

Suhteellisuusteorian liepeillä

■ Syksy Räsänen

Tieteessä tapahtuu -lehden numerossa 3/2013 Juha Himanka arvosteli ensin Kari Enqvistiä ja Esko Valtaojaa siitä, että he kirjoittavat oman alansa ulkopuolisesta aiheesta (filosofiasta) tuntematta sitä tarpeeksi ja suuntasi sitten teleskooppinsa suhteellisuusteoriaan. Himangan kommentit suhteellisuusteoriasta tarjoavat esimerkin siitä, mitä hän pyrki kritisoimaan: voimakkaiden väitteiden esittämisestä vajain perustein alalta, jota ei tunne.

Himanka väitti, että yleinen suhteellisuusteoria on hedelmätön teoria jolla on vain kolme ennustetta, että suppea suhteellisuusteoria on sisäisesti ristiriitainen ja että suhteellisuusteoria on kvanttifysiikan kilpailija ja hävinnyt tälle. Nämä väitteet ovat tyystin virheellisiä. (En puutu Himangan väitteeseen, jonka mukaan suhteellisuusteorian perusteella voi sanoa Auringon kiertävän Maata yhtä hyvin kuin Maan Aurinkoa, sitä kun on puitu tämän lehden sivuilla jo aiemmin.)

Yleisen suhteellisuusteorian hedelmällisyys

Himanka toistaa Thomas Kuhnin väitteen siitä, että yleinen suhteellisuusteoria on tehnyt vain kolme ennustetta, joita on ollut mahdollista verrata havaintoihin. Kuhnin kirjoitus on julkaistu vuonna 1961, ja siinä hän totesi myös, että yleinen suhteellisuusteoria on ollut niin hedelmätön, että viidenkymmenen vuoden kuluttua se saattaa olla jo vaipunut unhoon. Kuhn oli hyvä sosiologi, ja hänen kuvauksena yleisen suhteellisuusteorian tilasta oli aikanaan paikkansapitävä. Ennustajaksi hänestä ei kuitenkaan ollut: juuri Kuhnin kirjoituksen jälkeen 1960-luvulla alkoi yleisen suhteellisuusteorian toinen kukoistuskauti, jonka myötä siitä kehittyi elimellinen osa

nykyfysiikkaa.

Yleisen suhteellisuusteorian ennusteita on nykyään kokeellisesti varmennettu mm. kosmisesta mikroaaltotaustasta, galaksien jakaumasta, galaksiryppäiden lukumäärätiheydestä, kevyiden alkuaineiden pitoisuuksista, kaksoispulsarien pyörimisnopeuksista, heikoista gravitaatiolinseistä, vahvoista gravitaatiolinseistä, kappaleiden ja valon liikkeistä Auringon ympäri ja Kuun liikkeestä Maan ympäri [1–7]. Yleisen suhteellisuusteoriaan liittyvistä löydöistä on myönnetty Nobelin palkintoja vuosina 1978, 1993, 2006 ja viimeksi Kuhnin arvion 50-vuotisjuhlavuonna 2011. Viimeisimmät merkittävät yleisen suhteellisuusteorian ennusteita testavat havainnot tuotiin esille maaliskuussa 2013, kun Planck-satelliitin data ja analyysi julkistettiin [8].

Himanka ei omien sanojensa mukaan ole tietoinen Kuhnin 52 vuoden takaisten kolmen esimerkin lisäksi kuin yhdestä yleisen suhteellisuusteorian ennustuksesta, nimittäin GPS:n ajanmääritykseen tehtävistä korjauksista. Sekä suppean että yleisen suhteellisuusteorian korjaukset ovat GPS:ssä oleellisia. Himangan mukaan GPS ei kuitenkaan tue suhteellisuusteoriaa, koska ”asiasta kirjoittavat fyysikot eivät itse asiassa edes tiedä, mitä korjauksia insinöörit laitteisiinsa rakentavat”. Samalla perusteella voisi sanoa, että Large Hadron Colliderin havainnot CERNissä eivät tue hiukkasfysiikan standardimallia, koska fyysikot eivät tiedä mitä kaikkea insinöörit mittalaitteille tekevät. Tai hieman arkisemmin voisi sanoa, että siitä, että pilvenpiirtäjät pysyvät pystyssä ja toimivat suunnitellulla tavalla ei voi päätellä, että niiden rakentamisessa käytetty klassinen fysiikka ja insinöörien laskut pitävät paikkansa, koska insi-

nöörit eivät tiedä, mitä rakentajat lopulta rakennustyömaalla tekevät.

Nykyajan teknologinen kehittyneisyys tuo toisiaan esille mielenkiintoisia kysymyksiä tietämisestä. Jopa jokapäiväiset käyttöesineet, kuten matkaviestimet, ovat niin monimutkaisia, että kukaan yksittäinen ihminen tuskin tuntee sellaisen kokonaisuutta, saati ymmärtää kaikkia teorioita sen taustalla. Tieto ei kuitenkaan rakennu pala palalta päällekkäin siten, että epävarmuus kasvaa. Sen sijaan osaaminen muodostaa verkon, jonka osilla on toisiaan vahvistavia yhteyksiä moniin eri suuntiin. Tietäminen liittyy siten kysymyksiin sosiaalisten yksikköjen toiminnasta ja luottamuksesta.

Tieto nykyaikana onkin kiinnostava tieteidenväläinen aihe, johon niin filosofiilla, sosiologeilla, fyysikoilla kuin insinööreilläkin on sanansa sanottavana. Mutta sellainen päätelmä, että ei voi pitää varmennettuna mitään, jonka kaikkia yksityiskohtia ei tunne, on ilmeisen virheellinen. Mitä GPS:ään tulee, siihen perehtymisen voi aloittaa Himangan siteeraamasta Ashbyn populaarista artikkelista ja jatkaa tarvittaessa saman kirjoittajan seikkaperäisellä tieteellisellä artikkelilla [9].

Suppean suhteellisuusteorian sisäinen ristiriidattomuus

Himanka väittää, että suppea suhteellisuusteoria on ristiriitainen, koska kaksosparadoksin ongelma on selvittämättä. Suppean suhteellisuusteorian mukaan toistensa suhteen liikkuvien havaitsijoiden aika kulkee eri tahtia. Tasaisella nopeudella tapahtuva liike on suhteellista, mikä tarkoittaa sitä, että on yhtäpitävää sanoa, että A liikkuu B:n suhteen vakionopeudella v tai että B liikkuu A:n suhteen vakionopeudella $-v$. Tämä ei pidä paikkaansa, jos nopeus ei ole vakio.

Kaksosparadoksissa on kyse seuraavasta asiasta. Oletetaan, että henkilöt A ja B ovat aluksi samanikäisiä, mutta liikkuvat toistensa suhteen vakionopeudella. Tällöin heidän aikansa kulkee eri tavalla. Koska tasainen liike on suhteellista, A:n mielestä B:n kello kulkee hitaammin ja B:n mielestä A:n kello kulkee hitaammin. Suhteellisuusteorian mukaan molemmat ovat oikeassa.

Niin kauan kuin A ja B eivät ole samassa paikassa, tilanteessa ei ole mitään ristiriitaa, koska ei ole olemassa absoluuttista aikaa, jonka mukaan vanhenemista mitataan. Mutta mitä tapahtuu, jos A ja B jarruttavat samaan nopeuteen ja kohtaavat, niin että heidän kellonsa kulkevat samalla tapaa? Kumpikin ei voi olla toista vanhempi. Näennäisen paradoksin ratkaisu on se, että jotta tähän tilanteeseen päästäisiin, toisen tai molempien nopeuden täytyy muuttua ja suppean suhteellisuusteorian mukaan ainoastaan vakionopeudella tapahtuva liike on suhteellista. Kiihtyvyys siis rikkoo kaksosten välisen symmetrian ja määrittää sen kumpi on vanhempi.

Toisin kuin Himanka antaa ymmärtää, kaksosparadoksi ei ole avoin tutkimusongelma, vaan suppean suhteellisuusteorian alkeisopeutuksessa ja populaareissa kuvauksissa käytettävä pedagoginen esimerkki. Himanka viittaa siihen, että asiasta on käyty keskustelua ja lopulta perustelee suhteellisuusteorian ristiriitaisuutta sillä, että henkilö nimeltä Chang on kirjoittanut, että henkilö nimeltä Dingle on esittänyt asiasta kysymyksen, jota jotkut eivät ole ymmärtäneet.

On syytä erottaa kaksi asiaa: suhteellisuusteoria ja ihmisten käsitys suhteellisuusteoriasta. Jälkimmäisellä ei ole mitään merkitystä edelliselle (paitsi siten, että ihmisten käsitys määrittelee sen, mitä kutsutaan ”suhteellisuusteoriaksi”, mutta tästä ei ole erimielisyyttä). Niinpä jos esitetään jokin suhteellisuusteoriaa koskeva väite, sen todenperäisyyden voi selvittää suhteellisuusteoriaa tutkimalla. Sillä, mitä mieltä joku on tästä väitteestä, ei ole todenperäisyyden kannalta mitään merkitystä.

On eri asia, miten käytännössä voi päästä perille siitä, pitääkö jokin suhteellisuusteoriaa koskeva väite paikkansa, jos ei tunne teoriaa tai sen kyseessä olevaa osa-aluetta. Tältä osin suhteellisuusteoria ei eroa mistään muusta erikoisosaamista vaativasta alasta. Jos haluaa esimerkiksi saada selville, mistä todella tiedetään, että HI-virus aiheuttaa AIDSin, voi aloittaa populaareista kuvauksista, mutta tarkemman selvyuden saamiseksi – tai edes vastauksen kunnolliseksi ymmärtämiseksi – on pakko perehtyä erikoistuneisiin teorioihin ja menetelmiin. Mutta

yksin siitä, että joku on sanonut, että HI-virus ei aiheuta AIDSia, ei voi päätellä, että asia todella olisi näin.

Suhteellisuusteoria ja kvanttifysiikka

Himanka väittää, että kvanttifysiikka kilpailee suhteellisuusteorian kanssa, ja kirjoittaa Karl Popperin nähneen, että kvanttimekaniikan kaukovaikutus olisi todiste siitä, että suhteellisuusteoria on väärin. Kaukovaikutuksessa on kyse seuraavasta asiasta. Kvanttimekaaninen systeemi on erottamaton kokonaisuus, ja sen eri osat voivat vaikuttaa toisiinsa välimatkasta riippumatta. Esimerkiksi kaksi hiukkasta voivat olla siten lomittuneet, että kun yhden tila muuttuu, niin toisen tila muuttuu samalla, olivatpa ne miten kaukana toisistaan hyvänsä.

Kaukovaikutus esitetään joskus ongelmallisena suhteellisuusteorian kannalta, koska suhteellisuusteorian mukaan informaatiota ei voi välittyä valoa nopeammin. Popperin argumentti oli hienovaraisempi. Hänen mukaansa kaukovaikutus edellyttää sitä, että on olemassa absoluuttinen aika, koska tila muuttuu kaikkialla samaan aikaan. Itse asiassa mitään ristiriitaa suppean suhteellisuusteorian kanssa ei kuitenkaan ole, koska lomittuneen tilan muuttuminen ei välitä informaatiota, eikä ole mahdollista saada valoa nopeammin tietoa siitä, että tila on muuttunut. Toisin sanoen eri havaintasijoilla voi olla eri näkemys siitä, koska tilan muutos on tapahtunut, kuten heillä voi olla eri näkemys siitä, kumpi on vanhempi. Popper teki joka tapauksessa selväksi, että hänen argumenttinsa ei koske suppean suhteellisuusteorian yhtälöitä eikä ennusteita, ainoastaan sen filosofista tulkintaa.

Vaikka teorian tulkinnoilla ei olisi merkitystä sen ennusteille, ne voivat johdatella erilaisiin teorian yleistyksiin, jotka eroavat toisistaan myös ennusteiden osalta. Tässä suhteessa vakiintunut suppean suhteellisuusteorian tulkinta kvanttifysiikan yhteydessä on osoittautunut perustellummaksi kuin Popperin realistiiseen filosofiaan pohjaava tulkinta.

Suhteellisuusteoria ja kvanttifysiikka eivät nimittäin ole kilpailijoita, toisin kuin Himanka väittää. Päin vastoin, kvanttifysiikan yhdis-

täminen suppeaan suhteellisuusteoriaan relativistisessa kvanttikenttäteoriassa on johtanut nykyaikaiseen hiukkasfysiikkaan ja sen myötä mahdollistanut suppean suhteellisuusteorian erittäin tarkan testaamisen. Ensimmäinen relativistinen kvanttikenttäteoria oli vuonna 1949 kehitetty kvanttielektrodynamiikka, ja 1970-luvulla päästiin hiukkasfysiikan Standardimalliin, jonka viimeinen ennuste, Higgsin hiukkanen, varmennettiin heinäkuussa 2012. Kvanttikenttäteorian osalta suppean suhteellisuusteorian ennustuksia on varmennettu yli miljardisosan tarkkuudella, ja aiheeseen liittyviä Nobelin palkintoja on myönnetty vuosina 1965, 1969, 1976, 1979, 1980, 1984, 1988, 1990, 1995, 1999, 2004 ja 2008.

Suhteellisuusteorian ja kvanttifysiikan suhteeseen liittyy kyllä mielenkiintoisia selvittämättömiä piirteitä. Yleistä suhteellisuusteoria ja kvanttikenttäteoriaa ei nimittäin ole vielä saatu tyydyttävästi yhdistettyä, ja yleisesti ajatellaan, että molemmat ovat vain approksimaatioita. Himanka esittää, että suhteellisuusteoria on ideologia, jota ei ole hyväksytty tieteellisistä syistä ja että siitä pidetään kiinni kritiikistä välittämättä. Tilanne on päinvastainen: suhteellisuusteoria on vakiinnuttanut paikkansa, koska sillä on osoittautunut olevan laaja pätevyysalue, mutta fyysikot pyrkivät jatkuvasti kokeiden avulla löytämään suhteellisuusteorian tuolle puolen.

Tieteellisestä dialogista

Himanka kaipaa tieteidenvälistä dialogia ja esittää kirjoituksensa lopuksi esimerkin mielestään onnistuneesta tieteellisestä kommunikaatiosta, joka on johtanut tieteellisen ongelman ratkaisemiseen. Tämä esimerkki on seuraava: henkilöt nimeltä Bergson ja Lorentz keskustelivat kaksosparadoksista vuonna 1924 ja olivat yhtä mieltä asian ratkaisusta. Ei ole säilynyt tietoa siitä, mikä tämä ratkaisu oli.

Sikäli kun tieteessä on tarkoitus selvittää sitä, mikä on totta, sillä ei ole mitään merkitystä, ovatko keskustelijat samaa mieltä vaiko eivät. Niin tieteessä kuin arkielämässäkkin on tavallista, että henkilöt eivät joko ymmärrä olevansa väärässä tai he eivät halua myöntää sitä. Niinpä

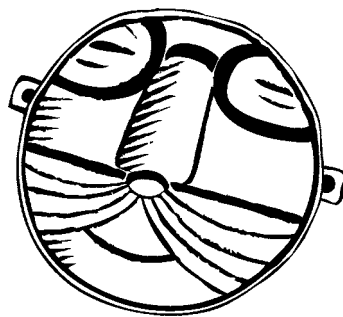
tutkijoiden näkemyksillä ei ole arvoa irrallaan perusteluista, joita tarkastelemalla näkemysten paikkansapitävyyttä voi arvioida. Tämä tietysti edellyttää sitä, että perustelut saatetaan julki. Tieteellinen kommunikaatio on siis onnistunut silloin, kun esitetään perusteltuja väitteitä, jotka muut voivat todeta oikeiksi ja jotka lisäävät ymmärrystä.

Lopuksi sanottakoon, että fysiikassa on paljon mielenkiintoisia kysymyksiä, kuten kvanttimekaniikan todellisuuskäsitys, Higgsin epistemologia [10] ja multiversumin tutkimuksen sosiologia, joihin filosofeilla voi olla paljon annettavaa. Tämä kuitenkin edellyttää vähintään peruskäsitystä siitä, mistä kyseisissä teorioissa on kyse ja mitä niiden parissa on tehty.

Kirjallisuutta

- [1] I.H. Stairs, *Living Rev. Relativity* 6 (2003) 5.
- [2] C.S. Kochanek, P. Schneider and J. Wambsganss, 2004, Part 2 of *Gravitational Lensing: Strong, Weak & Micro*, *Proceedings of the 33rd Saas-Fee Advanced Course*, G. Meylan, P. Jetzer & P. North, eds. (Springer-Verlag: Berlin) [arXiv:astro-ph/0407232].
- [3] O. Lahav and Y. Suto, *Living Rev. Relativity* 7 (2004) 8.
- [4] C.M. Will, *Living Rev. Relativity* 9 (2006) 3.
- [5] D. Munshi ym., *Phys. Rept.* 462: (2008) 67 [arXiv:0805.0139 [astro-ph]].
- [6] S.M. Merkowitz, *Living Rev. Relativity* 13 (2010) 7.
- [7] J. Beringer et al. (Particle Data Group), *Phys. Rev. D* 86 (2012) 010001.
- [8] Planck Legacy Archive, http://www.sciops.esa.int/index.php?project=PLANCK&page=Planck_Published_Papers
- [9] N. Ashby, *Living Rev. Relativity* 6 (2003) 1.
- [10] <http://www.lhc-epistemologie.uni-wuppertal.de/>

Kirjoittaja on teoreettisen fysiikan dosentti ja yliopistonlehtori Helsingin yliopiston fysiikan laitoksella. Hän on kirjoittanut populaaria blogia *Maailmankaikkeutta etsimässä* (<http://www.tiede.fi/blog/category/maailmankaikkeutta-etsimassa/>).



TIEDEKIRJA

Bookstore Tiedekirja

Kirkkokatu 14

Avoinna ma klo 10–17,
ti–pe klo 10–16.30

Tiedekirjan kesän aukioloajat
(kesä-elokuu)
ma klo 10–16,
ti–pe klo 10–15.30

Tiedekirja on suljettu 8.–26.7.2013
www.tiedekirja.fi