

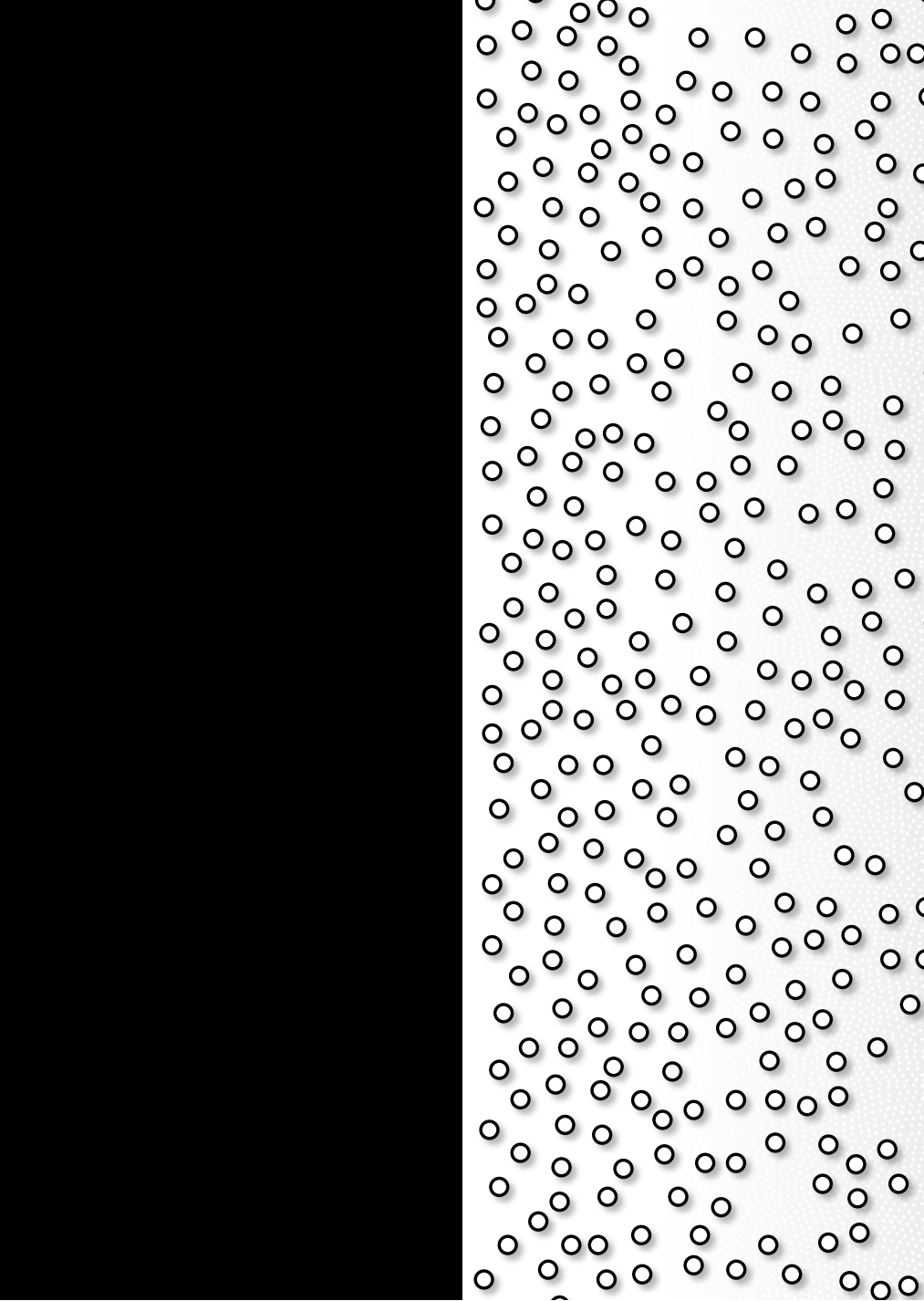
KARI ENQVIST

Ensimmäinen
sekunti

WSOY

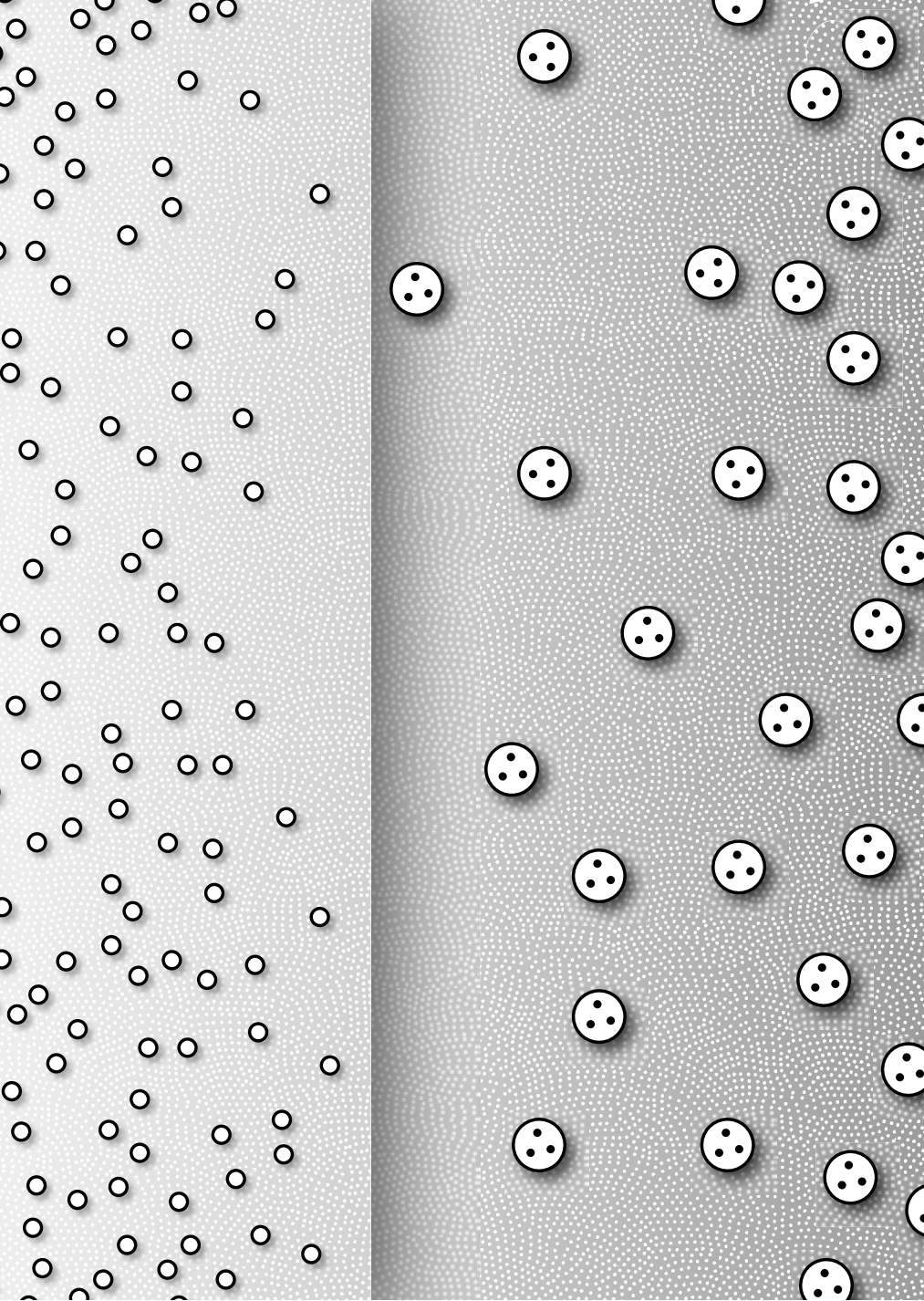
SILMINNÄKIJÄN
KERTOMUS





INFLAATIO

KUUMA
ALKURÄJÄHDYS



HIGGS
JÄÄTTY

AINE
SYNTYY

Ensimmäinen sekunti

SILMINNÄKIJÄN
KERTOMUS

© KARI ENQVIST JA WSOY 2014
ISBN 978-951-0-40730-1
PAINETTU EU:SSA

KARLI

ENQVIST

Ensimmäinen
sekunti

SILMINNÄKIJÄN
KERTOMUS

WSOY

Sisällys

Johdanto.....	II
1. Uusin tiede.....	13
2. Kosmologia kypsyy.....	21
3. Melkein kaikki on suhteellista.....	29
4. Avaruuden kumimatto.....	37
5. Tulikuuma kosmos	47
6. Avaruus joka laajeni valoa nopeammin	57
7. Katse kohti horisonttia	67
8. Alkusyntyiset häiriöt.....	75
9. Kosmiset radioamatöörit.....	85
10. Ja valkeus tuli	93
11. Vieritään hitaasti	101
12. Avaruuden vaahtopäät	109
13. Ennen inflaatiota	117
14. Hiukkasfysiikan standardimalli.....	125
15. Higgs rikkoo symmetriat	135
16. Hiukkasfysikot rakennustalkoissa.....	145
17. Eron pimeän pelosta.....	155
18. Miten talven selkä taittuu	165
19. Higgs härmistyy	173
20. Miksi ainetta on olemassa.....	181
21. Ydinmuodostus alkaa.....	189
22. Ensimmäisen sekunnin jälkeen	199
Valikoitua kirjallisuutta.....	211
Hakemisto.....	215

Johdanto

Tämä kirja kertoo kosmologian nykytilasta ja sen viimeisimmistä löydöksistä. Sen keskiössä ovat universumin ensimmäisen sekunnin aikaiset tapahtumat ja kosminen inflaatio eli alkuräjähdyttä edeltänyt avaruuden valoa nopeampi laajeneminen. Samalla se on kertomus kosmologia-tieteen huikkeasta noususta, sen murtautumisesta hieman epäilyttävästä marginaalista yhdeksi nopeimmin kasvavista luonnontieteen aloista, jota olen saanut olla todistamassa jo nuoresta tutkijasta. Tämä kaikki on tapahtunut neljänkymmenen viime vuoden aikana.

Olen yrittänyt välttää ammattitermejä niin paljon kuin mahdollista, vaikka kuulen jo korvissani kosmologikollegojen tuhtuneet huudahdukset. Kuvittelen, että tämä kirja voisi tarjota sekä eräänlaiset kehykset että taustakankaan jokaiselle, jota ihmisen osa ja paikka universumissa mietityttää. Toivon myös pystyväni valamaan uskoa ihmiseen: kaiken tämän ihmeellisen ja merkillisen me olemme kyenneet saamaan selville.

Kiitokset Ritva Kinnuselle ja Jorma Tuominiemelle heidän jakamistaan CERNin-muistoista. Kiitän lämpimästi WSOY:n kirjallisuussäätiötä apurahasta, jonka turvin tämä kirja on kirjoitettu. Myös Kirjastoapurahalautakunta on

tukenut teoksen valmistumista. Kiitän lisäksi universumia sen olemassaolosta, sillä ilman sitä tätä(kään) kirjaa ei olisi kirjoitettu.

Espoossa elokuussa 2014,

Kari Enqvist

I. Uusin tiede

Asiat ovat kuten ovat, koska ne
olivat niin kuin ne olivat.

FRED HOYLE

Monien luomismyyttien mukaan alussa vallitsi muodoton kaaos. Muinaisskandinaaveille se oli Ginnungagap, ammottava kuilu, joka erotti toisistaan jääjätiläisten pohjoisen Niflheimin ja etelän tulisen Muspelheimin. Perimätiedot osasivat kertoilla myös aution ja tyhjän maan yllä käyskentelevästä hengestä tai sitten rannattomasta alkumerestä, jonka syvyyksistä maailma taottiin olevaksi ja nostettiin aaltojen päälle. Tarinoihin saattoi liittyä muna, suuri puu, taivaallinen aviopari, hämähäkinainen tai alkuolento, joka kuolee – kaikki somassa sekamelskassa.

Samasta myyttisestä kaaoksesta polkaistaan liikkeelle myös moderni kertomuksemme, jonka alkuhetki on kietoutunut monimutkaisen ja vielä ratkaisemattoman matematiikan hämääseen. Sen syntysanat lausutaan rannattomassa ja kenties ikuisessa multiversumissa, jonka muoto ja olemus kuplivat sattuman hämmentelemänä kvanttikeitoksena. Se on totta tai vain kosmologien unikuva; emme tiedä varmasti. Se on luvuttomien mahdollisten maailmankaikkeuksien koti ja asunto. Voimme vain spekuloida luonnonlakeja,

jotka huojuvat sen tuulissa kuin kesänkirkkaan Auringon langettamat varjot. Sen vaahtopäiden murtuessa voi avaruuden johonkin mikroskooppiseen kulmakuntaan roiskahtaa sattumalta energiaa niin paljon, että yleisen suhteellisuusteorian yhtälöiden mukaisesti tuo onnekas alue alkaa laajeta valoa nopeammin. Se pullistuu kuin kompressorin puhaltama ilmapallo; se kasvaa kasvamistaan. Kun sattumaenergia viimein muuttuu kuumaksi säteilyksi ja avaruuden hypernopea venyminen loppuu, mitättömästä siemenestä on muodostunut kokonainen maailmankaikkeus.

Meidän maailmankaikkeutemme.

Tätä huimaa ja äkillistä laajenemista kutsutaan kosmiseksi inflaatioksi. Tässä kohdin mytologia vaihtuu tieteksi. Emme tiedä tarkkaan, mikä inflaation aiheuttaa tai kuinka usein sitä tapahtuu. Voi olla mahdollista, että suunnaton multiversumimme on koko ajan loppumattoman inflaation kourissa. Tiedämme kuitenkin, että siinä multiversumin paikallisessa osassa, jota ihmisen röyhkeydellä nimitämme kaikkeudeksi, inflaatiota ajava voima on sammahtanut kuin mopoauto, josta dieselöljy on päässyt loppumaan.

Avaruus ei tällä hetkellä laajene valoa nopeammin vaan hyvin, hyvin hitaasti. Mutta meillä on vahvaa näyttöä, että aivan maailmanaikamme alussa inflaation suunnaton energia puhalsi silmänräpäyksessä protonin säteen biljoonasosan suuruudesta alueesta karkeasti metrin kokoisen pallon. Tästä metrisestä pallosta sikisi meille nyt näkyvä maailmankaikkeus.

Inflaation loputtua universumi täyttyi ensimmäisen sekunnin murto-osan kuluessa kuumasta säteilystä. Sen seurauksena maailmankaikkeus jatkoi laajenemistaan mutta nyt tavalla, joka oikeuttaa meitä kutsumaan inflaatioperiodin jälkeistä historiaa kuumaksi alkuräjähdykseksi. Tämä kehyskertomus on nykykosmologian lähtöruutu.

Kosmologia, oppi maailman synnystä ja kehityksestä, on kovaa tiedettä. Se ei ole tähtitieteen osa-alue vaan itsenäinen luonnontiede. Vaikka sen tutkimuskohde on suurin mahdollinen, maailmankaikkeus kokonaisuutena, kosmologien mielenkiinto suuntautuu myös kaikkein pienimpään, aineen rakenneosasiin. Maailmankaikkeuden ominaisuudet määräytyivät sen ensimmäisen elinsekunnin aikana alkeishiukkasten keskinäisistä reaktioista kuumuudessa, jolle ei löydy vertaa edes tähtien ytimistä. Silloin sorvattiin käsikirjoitus, jota kosmos on noudattanut koko liki neljäntoista miljardin vuoden mittaisen historiansa ajan.

Kosmologit ovat tottuneet sekä suuriin että pieniin lukuihin. Me käyttelemme yhtä sulavasti biljoonia sekunteja kuin sekunnin biljoonasosia. Yksi biljoona on miljoona miljoonaa eli tuhat miljardia; triljoona on miljoona biljoonaa. Nämä ovat numeroita vailla minkäänlaista arkista tai emotionaalista merkitystä. Hämmennystä lisää se, että amerikkalaiset tarkoittavat biljoonalla miljardia ja triljoonalla eurooppalaista biljoonaa. Kun he sanovat, että Yhdysvaltain valtion budjetti on lähes neljä triljoonaa dollaria, he tarkoittavat neljää tuhatta miljardia dollaria. Tämä sekasotku näkyy joskus hiipivän myös valtionvelkojen suuruuksilla mäsäilevien toimittajien talousjuttuihin, vaikka luulisi heidän käsittävän, miten suuri ero on sillä, makaako käyttötulilla tuhat vai biljoona euroa.

Käytännössä kosmologian tutkijat turvautuvat esimerkiksi biljoonan sijasta yksikäsitteiseen matemaattiseen merkintään 10^{12} , joka kertoo, että ykköstä seuraa kaksitoista nollaa. Sekunnin biljoonasosa on tällöin 10^{-12} sekuntia, sekunnin triljoonasosa 10^{-18} sekuntia. Näin ilmaistuna maailmankaikkeuden ikä on 4×10^{17} sekuntia eli 0,4 triljoonaa

naa sekuntia, johon tämän kappaleen lukemisen aikana tuli parikymmentä sekuntia lisää. Tässä kirjassa siis vannotaan eurooppalaisten biljoonien ja triljoonien nimeen.

Sekunnin murto-osista puhuttaessa voi käyttää myös mikrosekuntia eli sekunnin miljoonasosaa tai nanosekuntia, joka on sekunnin miljardisosa. Yhdessä nanosekunnissa valo ehtii kulkea kolmekymmentä senttimetriä.

Nykykosmologian viitekehys on siis kosminen inflaatio ja sitä seurannut kuuma alkuräjähdyks. Moderni mytologiamme eroaa ratkaisevasti nuotioturinoista, joissa matemaattisten differentiaaliyhtälöiden sijasta pääosaa näyttelivät esimerkiksi Kalevalan tapaan Ilmatar ja sotkan muna. Vaikka paljon on vielä hämärän peitossa, voimme erottaa inflaation puumerkin alkuräjähdyksen jälkikäivä eli taivaan joka suunnalta virtaavassa kolmen kelvinasteen mikroaaltosäteilyssä. Sitä katsoessamme katsomme samalla menneisyyteen.

Kun kysytään, mistä tiedämme alkuräjähdyksen tapahtuneeksi, voimme siksi vastata levollisin mielin: me olemme nähneet sen.

Hieman hämäävästi tähtitieteeseen on pesiytynyt myös termi »kosminen säteily», mutta sillä ei ole mitään tekemistä alkuräjähdyksen kanssa. Se on muun muassa protoneista koostuvaa hiukkassäteilyä, jonka alkuperä on Linnunradan sisäpuolella eli kosmologisessa mielessä aivan tuulikaapin kynnykseltä. Kosminen mikroaaltosäteily puolestaan on luonteeltaan sähkömagneettista ja siis samaa heimoa kuin radioaallot tai valo. Se on myös lämpösäteilyä; siitä määre »kolme kelviniä», joka vastaa -270:tä celsiusastetta. Kosmologit puhuvat siitä kosmisena mikroaaltotaustana, ja nimikettä käytetään toistuvasti myös tässä kir-

jassa. Kosminen mikroaaltotausta on kuin valokuva varhaisimmasta maailmankaikkeudesta; se ei ole elokuva, sillä se ei muutu vuodesta toiseen vaan näyttää koko ajan täsmälleen samanlaiselta.

Kosminen mikroaaltotausta on nykykosmologian tärkein tiedon lähde ja koko alkuräjähdysteorian kivijalka. Se on myös ainoa avain oveen, jonka takaa aukeaa näkymä universumin ensimmäiseen sekuntiin.

Kosmista mikroaaltotaustaa on menestyksekkäästi mitattu sekä Maan pinnalta että 1990-luvulta alkaen satelliittien avulla avaruudessa. Se havaittiin ensimmäisen kerran vuonna 1964, kun yhdysvaltalaiset Arno Penzias ja Robert Wilson olivat testaamassa käytöstä poistettua tietoliikenneantennia radioastronomisia havaintoja varten. Palaamme heihin tarkemmin yhdeksännessä luvussa. Löydöstä on joskus luonnehdittu 1900-luvun tieteen onnekkaimmaksi sattumaksi.

Kosmologia vakavasti otettavana tieteenalana on siis veraten nuori. Se näki päivänvalon ensimmäisen maailmansodan vielä riehussa Euroopassa ja elää kituutti vähälukuisen tähtitieteilijäjoukon ylläpitämällä säästöliekillä aina vuoteen 1980 saakka. Silloin tässä jo sammuvaksi uumoilussa nuotiossa roihahti, kun kosmisen inflaation teoria innosti hiukasteoreetikot ahkeraan kosmologiseen spekulointiin.

Itse väittelin teoreettisesta hiukkasfysiikasta vuonna 1983. Seuraavan vuoden tammikuusta alkaen työpaikkani oli Geneven ulkopuolella sijaitseva Euroopan hiukkasfysiikan tutkimuskeskus CERN ja nimikkeeni tutkijatohtori. Jo maaliskuussa sain valmiiksi yhdessä Dimitri Nanopoulos -nimisen, minua hieman vanhemman kollegan kanssa ensimmäisen inflaatiota koskevan tutkimusartikkelini. Sen otsikko oli koukeroinen »Rapid Phase Transitions in Pri-

mordial Inflation With Flat Supergravity Potentials». Se ei hankkinut minulle matkalippua Tukholmaan eikä paikkaa kuningatar Silvian pöydässä, mutta ei se nyt tyystin huonokaan ollut. Valtaosa kaikista kosmologian tutkimusartikkeleista kuuluu samaan kategoriaan. Muutaman kymmentä tutkijaa saattaa lukea niitä ja omissa tutkimuksissaan viitata niihin, minkä jälkeen ne pikkuhiljaa unohdetaan. Mutta ainakin voin kerskailla kulkeneeni etujoukkojen matkassa ja tässä mielessä olleeni silminnäkijänä kosmologioiden tunkeutuessa ajassa taaksepäin ja ensimmäisen sekunnin halki aina maailmankaikkeuden syntyjuurille.

Vasta tätä kirjoittaessani oivalsin, että artikkelini ansiosta olin itse asiassa ensimmäinen suomalainen inflaatio-tutkija. Koulupoikana harrastin tähtiä Lahden Ursassa, jonka vesitornin nokkaan rakennetussa tähtitornissa vietin monet illat ja jokusen yönkin. Kuu ei minua kiinnostanut, ja planeetat sivuutin olankohautuksella. Mitä kaukaisempi kohde, sitä enemmän tunsin siihen vetoa. Katsoin mielelläni kaukoputken lävitse pallomaisia tähtijoukkoja, sillä niiden sisältämien tähtien uskotaan olevan hyvin vanhoja. Ne kiertävät Linnunrataa sen ulkopuolisina satelliitteina ja näkyivät himmeinä, yksinäisinä tuhruina, kuin mykkinä todistuskappaleina ajoista, joihin kronometrimme eivät yllä. Galaksit erottuivat muodoiltaan epämääräisempinä usvaläikkinä, mutta pienehkö kaukoputki pystyi sieppaamaan vain lähimpien galaksien valon. Se harmitti, sillä kauas katsoesani tiesin pystyväni kurkistamaan menneisyyteen.

Auringon valolta kuluu kahdeksan minuuttia saavuttaa maapallo, ja siksi näemme taivaalla Auringon sellaisena kuin se oli kahdeksan minuuttia sitten. Kuu on reilun valosekunnin päässä. Vuonna 1977 matkaan lähetetty Voyager 1 -avaruusluotain on edennyt jo yhdeksäntoista miljardia

kilometriä. Se on jättänyt aurinkokunnan taakseen ja on kahdeksantoista valotunnin päässä. Lähimpään tähteen on kuitenkin vielä valtavasti matkaa: alfa Kentauri, joka näkyy vain eteläiseltä pallonpuoliskolta, on 4,3 valovuoden etäisyydellä. Voyager 1 ei muuten ole menossa sinnepäinkään vaan jää harhailemaan avaruuden suunnattomaan tyhjiyteen, josta kukaan ei sitä tule milloinkaan löytämään.

Aurinko on aivan tavallinen tähti, joskin hieman kirkkaampi kuin valtaosa Linnunradan neljästäsadasta miljardista tähdestä, jotka enimmäkseen ovat himmeitä, punaisia kääpiötähtiä. Sen etäisyys Linnunradan keskustasta on 27 000 valovuotta. Kosmologi ei kuitenkaan ole kiinnostunut tähdistä eikä Linnunradastakaan, jota joukko kääpiögalakseja seurailee kuin uskollinen koiralauma isäntäänsä.

Syystaivaalla voi erottaa läpimitaltaan osapuilleen Kuun kokoisen epätarkan läiskän, joka on Andromedan galaksi, oman kotigalaksimme Linnunradan kaltainen spiraalinmuotoinen tähtijärjestelmä. Linnunradan läpimitta on noin satatuhatta valovuotta, mutta Andromedan galaksi on vielä suurempi. Sen etäisyys on 2,5 miljoonaa valovuotta eli reilut kaksikymmentä miljoonaa kilometriä. Sen valo on vanhintaa, mitä paljain silmin voimme nähdä: kun katsomme Andromedan galaksia, katsomme samalla 2,5 miljoonaa vuotta menneisyyteen. Kun nyt maapallolle saapuva valo lähti sieltä liikkeelle, ihmissuvun varhaisimmat esi-isät olivat juuri opettelemassa kivityökalujen käyttöä. Ja silti kyseessä on vielä aivan avaruuden lähinaapurusto, Viron kosminen vastike.

Andromedan galaksi ja Linnunrata muodostavat yhdessä pienempien seuralaisgalaksiensa kanssa Paikallisen ryhmän nimellä kulkevan ryppään, joka puolestaan on osa Neitsyen superjoukkoa. Neitsyen superjoukkoon kuuluu yli sata ga-

laksiryhmää, ja läpimittaa tällä kosmisella megalopoliksella on yli sata miljoonaa valovuotta. Sen ydin, Neitsyen tuhatpäinen galaksiryhmä, sijaitsee kuudenkymmenenviiden miljoonan valovuoden etäisyydellä. Kun nyt tarkkailemme sitä teleskoopin, näemme valoa, joka lähti liikkeelle, kun Jukatanin niemimaalle iskeytyi dinosaurukset tuhonnut asteroidi, joka mahdollisti nisäkkäiden valtakauden.

Mutta kosmologi ei suuresti riehaannu galaksiryhmistään, joita on miljoonia, vaan haluaa katsoa vielä syvemmälle avaruuteen ja samalla vielä etäämmälle menneisyyteen. Jos nimittäin tähystää tarpeeksi kauas, aina varhaisimpiin galakseihin ja niiden taakse, voi tirkistää maailmankaikkeuden alkuun.

Helposti tuo tähyäminen ei kuitenkaan suju. Se on hanke, joka vie satelliittien matkassa kauas avaruuden hiljaisuuteen. Se johdattaa meidät etelänavan ikijäälle ja vaativalle mutta antoisalle intellektuaaliselle pyhiinvaellukselle, joka samalla antaa todistuksen siitä, mitä on olla ihminen.

»Ensimmäisen sekunnin jälkeen ei ole tapahtunut mitään mielenkiintoista.»

Oletko koskaan ihmetellyt, miten kaikki sai alkunsa? Alkuräjähdyksestä olet kuullut, samoin ehkä pimeästä aineesta, Higgsin hiukkasesta, antimateriasta ja sen sellaisesta. Mutta mitä ne oikein tarkoittavat? Entä oletko tiennyt, että joukossamme on ihmisiä, jotka ovat nähneet alkuräjähdyksen?

Kari Enqvist kertoo maailmankaikkeuden synnystä nautittavalla tavalla ja tarjoaa ainutlaatuisen näköalan maailman huippututkijoiden työhön – onhan hän itse ollut paikalla, kun alkuräjähdyksen mysteerejä on ratkottu. Nobelin palkinnon arvoisten löydösten tekeminen paljastuu kiehtovaksi mutta samalla kovin inhimilliseksi toiminnaksi.

WWW.WSOY.FI · ISBN 978-951-0-40730-1 · 52,2

