

Suhteellisuusteoria ei ole uskon asia

■ Tuomo Suntola

Tämän lehden viime numerossa (*Tieteessä tapahtuu* 3/2014) kosmologit Syksy Räsänen ja Kari Enqvist paheksuivat suhteellisuusteoriaan kohdistuvaa epäuskoa keskittyen erityisesti suppeaan suhteellisuusteoriaan. Kirjoittajat ottivat vauhtia uskon tunnustamiseen ilmastonmuutoksesta, evoluutiosta, HIVin ja AIDSin yhteydestä ja jopa rokotteiden toimivuudesta.

Fysiikkaa pidetään ensisijaisesti empiirisenä tieteenä, jossa luonnon lainalaisuudet päätellään havainnoista ja ilmaistaan havaintoja kuvaavalla matemaattisella mallilla. Luonnontieteiden kehitys etenee pääosin, kuten kirjoittajat toteavat, kumulatiivisesti evoluution tavoin siten, että uusi malli täydentää vanhaa ilman revolutionaarisia muutoksia. Tieteen historiassa ehkä havainnollisin esimerkki revolutionaarisesta uudelleenarvioinnista on Kopernikuksen systeemikeskeinen aurinkokuntamalli, joka pitkän taistelun jälkeen syrjäytti havaitusjakeskeisen Ptolemaioon mallin. Ptolemaioon malli puolestaan oli antiikin aikana kokenut pitkän kumulatiivisen kehityksen, jonka kuluessa planeettojen ympyräaroja korjattiin lopulta monella kymmenellä apuympyrällä, episyklillä, jotta malli saatiin vastaamaan havaintoja silloisen havaintotarkkuuden puitteissa.

Käsitemaailmassani Kopernikuksen vallankumous oli radikaali paradigman muutos pitkään vallalla olleeseen Ptolemaiolaiseen paradigmaan. Kopernikuksen malli selkiytti todellisuuden hahmotusta, tässä tapauksessa aurinkokunnan, sekä antoi alkusysäyksen ja eväät newtonilaiseen fysiikkaan. Sähkömagnetismi, samoin termodynamiikka ja tilastollinen mekaniikka, täydensivät Newtonin fysiikkaa tuomatta siihen ensi vaiheessa muutostarpeita.

Suhteellisuusteoria ei ole mielestäni radikaali paradigman muutos. Se tarkoittaa Newtonin fysiikkaa kuvaamalla empiirisesti havaitut poikkeamat newtonilaisesta todellisuudesta ensisijaisesti koordinaatistomuunnosten avulla. Newtonin fysiikan keskeiset postulaatit, kuten suhteellisuusteoria ja ekvivalenssiperiaate, periytyivät suhteellisuusteoriaan. Täydentävänä postulaattina tarvittiin valon nopeuden vakioisuus ja Lorentzin muunnoksen luonnonlain kaltainen asema.

Opiskeluajoltani olin jäänyt pohtimaan suppean suhteellisuusteorian viestittämän todellisuuden hahmottamista, mikä teknokraatille ”ääriempiristinä” on luonnollista. Ratkaiseva oivallus oli, että suppean suhteellisuusteorian kokonaisenergian lausekkeessa liikemäärän muotoa olevan suureen (mc) ja paikallisesti havaittavaan liikkeen liittyvän liikemäärän (p) ortogonaalisumma viestittää lepoliikemäärästä (mc) neljännen ulottuvuuden suunnassa tapahtuvaan liikkeen liittyvänä liikemääränä. Ongelmaksi muodostui suhteellisuusteorian määrittely neljänestä ulottuvuudesta ”ajan suuntana”; liikemäärä ajan suunnassa ei ole käsitteenä mielekäs.

Kun neljäs ulottuvuus kuvataan etäisyysluonteiseksi ulottuvuudeksi, voidaan lepoliikemäärä tulkita liikemääräksi, joka avaruudella (=kaikella avaruuden massalla) on tässä ”kätkeyssä” neljännen ulottuvuuden suunnassa. Aineen lepoenergia on tällöin ilmaistavissa muodollisesti samalla lausekkeella kuin sähkömagneettisen säteilyn energia $E = c|\mathbf{p}| = c|mc|$ (vrt. Poynting) ja massaobjektin kokonaisenergia kompleksisuurena

$$E = c|\mathbf{p} + i mc| = c\sqrt{(mc)^2 + p^2},$$

mikä johtaa siis samaan kuin suppean suhteellisuusteorian kokonaisenergian lauseke.

Niinpä lähdin etsimään loogista selitystä imaginaarisuuntana kuvatun neljännen ulottuvuuden kätkeylle nopeudelle. Einsteinin alkuperäistä kosmologia-hahmotusta seuraten tuntui luonnolliselta ajatella kolmiulotteinen avaruus suljettuna neliulotteisen pallon pintana. Energialausekkeen viestittävä kätkeyty nopeus saa tällöin merkityksen avaruuden 4-säteen suuntaisena nopeutena, toisin sanoen avaruuden laajenemisena nopeudella c säteen R_4 suunnassa. Merkitsemällä testimassan m lepoenergia $E=c|mc|$ yhtä suureksi kuin massan m avaruuden kaikesta muusta massasta johtuva gravitaatioenergia (ensi vaiheessa Newtonin gravitaatiosta, Hubblen vakioista ja avaruuden keskimääräisestä massatiheydestä lasketuna, $E \approx GmM_{tot}/R_4$), osoittautui, että avaruuden nykyiseksi laajenemisnopeudeksi saadaan oleellisesti ottaen 300 000 km/s, mikä on juuri valon nopeus. Fysikaalisesti tämä voidaan tulkita siten, että pallosymmetrisesti suljettu avaruus toimii pallosymmetrisen heilurin tavoin: supistumisvaiheessa avaruus saa nopeutensa omasta gravitaatiostaan kohti singulariteettia – saatu liikkeen energia luovutetaan takaisin gravitaation energiaksi nyt käynnissä olevassa laajenemisvaiheessa.

Avaruuden massan lepoenergian ja gravitaatioenergian yhtäsuuruutta on pohdiskellut muun muassa Richard Feynman 1960-luvulla pitämillään luennoilla, jatkaen "... miksi näin tulisi olla, on yksi suurista mysteereistä – ja siksi yksi fysiikan suurista kysymyksistä. Kaiken kaikkiaan, mikä merkitys olisi fysiikan opiskelulla, elleivät mysteerit olisi tärkeimpiä tutkittavia asioita."¹

Samoilla luennoillaan hän pohti avaruutta neliulotteisen pallon pintana: "... Eräs kiehtova ehdotus on, että universumin rakenne on analoginen pallopinnan kanssa. Kulkiessamme mihin tahansa suuntaan pinnalla, emme koskaan kohtaa rajaa tai reunaa, silti pinta on rajattu ja äärellinen. Saattaa olla, että kolmedimensionaalinen avaruutemme on sellainen, kolmedimensio-

naalinen nelipallon pinta. Galaksien järjestys ja jakautuma näkemässämme maailmassa olisi silloin jokseenkin verrattavissa pyöreän pallon pintaan piirrettyihin pisteisiin."²

Suhteellisuusteorian aika-avaruus-käsitteeseen sitoutuessaan Feynman ei osannut yhdistää näitä kahta pohtimaansa asiaa. Edellä kuvaamani tarkastelu on itse asiassa Feynmanin mysteerin dynaaminen ratkaisu.

Valon nopeus ei dynaamisessa avaruudessa ole vakio vaan määräytyy avaruuden R4-nopeudesta, mikä pienenee avaruuden laajenemisen edistyessä (liikkeen tehdessä työtä rakanteen gravitaatiota vastaan). Valon nopeuden vuotuinen suhteellinen pieneneminen on tällä hetkellä noin $3,6 \times 10^{-11}$, mikä sinänsä olisi havaittavissa – jatkotarkastelu kuitenkin osoittaa, että atomikellon käyntinopeus on suoraan verrannollinen lepoliikemäärään ja siten valon nopeuteen. Valon nopeuden lasku ei siten ole empiirisesti havaittavissa.

Suhteellisuusteorian aika-avaruuden metriikkaan liittyvän nelivektorin tarkastelu korvautuu dynaamisessa tarkastelussa liikemäärän nelivektorilla (tai kompleksisuureina kuvatuilla liikemäärällä sekä liikkeen ja gravitaation energialla). Suhteellisuutta ei ilmaista ”paikallisen ajan ja etäisyyden” (*proper time, proper distance*) termein. Aika ja etäisyys säilyvät globaaleina koordinaattisuureina, ja suhteellisuus ilmenee paikallisesti käytettävissä olevan energian kautta suorana seurauksena avaruuden kokonaisenergian säilymisestä – ilman erillistä suhteellisuusteoriaa.

Sekä suppean että yleisen suhteellisuusteorian ennusteet näkyvät likiarvoina dynaamisen tarkastelun tuottamille ennusteille, jotka vastaavatkin havaintoja vähintään yhtä hyvin kuin suppean ja yleisen suhteellisuusteorian vastaavat ennusteet. Yllätykseksi, keskeisille kosmologisille havainnoille saamani yksinkertaiset ennusteet vastaavat havaintoja paremmin kuin yleiseen suhteellisuusteoriaan perustuvassa FLRW-kosmologiasta (Fridmanin, Lemaitren,

1 R. Feynman, W. Morinigo ja W. Wagner, *Feynman Lectures on Gravitation (during the academic year 1962–63)*, Addison-Wesley Publishing Company, s. 10 (1995).

2 R. Feynman, W. Morinigo ja W. Wagner, *Feynman Lectures on Gravitation (during the academic year 1962–63)*, Addison-Wesley Publishing Company, s. 164 (1995).

Robertsonin ja Walkerin metriikka) johdetut vastaavat ennusteet – ja ilman lisäparametreja (esim. pimeä energia). Dynaamisen avaruuden ennuste täsmää tarkoin supernovista havaittujen punasiirtymän ja magnitudin suhteeseen – pimeää energiaa ja siitä seuraavaa päätelmää avaruuden laajenemisen kiihtymisestä ei tarvita.

Mitä tässä tapahtui? Ajattelussani toteutui evolutionaarisuus, mikä kuitenkin johti revolutionaariseksi luokiteltavaan mallinnuksen ja todellisuuskuvan muutokseen. Uusi tieto rakentui vanhaan, mutta tuotti kokonaiskuvaa oleellisesti muokkaavan tuloksen. Yksinkertaistuksen toi kokonaisvaltainen systeemitarkastelu, joka mahdollisti havaitsijan oman liikkeen huomioimisen, ei vain pyörivän ja aurinkoa kiertävän maapallon liikkeen, kuten Kopernikuksen vallankumouksessa, vaan myös avaruuden kaiken massan liikkeen suljettuna liikesysteeminä kuvattavan avaruuden mukana.

Kirjassani *Dynaaminen universumi*³ olen tutkinut dynaamisen mallin toimivuutta ja johdannut ennusteet viimeisen sadan vuoden aikana suhteellisuusteorian ja kosmologian alueilla tehtyjen oleellisimpien kokeiden ja havaintojen analysoimiseksi. Tässä yhteydessä olen käynyt lävitse myös nykyisten teorioiden sisältämien ennusteiden johdot ja niiden historialliset taustat antiikista nykypäivään.⁴

Todellisuutta voi kuvata monella tavalla. Mitään kuvausta ei tarvitse uskoa ainoaksi oikeaksi. Maallikko arvostaa ymmärrettävyyttä tuovaa kuvausta, filosofi postulaattien vähäisyyttä ja teorian loogista rakennetta. Fyysikot ja insinöörit arvostavat kuvausten tarkkuutta ja käytökelpoisuutta empirian ja tieteellisen evoluution eteenpäin viemiseen. Useimmissa meissä on vähän jokaista.

Kirjoittaja on tekniikan tohtori.

- 3 T. Suntola, *The Dynamic Universe, Toward a unified picture of physical reality*, Physics Foundations Society, ISBN 9781461027034, e-book ISBN 978-952-67236-5-5 (2012) http://www.physicsfoundations.org/books/DU_2011_EN.html
- 4 T. Suntola, *Tieteen lyhyt historia*, Physics Foundations Society, ISBN 978-952-67236-2-4, e-book ISBN 978-952-67236-8-6 (2014) http://www.physicsfoundations.org/books/HISTORIA_2012_FI.html

Aalto PRO
Aalto-yliopiston
täydennyskoulutusta

Tehokas tiedon visualisointi

25.–26.8.2014

aaltopro.fi

91 %
suosittelee
Aalto PROta*

Haluatko oppia esittämään monimutkaista tietoa selkeästi ja ymmärrettävästi?

Kahden päivän intensiivisessä
koulutuksessa

- tutustut tiedon visualisointiin lajityyppeihin ja menetelmiin
- opit ihmisen havainnoinnin perusteet ja niiden merkityksen esitysten suunnittelussa
- kehität visualisointisi eri osa-alueita.

Klikkaa nettiin tai soita!

aaltopro.fi/visualisointi
minna.tikkanen@aaltoee.fi
050 551 4484

* asiakasvaikuttavuuskysely 2013

A? Aalto University
Professional
Development