

Vaikuttaako havainto kohteeseensa?

Raimo Lehti

Kvanttimekaniikan varhaisvaiheesta alkaen nousi esille kysymys, vaikuttaako havaitseminen havainnon kohteeseen, ja jos vaikuttaa, niin millä tavalla. Kysymys herättää edelleenkin kiinnostusta, kuten esimerkiksi vast'ikään *Tieteessä tapahtuu* -lehdessä julkaistu artikkeli Kallio-Tamminen 2000 osoittaa. Seuraavassa esitän asiasta vain eräitä aivan elementaarisia ajatuksia, jotka fysiikan tutkijalle ovat itsestään selviä. Sen enempiä matemaattisiin kuin "filosofisiin" aspekteihin en puutu. Tarkastelen asiaa "tavallisen lukijan" kannalta, jolle jotkut asiasta esitetyt näkemykset kenties tuntuvat hieman häkellyttäviltä. Syynä tähän saattaa olla mm. se, että sanaa "havainto" käytetään tässä yhteydessä monessa mielessä, jotka eivät aina tunnu vastaavan sitä, mitä tavallinen lukija tuolla sanalla tarkoittaa.

Asian analysoimiseksi jaan käsitteen *havainto* moneksi osatapatumaksi. Käsitettä käytetään useista proseduureista, jotka huomattavasti poikkeavat toisistaan. Suoritan ensin yksinkertaisuuden vuoksi eräitä tilanteen rajauksia. Kaikki havaitseminen liittyy tavalla tai toisella ihmisen aistimiskykyyn. Jo varhain todettiin, että eniten kognitiivista arvokasta informaatiota tuova aisti on näköaisti. Jätän seuraavassa muut aistit havaitsemisen välineinä huomiotta. Ne ovat mukana kaikessa havaitsemisessa arkikokemuksen osana, mutta niillä tuskin on erityistä roolia niissä problemaattisissa tapauksissa, joista nyt on kyse.

Havainnon osatekijät

Tämän mukaisesti abstrahoinme tilanteen seuraavan kaltaiseksi (ks. myös *Lehti* 1994): On olemassa *havainnon varsinainen kohde A*; tämä on jokin fysikaalinen olio tai ilmiö. On olemassa *havaintaja B*, joka haluaa saada tietoa kohteesta *A*. On olemassa *havaintolaite C*, joka reagoi johonkin kohteen aiheuttamaan fysikaaliseen ilmiöön. Tämä ilmiö saattaa olla sellainen, jota kuvailemme klassillisen fysiikan avulla (esim. sähkömagneettinen kenttä, nesteen lämpötila tms.) tai sellainen, jonka oikeaan kuvailuun katsomme tarvittavan kvanttimekaniikkaa. Jälkimmäisen tapauksen paradigmaattinen esimerkki on se, missä havaintokohde *C* vastaanottaa kohteen *A* lähettämää *säteilyä*, joka saattaa olla fotoneita, elektroneja, gammasäteilyä ym.; tämä säteily on juuri sellainen luonnonilmiö, jota joskus kuvaillaan hiukkasina, joskus aaltoliikkeenä, joskus jollain muulla abstraktimmalla tavalla. Eräät havaintajien ja hänen mahdolliseen vaikutukseensa liittyvät kysymykset esiintyvät aivan samassa muodossa molemmissa tapauksissa; eräiden kohdalla on olennaisia eroja. Jälkimmäiset tapaukset muodostavat varsinaisen ongelmakenttämme; niissä on siis havaintoinformaation välittäjänä jokin kvanttimekaniikan avulla käsiteltävä ilmiö.

Havaitsevan ihmisen tekemää itse havaintoa luonnehdittiin tässä yhteydessä traditionaalisesti seuraavasti: Havaintolaitteeseen on kiinnitetty jokin mittari, joka sisältää asteikon ja viisarin. "Havaitseminen" on tuon viisarin asteikolla näyttämän lukeman rekisteröimistä ("*pointer reading*"). Nykyään lienee todella merkittävien havaintojen tapauksessa yleisempää, että havaintolaite rekisteröi automaattisesti oman "fysikaalisen havaintonsa" jollekin dokumentille, jota sitten jälkeenpäin voidaan kaikessa rauhassa tarkastella. Jälkimmäinen menetelmä selvästi lisää havainnon objektiivisuutta; voivathan siinä useat ihmiset tarkastella fysikaalisen havainnon tuotosta ja keskustella sen tulkinnasta. Rajoitumme tämän menetelmän tarkasteluun.

Tällöin havaintolaitteeseen C syötetään sisään jokin makrofysikaalinen kappale D , joka olennaisesti on jonkinlainen baconilainen "tabula rasa". Se saattaa olla paperiliuska, valokuvauslevy tms., joka ennen laitteeseen syöttämistä ei sisältänyt informaatiota kohteesta A . Havaintolaite saa aikaan muutoksen tuossa makrofysikaalisessa kappaleessa. Jos esimerkiksi A on Kuu tai Andromedan galaksi, niin kappale D saattaa olla vaikkapa valokuvauslevy, johon saadaan kuva A :sta, tai paperiliuska, jolle saadaan jonkin valitun pisteen säteilyn aallonpituuden mukaisen intensiteetin jakautumaa osoittava käyrä.

Muutoksen kohteena ollutta makrofysikaalista kappaletta D voivat useat havaitsijat B_1, \dots, B_n erikseen tai yhdessä tarkastella, ja voivat antaa tulkinnan sille, mitä tuo tuotos kertoo siitä "todellisesta" oliosta A , jota ajatellaan havainnon varsinaiseksi kohteeksi. Itse en ymmärrä juuri mitään juuri mistään ilman konkreettisia esimerkkejä, joten esitän pari sellaista.

1. Tuotos D on Kuun pinnasta otettu valokuva. Kuvan katselijat tulkitsevat yksimielisesti kuvassa näkyvät tummat ja valoisat alueet Kuun pinnan varjossa ja valaistuksessa olevien osien kuviksi. Tämän perusteella he tulkitsevat kuvan esittävän kraattereiksi kutsuttuja pinnan syvennyksiä. Ennen kuulennon tuomaa moninaisempaa informaatiota saattoivat kunkin kraatterin kohdalla tulkinnat tämän jälkeen olla toisistaan poikkeavia. Toiset havaitsijat "näkevät" kuvan yksityiskohdista selvästi, että jokin kraatteri on meteroriitin törmäysjälki, kun taas toiset "näkevät" yhtä selvästi, että se on vulkaanisen toiminnan tuote.

2. Tuotos D on potilaan sydänfilmi. Tällöin lienee havaintolaitteen C vastaanottamaa informaatiota syytä tarkastella klassillisen fysiikan termin, mutta tulkintaongelma pysyy olennaisesti samana. Havaitsijat ovat filmiä tutkivia sydänspecialisteja. He ovat yhtä mieltä, että sykkiihän se. Joku heistä saattaa pitää sykkimisen paperiliuskaan D aikaansaamia merkkejä osoituksena sydämen suhteellisen normaalista toiminnasta, kun taas toinen löytää niistä merkkejä vakavista rytmihäiriöistä.

Kognitiivisen havainnon merkitys

Molemmissa tapauksissa *havaitseminen* kognitiivisena, siis oikeaa tai oletettua tietoa tuovana tapahtumana, tapahtuu siinä vaiheessa, kun tutkijat tarkastelevat ja tulkitsevat havaintokojeen materiaalista tuotosta D . Tähän prosessiin vaikuttaa "havaitsijan psyyke" mitä

suurimmassa määrin. Havaintajoiden tulkinta vaikuttaa siihen, millaisena he pitävät ulkomaailman todellisuutta. Tämä on suorastaan triviaali tosiasia, eikä siinä ole mitään siitä riippuvaa eroa, täytyykö havaintolaitteeseen saapuva informaatio tulkita kvanttimekaniikan vai klassillisen fysiikan mukaisesti (kuten kenties sydänfilmin tapauksessa on laita). Tämä *varsinainen kognitiivinen havainto* ei vaikuta yhtään mitään ulkomaailmaan itseensä, eli konkretisoituna: havainnon varsinaiseen kohteeseen *A*. Se ei vaikuta edes siihen, miten havaintokoke on saamaansa ärsykkeeseen reagoitunut, ja minkälaisen tuotoksen se on saanut aikaan. Tämä on kutakuinkin itsestään selvä asia, mutta sille voi esittää erityisen perustelunkin: Olettakaamme, että sen jälkeen, kun koke *B* on tehnyt oman "havaintonsa" ja saanut aikaan tuotoksen *D*, tapahtuu laboratoriossa tai observatoriossa jokin katastrofi, vaikkapa tulipalo, jossa tuotos *D* tuhoutuu ennen kuin sitä kukaan on nähnyt. Tällöin *ei tapahdu mitään kognitiivista havaintoa*, mutta kognitiivista havaintoa edeltävässä "mekaanisessa havainnossa" ei mikään ole muuttunut, eikä siis myöskään missään siihen liittyvässä fysikaalisessa ilmiössä.

Kaikki mahdollinen "havainnon vaikutus kohteeseensa" on siis sijoitettava erääseen *puhtaasti fysikaaliseen tapahtumaan* kuuluvaksi, nimittäin kohteen *A* ja havaintokokeen *B* fysikaaliseen reaktioon toinen toisiinsa. Näin asian tulkitsi myös Niels Bohr (ks. esim. *Murdoch* 1990 s. 80-118). Jotkut ovat myöhemmin esittäneet asiasta toisenlaisia tulkintoja. Näitä on perusteltu mm. tilanteen matemaattisen esityksen probleemeilla; ne liittyvät puheeseen "aaltofunktion romahtamisesta". Näihin matemaattisiin probleemeihin en kajoa ensinkään. Mielestäni edellä tarkasteltu konkreettisen maailman tarkastelu osoittaa, että "psykyen" vaikutuksen tuominen mukaan *tähän havainnoksi kutsutun tapahtumasarjan vaiheeseen* on epämielekästä. Maailmahan ei muutu miksikään siitä, että sen esittämiseksi käytetyille matemaattisille formalismeille ehdotetaan tulkintoja, joita kukaan ei oikeastaan ymmärrä.

Tietenkin havainnon materiaalisen tuotoksen *D* tulkinnoista saattaa *seurata* jotain, joka muuttaa havaintajoiden ulkopuolella olevaa todellisuutta. Esimerkin 1 tapauksessa näin ei tapahdu. Kuun kukin yksittäinen kraatteri *on* joko meteoriitin törmäysjälki tai vulkaanisen toiminnan tulos tai jonkin muun fysikaalisen prosessin seuraus tyystin siitä riippumatta, mitä valokuvan tutkijat ehdottavat. Heidän tulkintansa ja mahdollinen tietonsa todellisuudesta ei muuta todellisuutta vähän vähääkään.

Esimerkki 2 on ambivalentimpi. Jos lääkäri sydänfilmiä tutkittuaan päätyy näkemykseen potilaan tilasta ja kertoo näkemyksensä potilaalle, niin tämä *saattaa* vaikuttaa juuri siihen maailman todellisuuteen, jota lääkäri oli tutkimassa. Ikävimmässä tapauksessa saattaa kertomus tehdä rytmihäiriön kahta pahemmaksi.

Esimerkeissä ilmenee tyypillinen ero sellaisen tieteen välillä, jonka kohteena on eloton luonto, ja sellaisen välillä, jonka kohteena on ihminen. (Biologit kertokoot, kumpaan ryhmään heidän tietensä on sijoitettava.) Kun ihminen on tutkimuksen kohteena, hän saattaa reagoida tutkimuksen tulokseen. Tällä tavoin "tajunta" todella vaikuttaa havainnon kohteeseen, mutta on kyseessä *kohteen itsensä tajunta*. Fysiikan problematiikkaan tämä ei vaikuta, mutta kylläkin

sosiologista tyyppiä olevaan pohdintaan tieteen vaikutustavoista.

Havaitsijan syrjässä pysymisen tapaus

Tyypillisenä esimerkkinä tapauksista, joissa tuskin kukaan väittää havaitsijan vaikuttavan havaittuun kohteeseen, esitetään tähtitieteelliset havainnot. Tälle esitetään erilaisia syitä:

Usein ehdotetaan, että ero on siinä, havaitaanko klassillisen fysiikan mukaista vai mikrofysikaalista systeemiä ("kvanttisysteemiä"). Niissä *säteilyn* havaitsemiseen keskittyvissä tapauksissa, joista edellä on ollut kyse, on tämä ero epäasiallinen. Tähtitieteen osalta ainoastaan joissakin kohtuullisen vähämerkityksellisissä tapauksissa (synkrotronisäteily, gravitaatioaallot) on mahdollista pitää havaituksi tulevan säteilyn lähteenä makrofysikaalista "klassillista" systeemiä. Käytännöllisesti katsoen kaikissa tapauksissa, havaittiinpa sitten Kuuta, avaruuden pilviä tai Andromedan galaksia, on kohde "havaitsemiskelpoinen" siksi, että se synnyttää tai heijastaa mikrofysikaalisten prosessien aikaansaamaa säteilyä. Jos jokin tähtitieteen käsittelemä fysikaalinen systeemi todella olisi klassillisen mekaniikan mukainen massapistesysteemi, *ei sitä voisi havaita ollenkaan*. Mitä siis saattaa tarkoittaa "klassillisen systeemin havaitseminen" vastakohtana "mikrofysikaalisen systeemin havaitsemiselle"?

Toisena erona ehdotetaan joskus, että makrofysikaalista systeemien tapauksessa havaitaan *suurta lukumäärää* fotoneja, jolloin yksittäisilmiöihin liittyvää kvantittumista ei tarvitse ottaa huomioon. Näinhän tilanne usein on mikrofysikaalista ilmiötäkin havaittaessa; esimerkiksi kaksoisrakokokeessa katsotaan, millaisen diffraktiokuvion suuri saapuvien fotonien määrä saa aikaan. Tässä suhteessa ei ole periaatteellista eroa tähtitieteellisessä observatoriossa ja fysikaalisessa laboratoriossa tehdyillä havainnoilla. Jokainen havaintokojeeseen saapuva fotoni on jonkin yksittäisilmiön synnyttämä, ja tarpeen vaatiessa pyritään havainnossa selvittämään yksittäisten fotonien saapuminen esimerkiksi niiden aiheuttamien reaktioiden lukumääriä laskemalla.

Tähtitieteilijä ei myöskään käytä havaintojaan saadakseen tietoa vain kohteensa tyypillisesti "makrofysikaalisista" ominaisuuksista, esimerkiksi planeettojen tai galaksien liikkeistä. Tähtitieteellisen havainnon "objektiivisuus" ei edes riipu oletuksesta, että kohde olisi tähden kaltainen massiivinen kappale. Kohteen saattavat muodostaa avaruuden pilven yksittäiset atomit, jotka liikkuvat itsenäisesti avaruudessa kenties kilometrien etäisyydellä toisistaan. Kun tähtitieteilijä tutkii kohteen lähettämää säteilyä (t.s. analysoi sen aikaansaamaa "materiaalista tuotosta" *D*), hän saa oikeaa tai oletettua tietoa definiitisti mikrofysikaalisista tähtien kaasukehissä tai avaruuden pilvissä tapahtuvista yksittäistapahtumista. Tällöin hän käyttää analyysissaan oletusta, että näissä tapahtumissa vallitsevat *täsmälleen samat kvanttimekaniikan lait* kuin laboratorioissa tuotetuissa ilmiöissäkin. Olettaen, että kvanttimekaniikka on tässä suhteessa oikea teoria, on näissä tapahtumissa sama määrä "epätarkkuutta" tai "komplementaarisuutta" tai "statistista kausaliteettia" kuin kokeissa, jotka mikroilmiöiden maanpäällinen havaitsija

laboratoriossaan tekee. Jotkut mikrofysikaalisista ilmiöistä filosofoivat kirjoittajat väittävät, että jälkimmäisessä tapauksessa "epämääräisyys" on *havainnon aiheuttamaa*. Väittävätkö nämä henkilöt myös, että *Andromedan galaksin jonkin tähden kaasukehässä tapahtuvan yksittäisilmiön jotkut ominaisuudet ovat sen aiheuttamia, että tuon ilmiön synnyttämää säteilyä havaittiin Maan päällä noin kaksi miljoonaa vuotta myöhemmin?*

Mielestäni tuollaisen väitteen tekeminen olisi mieletöntä. Andromedan galaksissa sattuvan minkään mikrofysikaalisen yksittäistapahtuman havaitseminen tai havaitsematta jääminen ei millään tavoin vaikuta tuohon tapahtumaan. Havainto ei missään sen enempää *reaalisessa* kuin *symbolisessakaan* mielessä "luo" tuota tapahtumaa. Kun näin on, voi kysyä, miksi tulisi rajoittaa tämä johtopäätös koskemaan Andromedan galaksissa tapahtuvia asioita. Tapahtumat, mm. mikrofysikaaliset yksittäistapahtumat, sattuvat maanpäällisissä laboratorioissa samojen fysiikan lakien mukaan kuin tähtien kaasukehissä tai avaruuden pilvissä. Jos toiset näistä tapahtumista ovat havaitsemisesta riippumattomia, on kai täysi syy olettaa, että toisetkin ovat. Tämä johtaa päätelmään: *Havaitseminen ei vaikuta yhtään mitään mikrofysikaalisiin yksittäistapahtumiin.*

Edellä on sanaa "havainto" käytetty siinä merkityksessä, että on kyse havaitsijan itsensä suorittamasta havaintokojeen tuotoksen tarkastelusta ja tulkitsemisesta. Voimme myös tarkastella havaintoa siinä merkityksessä, että havaintokoje *B* reagoi ärsykkeeseen. Kutsukaamme tätä "fysikaaliseksi havainnoksi"; ryhdymme kohta sitä käsittelemään. Edellä tarkastellussa Andromedan galaksin tapauksessa tehdyt päätelmät osoittavat, että myöskään fysikaalisen havainnon tapahtumisella tai tapahtumatta jäämisellä ei ole vaikutusta havaittuun ilmiöön, joten havainnon tämänkin komponentin kohdalla tulemme samaan yleiseen johtopäätökseen: havainto ei vaikuta havaittavaan ilmiöön millään tavalla.

Tämä on suuresti sen vastaista, mitä monet kvanttimekaniikan gurut asiasta kirjoittavat. Ristiriidan ratkaisemiseksi lienee käsitteen "havainto" analysointia jatkettava. Analyysi mielestäni osoittaa, että havaittavaan kohteeseen ei vaikuta itse *havainto*. Siihen vaikuttaa havaittavan kohteen "kiihottaminen", jotta se tekisi itsestään havaittavaksi mahdollisen eli *nousisi havaitsemiskelpoiseen tilaan*. Kuten kohta todetaan, on sanan 'havainto' monimielinen käyttö seurausta siitä, että laboratorioissa suoritettavissa mikrofysikaalisissa tutkimuksissa kohteen 'kiihottaminen' havaittavaksi on niin itsestään selvää, että toimenpide katsotaan suorastaan havainnon osaksi, jolloin terminologia on muovautunut tämän käytännön mukaiseksi.

Klassillisen fysiikan ja kvanttifysiikan ero

Selkeä tapaus kohteen saattamisesta havaitsemiskelpoiseen tilaan on, että sillä suoritetaan koe. Jo klassillisessa fysiikassa kausaliteetin probleemin käsittelyn yhteydessä nousi esiin kysymys, miten koe vaikuttaa kohteeseensa. Kausaliteettia on tämän ilmiön takia vaikea kokeellisesti todentaa. Tästä voi antaa esimerkin. Jos nesteen lämpötila halutaan mitata lämpömittarilla, niin lämpömittarin alkuperäinen lämpötila ei ole sama kuin nesteen.

Kun lämpömittari upotetaan nesteeseen, sen lämpötila muuttuu. Jos nestettä on paljon, se ei ole "herkkä" kokeelle. Mitä "herkempi" systeemi on, sitä vaikeampaa on "häiriytymättömän" tilan mittaaminen. Kaikki nämä probleemit olivat fyysikoille vallon tuttuja jo ennen kvanttimekaniikkaa. Kokeen suorittaja ei ole milloinkaan ollut "syrjässä pysyvä havaitsija". Klassilliseen fysiikkaan voinee katsoa kuuluneen ajatuksen, että systeemin häiritseminen kokeella oli käytännöllistä laatua; häiriötä voisi mielivaltaisesti pienentää (*d'Abro* 1951 I s. 51). - Tässä on olennainen ero kvanttimekaniikan tilanteeseen. - Klassilliselle fysiikalle tyypillistä kausaliteetin doktriinia ei siis voinut tarkkaan testata mm. seuraavista syistä (*d'Abro* 1951 II s. 947):

(a) Mittauksien välttämättömät epätarkkuudet estivät täsmällisten havaintojen tekemisen.

(b) Ajatus täysin isoloidusta systeemistä on idealisaatio.

Ainoa suljettu systeemi on koko universumi, ja sen mutkikkouden takia on mahdotonta verifioida tiukkoja kausaaliyhteyksiä. Tämän sanoi jo Laplace tunnetussa "demonitekstissään", johon klassillisen fysiikan determinismin korostajat yhtenäen viittaavat. Jo klassillisessa fysiikassa tunnettiin vaikeus, jota kvanttiteoreetikot ovat sitten korostaneet. Havainto vaatii havaitsijan ja havaittavan systeemin, siis subjektin ja objektin. Mittaaminen merkitsi vaikuttamista niihin prosesseihin, joita haluttiin mitata. Niin muodoin systeemin ominaisuuksien mittaaminen on ristiriidassa sen kanssa, että systeemi olisi isoitu. Kun emme voi havaita systeemin sisäisiä prosesseja emme voi testata sen tarkkoja kausaalilakeja. Vaikka siis universumissa olisikin täysin isoituja hallittavan kokoisia systeemejä (jollaisia ei ole), niin emme voisi ehdottoman tarkoin seurata niiden kehitystä. Niin muodoin kausaliteetin testaaminen on mahdotonta, joten kausaalidoktriiniin uskomisen oli kyseenalaista. Nämä vaikeudet oli kuitenkin mahdollista sivuuttaa; teoksessa *d'Abro* 1951 II s. 948 ehdotetaan seuraavaa perustelua:

(a) Jotkut systeemit ovat kuitenkin isoloidumpia kuin toiset, joten ei ole väärin olettaa täysin isoituja systeemejä.

(b) Hyväksyttiin, että mittaus vaikuttaa mitattavaan systeemiin, mutta tätä pidettiin havaitsijan kömpelyydestä seuraavana satunnaisilmiönä. Huolellisuudella voi havaitsijan vaikutusta mielivaltaisesti pienentää.

Vaikka tiukkaa kausaliteettia ei voisiakaan käytännössä testata, voi tämän ajateltavan mukaan näin teoriassa tehdä. Tällaisilla argumenteilla voi yrittää hälventää *a priori* -vastaväitteet tiukalle kausaliteetille. Klassillisten argumenttien (a) ja (b) oletuksena on, että voimme ajatella rajaprosessia, jossa häiriöt ja ulkoiset vaikutukset voi askeleittain redusoida merkityksettömiksi (*d'Abro* 1951 I s. 948). - Varmaankin olisi oikeampaa pitää "täysin isoitua systeemiä" käyttökelpoisena idealisaationa eikä jonain reaali maailmasta mahdollisesti löytyvänä. Voisi kai yksinkertaisesti sanoa, että oli kyseessä sellainen "ei-operationalistinen" oletus, jollaiset ovat tieteessä tuiki tavallisia, ja joita ruvetaan kritisoimaan vasta, kun kritiikille löytyy konkreettista aihetta.

Oletuksen periaatteessa täsmällisen havainnon mahdollisuudesta romuttaa Heisenbergin epätarkkuusperiaate; sen mukaan ei partikkelin alkutilaa (asema + nopeus) voi määrätä, joten tiukkaa kausaalirelaatiota ei voi mekaniikassa testata. Niinpä klassillinen argumentti häiriöiden rajattomasta vähentämisestä kaatuu, joten tiukan kausaliteetin testaaminen on mahdotonta *teoreettisista* syistä, ei vain käytännöllisistä. Jotkut ovat sanoneet, että tämä ei välttämättä kaada tiukka kausaliteettia, sillä empiirisen testin mahdottomuus ei romuta teoriaa. Joka tapauksessa täten on paljastunut aikaisemmin tuntemattomia rajoituksia. Kvanttimekaniikan suuret gurut Bohr, Heisenberg, Dirac ym., joka tapauksessa hylkäsivät kausaliteetin (*d'Abro* 1951 I s. 949-950). Kun klassillisessa fysiikassa oletettiin, että systeemin voi *teoriassa* havaita ilman havainnon aiheuttamaa häiriötä, niin voitiin kuvitella "epäpersoonallinen" ulkomaailma, jota havaitsija havainnoi. Tällöin oletettiin selvärajainen jako subjektin ja objektin välille. Kvanttimekaniikan mukaan sen sijaan havaitsija havaintomenetelmäänsä muuttamalla saattaa muuttaa kohteen tilaa. (*d'Abro* 1951 II s. 953-954):

Ulkomaailma on siis syvästi havaitsijan toimista riippuvainen. Selväpiirteinen jako tietävän subjektin ja passiivisen kohteen välillä lakkaa olemasta mahdollinen. Näin pitkälle uutta filosofiaa värittää subjektiivisuuden vivahde. Meidän on kuitenkin muistettava, että häiriötä ei saa aikaan kognitiivinen akti sellaisenaan; sen tekee suoritattu fysikaalinen mittaaminen, jonka tarkoituksena on tehdä kognitiivinen akti mahdolliseksi. Häiriöt ovat siis fysikaalista, eivät psyykkistä alkuperää.

Fysikaalinen havainto

Siirrymme tarkastelemaan "fysikaalista havaintoa" eli havaintoa siinä merkityksessä, että havaintokoje *B* reagoi ärsykkeeseen. Rajoitamme edelleenkin tilanteen tapaukseen, missä havaintokojeen saama ärsyke on säteilyä. Nyt voimme kahdella eri tavalla luokitella "havainnon tyyppin" tarkastelemalla havainnon "varsinaista kohdetta" *A*, joka siis on se fysikaalinen ilmiö, josta halutaan saada tietoa.

Ensimmäinen jaottelu:

- (a) Havainnon varsinainen kohde on saapuva säteily itse.
- (b) Havainnon varsinainen kohde on säteilyn lähde, siis jokin säteilyä lähettävä fysikaalinen systeemi.

Toinen jaottelu:

- (i) Havainnon kohde "on havaittavissa" ("tuo itsensä julki") havaitsijan puuttumatta asiaan.
- (j) Havainnon kohde on havaittavissa vain siten, että havainnoija tavalla tai toisella vaikuttaa siihen "ärsyttävästi".

Esimerkkejä eri tyypeistä:

- (a) Avaruuden mikroaaltotaustasäteily.

(a) "Kaksoisrakokokeen" fotonisuihku.

(b) Andromedan galaksi.

(b) Hiukkasilla pommitettu raskaan alkuaineen atomi, joka saadaan säteilemään fotoneja.

Tapaukset () ovat "passiivisia havaintoja". Niiden kohdalla ainoa havaitsijan ratkaistavissa oleva asia on päättää, viitsiikö hän havaita vai eikö viitsi. Hänen käyttämänsä havaintolaite C (esimerkiksi kaukoputki) on tarkoitettu *yksinomaan* säteilyn vastaanottamiseen ja sen rekisteröimiseen materiaalisena tuotoksena D .

Tapauksissa () on joko kyseessä sanan varsinaisessa mielessä *koe* tai sitten laajennetussa mielessä "havainnoksi" luonnehdittu asia. Tässä on jo itse havaintolaitteeseen C sisällytetty varsinaisen *havainnontekokomponentin* C_2 lisäksi *kohteenpreparoijakomponentti* C_1 . Tällöin C_1 tuottaa ärsyksen, joka saa varsinaisen kohteen A havaittavaksi; C_2 vastaa aikaisemmin C :llä merkittyä havaintolaitetta. Valitettavaa sotkua on saatu aikaan sillä, että sanaa "havainto" on ruvettu käyttämään koko siitä prosessista, joka koostuu kohteen ärsyttämisestä ja ärsytetyn kohteen reaktion havaitsemisesta. Yksi tämän sotkun ilmenemismuoto on, että varsinkin mikrofysiikasta kirjoittavat käyttävät vallan synonyymeinä sanoja "havainto" (*observation*) ja "koe" (*experiment*; vrt. *Lehti* 1994 s. 110-112). Terminologinen ambivalenssi on tietenkin varsin ymmärrettävää sen takia, että useihin mikrofysikaalisiin havaintolaitteisiin on jo sisään rakennettu komponentit C_1 ja C_2 , jolloin "havainnon" suorittaminen jo sellaisenaan vaatii molempien mukana oloa (esimerkiksi elektronimikroskooppi). Kyllä sama ilmiö esiintyy klassillisessa fysiikassakin; esimerkiksi aina, kun kohdetta valaistaan sen havaitsemista varten. Kohteen valaiseminen on kuitenkin toinen toimenpide kuin valaistun kohteen havaitseminen. Valaisemisen saattaa suorittaa havaitsija itse, jolloin hän tietenkin vaikuttaa havainnon kohteeseen, tai se saattaa olla havaitsijasta riippumaton asia. Näin on, kun Aurinko valaisee Kuun pintaa eli saattaa Kuun "havaitsemiskelpoiseen tilaan", ja ihminen sitten havaitsee syntyviä valoja ja varjoja. Samoin tähden kaasukehän lämpötila saattaa sen atomit havaitsemiskelpoiseen tilaan ilman havaitsijan asioihin puuttumista. Fundamentaalin ero tähtitieteellisen havainnon ja laboratoriossa suoritettujen havainnon välillä on siis se, että tähtimaailman tapauksessa ei tarvita havaitsijan asioihin puuttumista kohteen preparoimiseksi.

Havaitsijan "henkilökohtaisen havainnon" vaikuttamattomuutta perustelimme tapauksella, missä sellaista ei laisinkaan tapahdu, mutta havaintotilanteen fysiikka pysyy muuttumattomana. Vastaavalla tavalla voi perustella myös itse *fysikaalisen havainnon* vaikuttamattomuutta. Voidaanhan myös varsinaisen havainnon suorittava koje tai kojeenosa C_2 "sokeuttaa" sellaiseksi, että se ei "havaitse" mitään. Observatoriossa voidaan kaukoputki suunnata väärään suuntaan tai unohtaa objektiivin suojuksen poistaminen tai valokuvauslevyn sijoittaminen kameraan. Avaruudessa sijaitseva kohde ei muutu millään tavoin; se pysyy "havaitsemiskelpoisena" ja tekee oman osuutensa havainnon onnistumiseksi, mutta havaintoa ei tapahdu. Vastaava pätee myös laboratoriossa. Jos

laitteessa kohteen preparoinnin suorittava komponentti C_1 toimii kuten pitääkin, mutta varsinaisen havainnon suorittava komponentti C_2 on epäkunnossa, ei havaintoa synny. Esimerkiksi kaksoisrakokokeessa puuttuu valokuvauslevy tai muu rekisteröivä laite, jolle saapuvat fotonit tekevät merkkejään. Havaintoa ei tapahdu, mutta kohteen preparointi on pysynyt samana; tällöin kaikki se, millä tavoin potentiaalinen (huolimaton) havaitsija on vaikuttanut kohteeseen on pysynyt samana.

Kun havaitsija joko erillisillä laitteilla tai saman havaintolaitteen jollain komponentilla preparoi kohdetta, hän ei tietenkään ole "syrjässä pysyvä havaitsija", vaan osallistuu tapahtumiin "näyttelijänä maailman näyttämöllä". Täydellä syyllä voi tällöin myös sanoa, että hänen tajuntansa on vaikuttanut tapahtumiin. Tajuntansa avulla hän suunnittelee tarvitsemansa laitteiston ja käyttää sitä. Tähän ei pelkkä tajunta riitä, vaan tarvitaan myös kädet; tajunta saa kädet liikkumaan ja käsien liikkeet vaikuttavat materiaaliseen maailmaan, mm. laitteiden välityksellä havainnon kohteeseen (vähintäänkin painamalla oikeaa nappia). Jos jollakin on tiedossa jokin tästä itsestään selvästä materiaalisesta vaikutuksesta poikkeava tapa, millä havaitsija voi vaikuttaa havainnon kohteeseen, hänen tulisi ilmoittaa siitä Skepsis ry:lle, joka on luvannut huomattavan palkinnon tuollaisesta hyvin dokumentoidusta ilmiöstä.

KIRJALLISUUTTA

d'Abro, A. (1951): *The Rise of the New Physics, its Mathematical and Physical Theories I-II*. Dover, New York 1951 (1939).

Kallio-Tamminen, Tarja (2000): *Havaitsijan asema kvanttimekaniikan kööpenhaminalaisessa tulkinnassa*. Tieteessä tapahtuu 5/2000, s. 27-34.

Lehti, Raimo (1994): *Syrjässä oleva havaitsija välttämättömyytenä, ideaalina ja kummajaisena*. S. 93-128 teoksessa *Keskustelua tieteen rajoista* (toim. Rauno Härmäläinen, K.V. Laurikainen, Jussi Rastas ja Karri Sunnarborg). Research Institute for High Energy Physics, Report Series HU-SEFT I 1994-04.

Murdoch, Dugald (1990): *Niels Bohr's Philosophy of Physics*. Cambridge 1990 (1987).

Kirjoittaja on Teknillisen korkeakoulun matematiikan emeritusprofessori.