

Ajan ongelma

Arto Annila

Ajalla, mitä arkisimmalla ilmiöllä, on fyysikaalinen selityksensä: realismiin perustuen ajan kulku on valon kvanttien virtaa.

Koemme ajan kulun, mutta kokemuksemme on jäänyt jäsentämättä luonnonlain muotoon.^{1,2,3,4} Tieteen todellisuuskäsityksessä on siis ollut suuri sokea piste, sillä kaikella on historiansa.

”Kaikista olemassaolon tietämisen esteistä mikään ei häämötä uhkaavampana kuin ’aika’”,⁵ näki John Wheeler, fyysikoiden tietämä, suhteellisuusteorian kultajan merkkihenkilö, vuonna 1986. Modernin fysiikan puitteissa ei ole edes mielekästä kysyä, miksi aika etenee. Kaarevassa aika-avaruudessa planeetat kiertävät ratojaan, pyrstötähdet tulevat ja menevät syittä suruitta. Mikromaailman teorioissaakaan ajalla ei ole suuntaa, joten syyn ja seurauksen yhteys on määrittelemätön.⁶

Tämä kuva todellisuudesta on nykyfysiikan oikeaoppisuutta mutta ihmiselle vieras. Emme ymmärrä seurauksia vailla syitä. Tieteen johtoajatus onkin, ettei ole olemassa ainuttakaan ilmiötä, jolle ei voitaisi osoittaa luonnollista syytä.⁷

Realismin mukaan ajan kulullakin on syynsä. Sitä vastoin jo Newtonilta periytyvä instrumentalismi ei etsi syitä eikä selityksiä vaan havaintoja vastaavaa matemaattista mallia. Toki omenan putoaminen osataan laskea hyvin tarkasti, muttei gravitaatiolaki eikä yleinen suhteellisuusteoriakaan selitä, miksi omena putoaa.

Kvanttimekaniikan laskut pitävät myös kutinsa, vaan eivät nekään selitä ajan olemusta, saati etenemistä. Tapahtumien kulua kuvaillaan sattumanvaraiseksi. Sitä Einstein moitti mielettömäksi tunnetulla

tokaisullaan ”Jumala ei heitä noppaa”. Tieteellä ei ole kriteeriä, jolla ilmiöt ylipäättään voitaisiin todeta ehdottoman satunnaisiksi.⁷ Mitä tahansa tapahtuukin, tapahtuu syystä.

On järjestyttävää, ettemme ole ymmärtäneet, mitä aika on, sillä onhan tapahtumien todellisuuden ytimessä. Kun näin keskeinen seikka on ollut epäselvä, millaiset takeet meillä on käsitystemme todenmukaisuudesta muutoinkaan?⁸ Ajan ongelma on ollut nimenomaan omamme, sillä todellisuus sinänsä on ongelmaton, osin vain tuntematon.

Vaikka nykyfysiikka on päätenyt ajan kanssa umpikujaan, voimme pureutua ajan ongelmaan alkuperäisen, Galileon fysiikan keinoin.⁹ Siinä yksittäinen kokemus jäsennetään yleiseksi lainalaisuudeksi. Myös Einsteinin näkemys, että kaikki tieto todellisuudesta alkaa kokemuksesta ja päättyy siihen, myötäilee filosofien katsoantoa kokemuksesta perimmäisenä tiedonlähteenä.¹⁰ Termit vailla yhteyttä kokemukseen eivät merkitse mitään. Niinpä tavoittakaamme ajan olemus ensin tavanomaisin sanoin ja sitten fysiikan käsittein.

Kokemuksesta teoriaksi

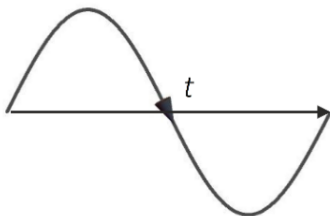
Tähtitaivaan alla palelee, sillä lämpö lähtee iholta kylmään avaruuteen. Kokemuksessa on kausaalisuutta. Lämpötilaero on syy, lämpöenergian karkaaminen seuraus. Valokvantti vie energian jaksonajallaan.

Koostuuko aika siis pohjimmitaan kvanttien jaksonajoista eli ajanjaksoista? Tieteen historiassa oikea kysymys on monesti johdattanut oikeaan vastaukseen.

Ajan ja energian erottamattoman yhteyden huomaa esimerkiksi merellä, kun

maininki nostaa ja laskee veneen. Aalto tekee työn ajan kanssa. Valokvanttikan ei tuo muutosta yksin energiana vaan ajan kanssa. Yhtälö on $E t = h$, energia kertaa aika on vakio.

Aika ei ole abstrakti ulottuvuus, saati iluusio vaan kvantin ominaisuus niin kuin energiakin.¹¹ Jo Aristoteles oli päätellyt, että aika on muutoksen mitta. Valokvantin jaksonaika, t , on muutoksen lyhin mitta (kuva 1).



Kuva 1. Kun valoalto etenee, aika kulkee ja energia siirtyy, sillä aalto kuljettaa energiaa jaksonajallaan. Aallonpituuden λ matkaan kuuluu jaksonaika t , joten valon nopeus $c = \lambda/t$.

Aika ajanjaksoineen on kuin taival taipaleineen. Ellemme pysty tekemään eroa ajan ja jaksonajan välillä, meidän on pidettävä niitä samoina Leibnizin lain mukaisesti. Valokvantin jaksonajan monikertana sekunti määritelläänkin. Silti ajan ymmärtäminen kvantin ominaisuutena on syvällinen muutos todellisuuskäsityksessä. Wittgensteinin sanoin: ”Ongelmat eivät ratkea uuden tiedon avulla, vaan järjestämällä sen, minkä olemme tienneet jo kauan.”¹²

Ajasta muodostui ongelma oikeastaan vasta kun Max Planck löysi nimeänsä kantavan luonnonvakion vuonna 1900, muttei käsittänyt sen merkitsevän valokvantin mitta. Sitä myöten oppikirjassa lukee $E = hf$, energia on yhtä kuin Planckin vakio, h , kertaa taajuus $f = 1/t$, jaksonajan käänteisluku.

Tulokset ovat tarkkoja, kun kvanttien virrat ovat tasapainossa. Sitä tilaa tarkastellessaan moni fyysikko mieltääkin energian kvantittuneeksi ja ajan mysteeriksi, sen sijaan että näkisi valon energian ja ajan paketteina, kvantteina.

Käsitys valokvantista kaikkeuden perusosana ei ole uusi. Niin Newtonkin aprikoi *Opticks*-kirjassaan (1704). Tuossa jakamattoman eli *atomin* merkityksessä amerikkalainen fyysikko ja kemisti Gilbert N. Lewis nimesi valokvantin uudelleen fotoniksi vuonna 1926.¹³ Massaton fotonin ei hajoa eikä synny tyhjästä eikä häviä tyhjiin vaan on myös tyhjiön osa.

Aikoinaan Lewisin visiota ei kuitenkaan omaksuttu,¹⁴ kun ei vielä ymmärretty tyhjiön spektrin, niin kutsutun mustan kappaleen säteilyn, kertovan tyhjiön koostuvan kvanteista. Avaruuden perusyksikön sisältö on h^3 , kuten S. N. Bose kirjoitti Einsteinille.¹⁵ Yhdensuuntaisina ja vastakkaisvaiheisina valonsäteet sammuttavat toisensa vaan eivät tuhoudu. Universaali substanssi on siten läpinäkyvää mutta havaittavaa muun muassa massan hitautena.^{16,17}

Aika ei siis ole vain sitä mitä kello näyttää, keston käsite (*kronos*), sillä jaksonajalla on fotonin olemus ja etenemissuunta. Vuonna 1922 Henri Bergson peräsikin Einsteinilta aika-avaruuden koordinaatiston sijaan soljuvaa substanssia käsittääksemme ajan kulun kokemuksen, tämän hetken (*kairos*).¹⁸ Koen kvanttien virran.

Miksi aika etenee?

Dynaamisessaakaan balanssissa ei varsinaisesti tapahdu mitään, vaan aika etenee epätasapainon eli energiaeron voimasta. Fotonit virtaavat siten, että epätasapaino vähenee mahdollisimman nopeasti. Tämä periaate ”valo valitsee kulkunsa siten, että aika on lyhin” tunnettiin Persiassa ja Kaksoisvirranmaassa jo tuhat vuotta sitten.

Optimaalista kulkureittiä kutsutaan geodeettiseksi viivaksi. Michael Faradayn käsittein fotonit itsessään on voimaviiva.¹⁹ Englantilaisfyysikko järkeili 1800-luvun puolivälissä, että kaikki on voimaviivojen substanssia, koska viivat lähtevät aineesta ja päättyvät aineeseen sekä kaartuvat ja kiertyvät aineen ympärillä.²⁰

Mitä korkeampi koski, sitä vuolaampi virta. Suhteellisen energiaeron myötä aikakin kulkee ullakolla nopeammin kuin kellarissa. Maan painovoiman heiketessä ylöspäin kvantit vapautuvat kellon käynnistä yhä helpommin. Taasen mitä nopeamman raketin kyydissä kello matkaa, sitä vaikeammin valokvantit vapautuvat. Kun vauhti kasvaa, energiaero valokvanttiparien täyttämään tyhjiöön kapenee.

Kun käsitämme näin konkreettisesti yleisen suhteellisuusteorian mallintavan niin paikallista kuin universaalia painovoimakenttää eli avaruuden tyhjiötä, käsitämme myös, että kello käy päiväntasaajalla yhtä nopeasti kuin navoilla. Vaikutukset ovat tarkalleen vastakkaisia, kun yhtäältä kellon käyntiä vitkastuttaa Maan pyöriminen ja toisaalta vauhdittaa ekvaattorin napaa pienempi painovoima. Navoiltaan litistynyt muoto on energeettisesti edullisin eli ajaltaan lyhin.

Vaikka kvanttien liikeyhtälö voidaan kirjoittaa, ei sitä voida ratkaista, koska liike muuttaa liikevoimia, jotka muuttavat liikettä jne.²¹ Tulevaisuus ei siis ole ennalta määrätty vaan seuraa edeltävistä tapahtumista, historiasta, ja aukeaa siinä määrin arvaamattomana kuin voimat viitoittavat. Tietoisuus nykyhetkeen vaikuttavista voimista katsottaneen ennustukseksi, aistimus aavistukseksi.

Jälkiviisautta

Tapahtumisen liikeyhtälö oli löytyä jo 1800-luvun lopulla, kun Ludwig Boltzmann

tavoitteli Charles Darwinin evoluutio-opin innoittamana tapahtumisen periaatetta. Atomismiin perustuen lajien kehittyminen ei ole pohjimmiltaan toisenlainen tapahtumien kulku kuin teen jäähtyminen. Kaikenlaiset energiaerot vähenevät lyhimmissä ajassa, mistä seuraa yhteneviä muotoja: vinoja jakaumia, likimain sigmoidisia käyriä ja logaritmisia spiraaleja.²¹

Syiden sijaan Boltzmann kuitenkin mallinsi tapahtumista, kuten kaasumolekyylien törmäilyä, satunnaisena. Kun voimat näin jäivät pois, yhtälö typistyi kuuluisaksi lausekkeeksi $S = k_B \log W$, joka yhdistää entropian, S , epäjärjestykseksi miellettyyn energialtaan yhdentekevien tasapainotilojen (mikrotilojen) lukumäärään, W . Ajan kulkusuuntaa ei kuitenkaan määrää epäjärjestyksen kasvu eikä järjestyksenkään, vaan epätasapainon kaventuminen, esimerkiksi lämpötilaeron väheneminen suhteessa ympäristöön niin jään sulaessa kuin veden jäätyessä.

Luennoidessaan Clarkin yliopiston kymmenvuotisjuhlallisuuksissa vuonna 1899 Boltzmann myönsi epäonnistuneensa lausumaan termodynamiikan toista pääsääntöä lyhimmän ajan periaatteena.²² Myös Einstein murehti tieteellistä perintöään ystävälleen Maurice Solovinelle: ”Kuvittelet, että katson elämäntyötäni tyynen tyytyväisenä. Läheltä katsottuna se näyttää kovin toisenlaiselta. Ei ole yhtään käsitettä, jonka pätevydestä olisin vakuuttunut, ja olen epävarma, olenko ylipäätään oikealla tiellä.” Sitä vastoin Niels Bohr hylkäsi realismin empimättä: ”On väärin ajatella, että fysiikan tehtävänä olisi selvittää, millainen luonto on. Fysiikka koskee sitä, mitä voimme sanoa luonnosta.”

Tieteen tehtävä

Siinä missä instrumentalismi sivuuttaa ajan ongelman illuusiona, realismi vastaa

ontologiseen kysymykseen, mitä aika on. Vastakkainasettelussa kärjistyvät ajan kysymystä yleisemminkin käsitykset tieteen tehtävästä. Onko tavoitteena mallintaa datasta trendi, ikään kuin ennustus, vai löytää havaintoaineiston selittävä katsantokanta eli teoria?

Teorian ollakseen teoria tulee perustua totuuteen, siis seikkaan, joka ei voisi olla toisin. Jos tuo seikka kumminkin osoittautuu havaintojen valossa epätodeksi,

teorialta putoaa pohja pois. Esimerkiksi teoria ajasta jaksonaikoineen olisi virheellinen, jos fotonin osoittautuisikin jaolliseksi. Malli ei sitä vastoin ole falsifioitavissa vaan alati muunneltavissa karttuvan aineiston mukaiseksi. Jo vuonna 1955 John von Neumann, unkarilaissyntyisen yleisnero, totesi: "Luonnontiede ei pyri selittämään eikä useinkaan edes tulkitsemaan vaan pääasiassa mallintamaan."²³ Tämä on ikamme ongelma.

¹ Niiniluoto, I. Ajan lyhyt filosofia. *Tieteessä Tapahtuu* 18(1) (2000).

² Knuuttila, I. Aika ja ajattomuus. *Tieteessä Tapahtuu* 18(1) (2000).

³ Slavov, M. Ovatko mentaalinen ja fyysikaalinen aika sovittavissa yhteen? *Tieteessä Tapahtuu* 36(2) (2018).

⁴ Huhtanen, J. Fysiikan outo maisema. *Tieteessä Tapahtuu* 37(5) (2019).

⁵ Wheeler, J. A. Hermann Weyl and the Unity of Knowledge. *Am. Sci.* 74, 366 (1986).

⁶ Brukner, Č. Causality in a Quantum World. *Physics Today* 28.3.2018.

⁷ Ketonen, O. *Se pyörii sittenkin – Tieteenfilosofian peruskysymyksiä*. WSOY, 1976, s. 75.

⁸ Annila, A. *Kaiken maailman kvantit — Luonnontieteen maailmankuvan tarkistus*. Vastapaino, 2019.

⁹ Husserl, E. *Eurooppalaisten tieteiden kriisi ja transsendentaalinen fenomenologia*. Gaudeamus, 2012, s. 38, 39, 48.

¹⁰ Markie, P. Rationalism vs. Empiricism. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (2015).

¹¹ Tuisku, P., Pernu, T. K., Annila, A. In the Light of Time. *Proc. R. Soc. A.* 465, 1173 (2009).

¹² Wittgenstein, L. *Philosophical Investigations*. Basil Blackwell, 1958, s. 109.

¹³ Lewis, G. N. The Conservation of Photons. *Nature* 118, 874 (1926).

¹⁴ Kragh, H. Photon: New Light on an Old Name. *arXiv:1401.0293* (2014).

¹⁵ Venkataraman, G., *Bose and His Statistics*. Universities Press, 1992, s. 14.

¹⁶ Annila, A. Natural Thermodynamics. *Physica A* 444, 843 (2016).

¹⁷ Grahm, P., Annila, A., Kolehmainen, E. On the Carrier of Inertia. *AIP Advances* 8, 035028 (2018).

¹⁸ Canales, J. Einstein, Bergson, and the Experiment that Failed: Intellectual Cooperation at the League of Nations. *MLN* 120, 1168 (2005).

¹⁹ Faraday, M. On the Physical Character of the Lines of Magnetic Force. *London, Edinburgh, and Dublin philosophical magazine and journal of science.* 3, 401 (1852).

²⁰ Nersessian, N. J., *Faraday to Einstein: Constructing Meaning in Scientific Theories*. Martinus Nijhoff Publishers, 1984, s. 115.

²¹ Mäkelä, T., Annila, A. Natural Patterns of Energy Dispersal. *Phys. Life Rev.* 7, 477 (2010).

²² Boltzmann, L. *Populäre Schriften*. Barth, 1905.

²³ Neumann, J. von. *Method in the Physical Sciences in The Unity of Knowledge*. Doubleday & Co., 1955, s. 157.

Kirjoittaja on Helsingin yliopiston entinen biofysiikan professori.

From: Ilari Hetemäki <ilari.hetemaki@tsv.fi>
Sent: Wednesday, January 20, 2021 12:45
To: Annila, Arto J <arto.annila@helsinki.fi>
Subject: VS: Kirjoitus: Ajan ongelma

Hei Arto,
emme ole julkaisemassa kirjoitustasi. Todellisuuden hahmottaminen on sinänsä hyvä aihe, joka voisi tulla esiin vaikka Luonnontieteen seuran tilaisuudessa. Kirjoituksessasi on ilmeisesti myös omaa teoriaasi valokvanteista ja ajan kulusta. Ajatuksiasi on juuri esitelty lehtemme kirja-arvostelussa (4/2020). Siinä kuvattiin laajasti kirjaasi luonnontieteen maailmankuvasta.
Ystävällisin terveisin,
Ilari