet ovat siis samankaltaisia kuin kokeet fysiikassa ja kemiassa: havaittavan kohteen ympäristöä muutetaan, useimmiten yksinkertaistetaan tietoisesti. Havainnolle asetetaan reunaehdot, määritellyt havainto-olosuhteet, mutta itse havaintoon tämä ei vaikuta. On selvää, että koe voi vaikuttaa havainnon kohteeseen. Se voi muuttua. Näinhän tapahtuu esimerkiksi oppimiskokeissa, joissa perättäiset havainnot voivat osoittaa eläimen käyttäytymisen muuttuvan jo kokeen aikana ja sen jälkeenkin. Tässäkin koejärjestely vaikutti, mutta ei havainto.

Kuten Lehden sydänfilmikoetta koskevasta esimerkistä käy ilmi, havainnon tuloksen *kertominen* potilaalle saattaa muuttaa sydämen toimintaa. Käyttäytymisbiologiset havainnot ihmisapinoilla ja muilla kehittyneemmillä nisäkkäillä voivat vaikuttaa niiden käyttäytymiseen. Ne saattavat *huomata*, että niitä havainnoidaan ja muuttaa käyttäytymistään sen mukaan. Esimerkiksi

jokainen koiran omistaja tietää, että koirat osaavat teeskennellä. Ihmiset voivat vastata tahallaan "väärin" gallup-kyselyihin. Tällainen havaitsijan ja havainnon kohteen välinen *havaintoa edeltävä takaisinkytkentä* (palaute, feed back) voi tietysti vaikuttaa tulevaan havaintoon, niinkuin muutkin koejärjestelyt.

Tässä heitämme pallon edelleen psykologeille, ihmis- ja yhteiskuntatieteilijöille. Vaikuttaako havainto kohteeseensa?

## Yksilöllisyyden ongelma

Kvanttifysiikassa hiukkasen paikkaa ja sen liikemäärää ei voi havaita yhtä aikaa täysin tarkasti. Havainnon kohteeksi on pakko valita jompikumpi tai tyytyä klassisen mekaniikan syysuhteiden kannalta epätyytyttäviin likiarvoihin, kuten Tarja Kallio-Tamminen toteaa (*Tieteessä tapahtuu*5/2000) [2]. Niels Bohr, jonka "kööpenhaminalaista tulkintaa" Kallio-Tamminen esittelee, päätyi tässä suhteessa ns. komplementariteettiin: kvanttifysiikassa hiukkasilla ei ole erikseen havaittavissa olevaa paikkaa ja liikemäärää, vaan näitä koskevat havainnot ovat toisiaan täydentäviä, komplementaarisia.

Bohr halusi esittää jotain vastaavaa biologian alueelta ja totesi että saman eliöyksilön rakennetta ja elintoimintoja ei voi yhtä aikaa tarkasti mitata. Eliöillä on tietysti paljon enemmän erilaisia ominaisuuksia kuin kvanttien paikka ja liikemäärä, ja on selvää, että kaikkia niitä ei voi samalla hetkellä samasta yksilöstä havaita. Bohrin jo 1933 [3] ja myöhemmin ehdottama "biologinen komplementariteetti" ei ole innostanut ainakaan biologeja.

Fyysikko Walter Elsasser oli monissa kirjoissaan ja kirjoituksissaan vuodesta 1958 alkaen [4] sitä mieltä, että eliöiden yksilöllisyys estää niitä koskevien kausaalilakien mahdollisuuden. Tarvittiin erityisiä "bionomisia lakeja". Filosofii Eino Kaila taas katsoi kvanttifysiikan, biologisten säätelyilmiöiden ja hermoston vaikutuksen käyttäytymiseen selittämiseksi tarvittavan uutta "terminaalikausaliteetin" käsitettä [5]. Kumpikaan näistä ajatuksista ei ole saanut seuraajia.

Sama geeniperintö, samat DNA-molekyylit eivät merkitse täydellistä samanlaisuutta, vaikka "yksilön kloonauksesta" nykyään puhutaan. On totta, että esimerkiksi ihmisen jokaisella valkoisella verisolulla ja aivosolulla on samat geenit ja DNA-molekyylit. Silti valkosolut ovat alkueläinmäisesti ihmisruumiissa liikkuvia ja bakteereja syöviä soluja, kun taas ihmisen keskushermoston soluilla voi olla muita, esimerkiksi muistimme liittyviä toimintoja.

Yksilöllisyys ei ole vain perintötekijöiden määräämää. Saman klooninkin eri yksilöillä, jotka siis ovat geeneiltään ja DNA:ltaan keskenään samanlaisia, ilmenee yksilöiden välistä vaihtelua, niin partenogeneettisesti lisääntyvillä vesikirpuilla kuin samasta hedelmöittyneestä munasolusta kehittyneillä identtisillä kaksosillakin.

Yksilöllisyys ei rajoitu vain elävään luontoon [6]. Kuten eliöt, kivetkin ovat erilaisia. Jos jokin kivi rikotaan sen tutkimiseksi, toista täysin samanlaista kiveä ei ole. Elottomassa luonnossa on myös yksilöllisiä avoimia järjestelmiä, kuten esimerkiksi tulenliekkejä ja myrskyjä. Jälkimmäisillehän annetaan yksilöllisiä nimiäkin.

Biologiassa kuten muissakin tieteissä yksilön tasoa laajemmin päteviin yleistyksiin pääsemiseen tarvitaan siis karkeistusta ja tilastollista käsittelyä. Tässä suhteessa biologia ei eroa monista muista tieteistä. Sen erikoislaatu on siinä, että kaikki eliöt ovat saman ilmiön, evoluution tulosta ja saman (tai muutaman) sukupuun oksia.

## Tilastollisia lakeja biologiassa

Tilastollinen kausaliteetti ja todennäköisyydet ovat tietysti tuttuja muustakin kuin kvanttifysiikasta, esimerkiksi epidemiologiasta. Niinpä esimerkiksi pystytään varsin tarkasti ennustamaan montako

ihmistä Suomessa kuolee kuluvan vuoden aikana. Samoin pystytään ennustamaan kunkin yksilön kuolemanvaara, eli käytännössä todennäköisesti jäljellä olevat elinvuodet, jotka riippuvat esimerkiksi hänen iästään ja sukupuolestaan. Silti emme pysty yleensä varmuudella ennustamaan kenestäkään ihmisyksilöstä tuleeko hän kuolemaan kuluvan vuoden aikana vai ei.

Biologian lainalaisuuksista Mendelin säännöt, siis periytymisen peruslait ovat olennaiselta luonteeltaan tilastollisia lakeja. Mendelin laeista johdettu, synteettisen evoluutioteorian perustana oleva teoreettinen populaatiogenetiikka on siis myös tilastollista ja sen myötä koko evoluution tutkimus. Evoluutioteoriassa keskeinen kelpoisuuden (*fitness*) käsite on niinkään suhteellinen ja tilastollinen. Kelpoisuus on yksilön suhteellinen kyky tuottaa lisääntymiskykyisiä jälkeläisiä. Yksilöä siis verrataan muihin yksilöihin tai populaation keskiarvoon.

Kallio-Tammisen [2] mukaan Bohr kiinnitti vakavaa huomiota kielen asemaan tiedon muodostuksessa. Bohr halusi erityisesti ymmärtää, miksi meidän on käytettävä näennäisesti yhteensopimattomia käsitteitä kuten hiukkasia ja aaltoja kuvatessamme atomaarisia systeemejä koskevia havaintojamme. Mitään todellista ristiriitaaahan asiassa ei voinut olla, kun kaikkia havaittuja ilmiöitä voitiin käsitellä samalla kvanttimekaniikan formalismilla. Bohr päätyi siihen tulokseen, että emme voi enää olettaa luonnollisen kielemme vastaavan todellisuutta samalla tavoin kuin aikaisemmin oli oletettu.

Biologiassa ei ainakaan vielä olla tässä tilanteessa, vaan sekä Mendelin säännöt, populaatiogenetiikan lainalaisuudet että evoluutioteoria voidaan kuvata ja tavallisesti kuvataankin luonnollisella kielellä.

Silti biologit voivat yhtyä siihen Werner Heisenberginkin toteamaan seikkaan, että luonnontiede on osaksi ihmisen muotoilemaa [2]. Luonnontieteen ei täten pidä olettaa kuvailevan luontoa sellaisena kuin se on. Arkikokemus ja luonnontiede voivat antaa kuvan luonnosta vain sellaisena kuin se ihmisen kulloisellekin kysymyksenasettelulle näyttäytyy. Immanuel Kantin *das Ding an sich* jää lopultakin tavoittamatta. Onko sillä väliä?

#### VIITTEET:

[1] Lehti, Raimo (2000): "Vaikuttaako havainto kohteeseensa?" *Tieteessä tapahtuu* 6/2000, 5-12.

[2] Kallio-Tamminen, Tarja (2000): "Havaittajan asema kvanttimekaniikan kööpenhaminalaisessa tulkinnassa". *Tieteessä tapahtuu* 5/2000, 27-34.

[3] Bohr, N. (1933): "Light and Life". *Nature* 131, 421-423, 457-459.

[4] Elsasser, Walter M. (1958): *The Physical Foundation of Biology*. Pergamon Press, London.

[5] Lagerspetz, Kari (1968): "Terminaalikausaliteetin näennäisongelma". *Ajatus* 30, 82-95.

[6] Lagerspetz, Kari (1969): "Individuality and creativity: Is biology different?" *Synthese* 20, 254-260.

*Petter Portin on Turun yliopiston perinnöllisyystieteen professori ja Kari Lagerspetz fysiologisen eläintieteen emeritusprofessori.*