



Todellisuus ja moderni fysiikka

Tarja Kallio-Tamminen



Werner Heisenberg: *Fysiikka ja filosofia - modernin tieteen vallankumous*. Art House 2000. Suomentanut Risto Vilkkö englanninkielisestä alkuperäisteoksesta *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science*. 216 sivua.



Epätarkkuusperiaatteestaan tunnetuksi tulleen Nobelfysiikko Werner Heisenbergin teos *Fysiikka ja filosofia* kuuluu populaarisiin tiedekirjallisuuden suuriin klassikkoihin. Heisenberg esittää tässä vuonna 1958 ilmestyneessä teoksessaan ajatuksiaan modernista fysiikasta ja sen maailmankuvallisista ja kulttuurisista vaikutuksista.



Heisenberg ehti nähdä atomifysiikan aiheuttaman sotilaallisen uhkan ja alun tieteellis-teknisten toimintamallien aiheuttamasta globaalista kulttuurisesta yhdenmukaistumisesta. Hän ei tarkastellut tapahtunutta kehitystä yksinomaan myönteisestä näkökulmasta, mutta silti hänen sanottavansa luonnontieteen ja teknologian yhteenliittymän tuottamista kulttuurisista ja yhteiskunnallisista vaikutuksista tuntuu tänä päivänä kovin pinnalliselta. Samaa ei voi sanoa teoksen maailmankuvallisesta osuudesta. Heisenbergin todellisuuden luonnetta koskevat syvälle luotaavat kysymyksenasettelut eivät ole menettäneet ajankohtaisuuttaan kuluneiden vuosikymmenten aikana. Toisaalta teemat eivät ole irrallisia. Ottaessaan yhteiskunnalliset vaikutukset kirjansa kehukseksi, Heisenberg osoitti ymmärtävänsä fysiikan kautta kohtaamiensa kysymysten laajuuden ja kauaskantoisuuden. Muuttaessaan käsitystä ihmisen asemasta maailmankaikkeudessa, kvanttimekaniikan kööpenhaminalainen tulkinta tarjoaa aineksia niin sanottujen ihmistieteiden ja luonnontieteiden välisen vastakkaisuuden poistamiseen.



Toisin kuin monet myöhemmät kvanttimekaniikkaa tulkitsevat fyysikot, kööpenhaminalaiset eivät pitäneet filosofiaa turhana puuhasteluna vaan sukelsivat syvälle fysiikan filosofisiin perusteisiin. He eivät ottaneet uuden ajan taitteessa muotoutuneita fysiikan ontologis-epistemologisia peruserotteluita lopullisiksi totuuksina vaan kysyivät näiden totuttujen tarkastelutapojen lähtökohtia ja oikeutusta uuden tiedon valossa. Heisenberg onkin ehkä kiinnostavimmillaan jäljittäessään kvanttimekaniikan tulkintaongelmien syitä. Hän tarkastelee modernin fysiikan edistysaskeleita luonnonfilosofian historian virittämää laajaa taustaa vasten. Näiden suurten kysymysten valossa näyttää ilmeiseltä, että luonnontieteellä on paljon uskottua enemmän aineksia tarjottavanaan niille, joita kiinnostaa ihmisen ikaikainen pyrkimys paremmin ymmärtää todellisuuden luonnetta.



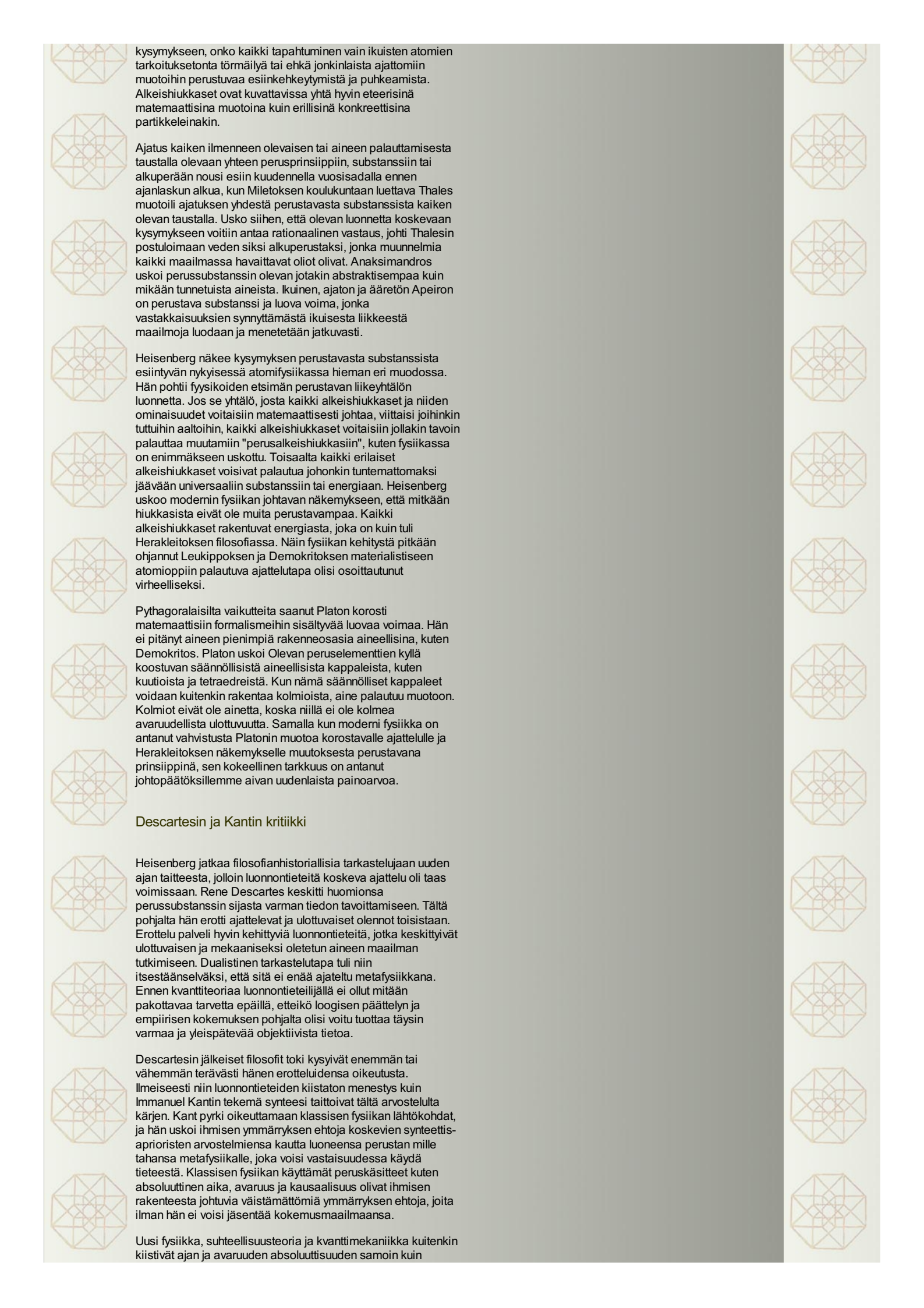
Heisenberg oli vakuuttunut, että atomifysiikan myötä luonnontieteet ovat etäännyneet kauas niitä aikaisemmin hallinneesta materialistisesta kehityslinjasta. Kun aineen rakennetta pohditaan kvantti-teorian valossa, koko aineen käsite osoittautuu ongelmalliseksi. Riittäväällä energialla varustettu hiukkanen on muutettavissa toiseksi hiukkasiksi tai annihiloitavissa energiaksi, jolloin selkeä ero hiukkasen ja voiman välillä ei kvanttikentäteorioissa enää ole mahdollinen. Tällöin herää vanha kysymys aineen olemuksesta. Voidaanko aineen peruspalikoita enää pitää erillisinä Demokritoksen tarkoittamassa mielessä, niin että atomien välillä ei ole muita relaatioita kuin niiden välillä vaikuttavat voimat. Heisenbergin mielestä on uskottavampaa, että kaikki erilaiset alkeishiukkaset on tehty yhdestä ja samasta substanssista tai universaalinaineesta. Ne ovat yhden ja saman perusmuodon erilaisia ilmentymiä.



Aine kuin tuli Herakleitoksen filosofiassa

Heisenberg aloittaa kaivautumisensa luonnonfilosofian lähteille antiikin Kreikasta, mikä luonnontieteestä ja atomiteoriasta puhuttaessa onkin luontevaa. Hän johdattaa lukijan näkemään, kuinka antiikin ajattelijoiden keskeiset kysymykset olevasta ja ei-olevasta, olemisesta ja tulemisesta, yhdestä ja monesta ovat edelleen ajankohtaisia. Toisin kuin edellisillä vuosisadoilla yleisesti uskottiin, emme ole saaneet lopullista vastausta





kysymykseen, onko kaikki tapahtuminen vain ikuisten atomien tarkoituksetonta törmäilyä tai ehkä jonkinlaista ajattomiin muotoihin perustuvaa esiinkehkeytymistä ja puhkeamista. Alkeishiukkaset ovat kuvattavissa yhtä hyvin eteerisinä matemaattisina muotoina kuin erillisinä konkreettisina partikkeleinakin.

Ajatus kaiken ilmenneen olevaisen tai aineen palauttamisesta taustalla olevaan yhteeseen perusperiaatteeseen, substanssiin tai alkuperään nousi esiin kuudennella vuosisadalla ennen ajanlaskun alkua, kun Miletoksen koulukuntaan luettava Thales muotoili ajatuksen yhdestä perustavasta substanssista kaiken olevan taustalla. Usko siihen, että olevan luonnetta koskevaan kysymykseen voitiin antaa rationaalinen vastaus, johti Thalesin postuloimaan veden siksi alkuperustaksi, jonka muunnelmia kaikki maailmassa havaittavat oliot olivat. Anaksimandros uskoi perussubstanssin olevan jotakin abstraktisempaa kuin mikään tunnetuista aineista. Ikuinen, ajaton ja ääretön Apeiron on perustava substanssi ja luova voima, jonka vastakkaisuuksien synnyttämästä ikuisesta liikkeestä maailmoja luodaan ja menetetään jatkuvasti.

Heisenberg näkee kysymyksen perustavasta substanssista esiintyvän nykyisessä atomifysiikassa hieman eri muodossa. Hän pohti fyysikoiden etsimän perustavan liikeyhtälön luonnetta. Jos se yhtälö, josta kaikki alkeishiukkaset ja niiden ominaisuudet voitaisiin matemaattisesti johtaa, viittaisi joihinkin tuttuihin aaltoihiin, kaikki alkeishiukkaset voitaisiin jollakin tavoin palauttaa muutamien "perusalkeishiukkasiin", kuten fysiikassa on enimmäkseen uskottu. Toisaalta kaikki erilaiset alkeishiukkaset voisivat palautua johonkin tuntemattomaksi jäävään universaaliin substanssiin tai energiaan. Heisenberg uskoo modernin fysiikan johtavan näkemykseen, että mitkään hiukkasista eivät ole muita perustavampaa. Kaikki alkeishiukkaset rakentuvat energiasta, joka on kuin tuli Herakleitoksen filosofiassa. Näin fysiikan kehitystä pitkään ohjannut Leukippoksen ja Demokritoksen materialistiseen atomioppiin palautuva ajattelutapa olisi osoittautunut virheelliseksi.


Pythagoralaisilta vaikutteita saanut Platon korosti matemaattisiin formalismeihin sisältyvää luovaa voimaa. Hän ei pitänyt aineen pienimpiä rakenneosia aineellisina, kuten Demokritos. Platon uskoi olevan peruselementtien kyllä koostuvan säännöllisistä aineellisista kappaleista, kuten kuutioista ja tetraedreistä. Kun nämä säännölliset kappaleet voidaan kuitenkin rakentaa kolmioista, aine palautuu muotoon. Kolmiot eivät ole ainetta, koska niillä ei ole kolmea avaruudellista ulottuvuutta. Samalla kun moderni fysiikka on antanut vahvistusta Platonin muotoa korostavalle ajattelulle ja Herakleitoksen näkemykselle muutoksesta perustavana periaatteena, sen kokeellinen tarkkuus on antanut johtopäätöksillemme aivan uudenlaista painoarvoa.

Descartesin ja Kantin kritiikki

Heisenberg jatkaa filosofianhistoriallisia tarkastelujaan uuden ajan taitteesta, jolloin luonnontieteitä koskeva ajattelu oli taas voimissaan. Rene Descartes keskitti huomionsa perussubstanssin sijasta varman tiedon tavoittamiseen. Tältä pohjalta hän erotti ajattelevat ja ulottuvaiset olennot toisistaan. Erottelu palveli hyvin kehittyviä luonnontieteitä, jotka keskittyivät ulottuvaisen ja mekaaniseksi oletetun aineen maailman tutkimiseen. Dualistinen tarkastelutapa tuli niin itsestäänselväksi, että sitä ei enää ajateltu metafysiikkana. Ennen kvantiteoriaa luonnontieteilijällä ei ollut mitään pakottavaa tarvetta epäillä, etteikö loogisen päättelyn ja empiirisen kokemuksen pohjalta olisi voitu tuottaa täysin varmaa ja yleispätevää objektiivista tietoa.

Descartesin jälkeiset filosofit toki kysivät enemmän tai vähemmän terävästi hänen erotteluidensa oikeutusta. Ilmeisesti niin luonnontieteiden kiistaton menestys kuin Immanuel Kantin tekemä synteesi taittoivat tältä arvostelulta kärjen. Kant pyrki oikeuttamaan klassisen fysiikan lähtökohdat, ja hän uskoi ihmisen ymmärryksen ehtoja koskevien synteettis-aprioristen arvostelmiensa kautta luoneensa perustan mille tahansa metafysiikalle, joka voisi vastaisuudessa käydä tieteestä. Klassisen fysiikan käyttämät peruskäsitteet kuten absoluuttinen aika, avaruus ja kausaalisuus olivat ihmisen rakenteesta johtuvia väistämättömiä ymmärryksen ehtoja, joita ilman hän ei voisi jäsentää kokemusmaailmaansa.

Uusi fysiikka, suhteellisuusteoria ja kvanttimekaniikka kuitenkin kiistivät ajan ja avaruuden absoluuttisuuden samoin kuin



klassisen deterministisen kausaalisuuden. Lisääntynyt kokemus ja kattavammat teoriat vaativat fyysikkoja tarkistamaan niitä ehtoja, joihin aikaisempi ajattelutapa oli nojautunut. Uusia malleja luodessaan he eivät jääneet sidotuiksi Kantin postuloimiin ymmärryksen apriorisiin muotoihin, eikä Heisenberg usko, että yksikään fyysikko enää myötäilisi Kantia hänen aikaa, avaruutta ja kausaalisuutta koskevissa näkemyksissään. Näin fyysikka ilmeisesti voi edistyessään kumota aikaisempia metafysisiä oletuksia ja sitä voidaan käyttää kattaviksi tarkoitettujen filosofisten mallien tarkistamiseen. Fyysikolle "olio sinänsä" on Heisenbergin mukaan viimekädessä matemaattinen struktuuri. Tieto siitä johdetaan epäsuorasti kokemuksesta.

Kööpenhaminan tulkinta


Heisenberg omistaa kirjassaan yhden luvun niin kvanttimekaniikan historialliselle kehitykselle kuin sen kööpenhaminalaiselle tulkinallekin. Kuvatussaan kvanttimekaniikan formalismin matemaattista muotoilua kahta eri kehityslinjaa, joko matriiseja tai aaltoyhtälöä käyttäen, hän ei lainkaan tuo esiin omaa rooliaan matriisimekaniikan kehittäjänä puhumattakaan siitä, että lukija saisi tietää mitään niistä subjektiivisista tuntemuksista, joita kesän 1925 läpimurto nuorena fyysikossa tuotti. Henkilökohtaisia mielenliikkeitään Heisenberg valottaa lyhyesti vain kuvatussaan Kööpenhaminassa syksyllä 1926 käytyjä monituntisia ja painostavia keskusteluja, joissa kööpenhaminan koulukunnan fyysikot pyrkivät osoittamaan Schrödingerille hänen aineaaltofunktiotensa heikot kohdat. Keskustelut saivat myös Heisenbergin yksinäisellä yöllisellä kävelylenkillä kyselemään itseltään "Voiko luonto olla todella niin järjetön kuin nämä atomikokeet antavat ymmärtää".

Kvanttiteorian tulkitsijat törmäivät ontologisiin ongelmiin teorian perustavan termin, aaltofunktion tai tilan, käsitteen myötä. Se ei anna pohjaa olioiden tai ominaisuuksien pysyvälle identiteetille ja aika-avaruudelliselle jatkuvuudelle. Partikulaarisista atomaarisista hiukkasista kiinni pitäminen näyttää edellyttävän kolmannen poissuljetun lain muokkaamista.

Kööpenhaminalainen tulkinta välttyy kaikilta tällaisilta vaikeilta ontologisilta määritelmiltä ja erotteluilta komplementaarisuuden käsitteen avulla. Havaitut tosiasiat eli koetulokset voidaan aina kuvata perinteiseen ontologiaan sopivilla klassisilla käsitteillä. Eri tilanteissa joudutaan kuitenkin käyttämään ristiriitaisilta vaikuttavia käsitteitä, kuten hiukkanen ja aalto. Emme saa havaintojemme avulla kuvaa atomaarisen objektin "todellisesta" luonteesta, jonka matemaattinen abstrakti formalismi tavoittaa parhaiten.

Kööpenhaminalaista tulkintaa esitellessään Heisenberg ei tee mitään eroa omien ajatustensa ja Bohrin näkemysten välille. Lukijan on vaikea muodostaa kuvaa siitä, millä tavalla Heisenbergin ontologissävytteiset ajatukset olisi yhdistettävä Bohrin epistemologisiin lähtökohtiin. Yrittäessään kuvata atomien tai alkeishiukkasten luonnetta, kuinka ne muodostavat jonkinlaisen potentiaalisuuksien ja mahdollisuuksien maailman olioiden ja tosiseikkojen maailman taakse, Heisenberg liikkuu tavan takaa puhumaan siitä, mihin luonnollinen kieli ei Bohrin mukaan yllä.

Komplementaarisen ajattelutavan fysikaaliset lähtökohdat Heisenberg sen sijaan tuo selkeästi esiin. Kvanttimekaanista aalto- tai todennäköisyysfunktioita ei voida kattavasti kuvata ajassa ja avaruudessa. Se noudattaa liikeyhtälöä siinä missä newtonilaisen mekaniikan koordinaatitkin ja sen muuttuminen on täysin asianomaisen kvanttimekaanisen yhtälön määräämää, mutta havaitsemisen akti rikkoo todennäköisyysfunktion determinoidun jatkuvuuden. Todennäköisyysfunktion käsite ei mahdollista kahden havainnon välisten tapahtumien kuvaamista, jolloin tapahtumisen kuvaaminen tuttuun tapaan ulkopuolisen havaitsijan silmin jatkuvana liikkeenä ei ole mahdollista. Samasta todellisuudesta annetun kahden erilaisen kuvauksen komplementaarisuus ei tuota todellisia ongelmia, kun teorian matemaattisen esityksen perusteella tiedetään, että mitään aitoja ristiriitoja ei voi ilmetä. Itse asiassa komplementaarisuus löytää analogiansa itse kvanttimekaniikan formalismissa. Se voidaan yksinkertaisilla transformaatioilla kirjoittaa uudelleen eri muotoihin, jotka ovat käyttökelpoisia erilaisissa tilanteissa.



Heisenberg toteaa, että klassisessa fysiikassa tieteen lähtökohdaksi on uskomus - tai pitäisikö sanoa harhaluulo - että pystymme kuvaamaan maailman tai ainakin osia siitä viittaamatta lainkaan itseemme. Luonnontieteissä ei perinteisesti ole oltu kiinnostuneita maailmankaikkeudesta kokonaisuudessaan, ihminen itsensä siihen mukaan luettuina, vaan huomio on kiinnitetty vain pieneen tutkimuskohteeksi valittuun osaan. Kvanttimekaniikka näyttää vaativan tämän dualismin ylittämistä. Komplementaarisuuden pohjalta ihminen voidaan nähdä evolutiivisena vaikuttajana, jonka kuvaukset ja teoriat eivät ole varmoja ja lopullisia totuuksia vaan kokemuksen pohjalta muovattuja enemmän tai vähemmän toimivia välineitä muutoksen prosessissa.

Kirjoittaja viimeistelee kvanttimekaniikan tulkintaan liittyvää väitöskirjaa Helsingin yliopiston filosofian laitoksella ja toimii tutkijana Nykyajan teologia ja länsimaisen todellisuus- ja historiakäsityksen muutos -projektissa.