

Artikkeli kirjassa Kohti uutta todellisuuskäsitystä.
Yliopistopaino, Helsinki 1990, 77–88.
Dimensio 55, 8/1991, 38–45.

Ajatuksia fysiikasta ja todellisuudesta¹

Kaarle Kurki-Suonio

Fysiikan laitos, Helsingin yliopisto

Tiivistelmä

Todellisuuden ongelmaa tarkastellaan lähtemällä kahden todellisuuden mallista. Fysiikka katkaisee ulkoisen todellisuuden ja sisäisen todellisuuden välisen suoran elämyksellisen havaintosuhteen. Tieteellisen objektiivisuuden vaatimus synnyttää mielikuvan reduktiosta, jossa ulkoinen todellisuus redusoituu tieteen empiiriseksi todellisuudeksi, sisäinen todellisuus teoriaksi, elämykset kontrolloiduksi kokeiksi sekä minän intuitiiviset kysymykset tieteen sallimiksi operationaaliksi kysymyksiksi.

Empiria on objektiivisuuden perimmäinen tae, mutta ankara kokeellisuuden vaatimus tekee tieteen todellisuuden ihmiselle merkityksettömäksi, liian rajalliseksi ja riittämättömäksi. Selittävyys ja ennustavuus antavat fysiikan teorioille mallimerkitystä syvemmän todellisuusarvon. Näkemys tieteellisen käsitteenmuodostuksen luonteesta hahmotusprosessina johtaa mielikuvaan duaalisesta todellisuudesta, joka on kaikissa detaljeissaan erottamattomasti sekä kokeellinen että teoreettinen, sekä ulkoinen että sisäinen.

1. Todellisuus ja minä

Olemassaolo. Kysymys todellisuuden luonteesta on filosofian peruskysymyksiä. Eri aikoina siitä on vallinnut monia erilaisia näkemyksiä. Tiede sellaisenaan merkitsee mittavaa yritystä lähestyä todellisuutta, ja tieteellisyyden kriteerit ovat samalla todellisuuden tai sitä koskevan tiedon määrittelyn kriteerejä.

Todellisuuden muodostaa kaikki, mikä on olemassa. Tämä ei ole määritelmä vaan tautologia. Se ilmaisee vain toisen tavan kysyä samaa asiaa. Todellisuutta koskevia kysymyksiä on helpompi tehdä tässä muodossa. *Mitä on olemassa? Onko SE olemassa? Mistä tiedän, että SE on olemassa?*

Todellisuuden ongelman monia eri aspekteja saadaan näkyviin sijoittamalla erilaisia subjekteja sanan SE paikalle: minä, sinä, tämä pöytä, pöytä yleensä, Sirius, kvasaari 3 C 273, musta aukko, kaukainen taivaankappale, jota kukaan ei ole havainnut, nälkään kuoleva lapsi Etiopiassa, atomi, neutroni, neutriino, kvarkki, voima, massa, energia, lämpötila, lämpö, valo, foton, sähkökenttä, sähkömagneettinen kenttä, aaltofunktio, hetkellinen nopeus, aika, avaruus, neli-impulssi, ympyrä, suora, nolla, kokonaisluvut, irrationaaliluvut, kompleksiluvut, luonnonlait, unet, hallusinaatiot, rakkaus, ilo, usko, Jumala, sielu, kommunismi, joulupukki, musiikki jne. loputtomiin. Jokainen subjekti avaa jonkin uuden näkökulman tarkasteltavaan kysymykseen.

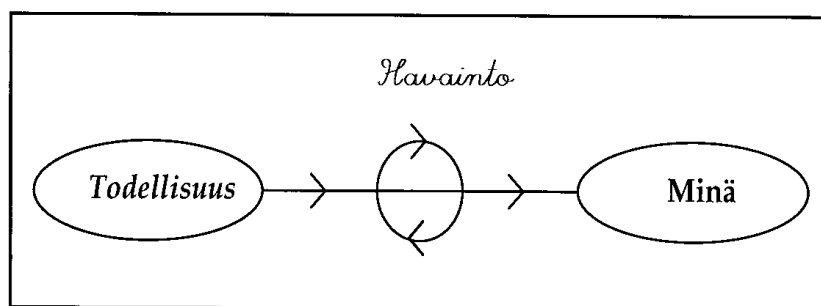
Sisäinen ja ulkoinen todellisuus. Todellisuuden ongelma on lähtökohdiltaan *dualistinen*. Todellisuuden kuvassa on kaksi osapuolta: Todellisuus ja Minä, ulkoinen ja sisäinen todellisuus (kuva 1).

Ulkoinen todellisuus on havaitsemisesta ja tietoisuudesta riippumaton absoluuttista tai objektiivista todellisuutta, johon kuuluvat itsenäisesti olemassa olevat luonnon oliot ja ilmiöt.

Sisäinen todellisuus merkitsee minän elämystodellisuutta, todellisuutta minussa, elämyksiä, mielikuvia, havaintojen tuottamia järjestyneitä hahmoja minän tietoisuudessa.

Sisäiselle todellisuudelle voidaan perustellustikin vaatia myös ainoan varsinaisen todellisuuden asemaa. Havainnot tapahtuvat ja vaikuttavat vain minässä. Vain minällä on tietoisuus. Vain minä ajattelee ja kysyy todellisuuden olemusta. Ainoa todellisuuden ilmentymä on havainto ja sen herättämä ajatus ja tietoisuus, jotka ovat minän ja vain minässä.

¹ Tämä kirjoitus on osa kirjoittajan julkaisemattomista luentomuistiinpanoista. Se liittyy fysiikan opettajille tarkoitettuun koko lukukauden kurssiin, ja se muodostaa lähtökohdan kurssin viimeisen jakson alkuosalle, jossa keskustellaan fysiikan todellisuuskuvasta ja sen merkityksestä. Se on julkaistu myös prof. K. V. Laurikaisen 75-vuotisjuhlakirjassa: *Kohti uutta todellisuuskäsitystä* (Yliopistopaino, Helsinki, 1990)



Kuva 1. Todellisuuden ja minän suhde.

Olisiko ulkoinen todellisuus siis sittenkin vain minän havainnoistaan tekemä tulkinta? Toisaalta olennaista havaintoihin pohjautuvissa mielikuvissa ja niiden herättämässä tietoisuudessa on niihin liittyvä itsestään selvä varmuus siitä, että ne ovat mielikuvia jostakin minään kuulumattomasta ulkopuolisesta ja tietoisuutta olemassa olevan minän suhteesta johonkin ulkopuoliseen.

Erilaisten subjektien tarkastelu avaa erilaisia näkökulmia tähän dualismiin.

Ulkopuolisen todellisuuden ja sisäisen elämystodellisuuden välinen raja hämärtyy sen johdosta, että ihminen itse, *minä ja minussa tapahtuvat ilmiöt, ovat osa ulkoista todellisuutta*, josta voidaan tehdä havaintoja. Myös tunnetiloja, elämyksiä, aistimuksia, hallusinaatioita ja unia voidaan tutkia ulkoisena todellisuutena.

Havainto. Selvittäessämme käsityksiämme todellisuuden luonteesta joudumme väistämättä tarkastelemaan todellisuuden asemaa suhteessa havaintoihimme.

Jos todellisuus merkitsee vain havaintojen luomaa elämystodellisuutta minussa, ulkopuolisten objektien *olemassaolo tulee riippuvaksi tietoisuudestani*. Eikä siis Neptunus ollut olemassa ennen kuin se löydettiin? Lakkaako maailma olemasta, kun a) minä nukahdan, b) minä kuolen, c) kun koko ihmiskunta kuolee? "Synnyttääkö kaatuva puu ääntä silloinkin, kun kukaan ei ole kuulemassa" (*Harald Hirmuinen*). "Soliseeko puro silloinkin, kun kukaan ei ole sitä kuulemassa" (*Karen Blixen*).

Jos ulkopuolinen todellisuus onkin olemassa, tietomme ja mielikuvamme siitä ovat epäsuoria, havaintojen välittämiä ja sellaisena epävarmoja, puutteellisia ja epätarkkoja. Kysymys todellisuudesta palautuu tällöin kysymykseen havaintojemme ja päättelyjemme *luotettavuudesta*, ts. kriteereistä, joilla pidämme niitä todellisuuden mukaisina. Näin päädytään kysymykseen *objektiivisuudesta ja tieteellisyyden kriteereistä*. Kukin tieteenala asettaa kohteeseensa ja menetelmäänsä soveltuvat kriteerit sille, milloin sen tuloksia on pidettävä tieteellisinä eli milloin ne ovat tietoa todellisuudesta.

Pohjimmiltaan on kuitenkin aina kysymys *yksilön vakuuttumisesta*. Jokaisen on omista lähtökohdistaan käsin itse ratkaistava kriteerinsä, myös se, hyväksyykö hän tieteensä yleiset kriteerit ja milloin hän katsoo niiden olevan täytetyt. Jokainen on itse mielestään paras ajattelija, tai paremminkin, on pakko olla, koska jokainen on itselleen ainoa ajattelija. Auktoriteetin ajatustapoihin liittyminenkin on aina omaan ajatteluun perustuva oma ratkaisu, valinta, joka merkitsee asettumista valitun auktoriteetin samoin kuin kaikkien muidenkin yläpuolelle. Ihmisellä ei ole muuta vaihtoehtoa.

Luonnontiede. Fysiikka kaiken empiirisen tieteen metodisena perustana on avainasemassa tarkasteltaessa todellisuuden luonnetta. Toisinaan kyllä esitetään varsin painokkaastikin, ettei pitäisi lainkaan puhua todellisuudesta tai "totuudesta" fysiikan yhteydessä: "The philosopher's search for the nature of truth is a ghost to be banished from the investigations of science", [Schmidt P. F.: *Truth in Physics*, Am. J. Phys. **28** (1960) 24-32.]

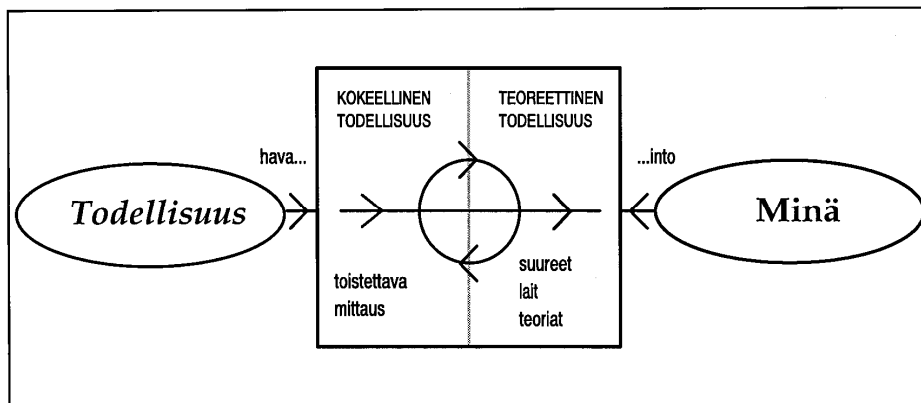
Luonnontiede kuitenkin lähtee siitä käytännöllisestä näkemyksestä, että on olemassa ihmisen ulkopuolinen, havainnosta riippumaton todellisuus, josta on mahdollista saada empiiristä tietoa havaitsemalla ja mittaamalla.

Tämä voidaan todeta opetuksen ensimmäisenä lähtökohtana. "I shall begin by making the assumption that there exists an objective universe which includes the people in it, and that it is interesting if not actually useful to know about this universe." [Baker A.: *Modern physics and antiphysics*. Addison-Wesley (1970)., s. 4.] Tämä on myös luonnontutkimuksen mielekkyyden perusedellytys. Mitä hyödyttäisi tutkia sellaista, mitä ei ole olemassa?! Tämä on luonnollinen intuitiivinen lähtökohta, mutta sen oikeutusta on syytä tarkastella kriittisesti fysiikan tutkimustulosten valossa.

Fysikaalisen tiedon merkityksestä on lähes mahdotonta puhua käyttämättä termiä "todellisuus". On kuitenkin hyvä kiinnittää huomiota erilaisiin näkökantoihin, ja pohtia, millaiseksi fysiikka luomansa todellisuuskuvan muokkaa. Mihin johtaa pyrkimys määritellä todellisuus operationaalisesti niin, että fysiikka määritelmän mukaan tutkii todellisuutta, tai jopa, että todellisuutta on vain se mitä luonnontieteellisen metodin avulla voidaan tutkia? Missä suhteessa fysiikan todellisuuskuva on rajoittunut verrattuna yleisiin intuitiivisiin mielikuviiimme todellisuuden luonteesta ja missä suhteessa se poikkeaa niistä?

Todellisuuden ja minän suhteen reduktio. Fysiikka katkaisee todellisuuden ja minän välittämän suhteen. Se tunkeutuu perusasetelmassa niiden väliin kysymällä, mitä fysikaalisin menetelmin voidaan saada selville todellisuudesta. *Fysikaalinen todellisuus* samastuu fysikaalisesti saatuun tai mahdolliseen *tietoon todellisuudesta*. Se ei voi merkitä enempää kuin mitä fysiikassa voidaan objektiivisesti tietää.

Todellisuuden ja minän välinen suhde redusoituu tällöin kokeellisen ja teoreettisen tiedon väliseksi suhteeksi (kuva 2).



Kuva 2. Todellisuuden ja minän suhteen reduktio.

Havainto redusoituu kontrolloiduissa koeolosuhteissa tehdyiksi *toistettaviksi mittauksiksi*, joilla ei ole havainnon välitöntä yhteyttä minän tietoisuuteen. Ulkopuolinen todellisuus redusoituu mittauksin lähestyttäväksi todellisuudeksi. Mittaustulokset muodostavat "kokeellisen todellisuuden".

Minässä havaintojen perusteella muotoutuva välitän "elämystodellisuus" redusoituu fysiikan "teoreettiseksi todellisuudeksi". Fysiikan sisäinen todellisuus merkitsee teoriaa, minän ainoata mahdollista tapaa tuntea, ymmärtää ja hallita mittausten avulla lähestyttävää todellisuutta. Samalla tämä todellisuus irtoaa minän välittämistä kokemusperäisistä mielikuvista, abstrahoituu ja matematisoituu.

Intuitiivisen perusasetelman mukainen todellisuuden dualismi säilyy redusoidussakin todellisuuskuvassa. Se ilmenee nyt fysikaalisen tiedon samanaikaisen kokeellisuuden ja teoreettisuuden dualismina. Fysikaalisen todellisuuden tulkinnoissa esiintyy vastaavasti kaksi äärimmäistä vastakkaista näkemystä:

1. Vain kokeellinen todellisuus on aitoa todellisuutta. Teoria on *vain* tämän todellisuuden malli.
2. Teoria on ainoa mahdollinen tapa tuntea ja ymmärtää todellisuutta. Sen tähden vain teoriassa voi ilmetä todellisuuden aito luonne.

Näiden näkemysten oikeutusta voidaan tarkastella sen valossa, millaiseksi fysiikan tiedollinen ja käsitteellinen rakenne on kehittynyt ja miten se kehittyy.

2. Todellisuuden kokeellisuus

Ankara kokeellisuus. Kokeellisen todellisuuden muodostavat *mittaustulokset*. Yleisemmin voidaan katsoa, että siihen kuuluvat *ilmiöt* ja niihin liittyvät *suureet* sellaisina kuin ne ilmenevät mittaustuloksissa ja määritellään mittausten avulla. Tämä merkitsee ensi sijassa *kokeellisia lakeja*, jotka ilmenevät yhteen kuuluvien mittaustulosten välisinä *korrelaatioina*.

Kokeellinen tutkimus on ainoa mahdollinen tapa saada objektiivista tietoa todellisuudesta. Siinä suhteessa ajatus ulkoisesta, itsenäisesti olemassa olevasta todellisuudesta, muodostuu ongelmalliseksi. Fysiikan

objektiivisuuden kriteerien vaatima toistettava mittaus tuloksineen on ehkä *riippumaton* siitä, kuka mittaa, mutta se ei ole riippumaton mittauksen suorittamisesta. *Mittaustulokset ovat olemassa vain, jos mittaus suoritetaan*. Ei siis näytä olevan mitään mahdollisuutta saada objektiivisesti selville sitä, onko todellisuus tietoisuudesta riippumatonta, koska tieto todellisuudesta alistaa todellisuuden tietoisuudelle ja sille tutkimukselle, jonka kautta tietoisuus voi syntyä.

Positivismi alkuperäisessä muodossaan edustaa ensimmäisen perusnäkemysen äärimmäistä muotoa. Sen mukaan teoreettisella käsitteenmuodostuksella ei ole mitään todellisuusarvoa. Teorian tehtävänä on olla ainoastaan kokeellisen tiedon kirjanpitoa, sen yksinkertaisia muistisääntöjä.

Fysiikka vastaa ainoastaan kysymykseen MITEN, ei koskaan kysymykseen MIKSI. Kaikki teoreettiset selitykset ovat "mystifiointia". Ei esim. saisi sanoa "voima vaikuttaa", koska voima on teoreettinen käsite. Sen laaja strukturaalisuus ymmärretään kirjanpidolliseksi. Selittäminen sen avulla on mystifiointia.

Kokeellisen todellisuuden asettaminen positivismiin hengessä ainoaksi tai koko todellisuudeksi johtaa moniin ongelmiin.

Merkityksettömyys. Edellyttäessään tiedon puhdasta kokeellisuutta ankara objektiivisuuden vaatimus surkastaa kokeellisen todellisuuden joukoksi irrallisia mittausarvoja. *Eri mittausarvojen, mittauskertojen ja mittausilanteiden väliset yhteydet eivät ole mitaamalla objektiivisesti todennettavia*. Ne perustuvat kokonaan hypoteesinluonteisiin intuitiivisiin ideoihin esimerkiksi havaittavien olioiden samuudesta eri kerroilla ja niiden jatkuvasta eksistenssistä. Puhtaan kokeellisen todellisuuden elementtinä jokainen mittaus on siten *irrallinen kertahavainto*. Mittaustulokset voivat vahvistaa näitä valmiita teoreettisia mielikuvia, mutta eivät luoda niitä aidosti kokeellisina todellisuuden elementteinä.

Ankaraan kokeelliseen todellisuuteen voi kuulua vain puhdas kokeellinen tieto, siis mittaustulos, ei sen selitys. Koetilanteiden rinnastukset, järjestelyjen ja tulosten samastukset, ilmiöiden väliset syy-yhteydet ja suureiden riippuvuudet ovat teoreettisia selityksiä. Ne eivät voi kuulua todellisuuteen. Kaikkien suureiden ja käsitteiden määrittely perustuu kuitenkin lainmukaisuuksiin, jotka merkitsevät oletettuja yhteyksiä eri mittausten välillä. Näitäkään ei siis voi hyväksyä tähän todellisuuteen kuuluviksi.

Ankan objektiivista kokeellista todellisuutta ei voida siis edes kuvata tai käsitellä. Ei ole kieltä, jolla siitä voisi puhua, koska kieli edellyttää käsitteenmuodostusta. *Puhdas kokeellinen todellisuus on merkityksetön*.

Rajoittuneisuus. Mitattavuuden vaatimus vähemminkin ankarasti tulkittuna näyttää olevan todellisuuden luonnetta rajoittava.

Todellisuuteen voi sen mukaan kuulua vain mitattavia suureita, jotka voidaan määritellä tietyn mittausmenettelyn avulla.

Ihmiselämään liittyy paljon ihmiselle tärkeitä ja arvokkaita asioita, jotka tällöin jäävät todellisuuden ulkopuolelle. Ei ole todellisia *arvoja, moraalialueita, tietoisuutta, uskoa, rakkautta, kauneutta* jne.

Mittaaminen merkitsee aina toistettavaa mittausta. Sen tähden todellisuuteen voi kuulua vain *toistuvia tai jatkuvia ilmiöitä*. *Ainutkertaiset ilmiöt ja yksittäistapahtumat jäävät ulkopuolelle*. Yleisemmin tämä merkitsee, että todellisuuteen sopivat *vain luonnon säännönmukaisuudet*.

On varsin vaikeata tarkastella täysin vailla säännönmukaisuutta olevien ilmiöiden mahdollisuutta luonnossa. Aistiminen on ylimalkaan mahdollista vain aistinärsykkeiden säännönmukaisuuden vuoksi. Vain jotenkin järjestyneet ärsykkeet voidaan oppia hahmottamaan. Hahmot opitaan tunnistamaan. Ne muodostuvat mielikuviksi, jotka vähitellen kertyessään rakentavat aineiston, jolla ihmisen ajatus voi työskennellä. Näin koko ajatusmaailma, käsityskyky ja kieli ovat elimellisesti sidoksissa aistittavaan säännönmukaisuusmaailmaan.

On mahdotonta luoda edes mielikuvaa täysin säännöttämättä tapahtumisesta vastakohtana säännölliselle. Matematiikka tarjoaa jonkinlaisia analogioita. Matematiikassa säännöllisyys ehdot ovat aina ankaria rajoituksia. Mielikuvan säännöttämättä voi tarjota esim. ajatus käyrästä, joka on jokaisessa pisteessään epäjatkuva, tai mitaton pistejoukko. Vastakohtana säännöllisille kappaleille, kolmiulotteisen avaruuden pistejoukoille, joilla on tilavuus, voidaan tarkastella epäsäännöllisiä pistejoukkoja, joilla ei ole tilavuutta. Mahdottomuutta muodostaa niistä mielikuvia kuvastaa esim. matemaattinen väite, jonka mukaan kaksi mielivaltaista kappaletta voidaan jakaa äärelliseen määrään yhteneviä osia. Kappaleet voivat olla esim. nuppineula ja höyrylaiva tai paremminkin niiden jatkuva-aineisiksi idealisoidut matemaattiset vastineet.

Tuloksen mukaan nuppineula siis pitäisi voida jakaa osiin, joista voi rakentaa höyrylaivan. Nämä osat ovat kuitenkin mitattomia pistejoukkoja, joiden tilavuutta ei ole mahdollista määrittellä.

Rationaalisten ja irrationaalisten lukujen vertailu tarjoaa myös eräänlaisen rinnastuksen. Millä tahansa välillä, esimerkiksi $[0,1]$, rationaaliset, "tajuttavat" luvut vastaavat hahmottuvaa todellisuutta. Ne ovat äärettömän tiheässä, mutta niiden muodostaman joukon mitta on 0. Irrationaaliset, "ylijärjelliset" luvut vastaavat hahmottamatonta, mutta ne yksin ovat vastuussa välin koko mitasta 1.

Kokeellinen todellisuus on rajoittunut. Se rajoittuu sellaisiin toistuviin ja säännönmukaisiin ilmiöihin, joiden lainalaisuudet pysyvät ihmisen hahmotus- ja käsityskyvyn puitteissa.

Riittämättömyys. Yleisemmin mitattavuus merkitsee operationaalisuuden vaatimusta. *Väite voi koskea fysikaalista todellisuutta vain, jos se voidaan mittaamalla vahvistaa tai kumota.* Tämä on operationaalisuuden vaatimus. Sen uskotaan olevan välttämätön, jotta käytetyillä käsitteillä olisi merkitys.

Rajoittuminen puhtaasti kokeelliseen todellisuuteen merkitsee tällöin, että *fysiikalta ei voi kysyä.* Fysiikka vastaa vain itse asettamiinsa kysymyksiin. *Kysymys on fysikaalinen, jos siihen voi vastata mittaamalla.* Fysikaalisten suureiden mittauksiin perustuvat määritelmät sanelevat mahdolliset kysymykset. Voidaan kysyä, kuinka pitkä on välimatka, kuinka suuri on kappaleen massa jne., koska pituus ja massa on määritelty mitattavina suureina.

Nämäkin kysymykset ovat luvallisia vain niissä rajoissa, joissa määrittelymittausta on mahdollista käyttää. Sen sijaan ei voida kysyä, onko se kaunis, onko se hyvä, onko se oikein, onko se olemassa, ellei ensin anneta käytetyille käsitteille operationaalista sisältä eli määrittellä niitä uudelleen siten, että jonkin operaation avulla voidaan testata määritelmän voimassaoloa tarkasteltavassa tilanteessa. Tällöin ei kysymys kuitenkaan enää ole alkuperäinen, vaan se on korvattu toisella, luvallisella kysymyksellä. Tietyn operaation avulla määritelty kauneus, hyvyys, oikeus ja olemassaolo eivät enää merkitse sitä, mitä nämä käsitteet meidän mielessämme intuitiivisesti merkitsevät.

Tieteelliset vastaukset edellyttävät *kysymysten ja käsitteiden reduktiota* tavalla, joka riisuu niistä olennaisimmaksi koetun intuitiivisen sisällän.

Kysymys 'onko se elollinen' edellyttää elämän operationaalista määrittelyä. On esitetty erilaisia operationaalisia määritelmiä, jotka viittaavat tyypillisiin elintoimintoihin. Tunnusmerkeiksi on ehdotettu aineenvaihduntaa, kasvua ja lisääntymiskykyä tai kaikkia yhdessä. Elollisuuden operationaalinen toteaminen näiden tunnusmerkkien perusteella ei kuitenkaan ole välttämättä tyydyttävä vastaus siihen kysymykseen, jota tarkoitamme. On mahdollista rakentaa automaatteja, joilla on nämä tunnusmerkit, kukin erikseen. Mutta tästä seuraa, että periaatteessa on mahdollista rakentaa automaatti, joka täyttää nämä määrittelyehdot myös kaikki yhdessä. Onko se elävä?

Sama ongelma kohdataan oppimistuloksia testattaessa. Mahdollisimman objektiivisen testin suunnittelu merkitsee oppilaan saavuttaman tiedonhallinnan, ajattelun valmiuksien ja persoonallisuuden kypsyyssasteen operationalisointia. Samalla nämä käsitteet tulevat määritellyiksi uudelleen tavalla, joka riisuu niiltä olennaisimman niiden alkuperäisestä merkityksestä. Tästä seuraa testaajan epätarkkuusperiaate: *Mitä objektiivisempi koe, sitä vähemmän se mittaa sitä, mitä sillä halutaan mitata.*

[Vrt. Baker A.: *Modern physics and antiphysics.* Addison-Wesley (1970), Ch. 11. *The operational definition. When is a question not a question.*]

Fysiikka voi edetä vain tieteellisyyden ehdoilla. Sen käsitteellinen *täsmällisyys on välttämätöntä*, ja se vaatii *operationaalista kysymystenasettelua.* Monet ihmisen tärkeinä pitämät kysymykset ovat kuitenkin epäoperationaalisia. Sellaisia ovat elämän olemusta ja tarkoitusta, tietoisuutta, tahdon vapautta, hyvää ja pahaa, vihaa ja rakkautta, johdatusta ja sattumaa koskevat kysymykset. Koska ne eivät ole operationaalisia, niihin ei voi antaa objektiivisiä vastauksia. Jos niistä tehdään operationaalisia, ne eivät enää ole tarkoittamiamme kysymyksiä. Kuitenkaan niitä ei lakata kysymästä.

Kokeellinen todellisuus on ihmiselle riittämätön. On kuitenkin huomattava, ettei myöskään tarkastelemallamme kysymyksellä, *onko kokeellinen todellisuus vain todellisuuden osa, vai onko se koko todellisuus*, ole operationaalista merkitystä.

3. Todellisuuden teoreettisuus

Teorian todellisuus. Teoreettisen todellisuuden muodostavat *teoriat, teoreettiset mallit, lait ja käsitteet*. Teorian aseman fysiikan todellisuuskuvassa ilmaisee sen suhde kokeellisuuteen.

Teorian todellisuus voidaan asettaa kokonaankin kyseenalaiseksi. Se on metafysistä, usein jopa mystiseksi moitittua epäobjektiivista todellisuutta. Sen arvo todellisuutena on rajallinen, koska se on kokeelliselle tiedolle alistettu.

Teorian todellisuusarvosta esitetään erilaisia näkemyksiä. Ketonen mainitsee kolme tulkintaa [Ketonen Oiva: *Se pyörii sittenkin*. WSOY (1975), s. 96.].

1. *Deskriptiivisen* tulkinnan mukaan teoria kuvaa todellisuutta.
2. *Instrumentalistisen* käsityksen mukaan teoria on *väline*, jonka avulla voidaan johtaa havaintoja koskevia väittämiä toisista väittämistä.
3. *Realistisen* käsityksen mukaan teoria ilmaisee *aidosti* todellisuuden luonteen.

Näitä tulkintoja voidaan tarkastella lähtemällä siitä perusajatuksesta, että *teoria on malli*.

Deskriptivismi näkee havaintojen takana todellisuuden, jolloin *teoria on todellisuuden malli*. Positivistinen vähättely "vain malli" ei kuitenkaan ole välttämätöntä. Erityisesti puhtaan kokeellisuuden mahdottomuutta koskevien huomautusten jälkeen voidaan arvostaa mallin tarjoamaa jäsenneyttä kuvaa todellisuudesta.

Instrumentalismi on eräänlainen "insinöörinäkemys", jossa vain käyttö kiinnostaa. Merkityksellä ei ole väliä. Teoria on **vain havaintotulosten malli**. Sellaisena se on käyttökelpoinen ja hyödyllinen. Käytän kannalta ei ole mitään merkitystä sillä, kätkeytyykö havaintotuloksiin jokin todellisuus vai eikä. Miksi siis vaivata sillä päätään. Edellisen luvun tarkastelujen perusteella tätäkin näkemystä voidaan tulkita siten, että teoria on todellisuuden malli, mutta todellisuus tarkoittaa tällöin ankaran käsityksen mukaista kokeellista todellisuutta.

Realismi taas antaa teorialle selvästi painavamman merkityksen kuin deskriptivismi. Sen mukaan teoria on *paljon enemmän kuin todellisuuden malli*.

Malli. Malli merkitsee *kahden struktuurin välistä relaatiota*. Struktuuri tarkoittaa joukkoa, jonka alkioiden välillä on relaatioita. Struktuuri B on struktuurin A malli, jos joukko B:n alkioita voidaan asettaa vastaamaan A:n alkioita siten, että B:n relaatiot tulevat vastaamaan joitakin olennaisiksi ajateltuja A:n relaatioita. Lisäksi mallin käsitteeseen liittyy, että malli-struktuuri B on hyvin määritelty, ts. kaikki sen alkioita ja relaatiot tunnetaan. Mallinnettava struktuuri A sen sijaan voi olla vaillinaisesti ja epätarkasti tunnettu. Juuri tämä tekee sen esittämisen mallilla tarpeelliseksi. Tästä johtuu, että mallisuhde on yksisuuntainen: B on A:n malli mutta ei kääntäen, ja että malli B esittää kuvaamaansa struktuuria A vain rajoitetusti: mallilla on rajallinen pätevyysalue.

Kokeellisen todellisuuden alkioita ovat mittausarvot, joiden väliset korrelaatiot tekevät siitä struktuurin. Se on kuitenkin välttämättä aina puutteellisesti tunnettu.

Teoriaa kokonaisuutena voidaan pitää kokeellisen todellisuuden mallina. Teoriat ovat abstraktien matemaattisten käsitteiden ja niiden välisten relaatioiden, peruslakien, muodostamia hyvin määriteltyjä struktuureja, jossa relaatiot ovat samalla käsitteiden teoreettisia määritelmiä. Ne ovat laajojen ilmiöluokkien hyvin yleisiä malleja.

Suureet välittävät näiden kahden struktuurin välisen vastaavuuden. Ne samastetaan toisaalta kokeellisen todellisuuden mittaus tuloksiin toisaalta teorian matemaattisiin alkioihin, joista tulee näin koetulosten käsitteellisiä malleja. Teorian *relaatioista* tulee näin kokeellisina lakeina todettavien korrelaatioiden malleja, jotka voidaan tulkita suureiden välisiksi riippuvuus suhteiksi. Teoreettiseen todellisuuteen kuuluvat myös teorian puitteissa määritellyt spesifiset mallit, jotka esittävät yksittäisiä ilmiöitä tai suppeampia ilmiöluokkia. Esimerkiksi tasaisesti kiihtyvää liikettä voidaan käyttää heittoliikkeen mallina, harmoninen liike on värähtelyjen malli, ja ideaalikaasun tilanyhtälö on kaasun paineen, lämpötilan ja tiheyden välisten korrelaatioiden malli.

Mallin luonteeseen liittyy myös ajatus, että malli B on rakenteeltaan kuvaamaansa struktuuria yksinkertaisempi. Näin esim. yksinkertaisempiin oletuksiin perustuva teoria voi olla yleisemmän malli. Sitä

käytetään havainnollistamaan yleisen teorian joitakin keskeisiä piirteitä. Esim. atomin tai ytimen kuorimalli ovat tällaisia.

Selittävyys. Teorian selittävyys merkitsee jo tiettyä todellisuusarvoa. Teoria on ainoa mahdollinen tapa lähestyä todellisuutta, puhua siitä, ymmärtää edes joitakin sen piirteitä. Nykyaikaisen fysiikan teoria muodostaa niin laajan ja yhtenäisen selityksiperustan luonnon ilmiöille, että aivan äärimmäisten olosuhteiden tai äärimmäisen monimutkaisten ilmiöiden alueella tavataan sellaista, joihin sen selitys ei nykyisellään näyttäisi pätevän.

Jos fysiikka vastaakin vain kysymykseen MITEN, se vastaa siihen niin yleisesti ja yleispätevästi, että se ainakin näyttää vastaavan kysymykseen MIKSI.

Ennustavuus. Teorian ennustavuus on sen selityskyvyn voimakkain ilmaus ja samalla painavin argumentti sen todellisuusarvon puolesta. Kuten Ketonen sanoo, "on vaikea olla kutsumatta todeksi teoriaa, jonka perusteella voidaan lähes rajatta ennakoida havaintoja." [Ketonen Oiva: *Se pyörii sittenkin*. WSOY (1975), s. 101.]

Fysiikan historia tarjoaa lukuisia esimerkkejä siitä, miten teoreettisin perustein on päädytty ennustamaan kokonaan ennen tuntemattomia ilmiöitä, jotka on sitten voitu myös kokeellisesti vahvistaa, joskus vasta kymmenienkin vuosien kuluttua. Tunnetuimpia ovat Einsteinin suhteellisuusteoreettiset ennusteet, ajan dilataatio, massan kasvu suurissa nopeuksissa, valon taipuminen ja ajan hidastuminen gravitaatiokentässä. Myös de Broglien dualismihypoteesi on tällainen. Monet uudet hiukkaset on myös ensin teoreettisesti ennustettu (neutroni, positroni, yleisemmin antihhiukkaset, neutriino, pioni, heikon vuorovaikutuksen kantajat W ja Z jne.).

On siis varsin hyvät perusteet ajatella, että teorian perusteet ilmaisevat jotakin olennaista ja syvällistä fysikaalisen todellisuuden olemuksesta. Tämä ajatus kuitenkin merkitsee, että fysikaalinen todellisuus olisi jotakin ratkaisevasti enemmän kuin kokeellinen objektiivinen todellisuus. Tämä taas on epäobjektiivinen väite, jolle ei ole mahdollista antaa operationaalista sisältää.

Teoreettisesta "todellisuudesta" ei sen luonteesta johtuen voi eliminoida sen subjektiivisuutta. Jokaisella teorialla on *rajallinen pätevyysalueensa* ja siten rajallinen todellisuusarvo. Sen periaatteet ja peruslait ovat vain *rajoitetusti tosia*. Tämä kuuluu sen malliluonteeseen.

Tämä merkitsee myös, *ettei teoria sellaisenaan voi olla oikea tai väärä. Se on vain hyvä tai huono*, sen mukaan onko sen pätevyysalue laaja vai suppea. Vastaavasti "teorian armoton hylkääminen", jos sen ennusteet ovat väärä, on hylättävä myytti. Jokaisen teorian ennusteet ovat väärä sen pätevyysalueen ulkopuolella ja sitä epätarkempia, mitä lähempänä pätevyysalueen rajaa liikutaan. Väärrien ennusteiden merkitys on ennen kaikkea pätevyysalueen kartoituksessa.

Teoria on valmis, kun sen pätevyysalue tunnetaan. Valmiin teorian avulla voidaan tehdä ennusteita turvallisesti ennalta tiedetyllä tarkkuudella. Teorian säilyttäminen käytössä tai sen hylkääminen riippuu muista seikoista, kuten pätevyysalueen laajuudesta ja käytän helppoudesta. Klassisen mekaniikan väärät ennusteet ovat tunnettuja, mutta sitä ei ole hylätty eikä ole mitään syytä odottaa sen hylkäämistä.

Lopullinen teoria. Vaikka teorat ovatkin vain malleja tai osaselityksiä, joilla on rajallinen pätevyysalue, fysiikan kehitys johtaa hierarkkisesti yhä parempiin ja laajempiin malleihin, syvempiin selityksiin. Teorian todellisuusarvo paranee jatkuvasti, joten teoreettinen todellisuus voidaan liittää kehityksen välivaiheiden, yksittäisten teorioiden, asemesta teorian päämäärään, lopputulokseen, jota fysiikan teoreettisen kehityksen ajatellaan lähestyvän.

Tämä on tieteen historiassa toistuvasti esiintynyt universaaliteorian unelma. Ajatellaan, että tiede edistyessään jatkuvasti lähestyy kaiken olevan täydellistä selitystä. Tällöin teoriasta tulisi todellisuuden täydellinen kuva, joka voidaan samastaa todellisuuteen.

Tämän unelman ilmentymiä ovat tarinat viisasten kivistä. Fysiikan historiassa klassisen fysiikan muodostama mekanistinen maailmankuva näytti monen mielestä tällaiselta lopulliselta selitykseltä. Tällä hetkellä taas hiukkasfysiikan näköpiirin rajoilla hämmäyttävä vuorovaikutusten suuri yhtenäisteoria siintää joidenkuiden silmissä tällaisena fysiikan lopullisena täydellisenä päämääränä, joka olisi TOE eli Theory Of Everything.

Fysiikan teoreettisen tiedon luonteessa ei kuitenkaan ole mitään, mikä tukisi tällaista ajattelutapaa. Jotta voitaisiin päätellä, että teorat konvergoivat kohti lopullista täydellistä todellisuuden kuvaa, olisi välttämätöntä

tuntee joko lopullinen täydellinen kuva tämän lähestymisen toteamiseksi tai päättymätön jono teorioita ja jokin konvergenssikriteeri à la Weierstrass, jota tähän jonoon voitaisiin soveltaa sen suppenemisen toteamiseksi.

Fysiikan historia tuntee yhden suuren askelen suppeammasta laajempaan ja selityskykyisempään teoriaan, siirtymän klassisesta moderniin fysiikkaan. Tämä siirtymä ei suinkaan ole omiaan vahvistamaan mielikuvaa teorian suppenemisestä kohti lopullista. Paremminkin se viittaa divergenssiin. Yhden yhtenäisen teorian sijaan syntyi kaksi yleisempää, kvanttimekaniikka ja suhteellisuusteoria, joiden yhdistäminen ei ole ainakaan toistaiseksi onnistunut.

4. Todellisuuden duaalisuus

Havainnon teoriapitoisuus. Kokeellinen todellisuus on *teoriasta erottamaton*. Jokainen fysiikan detali on sidoksissa sekä kokeelliseen että teoreettiseen todellisuuteen. *Yksikään suure ei ole puhtaasti kokeellinen*. Jokaisen suureen määrittely mittaamalla perustuu teoreettiseen ideaan. Tähän kuuluu se laki, joka motivoi suureen käytän, sekä itse mittaamisen ja mittalaitteen teoria. Mittaus on ensin ajateltava ja suunniteltava.

"Kaikki havainnot sisältävät teoriaa. Kun tutkimme geenejä käyttäen elektronimikroskooppia, käytämme enemmän teoriaa kuin katsellessamme bakteereja tavallisella mikroskoopilla." [Ketonen Oiva: *Se pyörii sittenkin*. WSOY (1975), s. 101]. *Ei ole puhtaita kokeita*. [Ks. esim. Jung W.: *Aufsätze zur Didaktik der Physik und Wissenschaftstheorie*. Diesterweg, Frankfurt am Main, Berlin, München (1979)].

Mittaustulosten sidonnaisuus mittauksen teoriaan, esim. valon kulkua optisessa kojeessa koskevaan teoriaan, rekisteröinnin teoriaan jne. merkitsee samalla mittauksen sidonnaisuutta sen tulkintaan.

Ilmiön teoriapitoisuus. *Ei ole edes puhtaita ilmiöitä*, koska kaikki tieto ilmiöistä välittyy jonkin havaintomekanismin kautta. Myös silmä on optinen koje. Näkeekö silmä oikein?! Suoran näköhavainnonkin merkitys on sidoksissa valon kulkuun silmässä, silmän teoriaan. Jokainen aistimus on sidoksissa hermotoimintaan. Välittävätkö hermoissa kulkevat impulssit informaation oikein? Rekisteröityykö se aivoissa oikein? Tulkintakysymysten sarja on loputon.

Fysiikan kehitys on tuottanut ja tuottaa jatkuvasti uusia ilmiöitä, sähkövirrasta alkaen yhä lisääntyvässä määrin aina nykyaikaisen hiukkasfysiikan ilmiöihin. Mutta pelkästään uuden ilmiön hahmottaminen, sen tunnistaminen ilmiöksi ja sen kuvaaminen ja määrittely ilmiönä edellyttävät taustakseen fysiikan koko siihenastisen tiedollisen ja käsitteellisen rakenteen. Miten kuvata esimerkiksi jarrutussäteilyä, fuusiota, nesteheliumin pyörteiden kvantittumista tai korkean lämpötilan suprajohtavuutta puhtaana ilmiönä?

Uudet ilmiöt ja niitä koskevat mittaukset ovat koko fysiikan "jättiläisen hartioilla". Vain tämän jättiläisen kasvu on tehnyt ne mahdollisiksi. "Kokeellisena todellisuutena" ne ovat olemassa vain suurten laboratorioden äärimmäisen tarkasti suunnitelluissa kokeissa ja näiden kokeiden suunnittelun, mittalaitteiden ja itse ilmiön tunnistamisen perustana olevan teorian ja teoreettisen käsitteistön ehdoilla.

Tämä havaintojen ja ilmiöiden teoriapitoisuus sisältyy jo havaitsemisen ja käsitteenmuodostuksen luonteeseen intuitiivisena hahmotusprosessina, jonka "logiikka" on aina kaksisuuntaista. Hahmottamiseen kuuluu olennaisina elementteinä pelkistys ja idealisointi, "signaalin" erottaminen "hälystä" sekä sen tulkinta tietyllä tavalla säännönmukaiseksi, joidenkin ihmisen hahmotuskykyyn kuuluvien "arkkityyppien" sanelemien "lakien" mukaisesti. Primaariset käsittelemättömät aistinärsykkeet ja jotkin ihmismielen "arkkityypit" yhdessä muodostavat sen kokeellisteoreettisen alkeislähtökohdan, jolle hahmottamisen kaksisuuntaisuus perustuu.

Havainnolle alistettu teoria. Kääntäen, teoreettinen todellisuus on *havainnosta erottamaton*. *Yksikään suure ei ole puhtaasti teoreettinen*. Puhdasta teoreettista todellisuutta ei ole, vaan teoria on aina kokeelliselle todellisuudelle alistettu. Teoreettiseen todellisuuteen voi kuulua vain lauseita, jotka eivät ole ristiriidassa kokeellisen todellisuuden kanssa, -- sellaisena kuin kokeellisuus kulloinkin vallitsevan fysiikan kehitysasteen perusteella ymmärretään. Toisaalta, koska puhtaasti kokeellisia mittauksia ei ole, ei myöskään teoreettisten ennusteiden (lauseiden, väitteiden) suora verifiointi tai falsifiointi ole mahdollista. [Ks. esim. Schmidt P.F.: *Truth in Physics*, Am. J. Phys. **28** (1960) 24-32].

Konsistenssi. Fysiikan todellisuuskuva on näiden tarkastelujen perusteella *dualistinen yhdistelmä*, jonka kokeellisia ja teoreettisia elementtejä on mahdotonta erottaa toisistaan. *Selittävyys ja ennustavuus* ovat fysiikaalisen todellisuuden tärkeitä *teoreettisia piirteitä* ja olennaisia sen todellisuusarvon kannalta.

Fysiikan todellisuusarvon peruskriteeri, *objektiivisuus*, on sidoksissa *kokeellisuuteen*. Sen perustumista kokeelliseen tietoon on kuitenkin mahdollista arvioida vain koko kokeellisteoreettisen *tietorakenteen konsistenssin*, sisäisen ristiriidattomuuden perusteella. Tämä on välttämätön ehto. Todellisuus ei voi olla sisäisesti ristiriitainen. Niin kauan kuin fysiikan tietorakenne on konsistentti, ei ole mitään ehdotonta estettä kuvitelmalle, että se vastaa todellisuutta tai todellisuuden fysikaalisin keinoin lähestyttävää osa-aluetta.

Abstract

Thoughts on physics and reality. The problem of reality is discussed starting from the model of two realities. Physics breaks the intimate observational relationship between the external and internal realities. The requirement of scientific objectivity creates an impression of a reduction where the external reality is reduced into the empirical reality of science, the internal reality into theory, direct experiencing into controlled experiments and intuitive inquiry by the self into scientifically permissible operational questions.

Empiricalness is the ultimate guarantee of objectivity, but the requirement of strict experimentality makes the scientific reality meaningless, restricted and insufficient for the mind. Because of their explanatory and predictive power the physical theories are more deeply related to reality than just as models. The view of scientific concept formation as a perceptive (Gestalt formation) process leads to the impression of a dualistic reality which is, in all its details, nonseparably both experimental and theoretical, both external and internal.