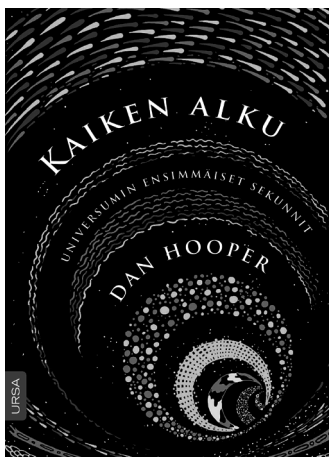


Aine ja inflaatio

Jouni Huhtanen



Hooper, Dan. (2020). *Kaiken alku. Universumin ensimmäiset sekunnit* (Kääntänyt Tuukka Perhoniemi). Ursa. 223 sivua.

Astrofyysikot ja kosmologit ovat tehneet 2000-luvulla ratkaisevia löytöjä kosmoksen 13,8 miljardin vuoden aikaisesta kehityksestä. Selville ovat käyneet muun muassa neljän tunnetun voiman syntymekanismit sekä maailmankaikkeuden jäähtymisen myötä alkeishiukkasten muodoissa, rakenteissa ja yhdenytymissä tapahtuneet fysikaaliset muutokset. Tietämyksessä on kuitenkin perustavanlaatuinen aukko sen suhteen, mitä tapahtui maailmankaikkeuden ensimmäisen sekunnin murto-osien aikana. Chicagon yliopiston astrofyysikan professorin Dan Hooperin *Kaiken alku* tarttuu tähän ongelmaan.

Työ ei ole varsinainen tutkimus, mutta sen perustana ovat Hooperin 2010-luvun alusta lähtien te-

kemät kriittiset selvitykset pimeään aineen ja kosmisen säteilyn parisaa. Teos avaa kiinnostavia näkymiä hypernopean laajenemisen vaiheesta maailmankaikkeuden ensimmäisen sekunnin murto-osien arvoituksiin saakka, mutta vähintään yhtä merkittävää on se, että se arvioi samalla kriittisesti nykyaikaisen kosmologian näkökulman rajallisuutta. Joiltain viimeaikojen fyysikoilta on voinut jäädä huomaamatta, että monet selvittämättömät kysymykset saattavat johtua tutkijoiden menetelmiin ja työtapoihin sisältyvistä ongelmista.

Kaiken alun kaksitoista lukua sisältävät huomioita sekä modernin kosmologian historiasta että viimeaikaisista tuloksista, mutta teos ei etene täysin kronologisesti. Hooper aloittaa Albert Einsteinin (1879–1955) suhteellisuusteorian mukaisen maailmankaikkeuden selostuksella mutta suhteuttaa samalla suhteellisuusteorian periaatteita myöhempään kehitykseen. Modernin kosmologian alun sijoittaminen 1800-luvun lopulle on siinä mielessä perusteltua, että esimerkiksi Newtonin mekaniikka oli Einsteinin tieteeseen verrattuna alkeellista, eikä se pystynyt selittämään ajan ja avaruuden alkua tai niiden kehityksessä tapahtuneita muutoksia yhtä täsmällisesti. Nykyfyysikalle on selvää, että aika ja avaruus voivat muuttua muotoaan, venyä ja vääristyä.

Toisen perustavan lähtökohdan modernille kosmologialle tarjoaa János Bolyain (1802–1860),

Nikolai Ivanovitš Lobatševskin (1792–1856), Bernhard Riemannin (1826–1866) ja kumppaneiden kehittämä epäeuklidinen geometria. Rajalinja voidaan vetää tältäkin osin 1800-luvun lopun kehitykseen. Keskeisenä perusteena on se, että Einsteinin suhteellisuusteoria sallii suorien linjojen kaareutumisen avaruudessa massan tai energian läheisyydessä. Massan ja energian vääristäessä avaruuden muotoa lyhin reitti kahden pisteen välillä ei kulje yleensä samalla tavalla luotisuoran linjan mukaisesti kuin perinteisessä euklidisessä geometriassa.

Kosmologian historialliset juuret

Teoksen ensimmäinen kolmannes pitäytyy näkyvästi kosmologian historian tarkastelussa. Varsinkin Einsteinin teoria saa painokkaan aseman. Tätä voidaan perustella sillä, että hänen kehittämänsä kosmologinen vakio oli huomattavan ongelmallinen pyrkiessään selittämään maailmankaikkeuden tilan pysyvyyttä ja tasapainoa. Kyseinen kehitysvaihe on modernin kosmologian suhteen siinä mielessä merkittävä, että Einsteinin tekemät virheet avasivat monenlaisia keskenään ristiriitaisia ideoita maailmankaikkeuden laajenemisen ongelmaan. Ne saivat samalla monet, venäläisen Aleksander Friedmanin (1888–1925) ja alankomaalaisen Willem de Sitterin (1872–1934) kaltaiset nuoren polven tutkijat pohtimaan asiaa tarkemmin.

Keskeistä Friedmanin tutkimuksissa oli se, ettei hän välitännyt Einsteinin vastaväitteistä vaan pyrki osoittamaan yleisen suhteellisuusteorian ongelmat maailmankaikkeuden laajenemisen suhteen. Einsteinin teorian ongelmana oli se, ettei se sallinut universumille juuri minkäänlaisia muutoksia. De Sitter puolestaan oletti Einsteinin tavoin maailmankaikkeuden olevan homogeeninen, mutta hän erosi tästä siinä, ettei hän sisällyttänyt maailmankaikkeuteensa lainkaan ainetta. Einsteinin esittämässä mallissa aineen täyttämällä maailmankaikkeudella oli taipumus vetäytyä kasaan. De Sitterin maailmankaikkeus perustui Einsteinin teorian tavoin kosmologiseen vakioon, mutta riittävän suuren arvon saatuaan de Sitterin vakio mahdollisti avaruuden loputtoman laajenemisen.

Kaiken alku seuraa edellä mainittuja kehityslinjoja pääosin tarkasti, mutta ongelman muodostaa se, että teos pitäytyy lähtökohtaisesti laajenevan maailmankaikkeuden mallissa eikä juuri käsittele englantilaisen Fred Hoylen (1915–2001) ja kumppaneiden kehittämää pysyvän maailmankaikkeuden teoriaa. Jälkimmäinen olisi ollut syytä tuoda esiin ainakin jonkinlaisena historiallisena vaihtoehtona huolimatta siitä, ettei sillä ole nykyisin yhtä laajaa kannatusta kuin laajenevan maailmankaikkeuden mallilla.

Laajenevan maailmankaikkeuden teorian alkuvaiheessa merkittäviksi muodostuivat yhdysvaltalaisen Edwin Hubblen (1889–1953) esittämät laskemat galaksien välisistä etäisyyksistä ja keskinäisistä suhteista. Tämän jälkeen kosmologit alkoivat mitata galaksien valon taajuuksia selvittääkseen tarkemmin niiden liikkeitä. Osin sekä Hubblen että

hänen jälkeensä tulleiden tutkijoiden selvityksistä kävi ilmi, että kaukaisten galaksien valo oli useimmiten siirtynyt kohti valon matalampia taajuuksia eli punaisia aallonpituuksia. Tämä punasiirtymäksi kutsuttu ilmiö oli merkki siitä, että galaksit liikkuvat pois päin Maasta.

Edellä esitetyillä teorioilla on merkittävä rooli modernin kosmologian synnyssä, mutta kertomus vaatii vielä yhden keskeisen tekijän: belgialaisen Georges Lemaitren (1894–1966). Modernin kosmologian suhteen tärkeäksi muodostui hänen vuonna 1931 julkaisemansa artikkeli ”L’Hypothèse de l’Atome Primitif”. Teksti sisälsi ensimmäisen perusteellisen selostuksen siitä, että kaikki ainehiukkas- ja valokvantit olivat kummunneet yhden ainoan ”atomin” hajoamisesta. Artikkelilla ei ole kovin paljon yhteistä myöhemmän alkuräjähdysteorian kanssa, mutta se oli ensimmäinen tieteelliseksi katsottava esitys maailmankaikkeuden alusta.

Kaiken alkua täytyy pitää onnistuneena ennen kaikkea kriittisyytensä vuoksi. Merkittävää on se, ettei Hooper luettele edellä mainittuja yksityiskohtia sellaisenaan vaan pyrkii esittämään niiden taustalla vaikuttavat laajemmat asiayhteydet teoreettisine ongelmineen ja virheineen. Lähes koko 1900-luvun ensimmäisen puoliskon ajan kukaan ei tuntunut tietäneen tarkasti, mistä kaikki universumin atomit tulivat tai miten ja milloin ne olivat muodostuneet. Fysikot alkoivat hahmotella 1920-luvulta lähtien ajatusta, jonka mukaan vedyn fuusioituminen heliumytimiksi saattoi selittää suurimman osan tähtien energiasta. Noin vuoden 1940 tienoilla suurin osa tähtien ydinreaktioista oli selitetty ja nimetty, mutta kesti vielä jonkin

aikaa ennen kuin neuvostoliittolais-yhdysvaltalaisen fyysikon George Gamowin (1904–1968) onnistui tarjota tähtien synnyn ja alkuräjähdyksen väliselle yhteydelle oikeasuuntainen selitys.

Kyseiset askeleet ovat modernin kosmologian kehityksessä merkittäviä, mutta niihin sisältyy joitain perustavanlaatuisia virheitä. Gamowin tutkimusten suhteen huomionarvoista on se, ettei hän kyennyt oppilaansa Ralph Alpherin (1921–2007) kanssa vuonna 1947 julkaisemassaan artikkelissa huomioimaan esimerkiksi ytimien välistä hylkimistä ja yliarvioi siksi tapahtuneiden ydinfuusioiden määrän. Lisäksi perustavan virheen muodosti se, etteivät Gamow ja Alpher ymmärtäneet alkuräjähdyksessä syntyneiden alkuaineiden todellista laatua. Varhainen maailmankaikkeus säilyi kuumana niin lyhyen ajan, että se ehti tuottaa ainoastaan vedyn, heliumin ja litiumin kaltaisia kevyitä alkuaineita mutta ei raskaita.

LHC nykykosmologian edustajana

Näihin selostuksiin sisältyy tieteenhistoriallista mielenkiintoa jo sellaisenaan, mutta tarina jäisi turhan ohueksi, ellei Hooper esittäisi varsinaisten keksintöjen ohella huomioita alan menetelmien ja tutkimusvälineiden kehityksestä. Varsinkin uusimman tutkimuksen suhteen fysiikan tuloksia on jokseenkin mahdoton kuvata huomioimatta tulosten taustalla nykyfyysikoiden merkittävimmän työvälineen eli Ranskan ja Sveitsin rajalla sijaitsevan suuren hadronitörmäyttimeen, Large Hadron Colliderin eli LHC:n, vaikutusta.

LHC:n toimintaa käsittelevä luku sijoittuu teoksen puolivälin

paikkeille, ja tämän jälkeen sen loppuosa käsittelee lähinnä modernin fysiikan keskeisiä keksintöjä. LHC:n asema on nykytutkimukselle keskeinen, sillä se on käytännössä ainoa väline, jonka avulla tutkijat voivat tuottaa ainakin jollain tavoin alkuräjähdyksen kaltaiset olosuhteet Maalla. Alkuräjähdyksen jälkeisen sekunnin biljoonasosan ajan koko maailmankaikkeus oli täynnä huomattavan kuumaa ja tiheää plasmaa. Avaruuden lämpötila oli kaikkialla yli 10^{16} astetta, joka on miljardi kertaa kuumempi kuin Auringon ydin. Vastaavanlaisia olosuhteita on vaikeaa, ellei mahdotonta, löytää nykyisestä maailmankaikkeudesta, mutta juuri näiden olosuhteiden luominen on Hooperin mukaan mahdollista LHC:n avulla.

Tämän jälkeen kertomus etenee reippain vedoin kohti alkeishiukkasfysiikan nykyisiä erityisongelmia. Huomionarvoista on se, että joissain tapauksissa tutkijakunnalta on mennyt huomattavan kauan aikaa näennäisesti yksinkertaisten kysymyksien ratkaisujen etsintään. Hyvän esimerkin tästä tarjoaa pariteetin ongelma. Neljästä tunnetusta luonnon perusvoimasta kolme – gravitaatio, sähkömagneettinen voima ja vahva ydinvoima – vaikuttavat hiukkaseen samalla tavalla riippumatta siitä, pyörikö hiukkanen myötäpäivään vai vastapäivään. Voimat ovat toisin sanoen pariteetin suhteen symmetrisiä. Tämä ei pidä kuitenkaan paikkaansa heikon ydinvoiman kohdalla. Vuodesta 1956 lähtien tehdyt kokeet osoittavat, että ainehiukkaset reagoivat heikkoon vuorovaikutukseen eli heikkoon ydinvoimaan vain, jos ne pyörivät vastapäivään. Vielä oudompaa on se, että asetelma on vastakkainen antiaineella. Heikko vuorovai-

kus koskee antiainehiukkasia vain, jos ne pyörivät myötäpäivään. Suuri osa hiukkasfysiikoiden oletuksista kumoutui heidän huomattessaan, että heikko vuorovaikutus rikkoi pariteetin ja sähkövaruksen symmetrian. Tutkijat oppivat kantapään kautta, ettei heikko vuorovaikutus toiminut heidän intuiotensa mukaisesti.

Nämä ja muut edellä esitetyt huomiot tarjoavat perustavanlaatuisen lähtökohdan modernille kosmologialle ja toimivat samalla asianmukaisena johdantona teoksen loppupuoliskossa esitetyille uusille keksinnöille. Kokonaisuutta olisi jokseenkin mahdoton ymmärtää ilman Gamowin ja kumppaneiden tutkimusten läpikäyntiä. Lisäksi lukijan on syytä saada tietää jotain gluonien, kvarkkien, bosonien ja muiden alkeishiukkasten suhteesta perusvoimiin. Kaikki tunnetut hiukkaset vuorovaikuttavat vähintään yhden tunnetun voiman kanssa. Tämä kaikki on kuitenkin siinä mielessä pelkkää johdantoa, että työn varsinaisen sisällön muodostaa nykyaikaisen kosmologian kaksi keskeistä ongelmaa eli pimeän aineen ja kosmisen inflaation analyysi.

Kyseisillä tekijöillä tuntuisi olevan selvä fysikaalinen yhteys alkuräjähdykseen, mutta tutkimuksella on vielä paljon tehtävää ennen kuin pimeän aineen ja inflaation perimmäiset ominaisuudet selvitetään. Viimeisten vuosikymmenten aikana huomattava määrä todistusaineistoa on alkanut osoittaa siihen suuntaan, että maailmankaikkeus todella laajeni alkuvaiheessaan hetkellisesti hypernopealla vauhdilla. Vaikka tämä kosmiseksi inflaatioksi kutsuttu vaihe kesti vain sekunnin murto-osan ajan, muutti se maailmankaikkeutta perustavalla tavalla ja pysyvästi.

Inflaatioteoriassa on voimaa, sillä sen avulla on mahdollista selittää huomattavan tarkasti muun muassa maailmankaikkeuden laajeneminen ja yhtenäisyys sekä pienet erot kosmisessa mikroaaltosäteilyssä. Lisäksi teoria ennustaa tavallisen aineen, pimeän aineen ja säteilyn jakautumien mukailevan toisiaan varhaisessa maailmankaikkeudessa. Jos josain on ollut huomattava määrä yhtä mainituista energian muodoista, on siellä täytynyt olla merkittävästi myös kahta muuta. Teoria osoittaa, että varhaiset tiheydenvaihtelut ovat suhteellisen hyvin ”skaalainvariantteja”, eli tiheyden muutokset näyttävät näillä alueella havaintojen asemasta riippumatta pääpiirteittäin samoilta.

Näiden yksityiskohtien tavoitteena on pyrkimys päästä lopulta mahdollisimman lähelle ennen inflaatiota vallinneeseen aikaan. Tehtävä on vaikea, sillä fysiikalla ei ole toistaiseksi havaintoja maailmankaikkeudesta ennen inflaatiovaihetta eli alkuräjähdyksen jälkeisen ensimmäisen sekunnin murto-osan 10^{-32} osalta. LHC saavuttaa alkuräjähdyksen kaltaiset olosuhteet, kuten edellä on todettu, muttei voi törmäyttää hiukkasia ennen inflaatiovaihetta vastaavalla energiamäärällä. Hooperin mukaan havaintojen puutteesta huolimatta fysiikan on mahdollista esittää perusteltuja oletuksia siitä, millainen maailmankaikkeus saattoi olla ensimmäisinä hetkinään. Tämä vaatii kuitenkin olemassa olevien tutkimustulosten yleistämistä suhteessa maailmankaikkeuden varhaisvaiheen lämpötiloihin sekä muihin fysikaalisiin olosuhteisiin.

Ongelma voidaan toisin sanoen yrittää ratkaista teoreettisen fysiikan avulla. Kaksi tämän hetken perustavinta yritystä päästä

selvyyteen maailmankaikkeuden rakenteesta ovat säieteoria ja silmukakvanttigravitaatio. Ensin mainitussa kentät eivät rakennu pistemäisistä kvanteista vaan laajennetuista kvanttiobjekteista eli säikeistä ja braaneista. Jälkimmäinen pyrkii yhdistämään näin löydetyin maailmankaikkeuden rakenteet ristiriidattomalla tavalla painovoimaan. Sikäli kuin näiden teorioiden oletukset osuvat oikeaan, on maailmankaikkeuden ulottuvuuksien määrä vähentynyt alkuperäisestä kymmenestä,

yhdestätoista tai kahdestakymmenestäkuudesta ulottuvuudesta ensimmäisen sekunnin 10^{-43} murto-osan aikana nykyiseen neljään ulottuvuuteen.

Edellä mainitut tulokset ovat osin hypoteettisia, mutta ne avaavat uusia kiinnostavia näkymiä modernin kosmologian ongelmiin. *Kaiken alku* ansaitsee kiitosta ennen kaikkea siitä, ettei se selosta nykykosmologian tuloksia sellaisenaan vaan kontekstoin ne perustavalla tavalla alan historialliseen kehitykseen ja pyr-

kii näkemään eri osatulosten välillä ainakin jonkinlaisia opillisia yhteyksiä. Merkittävää on myös se, että Hooper selostaa alan kehitystä kriittisesti epäonnistuneiden kokeiden ja erilaisten harhapolkujen avulla. Moderni tietehistoriallinen tutkimus on osoittanut jo jokin aika sitten, että juuri nämä seikat auttavat menestystekijöitä selvemmin paljastamaan kehityksen todellisen kulun. ■