

# Ajan ja avaruuden tuolla puolen

Jouni Huhtanen



Rovelli, Carlo: *Todellisuus ei ole sitä miltä se näyttää. Kohti kvanttigravitaatiota.* [Alkuteos: *La realtà non è come ci appare*, 2014.] Suomentanut Tuukka Perhoniemi. Ursa, Helsinki 2019, 252 sivua.

I talialaisen fyysikon Carlo Rovellin (s. 1956) *Todellisuus ei ole sitä miltä se näyttää* tarttuu samoihin teemoihin kuin hänen aikaisemmin julkaisemansa *Seitsemän lyhyttä luentoa fysiikasta* (2016). Kumpikin sisältää perustavia huomioita aineen koostumuksesta, aineen ja voiman välisestä yhteydestä sekä ajan fyysikaalisista ongelmista, mutta nyt julkaistu työ sisältää huomattavan paljon laajemman selostuksen fysiikan historiallisesta kehityksestä kuin aikaisempi.

Toisen keskeisen eron töiden välillä muodostaa se, että *Todellisuus ei ole sitä miltä se näyttää* on jonkin verran teknisempi kuin *Seit-*

*semän lyhyttä luentoa*. Vaikka sitä ei ole syytä pitää varsinaisena tieteellisenä tutkimuksena, sisältää se asianmukaiset loppuviitteet, kommentoidun lähdeluettelon sekä yleisen nimi- ja asiahakemiston.

Työ vastaa ennen kaikkea kvanttigravitaation yleisiin ongelmiin. Rovelli on ollut pitkään mukana kehittelemässä kyseistä tutkimusala muun muassa intialaisen Abhay Ashtekarin (s. 1949) ja yhdysvaltalaisen Lee Smolinin (s. 1955) kanssa tavoitteenaan löytää luotettava teoria perinteisen kvanttimekaniikan korvaajaksi. Kvanttiteorian niin sanotun standardimallin keskeinen ongelma on siinä, ettei se kykene yhdistämään neljää perusvoimaa riittävän johdonmukaisesti toisiinsa. Varsinkin gravitaation yhdistäminen muihin tunnettuihin voimiin on työlästä. Lisäksi jonkinlaisia vaikeuksia tuntuisi tuottavan teorian heikko ennustuskyky suhteessa todellisuuteen. Uusia kvantteja tuntuu löytyvän koko ajan lisää sitä mukaa kuin CERNin kiihdytintä ehditään päivittää.

Vaikka Rovellin työ ei kykene ratkaisemaan kaikkia näitä ongelmia, tarjoaa se perustavanlaatuisen kuvan siitä, millainen maailmasta on muodostumassa kvanttigravitaation avulla. Tämä vaatii viimeaikaisten johtolankojen kriittistä tarkastelua muun muassa Planck-satelliitin tuloksista muodostetun kosmologisen mallin suhteen, mutta lisäksi asianmukaisen kuvan saavuttamiseksi on

syytä huomata, ettei esimerkiksi niin sanottuja supersymmetrisiä hiukkasia ole CERNin kovista yrityksistä huolimatta ainakaan toistaiseksi löytynyt. Kvanttigravitaatiolla on vielä paljon töitä tehtävänä kyetäkseen oikeuttamaan kaikki esittämänsä hypoteesit.

*Todellisuus ei ole sitä miltä se näyttää* jakautuu neljään laajajoon osaan, joista ensimmäinen käsittelee modernin fysiikan taustalla olevia historiallisia kehityslinjoja. Työ ei ole varsinaisen tieteenhistoriallinen tutkimus, mutta se valaisee fysiikan perusteiden kehitystä suhteellisen laaja-alaisesti aloittaen kertomuksen noin vuoden 600 eaa. Miletokesta. Näillä tekijöillä tuntuisi olevan lähinnä välillinen suhde nykyaikaiseen fysiikkaan. Kvanttigravitaation suhteen jonkinlaista merkitystä voinee nähdä Anaksimandroksen käsityksillä aineen jakamattomuudesta sekä Demokritoksen pohdinnoilla atomien painottomuudesta ja maailmankaikkeuden rajattomuudesta.

Kertomus muuttuu ensimmäisen osan lopulla huomattavan paljon yhtenäisemmäksi ja johdonmukaisemmaksi Rovellin siirtymässä selostamaan Newtonin, Faradayn, Maxwellin ja Einsteinin aineen ja voiman välisistä suhteista esittämiä käsityksiä. Kvanttigravitaation historiallisten perusteiden suhteen merkittävä murros ei ajoitu niinkään Newtonin mekaniikan läpimurtoon, vaan pikemminkin sen lähtökohtana ovat Faradayn

esittämät havainnot kenttien roolista voiman perimmäisenä ilmauksena.

Huomio on keskeinen, sillä nykykäsityksen mukaan voimaa ei voi erottaa aineesta eikä ainetta kentistä. Tutkimuksen ei tule tästä syystä suuntautua Newtonin mekaniikan tavoin kaukaisten kappaleiden välillä vaikuttaviin yksittäisiin voimiin, vaan avaruutta tulee käsitellä yhtenäisenä kenttänä. Faradayn esittämän alkuperäismuotoilun mukaan tämä tarkoittaa sellaista aineellista kokonaisuutta, jossa sähköiset ja magneettiset kappaleet vaikuttavat työntö- ja vetovoimillaan kenttään ja kenttä vastavuoroisesti kyseisiin sähkömagneettisiin kappaleisiin.

Näiden yksityiskohtien tarkoituksena ei ole selostaa fysiikan historiaa kaikessa laajuudessaan, vaan perustella atomistisen teorian ja eri kenttäteorioiden kehitystä siltä osin kuin nämä voivat toimia alustuksena kvanttigravitaatiolle. *Todellisuus ei ole sitä miltä se näyttää* onnistuu valaisemaan alan kehitystä tältä osin suhteellisen hyvin. On selvää, että kokonaiskertomus jää historiallisen selostuksen osalta paikoin aukkoiseksi, mutta tämä selittyy sillä, ettei kaikilla varhaisilla keksinnöillä ole välitöntä suhdetta modernin ajan fysiikkaan. Fyysikot alkoivat päästä vasta 1800-luvun lopulta lähtien jonkinlaiseen selvyyteen aineen, voiman ja kenttien välisistä yhteyksistä.

Kvanttigravitaatiossa on kysymys suhteellisen uudesta tutkimusalasta eivätkä sen perusteet ulotu tosiasiasa kovin kauaksi 1900-luvun alusta. Monet Lucretiuksen *Re rerum naturan* kaltaiset klassikot tarjoavat tutkimusalalle jonkinlaisen analogisen lähtökohdan, mutta varsinaisesti kertomus alkaa Einsteinin yleisen suhteelli-

suusteorian perusteista. Näitä Rovelli sitten kuvaakin kohtalaisen laajasti unohtamatta mainita Planckin vakiota, Bohrin kvanttitihyppyä, Heisenbergin epätarkkuusperiaatetta, Wheelerin-De Whittin yhtälöä ja muita 1900-luvun alun ja puolivälin keksintöjä.

Työn toinen ja kolmas osa keskittyvät kokonaisuudessaan tämän kehityksen kuvaukseen. Kyseisten osien tavoitteena on päästä selvyyteen siitä, missä suhteessa tämän hetken kaksi perustavanlaatuisinta teoriaa eli yleinen suhteellisuusteoria ja kvanttimekaniikka voidaan nähdä yhtenäisenä perustana kvanttigravitaatiolle. Selostus muuttuu tässä vaiheessa jonkin verran vaikeaselkoisemmaksi, mutta ongelma johtuu ainakin osin siitä, että Rovelli selostaa monet varsinkin aika-avaruuden ja sähkömagneettisten kenttien väliset yhteydet turhan tiiviisti. Kokonaiskertomuksen hahmottaminen olisi vaatinut varsinkin kenttäteorioiden osalta hieman laajempia perusteluja.

Esityksen luontevuuden suhteen toisen ongelman muodostaa se, että kvanttifysiikan perusteet on pakattu yhteen lukuun, joka seuraa lähinnä pääkohdin alan standardikertomusta Planckista Bohrin ja Heisenbergin kautta Didaciin. Kvanttimekaniikan lähtökohdat on selostettu pääpiirteissään hyvin, mutta työ ei sisällä kovin laajaa katsausta standardimallin historiaan. Esimerkiksi Erwin Schrödingerin ja Wolfgang Paulin keksintöjen kuvaus jää tästä syystä puuttumaan, samoin selostus Murray Gell-Mannin kehittämästä teoriasta heikon ja vahvan vuorovaikutuksen paljastamiseksi.

Työtä voi arvostella sen tiiviystään, mutta kvanttigravitaation keskeisten perusteiden ymmär-

tämiseksi kolmen ensimmäisen osan huomiot kvanttimekaniikasta ja suhteellisuusteoriasta ovat pääosin perusteltuja. Miljardeja vuosia sitten syntyneen ja yhä laajenevan aika-avaruuden keskeisten ominaisuuksien ymmärtäminen vaatii perustavanlaatuisia huomioita kvanttien hiukkasluonteesta ja keskinäisestä vuorovaikutuksesta. Näitä on mahdoton kuvata yksinkertaisesti. Kvanttien suhteita määräävän tilan informaatio on Planckin vakion mukaisesti rajallinen eikä menneisyys määrää aineen kehityksessä tulevaisuutta tavanomaisten havaintojen mukaisesti. Asiat ovat vaikeita, mutta Rovelli tekee kaikkensa saadakseen pääkohdat esiin mahdollisimman johdonmukaisesti.

Neljännestä osasta eteenpäin kuvaus muuttuu tyyliltään katkonaisemmaksi ja alkaa sisältää samalla sellaisia hypoteettisia oletuksia, joiden olemassaolosta nykyinen fysiikka ei ole päässyt täyteen varmuuteen. Selostuksessa voi havaita samalla jonkinlaisen murtuman, sillä kolmannen osan loppuun saakka työ tuntuu etenevän jokseenkin johdonmukaisesti. Neljäs osa vaikuttaa selvästi irrallisemmalta. Se sisältää merkittäviä huomioita alkuräjähdyksestä, mustista aukoista sekä muista modernin kosmologian tutkimuskohteista, mutta nämä eivät yhdisty täysin luontevasti kokonaiskertomukseen.

Kokonaisuuden hallinnasta tekee kaiken kaikkiaan työläänsä se, ettei astrofysiikan, gravitaatioaltojen ja modernin kosmologian perustana oleva yleinen suhteellisuusteoria ota huomioon kenttien kvanttiluonnetta eikä alkeishiukkasfysiikan perustana oleva kvanttimekaniikka puolestaan huomioi aika-avaruuden kaareutumista ja

sitä kuvaavia yhtälöitä käytännössä millään tavalla.

Näiden kahden keskenään yhteismitattoman rakennelman toisiinsa yhdistämiseksi joudutaan etsimään ratkaisuja olemassaolevan fysiikan ulkopuolelta, mutta tämä on helpommin sanottu kuin tehty. Rovellin mukaan ongelma voidaan ratkaista ainoastaan siten, että olemassaolevista ajattelutavoista luovutaan ja niiden tilalle muodostetaan sellainen uusi teoria, joka huomioi kvanttitodellisuuden osaksi gravitaatiovoiman kuvausta. Tämä vaatii gravitaatiovakion, gravitaatiokentän, valonnopeuden, Planckin vakion ja kvanttien huomioimisen saman fysikaalisen kokonaisuuden osatekijöinä.

Perustavana ideana on löytää sellainen silmukkateoria (silmukkakvanttigravitaatio), joka kuvaa rakeisen avaruuden täsmällisesti ja laskee kvanttirakenteen ulottuvuudet ja yleisen muodon eli Dihadacin laatimat kvanttimekaniikan perusyhtälöt sovellettuna Einsteinin painovoimakenttään. Teorian keskeisenä lähtökohtana on ajatus siitä, että solmujen ja linkkien kuvaamat gravitaatiokvantit eivät sijaitse avaruudessa, vaan ne muodostavat avaruuden itsessään. Tutkimuksen ei tule kiinnittää tällöin huomiota asioiden todellisiin ontologisiin piirteisiin, vaan pikemminkin siihen, miten alkeishiukkaset vuorovaikuttavat spinverkostoissaan.

Tämä vaatii lopulta uutta ajattelutapaa myös ajan käsitteen määrittämiseksi. Sikäli kuin kvanttigravitaatio hylkää ajatuksen avaruudesta jäykkänä fysikaalisena tilana, on sen samalla hylättävä käsitys ajasta yhteen suuntaan virtaavana avoimena jatkumona. Tietyssä mielessä avaruus ei enää kuulu teorian perusteisiin, sillä painovoimakentän kvantit eivät sijaitse avaruudessa. Vastaavasti teorian perusteissa ei ole myöskään perinteisessä mielessä aikaa, sillä gravitaatiokvantit eivät järjesty Plankin mittakaavassa ajallisesti. Kvanttigravitaation matematiikkaan ei sisälly aikamuuttujaa, vaan ajan täytyy kummata avaruuden tavoin painovoimakentän kvanteista. Tämä ei kuitenkaan tarkoita liikkeen tai muutoksen puuttumista, vaan pikemminkin päinvastoin, se tarkoittaa sitä, että muutos on kaikkialla, mutta tapahtumat eivät järjesty toisiaan seuraavien hetkien mukaisesti.

Näin on päästy lopulta ajan ja avaruuden tuolle puolen. Avaruus itsenäisenä oliona on kadonnut, aika on kadonnut, klassiset hiukaset ovat kadonneet ja klassiset kentät ovat kadonneet. Jäljelle ovat jääneet ainoastaan kvanttikentät. Tämän kauniin – jos kohta myös yhä keskeneräisen – ratkaisun saavuttamiseksi on jouduttu kulkemaan pitkä matka Newtonin avaruudesta Faradayn ja Maxwellin muotoilemien kentäteorioiden kautta Einsteinin aika-avaruuteen,

kvanttimekaniikan perusteisiin ja lopulta silmukkakvanttigravitaation perusyhtälöihin saakka.

Edellä esitetyt yksityiskohdat voivat vaikuttaa aluksi vaikeaselkoisilta, mutta tosiasiaa *Todellisuus ei ole sitä miltä se näyttää* hahmottelee suhteellisen selkeälinjaisen ja ymmärrettävän kehityskertomuksen kvanttigravitaation perusteiden ymmärtämiseksi. Työ on muotonsa ja sisältönsä suhteen pääosin hallittu, mutta varsinkin kolmas osa on turhan tiivis. Asioiden hahmottamista auttaa kuitenkin jonkin verran se, että tekijä vertailee keskeisiä teorioita erilaisen kaavioiden avulla toisiinsa ja nostaa esiin teorioihin liittyviä eroja. Lisäksi työhön sisältyy alan keskeisiä keksintöjä hyvin havainnollistava musta-valkokuvitus.

Rovelli on kirjoittanut asianmukaisen työn kvanttien ja gravitaation yhdistämisen ongelmallisuudesta, mutta eräässä mielessä kertomus jää kesken. Se ei nimittäin tarjoa juuri minikäänlaista käsitystä siitä, millaisia ovat olleet puheena olevan teorian suhteen hylätyt opit, toisarvoiset keksinnöt ja epäonnistuneet kokeet. Työstä olisi tullut huomattavan paljon syvällisempi, mikäli tekijä olisi malttanut käsitellä tarkemmin kvanttigravitaation menetelmällisiä ongelmia sekä tähän mennessä tuotettujen tulosten saavuttamiseksi tehtyjä virheitä. ■