

# Ajan ja avaruuden käsitteet ovat sekä filosofiaa että fysiikkaa

■ Matias Slavov

Tässä lehdessä on käyty kiivasta ja provokatiivis-takin keskustelua suhteellisuusteoriasta. Edellisessä numerossa Juha Himanka (*Tieteessä tapahtuu* 3/2014) väittää, että Albert Einsteinin suhteellisuusteoria, erotuksena luonnontieteestä, on yksinomaan filosofiaa. Se ylittää hänen mukaansa luonnontieteen rajat pyrkiessään yleispätevään esitykseen todellisuudesta, ajasta ja avaruudesta. Hän myös pitää sitä fenomenologiseen tieteenkriikkiinsä vedoten ongelmallisena. Toisaalta Kari Enqvist ja Syksy Räsänen (*Tieteessä tapahtuu* 3/2014) ovat korostaneet suhteellisuusteorian kiistatonta empiiristä tukea sekä siihen pohjaavan teknologian toimivuutta osoituksena teorian paikkansapitävyydestä.

Esitän tässä kirjoitelmassani, että Einsteinin suppean suhteellisuusteorian ajan ja avaruuden käsitteet ovat sekä filosofiaa että fysiikkaa.<sup>1</sup> Tässä mielessä edustan välittävää kantaa filosofian ja fysiikan välillä. Suhtaudun kuitenkin Himangan fenomenologiseen tiedekriikkiin varauksella. Himanka on oikeassa korostaessaan filosofian relevanssia tieteelle, mutta hänen analyysinsä Einsteinin kannoista on tieteen historian näkökulmasta puutteellisesti perusteltu. Hän ei käsittele suhteellisuusteoriaa koskevissa kirjoituksissaan (*Tieteessä tapahtuu* 3/2013, 3/2014) lainkaan suppean suhteellisuusteorian taustaa 1800-luvun sähkömagnetismissa, vaikka Einsteinin vuoden 1905 alkuperäisjulkaisun keskeinen argumentti koskee liikkuvien kappa-leiden sähködynamiikkaa.

1 Käsittelemässä kirjoitelmassa vain suppeaa suhteellisuusteoriaa. Pätevyyteni ei riitä lähimainkaan yleisen suhteellisuusteorian käsittelyyn.

Itse näen, että filosofialla on ollut tieteenhistoriallisesti fysiikan kannalta tärkeä, rakentava rooli. Ajan ja avaruuden käsitteet ovat filosofisia: niihin liittyy esimerkiksi tietoteoreettisia (tietämiseen ja oikeuttamiseen), semanttisia (merkitykseen ja viittaamiseen) ja ontologisia (olemisen tapaan liittyviä) kysymyksiä. Ne eivät kuitenkaan ole pelkästään filosofiaa: aika ja avaruus fysikaalisina käsitteinä ovat matematisoivissa ja empiirisesti testattavissa. Fysiikan teorioiden pohjalta rakennettu teknologia on osoitus niiden likimääräisestä paikkansapitävyydestä. Ajasta ja avaruudesta puhuttaessa on mielekkäämpää ymmärtää filosofia ja fysiikka quinelaisittain jatkumona kuin jyrkästi kahtena eri asiana.

## Suppean suhteellisuusteorian tausta

James Clerk Maxwellin yhtälöistä seuraa, että sähkömagneettiset aallot liikkuvat kertoimen  $v_{em} = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$  mukaisesti, jossa  $v_{em}$  merkitsee sähkömagneettisten aaltojen nopeutta,  $\epsilon_0$  on permittiivisyysvakio ja  $\mu_0$  on permeabiliteettivakio (Cushing 1998, 196). Friedrich Kohlrausch ja Wilhelm Eduard Weber olivat mitanneet edellisten sähköisten ja magneettisten vakioiden arvot, joiden pohjalta Maxwell pystyi laskemaan sähkömagneettisten aaltojen nopeuden. Hän sai tulokseksi 310 740 km/s. Tämä vastasi likimain Hippolyte Fizeaun optisen kokeen tulosta, 314 850 km/s (Maxwell 1965a, 499–500). Tämän analogian perusteella Maxwell teki teoksessaan ”Voiman fysikaalisista viivoista” seuraavan epäsuoran päätelmän:

Poikkisuuntaisten lainehdintojen nopeus hypoteettisessa välittäjäaineessa, laskettuna Kohlrauschin ja Weberin sähkömagneettisista kokeista, vastaa lähes täsmällisesti valoaltojen nopeutta Fizeaun kokeessa. Emme voi välttyä päätel-

mältä, että valo koostuu poikkisuuntaisista lainehdinnoista siinä samassa välittäjäaineessa, joka on syynä sähköisiin ja magneettisiin ilmiöihin (sama, 500).

Maxwellilla oli tiettyjä varauksia eetteri-hypoteesin suhteen (ks. Harman 1982, 93–94), mutta hän uskoi, että sähkömagneettiset aallot liikkuvat eetterissä. Tämä oli luonteva oletus: yleensä aallot edellyttävät välittäjäaineen, jossa ne ”lainehtivat”. Vesiaaltoja ei voi olla olemassa ilman vettä; ääniaaltoja ei voi olla olemassa ilman niitä välittävää fluidia tai materiaa; ”köysiaaltoja” ei voi olla olemassa ilman värähtelevää köyttä. Maxwell epäili, etteivät gravitaatio, sähkö- ja magneettiset voimat voi vaikuttaa etäältä ilman välittäjäainetta, kokonaan tyhjässä avaruudessa (Maxwell 1965c, 311). Eetteri tarjosi myös materiaalisen substanssin, jossa sähkömagneettisen kentän energia sijaisi (Harman 1982, 94–95). Vaikka tämä oli hypoteettista ja epäsuoraa päättelyä (Heinrich Herz osoitti Maxwellin kuoleman jälkeen 1880-luvulla radioaaltojen avulla sähkömagneettisten aaltojen liikku-  
van valon nopeudella [Knight 2008, 1062]), Maxwell (1965b, 528) esitti, että ”olemme pakotettuja myöntämään, että valon lainehdinnat ovat eetterimäisen substanssin lainehtimista.”<sup>2</sup>

Yleisesti ajatellaan, että Michelsonin–Morleyn koe antoi eetteri-hypoteesille ratkaisevan kuoliniskun. Suppean suhteellisuusteorian alkuperäisartikkelissaan ”Liikkuvien kappaleiden sähködynamiikasta” (*Annalen der Physik* 17 (10): 891–921), Einstein ei yksiselitteisesti mainitse tätä nyt kuuluisaksi tullutta koetta. Hän viittaa lyhyesti ”epäonnistuneisiin yrityksiin löytää minkäänlaista Maan liikettä suhteessa ’valon välittäjäaineeseen’” (Einstein 1923, 37). Ei ole selvää, viittaako hän tässä nimenomaan Michelsonin–Morleyn nollatulokokeeseen, vai joihinkin muihin olennaisiin kokeisiin, kuten Troutonin–Noblen tai Morleyn ja Millerin kokeisiin. Pikemminkin Einsteinin argumentti koskee Faradayn lakia sähkömagneettisesti induktios-  
ta (ks. Einstein 2002). Einstein oli hahmotellut

2 Seikkaperäisempi selvitys Maxwellin eetteri-käsityksestä löytyy hänen ”Ether”-artikkelistaan, *Encyclopædia Britannica* (1878).

sähködynamiikkaan liittyviä ajatuskokeita jo vuodesta 1895 lähtien (ks. Einstein 1987, 4–6).

Argumentti, jonka Einstein esittää artikkelinsa ensimmäisessä kappaleessa, perustuu ajatuskokeelle magneetista ja kelasta liikkumattomassa eetterissä. Eetteri-hypoteesi mahdollistaa eron tekemisen sen välillä, onko magneetti liikkeessä vai levossa eetterin suhteen. Tämän hypoteesin mukaan magneetin liikkueessa eetterin suhteen sähkökenttä indusoituu magneetin ympärille eetteriin sen liikkeestä johtuen. Samaan aikaan kuitenkin kela liikkuu magneetin magneettikentän suhteen. Tuloksena pitäisi ilmetä vastakkainen ja yhtä suuri sähkökenttä – ”vastakkainen ja yhtä suuri” verrattuna magneetin eetteriin indusoiman sähkökentän suhteen – kelaan, sillä kelan varaukset kokevat magneettikentän aiheuttaman Lorentz-voiman. Tämä johtaisi kuitenkin epäsymmetriaan, jonka voi kvantitatiivisesti ilmaista seuraavasti:

$$\vec{E}_{tot} = \vec{E} + (-\vec{E}) = 0,$$

jossa  $\vec{E}$  merkitsee sähkökenttää. Jos näin olisi, kelan varaukset eivät liikkuisi, ja mitään sähkövirtaa ei saataisi mitattua. (Cushing 1998, 229–31, Norton 2010a, 363, 2014, 18–19, Weinstein 2012, alaviite 44.) Kuten Einstein kuitenkin huomauttaa itse artikkelinsa ensimmäisessä lauseessa: ”Kun sähködynamiikkaa – niin kuin se nykyään yleensä ymmärretään – sovelletaan liikkuviin kappaleisiin, ajaudutaan epäsymmetrioihin, jotka eivät esiinny ilmiöissä” (Einstein 1923, 37).

Eetteri-perusteinen sähködynamiikka käsitti magneetti- ja sähkökentät absoluuttisiksi määreiksi (Norton 2010a, 364). Einstein kuitenkin vetoaa Faradayn lakiin, ja esittää, että havaittavien asiantilojen (mitä virtamittari näyttää) kannalta magneetin ja kelan liikkeet voi erottaa vain suhteellisesti:

Ottakaamme, esimerkiksi, vastavuoroinen sähködynaaminen magneetin ja kelan liike. Havaittava ilmiö [virtamittarin lukema] riippuu tässä pelkästään kelan ja magneetin suhteellisesta liikkeestä, siinä missä vakiintunut tapa tekee jyrkän rajanvedon kahden tapauksen välille, jossa jompikumpi näistä kappaleista on liikkeessä (Einstein 1923, 37).

Jos liikkuvan kappaleen, kelan tai magneetin, nopeusvektori on sama, virtamittarin lukema

on sama molemmissa tapauksissa.<sup>3</sup> Ainoa keino päästä eroon maxwellilaisen sähködynamiikan, joka *olettaessaan* etterin on Faradayn koetuloksen vastainen, anomaliasta on luopua eetteristä, ja hyväksyä, että sähkömagneettiset aallot voivat liikkua tyhjiössä ilman välittäjäainetta, ”eikä pohtia liikaa tämän väitteen merkitystä” (Einstein, Infeld 1960, 153). Näin Einstein luopui sähkö- ja magneettikentän sekä ajan ja avaruuden, joita yhtä lailla pidettiin tuohon aikaan absoluuttisina määreinä, absoluuttisesta tulkinnasta. Ne ovat Lorentz-kovariantteja. Tämä pelasti suppean suhteellisuusteorian kuuluisat kaksi peruspostulaattia.

### Einsteinin filosofiasta

Vaikka suppea suhteellisuusteoria on seurausta 1800-luvun sähködynaamisesta fysiikasta, on sen muotoutumiseen vaikuttavassa prosessissa myös tärkeitä filosofisia tekijöitä. Kuhnlaisittain ilmaistuna, Einstein esitti fysiikkaan uuden viitekehityksen, jota ennakoiti laajamittainen filosofian lukeminen ja siitä keskusteleminen (ks. Kuhn 1996, 88). 1900-luvun alkuvuosina Bernissä Einstein luki ja kävi keskustelua muun muassa David Humen, Ernst Machin, Henri Poincarén, Spinozan, Immanuel Kantin ja Richard Averaniuksen teoksista (Stachel 2002, 125).

Suhteellisuusteoria ei syntynyt pelkästään ”pinoamalla” fysikaalisia ja teknisiä tosiasioita jo ennestään tunnettujen tosiasioiden päälle. Täsmällisempää on sanoa, että tämä edellytti

3 Tämä voidaan osoittaa kvantitatiivisesti kirjoittamalla Faradayn laki magneettisen vuon tiheyden muutoksena,  $\epsilon = \frac{|\partial \vec{B}|}{\partial t}$ , jossa  $\epsilon$  on sähkömotorinen voima, kelaan indusoituva jännite,  $\Phi_B$  on magneettisen vuon tiheys  $\vec{B} \cdot \vec{A}$ , jossa  $\vec{B}$  magneetin aiheuttama magneettikenttä,  $\vec{A}$  on kelan pinta-ala, ja induoitu virta  $I_{\text{indusoitu}}$  on yhtä kuin  $\frac{\epsilon}{R}$ , jossa  $R$  on resistanssi. Täten lause (1) kuvaa tilannetta, jossa kela on resistanssi. Täten lause (1) kuvaa tilannetta, jossa kela on paikallaan, ja lause (2) kuvaa tilannetta, jossa kela liikkuu ja magneetti on paikallaan:

$$(1) I_{\text{indusoitu}} = \frac{\vec{A} \cdot \frac{d\vec{B}}{dt}}{R}$$

$$(2) I_{\text{indusoitu}} = \frac{\vec{B} \cdot \frac{d\vec{A}}{dt}}{R}$$

Jos liikkuvan kappaleen nopeusvektori pysyy samana, lauseet (1) ja (2) antavat saman arvon.

tiettyjen keskeisten fysiikan käsitteiden uudelleen arviointia. Einstein teki myös perustavaa filosofista arviointia siitä, mitä käsitteet ovat, miten me ne saavutamme ja miten me ne voimme oikeuttaa. Etenkin artikkelissaan ”Fysiikka ja todellisuus” (ks. 1981, 283) hän ilmaisee selkeästi filosofian tärkeyden käsitteiden tietoteorian suhteen. Einsteinin kunniaksi toimitetun, filosofian nobeliksikin kutsutun *Library of Living Philosophers* -niteen ”Albert Einstein. Filosofi-tieteilijä” (1949, 683–84) yhteenvedossa Einsteinin puolustus tieteen ja tietoteorian molemminpuolisesta suhteesta on yksiselitteinen:

Tieteen ja tietoteorian molemminpuolinen suhde on huomattava. Ne ovat toisistaan riippuvaisia. Tietoteoria, joka ei ole yhteydessä tieteeseen, on tyhjä hanke. Tiede ilman tietoteoriaa – siinä missä se on edes kuviteltavissa – on alkeellista ja sekavaa.

Vaikka Einstein ei pitänyt itseään ”systemaattisena tietoteoreetikkona” vaan ”epätunnollisena opportunistina”, voidaan hänen filosofisista kirjoituksistaan löytää empiristinen teoria käsitteistä:

Fundamentaalin periaate on, että fysikaalisen käsitteen oikeutus on yksinomaan sen selvässä ja yksiselitteisessä suhteessa tosiasiaan, jonka voi havaita (”Suhteellisuusteoriasta” 1981, 221).

... käsitteen merkitys ja oikeutus perustuu yksinomaan siihen aistivaikutelmien kokonaisuuteen, jonka me siihen liitämme (”Fysiikka ja todellisuus” 1981, 270).

Tiede käyttää alkeellisten käsitteiden kokonaisuutta, s.o. käsitteitä jotka ovat suoraan liitettävissä aistikokemukseen (sama, 286).

Kaikki ajattelu saa sisältönsä vain suhteessa aistisisältöihin (”Huomioita Bertrand Russellin tietoteoriasta”, 1981, 33).

Käsitteet saavat merkityksensä, s.o. sisältönsä vain niiden suhteesta aistikokemuksiin (”Omaelämäkerralliset muistiinpanot”, 1949, 13).

Kuten John D. Norton (2010a) on kattavasti artikkelissaan osoittanut, Einstein hyödynsi empirististä teoriaansa käsitteistä (jonka hän omaksui Humen ja Machin filosofioista)<sup>4</sup> argu-

4 Toisaalta on huomioitava, että Einsteinin empirismi oli maltillisempaa kuin esimerkiksi Humen jyrkkä empirismi. Etenkin konventionalismi oli Einsteinille tärkeää. Ks. Howard (1996, 48).

mentissaan samanaikaisuuden suhteellisuuden puolesta. Kun samanaikaisuus määritellään empiirisesti, esimerkiksi valonvälähdyksinä kahdessa avaruudellisesti toisiinsa nähden etäällä olevassa peilissä, kahden ei-kausalisesti toisiinsa liittyvän tapahtuman aikajärjestys voi olla toisistaan eriävä eri inertiaalikoordinaatioissa. Täten newtonilaista absoluuttista ajan virtaa ei ilmene missään koordinaateista riippumattomassa mielessä; kahden havaitsijan kellot eivät välttämättä ole synkroniassa (Norton 2010b).

Einsteinin empirismi käsitteiden suhteen on myös suoraan yhteydessä hänen relationistiseen kantaansa ajasta ja avaruudesta. Hän suhtautui kriittisesti Isaac Newtonin ja Kantin ajan ja avaruuden filosofioihin. Newtonin *Principiassa* (1999, 408–09) aika ja avaruus ovat todellisuuden sinänsä rakenne, joiden olemassaolo on riippumatonta fyysisten kappaleiden tai tapahtumien olemassaolosta. Kantin *Puh-taan järjen kritiikissä* (2013, 69–75) aika ja avaruus ovat kaiken mahdollisen kokemuksen *a priori* välttämättömiä ennakkoehtoja. Einsteinin suppeaan suhteellisuusteoriaan liittyvässä filosofiassa aika ja avaruus eivät ole absoluuttisia, eikä niillä ole *a priori* perustaa. Ne ovat empiiriä, fysikaalisiin objekteihin viittaavia käsitteitä.

Fyysisten kappaleiden havaittavat ja suhteelliset ominaisuudet, kuten ulottuvuus, välimatka, liike, peräkkäisyys ja samanaikaisuus, tuottavat ajan ja avaruuden käsitteiden sisällön. Avaruus on yksinkertaisesti viittauksen kohteena olevan kappaleen ulottuvuuden tai kahden kappaleen välisen etäisyyden mittaamista (ks. Einstein 2003), vaikkapa mittanauhalla. Aika on viittauksen kohteena olevan kappaleen ja suljetun jaksollisen järjestelmän samanaikaisuutta koskeva arvostelma, esimerkiksi laiturille saapuvan junan ja rannekelon lukeman välisen samanaikaisuuden toteaminen (ks. Einstein 1923, Jammer 2006). Einstein (1981, 292; 2001, x) tiivistää empiristisen ja relationistisen käsityksensä seuraavasti: ajan ja avaruuden olemassaolo ei ole ”riippumatonta niiden empiirisestä perustasta [...] aika-avaruus ei ole välttämättä jotain sellaista, jolle voi osoittaa fysikaalisen todellisuuden aktuaalisista objekteista riippumattoman olemassaolon”.

Käsitteiden tietoteoriassa Einstein voidaan sijoittaa samaan filosofian empirismin perinteeseen kuin Hume, Mach ja konventionalismia kannattanut looginen positivismi. Ajan ja avaruuden ontologiaa koskien hänet voidaan sijoittaa samaan relationistiseen perinteeseen kuin René Descartes, G.W. Leibniz, George Berkeley, Hume ja Mach.

## Filosofiaa ja fysiikkaa

Himanka on oikeassa siinä, että Einsteinin suppeaan suhteellisuusteoriaan, niin sen muotoutumiseen, oikeutukseen kuin vastaanottoonkin, liittyy filosofiaa. Tämä on tieteen ja filosofian historiallinen tosiasia. Hän on kuitenkin harhapolulla vihjattessaan, että Einsteinin teoria on pelkästään filosofinen. Himanka (*Tieteessä tapahtuu* 3/14) kirjoittaa seuraavasti:

Suhteellisuusteoriallaan Albert Einstein ylitti rohkeasti luonnontieteen rajat ja pyrki yleispätevään esitykseen todellisuuden perusjäsenyksistä, ajasta ja tilasta.<sup>5</sup> Filosofisena, yleisesti todellisuutta koskevana teoriana suhteellisuusteorian pätevyys on sekä loogisesti että fenomenologisesti ongelmallinen. [...] Siirtyminen filosofian puolelle oli Einsteinin ratkaisu, ja se tekee teoriasta Einsteinin luomuksen.

Yllä olevasta Himangan sitaatista voidaan erottaa kolme väitettä: 1) Einstein ylitti suhteellisuusteoriallaan luonnontieteen rajat ja pyrki yleispätevään esitykseen todellisuuden perusjäsenyksistä, ajasta ja avaruudesta, 2) hänen teoriasensa on filosofisesti, fenomenologisesti ja loogisesti ongelmallinen ja 3) suhteellisuusteoria on nimenomaan Einsteinin henkilökohtainen luomus. Mielestäni nämä kaikki kolme väitettä, jos olen ymmärtänyt niiden merkitykset oikein ja jos niiden katsotaan koskevan suppeaa suhteellisuusteoriaa, ovat epäuskottavia.

Ensiksi, Einstein ei suppeassa suhteellisuusteoriassaan ylitä empiirisen luonnontieteen rajoja. Ajan ja avaruuden käsitteet ovat opera-

5 Newtonin *Principiassa* esittämiä absoluuttisen ajan ja avaruuden käsitteitä voisi ehkä luonnehtia ”luonnontieteen rajat ylittäväksi” metafysiikaksi ja teologiaksi. Tämäkin luonnehdinta olisi kuitenkin valinnainen. Newton määritteli absoluuttisen ajan ja avaruuden kehystääkseen luonnonlakinsa, ja osoittaakseen voiman ja kiihtyvyyden käsitteiden merkitykset (ks. DiSalle 2002, 2006 ja Maudlin 2012).

tionalisoitavissa: niille voidaan tiettyjen sopimuksien, määritelmien ja oletuksien avulla muotoilla mitattavat vastineet. Niitä voi yksinkertaisesti mitata referenssi-kappaleiden avulla. Millä tavalla sekuntikellon tai mittatikun käyttö on pyrkimystä ”yleispätevään esitykseen todellisuuden perusjäsenyksistä”? Pikemmin kysymyksessä ovat tarkkojen määritelmien rajaamat, empiirisesti tutkittavissa olevat ilmiöt, siis aika ja avaruus. Jos ja kun Maxwellin yhtälöt ovat luonnonlakeja, tällä tavalla määritellyt aika ja avaruus eivät voi olla absoluuttisia. Einstein ei ”rohkeasti ylitä luonnontieteen rajoja”, vaan pyrkii osoittamaan, että sähkömagnetismin ja optiikan lait (ja tietysti esimerkiksi Newtonin mekaniikan lait) noudattavat suhteellisuuden periaatetta.

Toiseksi, on kyseenalaista pitää suppeaa suhteellisuusteoriaa täysin meille ilmenevän arki-kokemuksemme vastaisena, ja täten jotenkin filosofisesti ja loogisesti ongelmallisena. Voidaanhan ajan ja avaruuden ”suhteellisuutta” verratta esimerkiksi meille kaikille tuttuun Doppler-ilmiöön: ambulanssikuski kuulee ambulanssin sireenin äänen taajuuden eri taajuudella kuin sireeniä lähenevä tai siitä loittoneva havaitsija. Miksi äänen taajuuden ”suhteellisuus” havaitsijoiden liiketiloihin nähden olisi jotenkin vähemmän kummallista kuin tiettyjen kappaleiden pituuden ja ajan ”suhteellisuus” havaitsijoiden liiketiloihin nähden? Sama pätee myös sähkö- ja magneettikenttien sekä valoaaltojen aallonpituuksien ilmentymisien ”suhteellisuuteen”. On myös huomattava, että teoreettisesti tarkasteltuna näitä ilmiöitä koskevat muunnosyhtälöt ovat samankaltaisia.

Kolmanneksi, suppea suhteellisuusteoria ei ole puhtaasti Einsteinin henkilökohtainen luomus, vaan seurausta Faradayn, Maxwellin ja Lorentzin (sekä monien muiden fysiikan tutkijoiden) kehittämästä sähkömagnetismita. Himanka (*Tieteessä tapahtuu* 3/13, 3/14) ei lainkaan huomioi tätä tieteenhistoriallista taustaa, vaan käyttää aineistonaan lähinnä fysiikan populaariteoksia ja -artikkeleita sekä sanomalehtikirjoituksia. Historiallisessa tutkimuksessa manipuloiva aineisto on toki hyvä asia, ja sen

pohjalta voi tehdä erilaisia tulkintoja. Nähdäkse- ni uskottava tieteen ja filosofian historian tutkimus edellyttää välttämättä alkuperäisjulkaisujen tutkimista sekä niissä esiintyvien argumenttien asettamista oikeisiin asiayhteyksiin.

Himanka (*Tieteessä tapahtuu* 3/14, 50–51) kiinnittää huomiota siihen, että fysiikka ei ole antanut tyydyttävää vastausta ajan kulun ongelmaan. Einsteinin suppean suhteellisuusteorian tapauksessa on kuitenkin katsottava tarkkaan, millä tavalla Einstein määrittelee esimerkiksi samanaikaisuuden ja peräkkäisyyden. Hänen empiristinen määritelmänsä koskee nimenomaan kahden avaruudellisesti havait sijasta yhtä kaukana olevan, toisiinsa ilman syy-suhteita liittyvän tapahtuman aikajärjestystä (ks. Einstein 2001, luku 9). Esimerkki absoluuttista samanaikaisuutta vastaan on muotoiltu yksiselitteisesti inertiaalikoordinaatistojen avulla. Siinä ei puhuta mitään voiman aiheuttamasta kiihtyvyydestä tai kausaalisuudesta; tarkastelu on kinemaattista. Einstein ei vihjaa mitään siitä, että esimerkiksi heitetty kivi ja ikkunan rikkoutuminen olisivat syy-seuraus-suhteena ajallisesti käännettävissä. Toiseksi voidaan huomioida, että (ainakin makroskooppista) ”ajan nuolta” on perusteltu esimerkiksi lämpöopin toisen pääsäännön avulla. Tilastolliset ja todennäköisyyteen pohjaavat tarkastelut osoittavat, että eriste-tyssä systeemissä epäjärjestys pysyy samana tai kasvaa. Einsteinin suppeaan suhteellisuusteoriaan liittyvät sopimukselliset määrittelyt eivät kumoa kausaalisia tai termodynaamisia ajan teorioita.<sup>6</sup>

On totta, että ihmisellä on tietty kokemus ajan kulusta. Tätä henkilökohtaista, laadullista kokemusta eivät luonnontieteelliset teoriat hetkauta, kuten Himanka (*Tieteessä tapahtuu* 3/14, 50–51) esittää. Toisaalta, kuka olisi niin väittänytään? Einstein ei puhu suppean suhteellisuusteorian ajan fysiikassaan ja filosofiassaan tästä. Hänen teorian- sa ei ole millään tavalla hyökkäys ihmisen psykologista tai fenomenologista aikakäsitystä vastaan.

6 Ville Virtanen (2013) on käsitellyt kausaalisuutta ja termodynamiikkaan pohjaavaa ajan filosofiaa pro gradu -työssään. Siinä yhdistyvät mielestäni hyvin sekä filosofia että fysiikka.

Pidän Himangan kirjoituksen ansiona sitä, että hän huomioi filosofian relevanssin tieteelle. Esimerkiksi yliopistofysiikan oppikirjat (kuten suhteellisuusteorian tapauksessa Young ja Freeman 2004, luku 37; Knight 2008, luku 37) eivät useinkaan käsittele fysiikan filosofisia puolia.<sup>7</sup> Samaa voidaan sanoa monista populaariteollisista tv-dokumenteista. Toisaalta hänen viime vuosina *Tieteessä Tapahtuu* -lehteen kirjoittamansa provokatiiviset puheenvuorot eivät paranna filosofian asemaa tieteen yleisesityksissä (tai sen julkisuuskuvaa ylipäätään). Tilanne on päinvastainen: Enqvistin ja Räsänen (*Tieteessä tapahtuu* 3/14) arvio Himangan suhteellisuusteorian fenomenologisesta kritiikistä on, että se voidaan sijoittaa osaksi yleistä tiededenialismia, kuten näennäistieteellinen älykkään suunnittelun liikkeen evoluutioteorian kritiikki tai öljyteollisuuden rahoittamien puolueellisten ilmastotutkijoiden ilmastonmuutoskielto.

Himanka esittää pyrkivänsä filosofian ja luonnontieteen väliseen vuoropuheluun. Mielestäni paras lähtökohta tälle tavoitteelle ei kuitenkaan ole jo lähtökohtaisesti varsin tiedekriittinen fenomenologia, ainakaan siinä mielessä, miten hän sen muotoilee. Toisaalta myöskään Enqvistin (1998) fysikaalinen reduktionismi, jossa filosofian ongelmat palautuvat täysin fysiikkaan, on mielestäni puutteellisesti perusteltu.

Nähdäkseni Willard van Orman Quinen muotoilema naturalismi kunnioittaa paremmin sekä filosofiaa että tiedettä. Quinen näkemyksen mukaan filosofia ja tiede ovat jatkumossa. Hän kuvaa filosofian tehtävää seuraavasti:

Filosofia sijaitsee tieteen abstraktissa ja teoreettisessa päässä [...] Filosofia on abstraktia olemalla hyvin yleistä [...] filosofi haluaa tietää, yleisemmin käsittein, minkälaisia asioita kaiken kaikkiaan on olemassa [...] Filosofia etsii koko maailmanjärjestelmän yleisluontoista hahmotelmaa (Raatikainen 2010).<sup>8</sup>

7 Toisaalta on huomattava, että luonnontieteen oppikirjojen presentistinen historiakäsitys on pedagogisesti perusteltu: Newtonin mekaniikan opiskelu *Principian* avulla olisi täysin järjetöntä.

8 Kaikki Quinen filosofiaa koskevat viittaukset perustuvat Panu Raatikaisen (2010) kirjoitukseen. Olen siteerannut suoraan Raatikaisen suomennoksia.

Quinen naturalismia seuraten meidän ei ole kuitenkaan tarve sitoutua tiettyyn ”ensimmäiseen filosofiaan”, jolla olisi tieteen ylittävä auktoriteetti. Hän kirjoittaa:

Naturalismi on luopumista tiedettä edeltävän ensimmäisen filosofian tavoittelemisesta. Se näkee tieteen todellisuuden tutkimuksena, toki erehtyvänä ja korjattavissa olevana, mutta ei tilivelvollisena millekään tieteen yläpuolella olevalle tuomioistuimelle, eikä minkään havainnon ja hypoteettis-deduktiivisen menetelmän yli menevää oikeutusta kampaavana. (Sama.)

Ajan ja avaruuden käsitteet ovat malliesimerkki harmaasta alueesta, jonka sekä filosofia että fysiikka peittävät. On vaikea jyrkästi erottaa, onko kysymys edellisestä vai jälkimmäisestä. Filosofia ja fysiikka muodostavat jatkumon. Näin oli myös Einstein suppean suhteellisuusteorian tapauksessa. Teorian taustalla on tärkeitä filosofisia tekijöitä, etenkin käsitteiden tietoteoriaan ja semantiikkaan sekä ajan ja avaruuden ontologiaan liittyvää pohdintaa. Hänen teoriasa ei ole kuitenkaan ”tilivelvollinen” millekään luonnontieteen rajat ylittävälle ”ensimmäiselle filosofialle”. Teoria on monin tavoin empiirisesti vahvennettu (ks. Enqvist ja Räsänen, *Tieteessä tapahtuu* 3/14), ja sen pohjalta laaditut ennusteet on mahdollista kumoutuvuus-kriteerin mukaisesti kumota.

Quine (2013, 3) totesi, että ”filosofi ja tieteilijä ovat samassa veneessä”. Tämä pitää paikkansa ainakin siinä tapauksessa, kun he tutkivat aikaa ja avaruutta.

## Kirjallisuutta

Cushing, James T. *Philosophical Concepts in Physics. The Historical Relation between Philosophy and Scientific Theories*. Cambridge University Press (1998).

DiSalle, Robert. ”Newton’s philosophical analysis of space and time.” Teoksessa I. Bernard Cohen ja G. E. Smith (toim.), *The Cambridge companion to Newton*, 33–56. Cambridge University Press (2002).

DiSalle, Robert. *Understanding space-time: The philosophical development of physics from Newton to Einstein*. Cambridge University Press (2006).

Einstein, Albert. ”On the Electrodynamics of Moving Bodies.” Käännös alkuperäistekstistä ”Zur Elektrodynamik bewegter Körper,” *Annalen der Physik*, 17, 1905. Teoksessa Lorentz, Kondrad ym.: *The Principle of Relativity. A Collection of Original Memoirs on the Special and General Theory of Relativity*, 35–65. Kääntäneet W.

- Perret ja G.B. Jeffery. Dover Publications, Inc. (1923).
- Einstein, Albert ja Infeld, Leopold. *The Evolution of Physics, from Early Concepts to Relativity and Quanta*. Simon and Schuster (1960).
- Einstein, Albert. *Ideas and Opinions*. Dell Publishing (1981).
- Einstein, Albert. *The Collected Papers of Albert Einstein, Volume 1: The Early Years, 1879–1902*. Toimittaneet ja kääntäneet Anna Beck ja Peter Havas, Princeton University Press (1987).
- Einstein, Albert. ”Fundamental Ideas and Methods of the theory of Relativity, Presented in Their Development”. Teoksessa Schulmann, Robert, Kox, A.J., Janssen, Michel, ja Illy, József (toim.) *The Collected Papers of Albert Einstein, Volume 7: The Berlin Years: Writings, 1918–1921*. Princeton: Princeton University Press (2002).
- Einstein, Albert. *Relativity. The Special and General Theory*. Kääntänyt Robert W. Lawson. Routledge (2001).
- Einstein, Albert. *The Meaning of Relativity*. Lontoo: Routledge (2003).
- Enqvist, Kari. *Olemisen porteilla*. WSOY (1998).
- Enqvist, Kari ja Räsänen, Syksy. ”Denialismi, luonnontieteiden menestyksen oheisvahinko?” *Tieteessä tapahtuu* 3/2014.
- Harman, Peter, M. *Energy, Force and Matter: The Conceptual Development of Nineteenth-Century Physics*. Cambridge University Press (1982).
- Himanka, Juha. ”Akateemisen keskustelun ääri-ilmiöitä – suosittu luonnontieteilijät filosofeina”. *Tieteessä tapahtuu* 3/2013.
- Himanka, Juha. ”Suhteellisuusteoria on filosofiaa”. *Tieteessä tapahtuu* 3/2014.
- Howard, Don. ”Einstein, Kant, and the Origins of Logical Empiricism”. Teoksessa Salmon, Wesley ym. (toim.) *Language, Logic, and the Structure of Scientific Theories*, 45–105. Proceedings of the Carnap-Reichenbach Centennial, University of Konstanz, 21–24 May 1991. University of Pittsburgh Press; Universitätsverlag.
- Jammer, Max. *The Concepts of Simultaneity. From Antiquity to Einstein and Beyond*. Baltimore, The John Hopkins University Press (2006).
- Kant, Immanuel. *Puhtaan järjen kritiikki*. Gaudeamus (2013).
- Knight, Randal D. *Physics. For Scientists and Engineers. Second Edition*. Pearson (2008).
- Kuhn, Thomas. *The Structure of Scientific Revolutions*. The University of Chicago Press (1996).
- Maudlin, Tim. *Philosophy of Physics. Space and Time*. Princeton University Press (2012).
- Maxwell, James Clerk. ”Ether.” *Encyclopædia Britannica* Ninth Edition 8 (1878): 568–572.
- Maxwell, James Clerk. ”On Physical Lines of Force.” Teoksessa Niven, W. D. (toim.) *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Volume I, 451–513. Dover Publications, Inc (1965a).
- Maxwell, James Clerk. ”A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field.” Teoksessa Niven, W. D. (toim.) *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Volume I, 526–597. New York: Dover Publications, Inc (1965b).
- Maxwell, James Clerk. ”On Action at a Distance.” Teoksessa Niven, W. D. (toim.) *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Volume II, 311–23. New York: Dover Publications, Inc (1965c).
- Newton, Isaac. *Principia: The Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Kääntänyt I. Bernard Cohen ja Anne Whitman, avustanut Julia Budenz. University of California Press (1999).
- Norton, John D. ”How Hume and Mach Helped Einstein to Find Special Relativity.” Teoksessa Domski, Mary ym. *Discourse on a New Method. Reinvigorating the Marriage of History and Philosophy of Science*, 359–387. Open Court (2010a).
- Norton, John D. ”Philosophy in Einstein’s Science” Julkaimaton artikkeli, saatavilla osoitteesta [http://www.pitt.edu/~jdnorton/papers/Phil\\_in\\_Einstein.pdf](http://www.pitt.edu/~jdnorton/papers/Phil_in_Einstein.pdf), (2010b).
- Norton, John D. ”Einstein’s Special Theory of Relativity and the Problems in the Electrodynamics of Moving Bodies that Led him to it” Teoksessa Janssen, M. ym. *Cambridge Companion to Einstein*, 172–102. Cambridge University Press (2014).
- Quine, W.V.O. *Word and Object*. The MIT Press (2013).
- Raatikainen, Panu. ”Se paha naturalismi”. Teoksessa Rydenfelt ja Kovalainen (toim.) *Mitä on filosofia?* Helsinki: Gaudeamus (2010).
- Schilpp, Paul Arthur (toim.). *Albert Einstein. Philosopher-Scientist*. MJF Books (1949).
- Stachel, John. Einstein from ‘B’ to ‘Z’. *Einstein Studies* Volume 9. Birkhäuser (2002).
- Virtanen, Ville. ”Ajan nuoli. Tapahtumien aikajärjestys ja ajan suunta”. Pro gradu -työ, Tampereen yliopisto (2013)
- Weinstein, Galina. ”Einstein Chases a Light Beam”. Julkaimaton artikkeli, saatavilla osoitteesta: <http://arxiv.org/pdf/1204.1833>. Viitattu 09.05.2014.
- Young, Hugh D., Freedman, Roger A. *University Physics*. Volume 3. 11. painos. San Francisco: Pearson (2004).

**Kirjoittaja on Jyväskylän yliopiston filosofian tohtorikoulutettava.**

**Tieteessä tapahtuu -lehdessä käyty filosofien, fyysikoiden ja insinöörien keskustelu päätty tähän puheenvuoroon.**