



Fysiikan outo maisema

Carlo Rovelli: *Ajan luonne*. Suomentanut Hannu Karttunen. Ursa 2018.

Kansainvälisesti tunnetun italialaisen fyysikon Carlo Rovellin (s. 1956) *Ajan luonne* tarttuu vaikeaan aiheeseen. Työ purkaa ajan määrittelmistä ja merkityksistä käytyä laajaa keskustelua fysiikan, filosofian ja osin myös taiteen keinoin. Kysymyksessä ei ole varsinainen tieteellinen tutkimus, vaan pikemminkin yleistajuinen tietokirja. Sen tavoitteena on saada inhimillinen ote aiheesta, joka on monessa suhteessa arkijärjen ja tavanomaisten selitysten tavoittamattomissa.

Työ lähestyy fysiikan perusteita periaatteessa samansuuntaisesti lähtökohdin kuin Rovellin aikaisemmin julkaistu *Seitsemän lyhyttä luentoa fysiikasta* (Ursa 2016). Kummankin perustana on pyrkimys esittää fysiikan vaikeaselkoiset keksinnöt ymmärrettävässä muodossa sekä sanoa jotain siitä, mitä merkitystä näillä yksityiskohdilla on ihmisen olemi-

sen ja itseymmärryksen suhteen.

Tavoite on vaikea, sillä modernin fysiikan löydökset eivät ole kovin helposti tavoitettavissa arki-järjen tai -kielen keinoin. Lisäksi ihmisen ja luonnon välillä tapahtuva vuorovaikutus on monessa tapauksessa niin hienosyistä, etteivät tavoittaminen ole kaikin osin mahdollista. Näihin ongelmiin kannattaa kuitenkin etsiä vastauksia, sillä monet luonnontieteen keskeiset löydökset ovat suorassa suhteessa sekä arkitodellisuuden että teknologian ja yhteiskunnan kehitykseen.

Ajan luonteen haastavuus tulee esiin erityisesti siinä, etteivät sen perustavat ideat ajasta ja sen keskeisistä ominaisuuksista käänny kovin helposti luonnolliseksi arkiajatteluksi. Kirjan teemojen omaksuminen vaatii lukijalta ainakin jonkinlaisten perustietojen tuntemusta suhteellisuusteoriasta, termodynamiikasta (varsinkin entropiasta) ja kvanttifysiikasta, sillä ajan käsitteellistämisen kehitys on ollut keskeisesti kytköksissä näiden teorioiden syntyyn. Teos sisältää jonkin verran vaikeaselkoisia kohtia, mutta monia lukijoita tuskastuttavia matemaattisia kaavoja esiintyy lähinnä vain lähdeviitteissä, ja sielläkin harvakseltaan.

Kirjan rakenne sen sijaan voi olla hankala siinä mielessä, että teos etenee hieman salakavalasti kohtalaisen helpoista klassisen fysiikan (tai klassisen mekaniikan) keksinnöistä kohti kvanttifysiikan perusteita. Vaikka Rovelli pyrkii työssään havainnollisuuteen ja yksinkertaisuuteen, käy selostus paikoin vaikeaselkoiseksi varsinkin siinä vaiheessa, kun hän pääsee alun arkihavaintoja selvittelevien osuuksin jälkeen käsittelemään modernin fysiikan todellisia ongelma-kohtia.

Työ jakautuu kolmeen osaan, joista ensimmäinen sisältää eräänlaisen standardikuvauksen tai yhteenvedon siitä, mitä moderni fysiikka on oppinut ajasta. Tämä ”Ajan mureneminen” -otsikon saanut osuus nojautuu suurelta osin Albert Einsteinin suhteellisuusteo-

rian ja muiden klassisten oppien mukaiseen kuvaukseen ajan perusluonteesta. Keskeisellä sijalla ovat yleisen suhteellisuusteorian mukaiset havainnot eri aikaa käyvistä kelloista sekä oivallukset siitä, että avaruuden jokaisella pisteellä on yksilöllinen, muihin pisteisiin suhteutuva aikansa.

Osa jakautuu viiteen lukuun, mutta kertomus ei etene fysiikan teorioiden kehityksen suhteen täysin kronologisesti, sillä Einsteinin ideoiden jälkeen Rovelli siirtyy selostamaan termodynamiikan pääsääntöjä 1800-luvun aineistojen avulla. Entropia on klassisen fysiikan keskeinen keksintö, mutta varsinkin ajan kehityksen suhteen se tuottaa nykyfysiikalle merkittäviä ongelmia, sillä nykyfysiikka ei ajattele ajan nuolen kulkevan entropian osoittamalla tavalla. Varsinkin kvanttifysiikassa tämä kysymys on huomattavan ongelmallinen, sillä monet klassisen mekaniikan mukaiset käsitykset aineen, ajan ja voiman välisestä suhteesta kääntyvän siinä täysin päälleelleen.

Monet *Ajan luonteen* käsittelemät kysymykset ovat vaikeita, mutta työ on tyyliltään sinänsä selkeä ja helppolukuinen. Teosta täytyy kiittää siitä, ettei Rovelli kuvaile ajan määrittelyn kehitystä sellaisenaan, vaan kytkee sen asianmukaisesti fysiikan historialliseen kehitykseen. Esimerkiksi lämmön käsitteen osalta tämä tarkoittaa muun muassa Sadi Carnot'n kehittelemien ideoiden kriittistä tarkastelua. Carnot oli epäilemättä väärässä ajatellessaan lämmön olevan virtaavaa ainetta. Tosiasiassa lämpö on molekyylien mikrokooppista värähtelyä, mutta 1800-luvun lopulla oli vielä monia, jotka eivät uskoneet molekyylien ja atomien olemassaoloon.

Kertomus etenee alkupuolella suhteellisen johdonmukaisesti siltä osin kuin on kysymys ajan määrittelyn ja tieteellisen tutkimuksen perusteiden kehityksestä, mutta Rovelli hyppää paikoin turhan vilisti esimerkiksi kreikkalaisen my-

tologian maailmaan ja selostaa sellaisia ihmissukupolvien kehitykseen kytkeytyviä suhteita, jolla ei ole kovin selvää yhteyttä teoksen aiheeseen. Näiden selostusten tavoitteena on esittää ainoastaan analoginen malli kvanttifysiikan perusteiden ymmärtämiseksi.

Työn toinen osa ”Maailma ilman aikaa” on ensimmäistä selvästi vaikeammin hahmotettava, mutta tämä ei johdu siitä, että käsitteet kävisivät sinänsä monimutkaisemmiksi. Pikemminkin ongelmia tuottaa se, että Rovelli siirtyy alun historiallisista kysymyksistä temaattisesti täysin toisenlaiseen ympäristöön alkaessaan hahmotella oman alansa eli kvanttigravitaation yrityksiä saada jonkinlaisia selvyyttä ajan alati katoaviin ja muuttuviin fysikaalisiin ilmiöihin.

Kvanttigravitaation (eli silmukateorian tai silmukakvanttigravitaation) maailmassa aika on pirstoutunut lukemattomiksi ominaisajoiksi. Asian tutkiminen vaatii uudenlaista hahmotustapaa ja ajan näkemistä pikemminkin aaltoilevina tai pilvimäisinä muodosteinakin kuin lineaarisina suhteina. Näin ymmärretty aika ei voi muodostaa työn alussa hahmotellun klassisen mekaniikan mukaista aika-avaruutta, vaan pikemminkin uudeksi lähtökohdaksi on otettava Planckin aika. Tässä mennään jo niin pieniin yksiköihin, etteivät mitään totutun fysiikan tai arkiajattelun lainalaisuudet ole voimassa.

Jotta asia ei olisi liian yksinkertainen ja ilmeinen, täytyy ajan ja sen muutoksen olemassaolo kytkeä johonkin fysikaaliseen perustaan. Tämän tavoitteen lähtökohdaksi Rovelli ottaa Planckin ajan lisäksi Planckin pituuden, kuten on odotettavaa, mutta ei kytke aikaa aineen olemukseen sinänsä, vaan lähtee etsimään ajan perimmäistä luonnetta partikkelien sijaan tapahtumista ja tapahtumaketjuista. Jaottelun mielekkäys perustuu siihen, että kappaleet ovat pysyviä, mutta tapahtumilla on aina jonkinlainen rajallinen kesto. Kvanttimaailmassa liikuttaessa ongelmana on tietysti se, että

ajan, aineen ja aineessa havaittavien muutosten osoittaminen käy paikoin täysin mahdottomaksi.

Miten asia tulisi ymmärtää? Rovellin mukaan toimivinta on ajatella maailma tapahtumien verkostona, yksinkertaisina tapahtumina ja mutkikkaampina tapahtumasarjoina, jotka voidaan purkaa yksinkertaisempien tapahtumien yhdistelmiksi. Tämä on kuitenkin helpommin sanottu kuin tehty. Todellinen tätä tutkiva tiede tarvitsisi teorian, joka kertoisi sen, miten muututtavat vaihtelevat suhteessa toisiinsa. Teoria ei tarvitse varsinaista aikamuuttujaa, sillä sen tulee kuvata ainoastaan se, miten maailmassa näkemämme asiat rakentuvat keskinäisten suhteiden, muutosten ja kumoutumisten avulla.

Rovellin yhdessä Lee Smolinin (s. 1955) ja muiden yhteistyökumppaniensa kanssa kehittämä kvanttigravitaatio pyrkii vastaamaan tähän kysymykseen, mutta *Ajan luonne* ei ole kuitenkaan tämän teorian yleisesitys. Rovelli sivuaa asiaa sen verran, että viittaa Bryce DeWittin ja John Wheelerin töihin sekä teorian muihin varhaisiin lähtökohtiin, mutta pysyy opin muodostuksen suhteen pääosin uudemmissa muotoiluissa. Teorian tavoitteena on määrittellä kenttä, jossa fotonien, elektronien, atomien ja muiden aineen alkeisosien yhteys painovoimaan voidaan todentaa kvanttien tasolla.

Selostus ei käy tämän jälkeen ainakaan yhtään helpommaksi, sillä työn kolmas osa ”Ajan lähteet” menee vielä aikaisempaa syvemmälle kvanttimaailman ongelmiin. Keskeisenä tavoitteena on yritys saada selvyttä ajan perimmäiseen luonteeseen, mutta tämän asian määrittely vaatii sillon rakentamista todellisen arkiympäristön ja siinä havaittavan ajan sekä kvanttimaailmassa ilmenevän ajan välille. Maailmassa ei ole perimmäisessä mielessä aikaa, mutta siellä täytyy olla jotain, joka tuottaa meille käsityksen tutusta ajasta, sen järjestyksestä, menneisyydestä sekä eroista suhteessa tulevaan.

Ensimmäisen varteenotettavan ratkaisuvaihtoehdon tälle ongelmalle tarjoaa terminen aika. Molekyylit sekoittuvat lämpöliikkeen vaikutuksesta ja vaikuttavat näin kaikkiin niihin suureisiin, joilla on ylipäättään mahdollisuus muuttua. Tämä ei kuitenkaan vaikuta eristetyin järjestelmän kokonaisenergiaan, sillä energian kokonaismäärä säilyy järjestelmän sisäisistä muutoksista huolimatta vakiona. Ajan ja energian välillä vallitsee läheinen side. Ne muodostavat samanlaisen yhteyden kuin esimerkiksi paikka ja liikemäärä tai suunta ja pyörimismäärä.

Toisen ratkaisuvaihtoehdon ongelmalle tarjoaa kvantti-aika. Tämän vaikeasti hahmottuvan vuorovaikutuksen piirissä paikan ja nopeuden keskinäinen kommunikaatio on erityisen ongelmallinen todentaa, mutta lisäksi pulmia tuottaa se, että makrotason maailmassa havaittavien lämmön virtausten ja kvanttimaailmassa havaittavien tilojen välillä on paikoin vaikea huomata todellista symmetriaa. Kun vuorovaikutus tekee jälkimmäisessä molekyylin paikan konkreettiseksi, molekyylin tila muuttuu. Sama koskee määriteltäessä sen nopeutta. Molekyylin tilan määrittelyyn vaikuttaa kuitenkin perustavalla tavalla se, mitataanko ensin sen paikka vai sen nopeus.

Rovellin mukaan molemmat edellä kuvatuista tasoista ovat ajan määrittelyn suhteen yhtä tärkeitä. Makroskooppisten tilojen määräämä aika ja kvanttitaso kommunikoimattomuuden määräämä aika ovat saman ilmiön kaksi eri puolta. Ajallisuus perustuu sumentumiseen. Sumentumisen johtuu siitä, että emme tunne maailman mikroskooppisia yksityiskohtia. Maailma ei tarvitse varsinaisesti energiaa pysyäkseen liikkeessä, se tarvitsee ennen kaikkea matalaa entropiaa.

Näin rakentuu lopulta temaatinen yhteys takaisin niihin perusteisiin, joita teoksen alussa on selostettu klassisen mekaniikan ja luonnontieteen keskeisten oppien

avulla. Jotain on kuitenkin muuttunut: työn loppuun päästyään lukijalla on – tai ainakin hänellä pitäisi olla – suhteellisen selväpiirteinen käsitys yhtäältä ajan fyysikaalisista perusteista ja toisaalta arkisen maailman (makrotason) ja kvanttimaailman (mikrotason) yhteydestä siltä osin kuin tämä yhteys on mahdollista ja mielekästä selostaa *Ajan luonteen* kaltaisessa yleisajuudessa esityksessä.

Kirjassa kuvattu ”fyysiikan outo maisema” ei ole lopulta niin omituinen kuin miltä se aluksi näyttää, mutta sen omaksuminen vaatii hieman kärsivällisyyttä. Rovelli on kirjoittanut hienon teoksen ajan luonteesta. Työn eleganssi ei ole pelkästään siinä, että se nostaa esiin ajan tutkimuksen kehityksen historiallisena aihehana. Tätä ehkä merkittävämpää on se, että työ valaisee monin paikoin nykyfyysiikan käsityksiä ajan, aineen ja liikkeen välisistä vaikeaselkoisista suhteista ja paljastaa samalla sen, mihin vaiheeseen tutkimus on tällä osin kyennyt etenemään.

JOUNI HUHTANEN

Kirjoittaja on Oulun yliopiston tieteiden ja aatteiden historian jatko-opiskelija.