

Ääri-ilmiöistä rakentavaan vuorovaikutukseen

■ Tuomo Suntola

Tieteessä tapahtuu -lehdessä (3/2013 ja 4/2013) filosofi Juha Himanka ja kosmologi Kari Enqvist ovat joutuneet tieteellisen väittelyn ääri-ilmiöihin uskaltautuessaan oman erityisalueensa ulkopuolelle. Fysikko etsii teoriasta ennusteiden tarkkuutta, filosofi kaipaa ymmärrettävyyttä ja selkeitä, yksinkertaisia postulaatteja – ymmärrettävyys ja selkeys voivat tosin fysikolle ja filosofille näkyä hyvinkin erilaisina.

Teoria ja todellisuus

Teoria on kuvaus havaittavasta todellisuudesta, ei itse todellisuus – tai kuten Eero Rauhala asian ilmaisi: ”...fysikaalinen teoria on tiedeyhteisön synnyttämää luonnon ymmärrystä matemaattis-fysikaalisen tematisaation sisällä, transsendentaalisen intersubjektiviisen intentionaalisuuden konstituutiota” (*Tieteessä tapahtuu* 4/2013). Kritiikki omaksuttuja tematisaatioita kohtaan ei mitenkään uhkaa todellisuutta. Myöskään vaihtoehtoiset tematisaatiot eivät vaaranna todellisuutta, mutta muistuttavat tutkijaa asemastaan subjektina, joka helposti tiedostamattaan rajaa tai jopa pakottaa havaintonsa omaksumaansa tematisaatioon. Esimerkkinä omaksuttuun tematisaatioon pakottamisesta voidaan nähdä kosmologiassa käyttöön otettu pimeän energian käsite, joka tarvittiin supernovahavaintojen sovittamiseen yleiseen suhteellisuusteoriaan perustuvaan kosmologiamalliin. Vieraantumista mallin ja todellisuuden välisen eron tunnistamisesta kuvaa, että pimeällä energialla muokatusta mallista päätelty avaruuden laajenemisen kiihtyminen on jopa tieteellisessä uutisoinnissa esitelty *havaittuna* avaruuden laajenemisen kiihtymisenä, mistä myös kiirehdiittiin myöntämään fysiikan Nobel-palkinto supernovahavaintojen

tekijöille vuonna 2011¹. Havaintoina supernovatyö oli arvokas; se osoitti, että käytössä ollut kosmologiamalli oli joko virheellinen tai puutteellinen.

Pimeän energian tarjoama pikaratkaisu ja sen nopea palkitseminen viestittävät tiedeyhteisön tarpeesta tietämisen ja oikeassa olemisen auktoriteettiaseman ylläpitämiseen, minkä ei tulisi ohjata tieteen kehitystä. Oikeassa olemisen korostaminen on myös synnyttänyt toisinajattelun käsitteen, todellisuuden kuvaamisen omaksutusta tematisaatiosta poikkeavalla tavalla. Pitkään sekä yliopisto- että teollisuustutkimuksessa toimineena en voi välttyä vaikutelmalta, että sitä, mitä tiedeyhteisössä nimitetään toisinajatteluksi, nimitetään teollisessa tutkimuksessa innovatiivisuudeksi, kyvyksi lähestyä ongelmia uudenlaisista lähtökohdista tai näkökulmista. Uusi näkökulma ei välttämättä osoittaudu totuttua paremmaksi, mutta monessa tapauksessa se vähintäänkin syventää ymmärrystämme sekä tutkimuksen kohteesta että omaksutuista ratkaisuista.

Liikkeen kuvaamisesta

Asioiden näkyminen ja ymmärretyksi tuleminen riippuu siitä, miltä kannalta niitä katsotaan. Esimerkiksi fysiikassa keskeisen käsitteen, liikkeen, kuvaaminen perustui pitkälti toista tuhatta vuotta Aristoteleen liikeoppiin, jonka mukaan ”luonnollinen liike”, lähinnä putoamisliike, vie kappaletta kohti sen luonnollista paikkaa. Putoamisliikkeen nopeus määräytyi kappaleen massasta; keveät kappaleet putosivat hitaasti

1 http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2011/index.html. Vuoden 2011 fysiikan Nobelin palkinto jaettiin Saul Perlmutterin sekä Brian P. Schmidtin ja Adam G. Riessin kesken.

ja raskaat kappaleet nopeasti; liike loppui, kun luonnollinen paikka oli saavutettu. Aristoteleen ”pakotettu liike” puolestaan säilyi vain, kun ”liikuttaja” ylläpiti liikettä, esimerkkinä juhdan vetämän auran liike.

Pudotuskokeillaan Galileo Galilei osoitti, että kappale putoaa maan gravitaatiokentässä kiihtyvällä nopeudella, joka on kappaleen massasta riippumaton. Galilein liikeoppi kumosi aristoteelisen käsityksen putoamisliikkeestä. Vai kumosiko? Voidaan myös nähdä, että Aristoteleen kappaleen massa verrannollinen putoamisnopeus toteutuu tilanteissa, joissa väliaineen vastus tai noste on määräävä. Esimerkiksi vedessä, lyijypallo putoaa kevyempää alumiinipalloa nopeammin, puupallo sen sijaan jää ”luonnolliseen paikkaansa” pinnalle, kuten Aristoteles opetti. Galilein kuvaama putoamisnopeus toteutuu kun väliaineen vastus ja noste ovat merkityksettömiä. Jo noin tuhat vuotta ennen Galileo Galileita, aleksandrialainen filosofi ja monitieittäjä John Philoponus (Johannes Filoponos) tunnisti Aristoteleen ”liikuttajan” liikkeen synnyttäjän kappaleelle luovuttamaksi ”impetukseksi”, joka käsitteenä myöhemmin jalostui liikemäärän käsitteeksi. Liike säilyi niin kauan kuin kappaleen impetus säilyi; impetusta poisti muun muassa liikettä hidastava väliaineen vastus tai törmäys toiseen kappaleeseen.

Nopeuden kuvaaminen edellyttää lepotilan määrittelyn. Antiikin aikaan lepotila oli yksinkertaisesti universumin keskustassa ollut staattinen maa, jota aurinko, planeetat ja kiintotähdet kiersivät. Kopernikuksen planeettajärjestelmässä maan ja planeettojen liike suhteutettiin aurinkoon, joka oli levossa yhdessä kiintotähtien kanssa. Kopernikus tosin arvioi, että aurinko ei ole tarkalleen maan ympäräradaksi oletettaman kiertoradan keskipisteessä vaan siitä hieman sivussa, minkä Kepler 1600-luvun alussa ratkaisi kuvaamalla maan ja planeettojen radat ellipseinä, jonka toisessa polttopisteessä on aurinko – tai tarkkaan ottaen aurinkokunnan massakeskipiste, minkä puolestaan Newton ratkaisi vajaat sata vuotta myöhemmin. Astronomian tasolla Newtonin maailman lepotilaa edusti kiintotähtien avaruus, joka oli kaikkien planeettojen kier-

toliikkeiden yhteinen vertailutila.

Paikallisyfysiikassa, maanpäällisten liikkeiden tarkastelussa, Newtonin liikelait sallivat paikallisen lepotilan vapaan valinnan. Perusteluksi riitti Galileo Galilein ja René Descartesin suhteellisuusperiaate, jonka mukaan tasainen liike ja lepotila ovat samanarvoisia, mikä salli minkä tahansa tasaisessa liikkeessä olevan havaitsijan määrittellä tilansa lepotilaksi. Suhteellisuusperiaate periytyi edelleen suppean suhteellisuusteorian peruspostulaatiksi.

Juha Himangan (*Tieteessä tapahtuu* 3/2013) esittämä pohdiskelu maan ja auringon suhteellisesta liikkeestä sekä suhteellisuusteorian kaksosparadoksista muistuttaa suhteellisuusperiaatteen tulkintaongelmista, erityisesti tutkittavan havaitsija–objekti-parin suhteesta ympäröivään todellisuuteen. Kuvitteellisessa tyhjässä avaruudessa toisiaan ellipsirataa kiertävien auringon ja maan keskinäisestä liikkeestä havaittaisiin ilmeisesti vain elliptisyydestä johtuva etäisyyden jaksollinen muutos – riippumatta siitä, kummasta taivaankappaleesta havainto tehtäisiin. Gravitaation ja liikkeen tasapainossa tapahtuvaan etäisyytymuutokseen liittyvä kiihtyvyyden ja suunnanmuutos eivät olisi kiihtyvyyssmittarein havaittavissa, kuten ei myöskään rataliike. Keskinäinen pyörimisliike tunnistettaisiin kinemaattisena liikkeenä, jos tausta-avaruus olisi havaittavissa. Se kumpi kiertää kumpaa ei kinemaattisessa tarkastelussa selviäisi, vastaus löytyy vasta dynaamisesta tarkastelusta. Dynaaminen tarkastelu osoittaa systeemin lepotilan ja kiertämishierarkian yksiselitteisesti. Paikallinen lepotila on aurinko–maa-systeemin massakeskipiste, joka käytännössä on lähellä suuremman massan keskipistettä.

Suhteellisuusteorian perusteista

Einstein johti suppean suhteellisuusteorian puhtaasti kinemaattisiin perusteisiin. Kun suppean suhteellisuusteorian ajatuskokeita, kuten kaksosparadoksia, käsitellään kinemaattiselta kannalta, tulee liiketilän syntymiseen liittyvä dynamiikka ohitetuksi. Yksinkertaistetusti voitaneen sanoa, että kun samassa liiketilassa olevat havaitsijat kelloineen erotetaan toisistaan,

tarvitaan osapuoliin kohdistuvat vastakkaiset voimat sekä määrätty energia liikkeiden aikaansaamiseen. Kokonaisliikemäärän säilymiseen perustuen, toisistaan etäännyvät havaitsijat saavat mukanaan liikkuviin massoihin nähden kääntäen verrannolliset nopeudet systeemin massakeskipisteen suhteen, joka siis on systeemin yksiselitteinen lepotila. Jos avaruusalus lähtee maasta, vaikuttaa lähtö olemattoman vähän maa-avaruusalus-systeemin massakeskipisteseen ja maapallon saamaan nopeuteen, joten liike systeemin lepotilaan nähden syntyy käytännössä lähinnä avaruusalukselle, ja maahan jäävä havaitsija voi perustellusti katsoa olevansa likimain alkuperäisessä liiketilassaan.

Suppean suhteellisuusteorian taustalla oleva irrallinen kinemaattinen tarkastelu on todellisuudelle vieras. Kaikilla liiketiloilla, olkoot ne suoraviivaisia tasaisia liikkeitä tai esim. kierto- liikkeitä, on historiansa. Paikallisilla liikesysteemeillä on sekä oma massakeskipisteensä että kytkentänsä ympäröivään avaruuteen. Mikäli, kuten yleisesti otaksomme, avaruus on kehittynyt singulariteetista, kytkeytyvät avaruuden kaikki liikejärjestelmät toisiinsa ja samalla laajenevaan kokonaisuuteen. Käytännössä maan ja auringon kiertoliikkeet havaitaan suhteessa ympäröivään avaruuteen. Suhteellisuusperiaatteen mukaisessa, puhtaassa kahdenvälisessä kinemaattisessa tarkastelussa, mikä edellyttäisi kuvitteellista tyhjää avaruutta, joudutaan Himangan mainitsemaan filosofiseen ongelmaan, kuka kiertää ja mitä, vai kiertääkö laisinkaan. Kinemaattisena ajatuskokeena kaksosparadoksi on todellinen. Todellisuus ei kuitenkaan ole kinemaattinen, mikä väistämättä kyseenalaistaa suppean suhteellisuusteorian perustana olevan suhteellisuusperiaatteen.

Omat epäilyni suhteellisuusteoriaa kohtaan heräsivät jatko-opiskelujeni aikoihin 1960-luvun lopulla. Vähitellen kypsynyt näemykseni onkin, että suhteellisuudessa on pohjimmiltaan kyse ”jonkin”, luontevimmin ehkä energian, rajallisuudesta. Newtonin mekaniikan kuvaama maailma oli periaatteessa rajaton; kun vakiovoiman annetaan vaikuttaa massaobjektiin, kasvaa objektin nopeus tasaisesti ilman

rajoja. 1800-luvun lopulla muun muassa havaittiin, että havaitsijan nopeus ei näytä summautuvan valon nopeuteen. Koska fysikaalista syytä havaintoihin ei kyetty osoittamaan, päädyttiin havaintojen kuvaukseen koordinaatistosuureita, aikaa ja etäisyyttä, muokkaamalla. Havaintojen matemaattiseen kuvaamiseen soveltuvia koordinaatistomuunnoksia olivat erilaisin perustein 1800-luvun lopulla esittäneet useat tutkijat, kuten Woldemar Voigt, Joseph Larmor, Hendrik Lorentz ja Henri Poincaré. Vuoden 1905 julkaisussaan² Albert Einstein yksinkertaisti koordinaatistomuunnosten perusteet postuloimalla valon nopeuden vakioisuuden ja suhteellisuusperiaatteen, joka sinänsä oli jo osa Newtonin mekaniikkaa. Einsteinin lyhyessä johdossa valon *edestakainen kulkuaika* välillä A–B merkitään riippumattomaksi systeemin A–B nopeudesta havaitsijaan nähden. Vaatimus toteutuu sekä liikkuvan koordinaatiston aikaa hidastamalla, että etäisyyttä A–B kutistamalla. Kun korjaukset jaetaan tasan ajan ja etäisyyden muutosten kesken, päädytään Larmorin ja Lorentzin aiemmin esittämään muunnokseen, josta näin tuli suppean suhteellisuusteorian edellyttämä luonnonlaki. Valon edestakaisesta kulkuajasta liikkuvassa koordinaatistossa tuli samalla paikallisen ajan mitta, jonka muutamaa vuosikymmentä myöhemmin voitiin havaita toteutuvan myös mm. havaitsijaan nähden tasaisessa liikkeessä olevien atomien lähettämässä karakteristisissa taajuuksissa^{3,4} sekä atomikellojen aikakaudella lukuisissa kokeissa.

Filosofin ratkaistavaksi jääköön, rikkooko Einsteinin vuoden 1905 ratkaisu hänen omaa postulaattiaan, suhteellisuusperiaatetta vastaan, sillä muunnosyhtälöt eivät tee valon *yksisuuntaista* kulkuaikaa liikkuvassa koordinaatistossa nopeudesta riippumattomaksi.

Edellä tarkastellussa massojen eriyttämisessä saatu kineettinen energia keskittyy massojen suhteessa kevyemmälle objektille. Olenkin taipuvainen näkemään kellojen käyntinopeuden

2 A. Einstein, On the Electrodynamics of Moving Bodies, *Annalen der Physik* 322 (10): 891–921.

3 H.E. Ives ja G.R. Stilwell, *J. Opt. Soc. Am.* 28 (1938) 215.

4 H.E. Ives ja G.R. Stilwell, *J. Opt. Soc. Am.* 31 (1941) 369.

niiden energiatilaan liittyvänä ilmiönä, ja seurausena systeemitasolla toteutuvasta kokonaisenergian säilymisestä. Matemaattisesti tällainen ratkaisu löytyy tarkastelemalla paikallisen ajan ja etäisyyden asemasta paikallista liikemäärää ja energiaa⁵, jolloin kellojen käyntinopeuden muutosten kuvaamiseen ei tarvita ajan hidastumista eikä pituuskontraktiota. Jokseenkin vaille huomiota on jäänyt suppean suhteellisuusteorian pituuskontraktion synnyttämä ristiriita atomien karakteristisen säteilyn aallonpituuden ja atomien koon välillä. Kvanttimekaniikan tuottaman atomimallin mukaan, atomien emittoiman karakteristisen säteilyn aallonpituus on suoraan verrannollinen atomin kokoon (Bohrin säteeseen). Suppean suhteellisuusteorian mukaan liikkeessä olevan kutistuneen atomin pitäisi näin ollen lähettää lyhytaaltoisempaa (korkeampitaajuista) värähtelyä kuin levossa olevan atomin, mikä on juuri päinvastoin havaintoihin nähden. Minkowskin aika-avaruustulkinta suhteellisuusteoriasta tosin käänsi Einsteinein vuoden 1905 julkaisussa esittämän kappaleen kutistumisen pääläelleen; Minkowskin avaruudessa liikkeessä olevan kappaleen kutistumisen sijaan liiketilaan liittyvät pituusmitat venyvät, jolloin vakiona pysyvä kappaleen mitta näyttää pienenevän suhteessa paikallisiin metreihin. Tämäkään ei riitä selittämään liikkeen tuomaa aallonpituuden kasvua. Sähkömagneettisessa tulkinnassa liikkeessä olevan atomin lähettämän aallonpituuden kasvu viestittää elektronien tiloja ylläpitävän Coulombin energian laimenemisestä, mikä tarkoittaisi Bohrin säteen symmetristä kasvua säteen suhteellisuusteorian ennustaman liikkeen suuntaisen kutistumisen sijaan.

Kuten sekä Himanka että Enqvist toteavat, suppeaa suhteellisuusteoriaa on menestyksellisesti testattu lukuisissa laboratoriokokeissa. Laboratoriokokeissa tutkittaville objekteille synnytetään nopeuksia massiiviseen maapalloon kytkeytyvän laboratorion suhteen, jolloin lepotala dynaamisen tarkastelun pohjalta on poik-

keuksetta laboratorio, ja liiketilojen kineettinen energia keskittyy tutkittaville objekteille.

Suhteellisuusteorian testeistä ja tulkinnoista

Suhteellisuusteorian testaaminen ei ole rajoittunut teorialle suotuisiin laboratorio-olosuhteisiin. Eräs eniten siteerattuja, alun perin yleisen suhteellisuusteorian testiksi tarkoitettu testi, oli vuonna 1976 suoritettu koe, jossa atomikello lähetettiin Scout D raketilla lähes pystysuoralla radalla 10 000 km:n korkeuteen. Kokeessa testattiin sekä yleisen suhteellisuusteorian mukaista gravitaatiosiniirrytymää että liikkeen vaikutusta atomikellon taajuuteen. Alkuperäisestä, yleisestä suhteellisuusteoriasta johdetusta ennusteesta⁶ poiketen liikkeen vaikutus raportoitiin suppean suhteellisuusteorian mukaisena ilmiönä⁷, jossa lepotilana (havaintokehyksenä) oli maa-asema, jossa kellosta lähetetty signaali otettiin vastaan. Yleisen suhteellisuusteorian perusteella havaintokehyksenä olisi tullut käyttää ECI-kehystä (*Earth Centered Inertial Frame*), jonka suhteen myös maapallo pyörii, ja siis myös maa-asema on liikkeessä.

Ongelmasta kokeen tulkinnessa viestitti jo neljän vuoden viive kokeen suorituksen ja tuloksen julkistuksen välillä. Olin vuonna 1999 yhteydessä kokeen johtajaan, prof. Robert Vessotiin pyytääkseni kokeen teoreettista analyysia, jonka hän lähettikin seuraavin saattein⁸ "Dear Dr. Suntola, here is the derivation of the relativistic prediction that we used in the 1976 GP-A test. [...] The derivation Dan Kleppner, Norman Ramsey and I used some 30 years ago was first done with the help of Steven Weinberg (see the 1970 paper) later it was redone with help from Clifford Will". Mukana olivat siis alan suurimmat auktoriteetit mukaan luettuna nobelisti Steven Weinberg, johon myös Kari Enqvist kirjoituksessaan vetosi suurimpana auktoriteettinaan, sekä GPS-järjestelmän suhteellisuusteoria-auktoiriteetti Clifford Will, joka suu- relle yleisölle suunnatussa kirjassaan *Was Einstein*

5 T. Suntola, *The Dynamic Universe, Toward a unified picture of physical reality*, Physics Foundations Society (2012). Saatavilla myös e-kirjana.

6 D. Kleppner, R.F.C. Vessot ja N.F. Ramsey, *Astrophysics and Space Science* 6 (1970) 13.

7 R.F.C. Vessot ym., *Phys. Rev. Letters*, 45, 26 (1980) 2081.

8 R.F.C. Vessot – T. Suntola, kirjeenvaihto 7.3.1999.

*Right?*⁹ ylisti Scout D koetta suhteellisuusteorian siihen mennessä tarkimpana todisteena. Vessotilta saamassani analyysissä ennusteen matemaattinen käsittely oli ajautunut umpikujaan jo melko alkuvaiheessa tehtyjen approksimaatioiden vuoksi. Lopuksi todettiin yksinkertaisesti, että ”ilmaissamme tuloksen avaruuskapselin ja maa-aseman välistä suhteellista nopeutta kuvaavalla yhtälöllä” (joka oli muodollisesti suppean suhteellisuusteorian mukainen ratkaisu). Valinta perustui siihen, että kyseinen yhtälö vastasi havaintoja; oikeassa oleminen voitti tieteellisen totuudellisuuden.

Kokeen yksityiskohtainen matemaattinen analyysi oli työläs, mutta tehtävissä; osoittautui, että ECI-kehukseen perustuva ratkaisu, jossa esiintyy avaruusaluksen ja maa-aseman nopeus ei-pyörivään maapalloon nähden, muuntui näyttämään suppean suhteellisuusteorian mukaiselta ratkaisulta lisätermeistä, jotka syntyivät kokeessa käytetyn, Doppler-ilmiön eliminointiin tarkoitetun edestakaisen kellosignaalin kulkutien kulmaerosta signaalin meno- ja paluumatkan aikana. Kulmaero puolestaan johtui maa-aseman siirtymästä signaalin kulkuaikana maapallon pyöriessä. Lähetin ratkaisun^{5,10} Vessotille, mutta *Physical Review Letters*issä raportoitua ”suppean suhteellisuusteorian todistusta” ei koskaan korjattu. Sittemmin mm. GPS satelliitit ovat vakiinnuttaneet sekä maa-asemien että satelliittien kellojen tarkastelun ECI-kehyksessä.

Ehkä arveluttavin suppean suhteellisuusteorian soveltaminen on tehty kosmologiassa, jossa sitä on tulkittu vastaavuusperiaatteena (*reciprocity principle*¹¹) kaukaisten kohteiden kulmakoon ennusteessa^{12,13}. Vastaavuusperiaatteen pohjalta päädyttiin ennusteeseen, jonka mukaan mm. galaksien maapallolta havaittava kulmakoo-

ko kasvaisi, kun niiden etäisyyttä kuvaava punasiirtymä ylittää arvon $z \sim 2$. Ennusteen mukaista kulmakoon kasvua ei ole havaittu; havaintojen mukaan galaksien kulmakoko näyttää pienevän suoraan verrannollisesti etäisyyteen (ja punasiirtymään), kuten euklidisessa avaruudessa¹⁴. Kulmakoon outoon ennusteeseen sisältyy päätelmä, jonka mukaan galaksit tai muutkaan gravitaatiolla sidotut paikallisjärjestelmät eivät laajene avaruuden laajetessa. Päätelmä on peräisin nykyisen kosmologiamallin syntyaajoilta, 1930-luvulta¹⁵; tiedossani ei ole, että siihen olisi myöhemminkään puututtu. 1930-luvun kosmologit olivat epäilemättä poikkeuksellisen haasteellisessa tilanteessa ennusteita johtaessaan, sillä sekä suppea että yleinen suhteellisuusteoria olivat uusia, Hubblein havainnot viestittivät avaruuden laajenemisesta; lisäksi kohteista havaittavan valon tehoitiheyden määrittämisessä tuli ottaa huomioon sekä laajenemiseen liittyvä Doppler-ilmiö että mahdollinen Planckin yhtälön vaikutus. 1940-luvun sotavuodet keskeyttivät mallien syvällisemmän pohdiskelun käytännössä yli vuosikymmeneksi, eikä ennusteiden johdon perusteisiin enää 1950-luvulla palattu. Erityisenä kunnioituksena 1930-luvun kosmologeille todettakoon, että ennusteiden johdossa tunnustettiin taustateorioihin liittyvät tulkintaepävarmuudet ja niistä keskusteltiin avoimesti. Esimerkiksi Richard Tolman, perustavaa laatua olevassa julkaisussaan ”*Estimates of Distance from Observations of Luminosity*” vuodelta 1930, käytti toistuvasti ilmaisua *evidently* (ilmeisesti) tulkitessaan sekä suhteellisuusteorian että mm. Planckin yhtälön soveltamista.

Yleisen suhteellisuusteorian ensimmäinen riemuvoitto oli Merkurius-planeetan radan pääakselin kiertymän selityksen tarkennus. Ranskalainen astronomi Urbain Le Verrier oli jo vuonna 1859 Newtonin gravitaatioon ja Keplerin taivaanmekaniikkaan perustuen osoittanut, että Merkuriuksen radan pääakseli kiertyy muiden planeettojen gravitaation vaikutuksesta noin

9 C.M. Will, *Was Einstein Right?* Oxford University Press (1993).

10 T. Suntola, Re-evaluation of the Scout D experiment as a Test of Relativity Theory, *Galilean Electrodynamics*, 14, No. 4 (2003).

11 I.M.H. Etherington, On the definition of distance in general relativity, *Phil. Mag. ser. 7* 15, 761–773 (1933).

12 R. Tolman, On the Estimation of Distances in a Curved Universe with a Non-Static Line Element, *PNAS* 16, 511–520, 1930.

13 S. M. Carroll, W. H. Press ja E. L. Turner, *ARA&A*, 30, 499 (1992).

14 K. Nilsson ym., *Astrophys. J.*, 413, 453, (1993).

15 W. de Sitter, Do the galaxies expand with the universe, *B.A.N.* 6, 223, s. 146 (1931).

5 557 kaarisekuntia sadassa vuodessa. Havaittu kiertymä oli kuitenkin noin 5 600 kaarisekuntia, joten puuttuvat 43 kaarisekuntia olivat olleet vailla selitystä. Yleisen suhteellisuusteorian ennustama, paikallisavaruuden kaareutumista johtuva kiertymä on jokseenkin tarkalleen 43 sekuntia, joten lisätyn muiden planeettojen aiheuttamaan kiertymään se selitti havaitun 5 600 kaarisekunnin kokonaiskiertymän. Yleisen suhteellisuusteorian kiertymäennuste johdetaan Schwarzschildin ratkaisusta, joka on ratkaisu Einsteinin kenttäyhtälöihin yksittäisen massakeskuksen ympäristössä. Kaikissa oppikirjoista löytämissäni ratkaisuisa^{16,17,18} perihelikiertymään liittyy kiertymätermien ohella kiertoradan sädetä kasvattava kumuloituva termi, joka poikkeuksetta todetaan vähäiseksi häiriöksi ja jätetään huomioimatta. Jos kumuloituvan termin annettaisiin vaikuttaa, olisi Merkurius ajautunut ulos aurinkokunnasta jo kauan sitten, sillä siihen olisi tarvittu alle puolen miljoonan vuoden kumuloitunut kiertymä¹⁹. Schwarzschildin ratkaisun ongelma näkyy erityisen selvästi ympyräradan ratanopeuden ja pakonopeuden suhteessa²⁰; tiheää massakeskusta, mustaa aukkoa, lähestyttäessä Schwarzschildin ratkaisun mukainen ympyräradan ratanopeus lähestyy, ja lopulta ylittää pakonopeuden, mikä tapahtuu 3 x kriittisen säteen etäisyydellä. Yleisen suhteellisuusteorian ennusteen mukaan ko. kiertoradalla oleva atomikello pysähtyisi⁵.

Empiirisen fysiikan ja filosofian kohtaaminen

Mahdollisista puutteistaan huolimatta nykyiset teoriamme ovat nostaneet ymmärrykseme fyysikaalisesta todellisuudesta aivan uudelle tasolle, ainakin jos ymmärrystä mitataan mal-

lien ja havaintojen vastaavuudella. Se ei kuitenkaan merkitse, että teoriamme edustaisivat parasta mahdollista kuvausta todellisuudesta. Antiikin metafysiikka keskittyi ensisijaisten luonnonlakien ja periaatteiden osoittamiseen mutta kuihtui empirismin puutteeseen. Vahvasti empirismin ja huimasti kehittyneen havaintotekniikan ja tietojenkäsittelyn sekä nopeasti tuotettavien tulosten ohjaama nykytiede näyttäisi olevan matkalla toiseen äärimmäisyyteen, jossa ihmisen ymmärrykselle keskeiset perussyyt, teorioiden rakenteet ja teorioita yhdistävät ensisijaiset luonnonlait jäävät havaintojen määrittämisen kuvauksen ja oikeassa olemisen osoittamisen jalkoihin.

Kritiikin väheksyminen ja vallalla olevien teorioiden tarjoaminen ainoana oikeina, auktoriteetteihin vedoten, on vastoin tieteen keskeisiä periaatteita ja vahingollista tieteen kehittymiselle. Erityisen vahingollista oikeaoppisuuden julistaminen on nuorille tieteen opiskelijoille, joiden itsenäistä luovaa ajattelua tulisi kahlitsemisen sijaan kannustaa. Tieteellisten töiden vertaisarviointitehtäviin haetaan ja niihin myös mielellään hakeutuvat nykysteoriat parhaiten hallitsevat ja samalla niihin vahvimmin sitoutuneet alan edustajat, mikä osaltaan suuntaa kehitystä nykysteorioiden täydennykseen, jopa väkinäiseen täydennykseen, teorioiden syvällisemmän uudelleenarvioinnin sijaan. Mitä syvemmälle totuttujen teoriarakenteiden uudelleenmuotoilussa mennään, sitä työläämpää epäilemättä on niiden arviointi. Muutos yhdessä kohdassa vaikuttaa lähes kaikkeen muuhun. Lopulta kysymyksessä on teorian perustana oleva postulaattikanta, mikä on vahvasti filosofinen valinta.

Kirjoittaja on päätoimisesti teollisuudessa ja sivutoimisesti fysiikan dosenttina Tampereen teknillisessä yliopistossa toiminut tekniikan tohtori.

16 M. Berry, *Principles of cosmology and gravitation*, Cambridge University Press (1989).

17 I. Ciufolini ja J.A. Wheeler, *Gravitation and Inertia*, Princeton Series in Physics, Princeton University Press (1995).

18 J. Weber, *General relativity and Gravitational Waves*, Interscience Publishers Ltd. (1961).

19 T. Suntola, *Tieteen lyhyt historia*, Physics Foundations Society (2012).

20 J. Foster, J. D. Nightingale, *A Short Course in General Relativity*, 2nd edition, Springer-Verlag (2001).