

Einsteinin suhteellisuusteoria

Keijo Kajantie

Albert Einstein. *Erityisestä ja yleisestä suhteellisuusteoriasta yleistajuisesti*. Suomentanut ja kommentoinut Raimo Lehti. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa 2003. 564 s. Sid.

Teknillisen korkeakoulun matematiikan emeritusprofessori Raimo Lehti on tunnettu tuottelijana ja monisanaisena luonnontieteen historioitsijana. Nyt hän on saanut kirjoittaa minkä sielu sietää: Ursan kustantama teos Albert Einstein, *Erityisestä ja yleisestä suhteellisuusteoriasta yleistajuisesti*, sisältää 160 sivua käännettyä Einsteinin alkuperäistekstiä, ja 320 sivua Lehden kommentteja Einsteinin tekstiin ja Lehden kommentteja Lehden kommentteihin, kaikki runsailla alaviitteillä täydennettyinä. Lisäksi Einsteinin tekstit ovat osittain kommentteja ja selityksiä hänen omiin teksteihinsä.

Lehti on tehnyt tavattoman laajan työn pa-

neutumalla suureen määrään tutkimuksia ja kommentoimalla niitä ja niiden välisiä suhteita. Kirjan nimeksi olisikin mielestäni paremminkin sopinut "Raimo Lehti: Kommentteja ja selityksiä suhteellisuusteoriasta erityisesti liittyen Einsteinin yleistajuisiin artikkeleihin". Ehkä Ursa on ajatellut, että teos myy paremmin Einsteinin nimen alla.

Teos on rakenteeltaan niin sirpaleinen, että voimaperäinen toimitustyö olisi ollut hyväksi. Tällaista ei kyllä voi edellyttää Ursan toimittajalta, jolle seuran kunniajäsenen on antanut paksum käsikirjoituspinon – levykkeellä varmaan.

Miksi suhteellisuusteoriaa on seliteltävä?

Einstein on tieteen ikoni ja hänen suhteellisuusteoriansa seuraukset ovat klassillisen fysiikan kannalta paradoksaalisia ja vaativat perusteluja.

Näin oli erityisesti silloin kun teoria oli nuori eikä sen seurauksia oltu niin kiistatta kokeellisesti todennettu kuin nykyään. Tänäpäinhän ne muodostavat osan totuutta luonnosta ja sen laeista.

Ehkä on hyvä ensin palauttaa mieleen mistä suhteellisuusteorian ymmärtämisen ongelmat ovat lähtöisin. Erikoinen suhteellisuusteoria on äärellisen valon nopeuden fysiikkaa lisätynä sillä tosiasialla että mikään ei liiku valoa nopeammin. Newtonin mekaniikan intuition mukaan liikkumalla nopeammin ja nopeammin pääsee millä tahansa nopeudella liikkuvan oli-
 on ohitse. Luonto on kuitenkin rakennettu niin, että tämä ei yksinkertaisesti ole mahdollista, valon ohitse ei millään pääse. Kaikki paradoksit seuraavat tästä epäintuitiivisesta tosiasiasta. Niin kauan kun nopeudet ovat paljon valon nopeutta pienempiä, ei paradokseihin törmätä. Kun ilmiöissä esiintyvät nopeudet lähestyvät valon nopeutta, mikä on aivan arkipäivää mikrofysiikassa, on Newtonin mekaniikan intuitio korvattava erikoisen suhteellisuuden antamalla kuvalla ilmiömaailmasta. Tämä onkin varsin yksinkertainen eikä sen kvantitatiivinen ja perusteellinen ymmärtäminen vaadi kuin vähän tervettä järkeä ja neljän peruslaskutoimituksen ja neliöjuuren oton osaamista. Yliopistolla asia opetetaan ensimmäisen vuoden opiskelijoille.

Yleinen suhteellisuusteoria on monimutkaisuudeltaan aivan eri luokkaa kuin erikoinen. Jälkimmäinen tutkii liikkeen kinematiikkaa, eri liiketilöjen vertaamista toisiinsa. Edellinen taas on dynamiikkaa, se kuvaa painovoimaa, joka aiheuttaa liiketilat. Niin kauan kun painovoima on pieni, tulemme toimeen koulussa opitulla Newtonin painovoimalailla. Esimerkiksi Maan vetovoima on niin pieni, että yleisen suhteellisuusteorian efektejä on tavattoman vaikea nähdä. Sopiva asiaa kvantitatiivisesti luonnehtiva suure on pakonopeus Maan pinnalta. Tämähän on 11 km/s ja kun se on paljon valon nopeutta pienempi, sanomme, että Maan painovoimakenntä on pieni. Äärimmillään luonnossa pakonopeus on valon nopeus, ja tällöin kenttä on todella suuri: meillä on musta aukko. Vasta täällä on yleisen suhteellisuusteorian merkitys keskeinen ja mustien aukkojen tutkimus onkin ollut aivan keskeistä viime vuosikymmeninä. Yliopistolla asia opetetaan erikoistuville laudatur-opiskelijoille.

Selitykset ja kommentaarit

Voisi tietysti odottaa, että teorian keksijä oli

paras opettaja. Einstein onkin yrittänyt selittää ideoitaan useissa kirjoituksissa. Usein kyllä tuntuu siltä, että joku muu olisi selvinnyt tehtävästä paremmin. Einsteinin kirjoituksista Lehti on ensinnä suomennanut laajahkon kirjaisen *Erytyisestä ja yleisestä suhteellisuusteoriasta yleistajuisesti* vuodelta 1917. Lisäksi on suomennettu kolme lyhyempää yleistajuista artikkelia vuosilta 1919 (*London Times*), 1936 (*Journal of the Franklin Institute*) ja 1940 (*Science*). Yksi puhtaasti tieteellisenkin artikkelikin vuodelta 1917 on mukana. Tämä on siksi merkittävä, että siinä Einstein otti teoriaansa mukaan kosmologisen vakion.

Lehti soveltaa tässä kirjassa samaa menetelmää kuin kirjassaan *Galileo, Sidereus Nuncius*: mukana on alkuperäisteoksen käännös ja Lehden selityksiä siihen. Tästä selitysosasta Lehti saikin vuoden 2000 Tiedekirjapalkinnon. ”Loistokas dokumentti”, kirjoitti palkintotoimikunta. Alan ammattilaiselle Lehden kommenttien lukeminen on varsin antoisaa, kunhan jaksaa lehteillä kommentaarista selitykseen, selityksen alaviitteestä takaisin Einsteinin ja sieltä Einsteinin alaviitteen kautta takaisin Lehden kommentteihin. Lehti johdattaa lukijan käsitteiden syntyhetkille ja kuvaa tutkijoiden niistä käymää ajatusten vaihtoa ja harhapolkujen selvittelyä.

Lehden kommentteista tulee hyvin esille se kuinka ratkaisevan tärkeää Einsteinille oli hänen teoriasa kokeellinen todentaminen. Hän ei suinkaan ollut tyytyväinen teoriasa kiistatomaan matemaattiskäsitteelliseen eleganssiin, vaan sen tuli hänelle todella kuvata luontoa.

Todentaminen sitten tapahtuikin hyvin opettavaisella tavalla, auringonpimennysretkikunnat saivat mitattua Einsteinin ennusteen mukaiset siirtymät pimentyneen Auringon ympärillä olevien tähtien paikassa jättämällä pois ne siirtymät, jotka eivät sopineet yhteen ennusteen kanssa. Tässä tapauksessa usko teorian palkittiin menestyksellä.

Lehden lähestymistapa, kommentoida sekä Einsteinin tekstiä että omia selityksiään tiheillä alaviitteillä, on menestyksellinen niin kauan kun lukija saa näistä uusia ajatuksia. Toisaalta kommentit saattavat antaa aihetta hedelmättömään inttamiseen. Minäkin voisin monessa kohtaa ryhtyä väittämään Lehteä vastaan. Fysiikassa tai matematiikassa totuus on toki yksikäsitteinen ja tämä ei kävisi päinsä, mutta näiden soveltamisessa ja historiassa kyllä. Esimerkkinä voisi olla ajan ja paikan erilaisen luonteen selittely. Kun Einstein haluaa selittää Minkowskin neliulotteista maailmaa, jossa ajal-

la on eri rooli kuin paikalla – niin kuin todellisuudessa on – toteaa hän, että ajan tekeminen puhtaasti imaginaariseksi tekee maailmasta puhtaasti "Euklidisen", jossa aika ja paikka käyttäytyvät täydellisesti samalla lailla.

Lehti lyö tämän, ja syystäkin, monessa kohdassa täysin lyttyyn: "ei pidä paikkaansa", "tällainen hämärtää oleelliset erot", "ei voi pitää .. hyvänä keksintönä ja siitä [imaginaarinen aika] onkin jo .. luovuttu", "antaa aiheen sekaan-nukselle", "sekoittaa lukijaa enemmän kuin auttaa", "suuri sotku".

Ymmärrän kyllä missä yhteydessä näin voi sanoa (aikahan on täysin muuta kuin paikka!), mutta toisaalta inntäisin, että imaginaarinen aika on erittäin hyödyllinen käsite ja aivan tieteen arkipäivää nykyään. Ei se tietysti ole juuri se aika, jota kelloimme tikittävä, mutta tavattoman hyödyllinen apuväline kumminkin.

Suhteellisuusteoria Einsteinin jälkeen

Kuten Lehti tähdentää, kirja on 1900-luvun tieteen historiaa, ei oppikirja, eikä siinä ole uusimpia tieteen edistysaskelia. Kirjassa on paljon historiaa, mutta sen pääpaino on kuitenkin asioiden selittämässä, usein hyvinkin teknisellä tasolla. Einsteinin monimutkaiset kenttäyhtälötkin on tekstissä toistettu neljässä eri paikassa. Näin ollen ei millään voi välttää oppikirjamaista vaikutelmaa. Toisaalta kirja ei ole myöskään humanistinen historiateos. Tieteidenvälisyys on kannatettavaa, mutta tässä näen yhden väärinkäsityksen riskin ja yhden suuren puutteen.

Ensinnäkin selittelyjen monisanaisuus voi antaa aiheita siihen täysin perusteettomaan väärinkäsitykseen, että asiassa olisikin jotain hämää. Näinhän ei tänään lainkaan ole asian laita.

Vakavampaa on uusimpien tieteen edistysaskelten sivuuttaminen. Voi tietysti väittää, että nämä eivät ole tieteen historiaa, mutta mielestäni yleisen suhteellisuusteorian historia jää perin vajavaiseksi ilman näkemystä sen tavattomasta kehityksestä Einsteinin aikojen jälkeen.

Lehti kirjoittaa, että 1910-luvun ja mustan aukon ratkaisun jälkeen ei olisi annettu montakaan konkreettista käyttökelpoista ja täsmällistä ratkaisua Einsteinin gravitaatioyhtälöille, mahdollisesti kosmologisia malleja lukuun ottamatta. Tämä ei pidä paikkaansa.

Konkreettisenä esimerkkinä voisi ottaa gravitaatiolinssit, sen kuinka hyvin kaukana olevat

galaksit näkyvät meille moninkertaisina heijasteina välillä olevien galaksien vaikutuksesta. Kvantitatiiviselta kannalta heijasteet käyttäytyvät täsmälleen yleisen suhteellisuusteorian mukaisesti. Ennen vanhaan pidettiin "käyttökelpoisena" lähinnä analyttistä, joidenkin alkeisfunktioiden avulla kirjoitettavissa olevaa ratkaisua. Näiden määrä tietysti on rajoitettu, mutta tavattoman monimutkaisilla numeerisilla laskuilla konstruoitu ratkaisu on kyllä täysin käyttökelpoinen havaintoennusteiden tekemiseen. Perusesimerkinä voisi ajatella kahden neutronitähden törmäystä ja siitä lähtevän gravitaatiohäiriön laskemista. Tätä ei kyllä ikinä pystytä tekemään kuin numeerisesti, eikä tarvitsekaan.

Toinen silmiinpistävä esimerkki on kosmologinen vakio. Kirjaanhan on käännetty se Einsteinin paperi, jossa hän lisäsi ensimmäistä kertaa yhtälöihinsä kosmologisen vakion. Miten vajaan asian käsittely jääkään, kun ei edes mainita, että sitä ei vain ole havaittu muutamana viime vuoden kuluessa, vaan että se on jopa dominoiva tekijä koko maailmankaikkeuden kehitystä ajatellen. Itse asiassa monet pitävät sen ymmärtämistä kaikkein tärkeimpänä tämän hetken fysiikaalisena ongelmana.

Suhteellisuusteoriasta kaiken teoriaan

Yleisen suhteellisuusteorian myöhemmän kehityksen sivuuttaminen on puute, mutta jään kaipaamaan myös katsausta kaikkeen siihen suunnattomaan määrään ajatustyötä, jota on tehty uusien yleistä suhteellisuusteoriaa vielä parantavien teorioiden kehittämiseksi. Osittain tätä kyllä sivutaan kun puhutaan Einsteinin hapuilevista yrityksistä "kaiken teoriaan".

Ei ole epäilystä siitä, etteikö yleinen suhteellisuusteoria olisi oikea omalla pätevyysalueellaan, aivan kuten Newtonin mekaniikkakin, mutta yhtä selvää on, että se ei ole lopullinen totuus; tietyissä olosuhteissa sekään ei ole enää riittävä. Ongelmana on, että nämä olosuhteet ovat niin kaukana meidän arkiympäristöstämme, että meillä ei ole niistä vielä suoranaista empiiristä tietoa – ne elävät vain ihmisten ajatuksissa. Yksi kuitenkin on: meidän maailmankaikkeutemme syntyi ja olemassaolo.

Hyvä tapa ymmärtää joku asia on katsoa hieman kauemmaksi: Suomen historiaa ei voi ymmärtää katsomatta Euroopan muita maita. Yleisen suhteellisuusteoriankin ym-

märtää paremmin katsomalla sen ehdotettuja laajennuksia, jotka siis ovat vasta ehdotelmia tutkijoiden aivoissa. Mitäpä jos ulottuvuuksia ei olekaan vain tavalliset neljä, aika ja kolme paikkaulottuvuutta? Mitäpä jos täytyy ottaa huomioon kvanttimekaniikan lait, esimerkiksi epätarkkuusperiaate? Yleinen suhteellisuusteoriahan on puhtaasti klassillinen, Planckin vakio h ei siinä esiinny.

Suuri joukko erinomaisen eteviä tutkijoita on miettinyt tällaisia kysymyksiä ilman että kenestäkään olisi tullut samanlaista julkista ja tieteen ikonia kuin Einsteinistä. Ihan tilastollisesti voi arvioida, että ainakin kymmenen, mahdollisesti lähemmäs sata Einsteinin veroista tutkijaa on kiihkeästi miettinyt näitä asioita; tutkijapopulaatio on vähintään kymmen-, ehkä lähemmäs satakertainen sata vuotta sitten valinneeseen tilanteeseen verraten.

Kenestäkään ei ole samanlaista julkista siitä yksinkertaisesta syystä, että oikeaa teoriaa ei vielä ole löydetty tai vaikka se olisi löydetty, sitä ei ainakaan vielä ole todennettu.

Yleinen suhteellisuusteoria on keskeinen osa tieteellistä pääomaamme, ja sen ympärillä tapahtuu jatkuvasti monenlaista kehitystä. Jossain piilee uusi julkis-Einsteinkin, jonka ajatukset ehkä kohta leviävät tieteen piiriin

ulkopuolelle.

Tätä kehitystä on pyritty seuraamaan suomenkielisessä yleistajuisessa kirjallisuudessa lähinnä kääntämällä ulkomaisia teoksia, mutta suomeksikin on ilmestynyt merkittävää alkupe- räiskirjallisuutta. Lehdistön ja yleensä median merkitystä ei myöskään voi aliarvioida. Lehden kirjaa ei voi pitää yleistajuisena, mutta se tuo joka tapauksessa paljon lisää suomenkieliseen luonnontieteen historiaan. Minusta olisi ollut parempi, jos hän olisi valinnut yhtenäisemmän linjan, joko vähentämällä teknisiä yksityiskoh- tia ja niiden toistoa, tai sitten kirjoittamalla puh- taan alan oppikirjan. Tämän projektin osalta mi- tään ei voida enää tehdä, mutta ehkä seuraavan kohdalla toimittajat ottavat tiukemman linjan?

*Kirjoittaja on teoreettisen fysiikan professori Hel-
singin yliopistossa.*