

Suppean suhteellisuusteorian oikea käyttö poistaa paradoksit

■ Raimo Ylinen

Tieteessä tapahtuu -lehden numeroissa 3–6/2013 on käyty keskustelua fyysikoiden maailmankaikkeuden olemusta käsittelevistä filosofisista kysymyksistä. Tässä yhteydessä on kiinnitetty huomiota suhteellisuusteorian selitysvoimaan, joka on asetettu kyseenalaiseksi, koska teoriasta seuraa loogisia ristiriitaisuuksia ja paradokseja. Vaikka nämä ovat ilmiselviä, fyysikkokunta pitää tiukasti kiinni teoriasta ja yrittää keksiä erilaisia selityksiä, joilla ne voitaisiin sivuuttaa. Kaikki tämä on turhaa, koska ristiriitaisuudet johtuvat vain virheellisestä suhteellisuusteorian soveltamisesta, eivätkä itse teoriasta.

Paradokseja

Suhteellisuusteoria on yleisesti hyväksytty makroskooppisen maailman ilmiöitä kuvaavaksi teoriaksi, vaikkakin sen perusoletus, että tyhjiössä etenevän valon nopeus on riippumaton itse valonlähteen nopeudesta, asetetaan joskus kyseenalaiseksi. Epäilyksiä suhteellisuusteorian pätevyyden suhteen ovat tuoneet myös siitä johdetut paradoksit, joista *kaksosparadoksi* on tunnetuin. Näille paradokseille on kirjallisuudessa esitetty toinen toistaan merkillisempiä selityksiä. Koska nämä selitykset ovat usein keskenään ristiriitaisia, niin epäilykset ovat jääneet elämään, jopa vahvistuneet, ainakin fyysikkokunnan ulkopuolella (Himanka 2013).

Viimeksi kolmisen vuotta sitten luonnonfilosofien yhteenliittymä *Natural Philosophy Alliance* (NPA) julkaisi internetissä avoimen kirjeen (NPA 2010), jossa vaadittiin fyysikkokuntaa vihdoin ratkaisemaan, mikä, jos mikään, esityksistä sata vuotta vanhan kaksosparadok-

sin selityksistä on oikea. Tähän haasteeseen ei ainakaan tähän mennessä ole tiettävästi tullut yhtään kunnan vastausta, vaan koko ongelmaa on lähinnä vain vähätelty.

Kaksosparadoksi on peräisin Einsteinin jo vuonna 1905 esittämästä *kelloparadoksista* eli hänen mukaansa avaruudessa suurella nopeudella kiertomatkan tehnyt ajanottokello näyttäisi suhteellisuusteoriasta johdetun *aikadilatation* takia maahan palattuaan pienempää aikaa kuin maahan jäänyt lähtöhetkellä käynnistetty vastaava kello. Tämähän ei ole vielä mitenkään paradoksaalista, mutta koska tilannetta voitaisiin yhtä hyvin tarkastella avaruudessa liikkuvasta kellosta käsin, niin tällöin taas maahan jääneen kellon pitäisi näyttää pienempää aikaa kuin avaruudessa käyneen. Tilanne on kinemaattisessa mielessä täysin symmetrinen, mutta kuitenkin tavallisimmat selitykset tälle paradoksille perustuvat jonkinlaisen epäsymmetrian osoittamiseen!

Selityksiä

Tavallisin kinemaattinen selitys on, että avaruudessa käyvän kellon käynti hidastuu sen liikkeeseen kiinnitetyn jatkuvasti vaihtuvan paikallisen koordinaatiston mukana, eli kello tietäisi, minkä koordinaatiston mukaan sen tulisi käydä (Enqvist 2011). Räsänen (2013) esittää vielä kummallisemman ”epäsymmetriatodistuksen”, jonka mukaan avaruudessa liikkuva kello tulisi hidastaa nollanopeuteen, jotta kelloja voitaisiin vertailla. Kumpikaan mainituista selityksistä ei ota huomioon sitä, että vertailut pitää aina suorittaa vain yhdessä, samassa koordinaatistossa,

olkoonkin, että se voi olla paikallaan tai liikkeessä maahan nähden.

Yleisen suhteellisuusteorian kehittämisen jälkeen Einstein itse antoi selityksen, joka perustuu dynamiikkaan, koska avaruudessa liikkuva kello on maahan jääneen suhteen kiihtyvässä liikkeessä. Tämäkään selitys ei poista symmetriaa, joka seuraa itse asiassa jo suhteellisuusteorian perusolettamuksesta eli kaikkien koordinaatistojen samanarvoisuudesta. Täten maahan jäänyt kello on myös kiihtyvässä liikkeessä avaruuden kelloon nähden, vaikka kiihtyvyysoimien havaitseminen tässä edellyttäisi jonkinlaista maailmankaikkeuden absoluuttista koordinaatistoa. Ainoa suhteellisuusteorian tarjoama mahdollisuus on, että ongelmaa tarkastellaan vain kinemaattisena. Einstein itsekin tiettävästi luopui yleiseen suhteellisuusteoriaan perustuvasta selityksestä. Toisaalta yleinen suhteellisuusteoria voisi kyllä selittää aikadilataatiosta tehdyt havainnot, koska tällöin tulevat tarkasteltavaksi jo kellojen fysikaaliset rakenteet, joille kiihtyvyysoimat voisivat aiheuttaa epäsymmetriaa.

Symmetrinen kaksosparadoksi

Sekä kello- että kaksosparadoksi voidaan palauttaa täysin symmetriseksi ongelmaksi, jolloin epäsymmetriaan perustuvat selitykset eivät ainakaan voi tulla kysymykseen. Oletetaan, että kaksosveljekset lähetetään avaruuteen suurella nopeudella täsmälleen samanlaisilla aluksilla täsmälleen päinvastaiseen suuntaan ja he tekevät samanlaisen edestakaisen matkan. Kummankin kellot voidaan käynnistää paluumatkalla samanaikaisesti esimerkiksi maasta lähetetyn radiosignaalin avulla. Kun alukset tulevat maan läheisyyteen, he lähettävät radioilla kellojensa lukeman. Koska alukset liikkuvat toistensa suhteen suurella nopeudella, niin aikadilataation takia toisen kaksosen kellon tulisi näyttää pienempää aikaa kuin toisen kaksosen ja päinvastoin, joka on mahdotonta. Maan suhteen tilanne on täysin symmetrinen, joten aikojen tulisi olla samat.

Näistä ristiriidoista päästään vain, jos kaikki kellot näyttävät koordinaattiajan sijasta samaa tosiaikaa (ominaisaika, *proper time*). Tämä tosi-

aika on *invariantti* koordinaatistojen Lorentzmuunnosten suhteen tai näiden määrittelemän *Lorentz-ekvivalenssin* suhteen. Tosi aika on pienempi tai yhtä suuri kuin koordinaattiaika ja tätä hidastumista kutsutaan *aikadilataatioksi*. Vastaavasti voidaan määritellä *tosipaikka* (*proper position*), joka on pienempi tai yhtä suuri kuin koordinaattipaikka johtuen *pituuskontraktiosta*.

Tosi aika ja -paikka ovat koordinaattien epälineaarisia funktioita, joten koordinaatistoa siirrettäessä jonkin pisteen tosiaikaa ja -paikkaa uudessa koordinaatistossa ei saada vähentämällä vanhassa koordinaatistossa vastaavista suureista uuden origon tosiaika ja -paikka. Itse asiassa uusi oikea aika ja paikka ovat pienempiä tai korkeintaan yhtä suuria kuin vähentämällä saadut arvot. Tämä on syynä siihen, että koordinaatiston liu'uttaminen trajektoria pitkin johtaa vääriin, liian pieniin tuloksiin ja lopulta paradoksiin.

Alkuperäinen kaksosparadoksi

Alkuperäisessä kaksosparadoksiongelmassa lähetetään toinen kaksosista suurella nopeudella avaruuteen, jossa hän sitten sopivan ajan kuluttua kääntyy takaisin ja palaa maahan. Tavallisesti oletetaan, että kiihdytykseen ja hidastukseen kuluvat ajat ovat merkityksettömiä kokonaisaikaan verrattuna. Mukana voidaan kuljettaa kelloa, joka käynnistetään lähtöhetkellä samanaikaisesti maahan jäävän kaksosen kellon kanssa.

Yleisesti oppikirjoissa esitetään tosiasiana, joka myös ”todistetaan”, että kun veljekset kohtaavat uudestaan maassa, niin avaruudessa käynyt on vanhentunut vähemmän kuin maahan jäänyt. Kuitenkin, kun tähän sovelletaan tosiaikaa, niin havaitaan, että tosiasiasa kumpikin on käyttänyt yhtä paljon aikaa eli vanhentunut yhtä paljon.

Seiväs ja lato -paradoksi

Vastaava pituuskontraktioon liittyvä paradoksi on niin sanottu *seiväs ja lato -paradoksi*. Tässä tarkastellaan seiväshyppääjää, joka juoksee suurella nopeudella seiväs eteen ojennettuna kohti latoa. Seiväs on samassa koordinaatistossa

mitattuna pitempi kuin lato, mutta pituuskontraktion ansiosta se mahtuu hetkellisesti latoon. Toisaalta seiväshyppääjän kannalta lato tulee häntä vastaan suurella nopeudella eli lyhenee, jolloin näyttäisi mahdottomalta, että seiväs koskaan mahtuisi siihen. Tämä näennäinen paradoksi poistuu, kun pituusmittauksessa käytetään tosipituuksia koordinaattipituuksien sijaan.

Keskustelua

Ilmeisesti yhteinen selitys näille edellä kuvatuille ajatusvirheille on, että vaikka Lorentz-muunnoksessa koordinaattiaika ja -paikka sekoittuvat, niin on ollut vaikea luopua niistä aikaa ja paikkaa kuvaavina suureina. On pidetty kiinni siitä, että kello mittaa edelleen koordinaattiaikaa ja metrinmitta koordinaattipaikkaa, vaikka kukaan ei oikeasti tiedä, mitä tapahtuu suurilla nopeuksilla ja kaukana lähtöpisteestä.

Toinen tärkeä johtopäätös edellä esitetystä on, että lokaaleissa differentiaalisissa koordinaatioissa johdetut tulokset eivät ole suoraan laajennettavissa globaaleihin koordinaatioihin. Tämä tulee vastaan, kun kinemaattisista tarkasteluista siirrytään dynaamisiin ilmiöihin eli voimien tuottamiin kiihtyviin liikkeisiin. Differentiaaliset tarkastelutkin tulisi suorittaa alkuperäisissä koordinaatioissa, jotta niillä olisi laajempaa merkitystä.

Olen kirjoittanut tuloksistani yksityiskohtaisen matemaattisesti perusteellisen raportin (Ylinen 2013) ja lähetin sen keväällä 2013 julkaitavaksi teoreettisen fysiikan lehteen, joka lupaa,

että kaikki käsikirjoitukset arvioidaan. Fysiikkokunnan suhtautumista tällaisiin oikean opin vastaisiin tuloksiin kuvastaa se, että käsikirjoituksen vastaanottamisen jälkeen en ole saanut minkäänlaista vastausta lukuisiin tiedusteluihini arvioinnin edistymisestä enkä edes tietoa mahdollisista virheistä. Tämä on merkillistä, koska kirjoitukseni itse asiassa vain vahvistaa suppeaa suhteellisuusteoriaa poistamalla siitä ristiriitaisuudet.

Lähteet

- Enqvist, Kari (2011), *Johdatus suhteellisuusteoriaan*. 2. korjattu painos. URSA.
- Enqvist, Kari (2013), Suhteellisuusteoriaa ja ääri-ilmiöitä, *Tieteessä tapahtuu* 4, 55–59.
- Himanka, Juha (2013), Akateemisen keskustelun ääri-ilmiöitä – suositut luonnontieteilijät filosofeina, *Tieteessä tapahtuu* 3, 27–33.
- Natural Philosophy Alliance (2010). An Open Letter to the Physics Community – 11/14/10.
- The Twin Paradox. <http://twinparadox.net/> [26.1. 2011].
- Räsänen, Syksy (2013), Suhteellisuusteorian liepeillä, *Tieteessä tapahtuu* 4, 60–63.
- Ylinen, Raimo (2013), *Correct time dilation and length contraction; twin paradox at last resolved*, manuscript submitted for publication.

Kirjoittaja on Oulun yliopiston automaatiotekniikan professori (emeritus).