

# Maailmankaikkeuden rakenteen synty

■ Hannu Kurki-Suonio

Maailmankaikkeuden rakenteella tarkoitetaan sitä, miten aine on jakautunut avaruuteen. Jos mitään rakennetta ei olisi, vaan aine olisi täysin tasaisesti jakautunut, ei olisi tähtiä, planeettoja eikä eläviä olentojakaan. Tarkastelen tässä esityksessä maailmankaikkeuden rakennetta yksittäistä galaksia suuremmilla etäisyyskaaloilla. Toisin sanoen käsittelen sitä, miten galaksit ovat jakautuneet avaruuteen, mutta en puutu galaksien sisäiseen rakenteeseen. Pienempien skaalojen rakenteiden, galaksien, tähtien ja planeettojen, kehityksen alkuvaihe on oletettavasti ollut samanlainen kuin näiden suurempienkin rakenteiden; rakenteen kehitys vain on niissä jatkunut pidemmälle. Mutta ainoastaan suurten skaalojen rakenteet ovat riittävän lähellä kehityksensä alkuvaihetta, jotta niitä tutkimalla voimme yrittää selvittää rakenteen alkuperää.

Galaksit eivät suinkaan ole jakautuneet tasaisesti avaruuteen. Osa galakseista kuuluu galaksijoukkoihin, joissa galaksit painovoiman vaikutuksesta kiertävät toisiaan. Nämä galaksijoukot muodostavat ”superjoukkoja”, joissa useampi galaksijoukko on löyhästi liittynyt toisiinsa. Vielä suuremmilla skaaloilla galaksien tihentymät muodostavat litteitä ja pitkulaisia rakenteita, ”kalvoja ja säikeitä”, joiden väliin jää ns. onkaloita, alueita, joissa galakseja on hyvin harvassa. Kuva tästä suurten skaalojen rakenteesta on selkiytynyt huomattavasti viimeisen kymmenen vuoden aikana, kun yli miljoonan galaksin etäisyys on mitattu. (Tarkkaan ottaen etäisyyden sijasta on mitattu galaksin etääntymisestä aiheutuva punasiirtymä, joka Hubblen lain mukaan on likimain etäisyyteen verrannollinen.) Suurin etäisyyskaala, jolla esiintyy selkeää rakennetta on muutama sata miljoonaa valovuotta.

Sitä suuremmilla, miljardien valovuosien, etäisyyskaaloilla, maailmankaikkeus on hyvin tasainen, ”homogeeninen”.

Maailmankaikkeuden nykyinen rakenne on muodostunut painovoiman vaikutuksesta. Alkuräjähdysvaiheessa aine oli jakautunut avaruuteen hyvin tasaisesti. Siinä oli kuitenkin lieviä tihentymiä ja harventumia. Nämä alkuperäiset tihentymät olivat tyypillisesti vain noin kymmenestuhannesosan harventumia tiheämpiä. Havaitsemme ne kosmisen taustasäteilyn kirkkaudenvaihteluina. Tihentymät ovat sitten painovoimallaan vetäneet itseensä lisää ainetta harvemmista alueista ja tiivistyneet kokoon muodostaen lopulta galakseja ja galaksijoukkoja.

Kysymys maailmankaikkeuden rakenteen synnystä voidaan jakaa kahteen osaan:

1) Miten nämä alkuperäiset, ”primordiaaliset”, tihentymät ja harventumat, rakenteen ”siemenet”, ovat syntyneet?

2) Miten niistä on kehittynyt maailmankaikkeuden nykyinen rakenne?

## Primordiaalisen rakenteen alkuperä

Ensimmäinen näistä kysymyksistä on teoreetikon kannalta kiinnostavampi, mutta siihen vastaaminen on nykyisin vielä varsin spekulatiivisessa vaiheessa. Kosmologeilla on ollut useita kandidaatteja primordiaalisen rakenteen syntymekanismeille. Toistakymmentä vuotta sitten oli vielä vahvoilla ajatus, että tihentymät olisivat syntyneet varhaisessa maailmankaikkeudessa jossakin aineen olomuodon muutoksessa, joka liittyy eräisiin hiukkasfysiikan hyvin suuria energioita koskeviin teorioihin (ns. suuret yhtenäisteoriat). Tämä ehdotus on kuitenkin jou-

duttu hylkäämään, koska tarkemmat havainnot suuren skaalan rakenteesta viittaavat toisenlaiseen syntyhistoriaan.

Suurimmilla skaaloilla maailmankaikkeuden rakenteessa esiintyy sellaisia ominaisuuksia, että kausaalista syistä niiden on ollut mahdollista syntyä ainoastaan, jos niiden syntymisen jälkeen maailmankaikkeuden laajeneminen on ollut kiihtyvää, ja maailmankaikkeus on laajentunut hyvin paljon tämän kiihtyvän vaiheen aikana. Tällaista kiihtyvää laajenemista kutsutaan kosmologiasa inflaatioksi. Inflaatiolla on sellainen vaikutus, että mikroskooppisen skaalan kvanttimekaaniset fluktuaatiot venyvät tähtitieteellisiin mittoihin ja lakkaavat värähtelemästä, jolloin ne ilmenevät juuri ainetiheyden vaihteluina. Koska inflaatio täten jo sisältää mekanismin primordiaalisten tihtentymien synnylle, yleensä ei pidetä mielessä olettamaa sen lisäksi muita mekanismeja.

Mikä tämän inflaation sai sitten aikaan? Tätä emme vielä tiedä, mutta hiukkasfysiikoiden teorioissa esiintyy monia mahdollisuuksia. Koska näitä teorioita ei ole päästy laboratoriossa testaamaan riittävän suurilla energioilla, niissä on paljon kiinnostamattomia vapausasteita ja meillä on tarjolla useita ”inflaatiomalleja”.

(Täydellisyyden vuoksi on todettava, että edelleen voidaan kyllä esittää inflaatiolle vaihtoehtoisia tapoja tuottaa nuo rakenteet, mutta ne edellyttävät vielä huikempia ilmiöitä, kuten sykkivää maailmankaikkeutta, jossa rakenteen siemenet olisivat syntyneet jo kutistumisvaiheessa, tai ylimääräisiä ulottuvuuksia. Nämä selitykset sisältävät vielä enemmän tuntematonta fysiikkaa ja siksi niissä on enemmän avoimeksi jääviä kysymyksiä, eikä niitä ole kehitetty yhtä pitkälle.)

### Perimmäisten luonnonlakien etsintä

Edellä kuvatun perusteella universumin rakenteen siemenet ovat syntyneet jo inflaation aikana. Kvanttimekaaniset fluktuaatiot ovat satunnaisprosessi, eräänlainen ”arvonta”. Jo inflaation aikana siis arvottiin, mihin kohtaan maailmankaikkeudessa tulee tihtentymiä, mihin harvennuttomia. Sen jälkeinen rakenteiden kehitys on ollut determinististä, fysiikan lakien määrää-

mää. Useimmissa inflaatiomalleissa maailmankaikkeuden energia on inflaation aikana sidottuna eräänlaiseen inflaatiokenttään, ja inflaation aikana maailmankaikkeus jäähtyy voimakkaan laajenemisen vuoksi hyvin kylmäksi. (Ei tosin ole selvää, oliko maailmankaikkeus kuuma ennen inflaatiota.) Inflaation päättyessä tämä energia vapautuu ja muuttuu hiukkasiksi, joilla on korkea lämpötila. Usein käytetty termi ”alkuräjähdyks” viittaa oikeastaan vasta inflaation jälkeisen maailmankaikkeuden kehitysvaiheeseen.

Kosmologien suurin mielenkiinto rakenteen tutkimuksessa suuntautuu siihen, mitä voidaan päätellä rakenteen muodostumiseen vaikuttavista seikoista ja erityisesti siitä mekanismista, joka tuotti nuo primordiaaliset tiheysvaihtelut. Näin kosmologia on apuna etsittäessä perimmäisiä luonnonlakeja. Näiden luonnonlakien tutkiminen laboratorio-oloissa kohtaa käytännön rajoja. Alkuräjähdyksen äärimmäisissä energiatihyysissä teorit joutuvat testiin aivan toisenlaisilla energioilla. Primordiaalisten tiheysvaihteluiden syntymekanismin etsiminen on samalla hyvin suurten energioiden luonnonlakien etsimistä; tai ainakin mahdollisuuksien rajoittamista.

### Kosminen taustasäteily

Galaksien jakauman lisäksi toisen tärkeän havaintoaineiston tässä tutkimuksessa muodostaa kosminen taustasäteily. Valon äärellisestä nopeudesta johtuu, että kun katsomme kauas, katsomme samalla ajassa taaksepäin. Kaukaisimpien havaittavien galaksien takana katseemme etsiytyy aikaan, jolloin galakseja ei vielä ollut olemassa, ja lopulta kohtaa varhaisen maailmankaikkeuden kuumen plasman. Tämän plasman lämpösäteilyn näemme tänä päivänä kosmisena mikroaaltotaustasäteilynä. Se näyttää meille noin 400 000 vuoden ikäisen maailmankaikkeuden (siis sen hyvin kaukaiset osat). Koska maailmankaikkeuden ainetihtentymät ja -harvennukset olivat tuolloin vielä hyvin lieviä, säteily näkyy lähes yhtä kirkkaana kaikissa suunnissa, ”isotrooppisena”. Herkillä instrumenteilla voimme kuitenkin havaita pieniä kirkkausvaihteluita, ”epäisotropiaa”, jotka näyttävät meille nuo varhaisen maailmankaikkeuden pienet tiheysvai-

telut. Vaikka siis tällöin katselemmekin eri (siis kaukaisempia) osia maailmankaikkeudesta kuin niitä, joissa kartoitamme galaksien jakautumista, primordiaalisien rakenteiden tuottomekanismin pitäisi kuitenkin olla ollut kaikkialla sama. Näin ollen voimme verrata mikroaaltotaustassa havaitsemiemme heikkojen tihentymien tilastollisia ominaisuuksia galaksien jakaumassa havaitsemiemme voimakkaiden tihentymien vastaaviin ominaisuuksiin ja testata, onko näiden suhde sopusoinnussa rakenteiden kehityksen teorian kanssa (ks. edempänä). Nimenomaan tästä vertailusta nousee mm. vaatimus pimeään aineeseen osuudesta rakenteiden voimistumisessa.

Kosmisen taustasäteilyn näyttämä rakenne ei ole sama kuin primordiaalisien rakenteiden, koska siinä on jo ehtinyt tapahtua kehitystä. Kehitys on kuitenkin ollut sen verran vähäistä että taustasäteilyn epäisotropian ja primordiaalisien rakenteiden yhteys on melko suoraviivaisesti laskettavissa. Näin ollen tärkein tapa yrittää selvittää havaintojen avulla primordiaalisien rakenteiden syntymekanismia on mitata kosmista taustasäteilyä mahdollisimman tarkasti. Tarkimmat mitaukset voidaan tehdä avaruudesta käsin, missä maan ilmakehä ei häiritse havaintoja. Kosmista taustasäteilyä on mitattu jo kahdella siihen tarkoitukseen rakennetulla satelliitilla, yhdysvaltalaisilla COBE- (laukaistiin avaruuteen vuonna 1989) ja WMAP-satelliiteilla (2001). (COBE – *Cosmic Background Explorer*, WMAP – *Wilkinson Microwave Anisotropy probe*.) Huh-tikuussa 2009 on tarkoitus lähettää avaruuteen eurooppalainen Planck-satelliitti, joka tulee kartoittamaan taustasäteilyn kirkkaus- ja polarisaatiovaihtelut vielä entistä huomattavasti tarkemmin. Suomalaisetkin kosmologit ja tähtitieteilijät ovat mukana tässä satelliittiprojektissa, ja osa satelliitin instrumenteista on valmistettu Suomessa.

### **Yksinkertaisin mahdollinen rakenne**

Havaintojen perusteella primordiaalisien rakenteiden oli lähellä ”mahdollisimman yksinkertaista satunnaista rakennetta”. Tällä tarkoitetaan kolmea tilastollista ominaisuutta:

– Rakenne oli ”skaalainvarianttia” eli yhtä voimakasta kaikilla etäisyyskaaloilla.

– Rakenne oli ”adiabaattista”, eli kaikissa aine- ja energiakomponenteissa (tavallinen aine, pimeä aine, säteily ja neutriinot) oli sama rakenne.

– Rakenne oli ”gaussista”, eli erisuuruisten tiheyspoikkeamien yleisyys poikkeaman suuruuden funktiona asettuu Gaussin käyrälle, ja tämän käyrän leveys (keskihajonta) oli kaikkialla sama. Tällainen gaussinen jakauma on tietysti mielessä ”mahdollisimman satunnainen” jakauma, koska siihen liittyy vain yksi parametri, keskihajonta (jakauman keskiarvo on nolla, sillä tarkasteltu suure on poikkeama keskitiheydestä).

Inflaatio tuottaa likimain tällaisen mahdollisimman yksinkertaisen rakenteen. Eri inflaatiomallit kuitenkin tuottavat erilaisia pieniä poikkeamia siitä. Siksi olemme kiinnostuneet primordiaalisien tiheysvaihteluiden mahdollisimman tarkasta määrittämisestä löytääksemme näitä pieniä poikkeamia ja päästäksemme niiden kautta oikean inflaatiomallin jäljille.

### **WMAP- ja Planck-satelliitit**

WMAP-satelliitti on mitannut kosmisen taustasäteilyn kirkkaudenvaihtelut 150 miljoonaa valovuotta suuremmilla skaaloilla (vastaa noin asteen neljännessä taivaalla). 300 miljoonaa valovuotta suuremmilla skaaloilla WMAPin mitaus on riittävän tarkka eli sitä ei hyödytä enää parantaa. Planckin on tarkoitus mitata kaikki 50 miljoonaa valovuotta suuremmat skaalat. Taustasäteilyn kirkkausvaihteluissa informaatio varhaisen maailmankaikkeuden rakenteesta sekoittuu informaatioon myöhäisemmästä rakenteesta, jonka läpi säteily on kulkenut tänne meille. Näiden erottamiseksi toisistaan on tärkeää mitata myös säteilyn polarisaatio, koska siinä samanlaista sekoittumista ei esiinny. Polarisaatio on kuitenkin vielä kirkkausvaihteluita heikompaa, joten WMAP ei pystynyt sitä kovin hyvin erottamaan. Planckin instrumenttien suurempi herkkyys mahdollistaa myös taustasäteilyn polarisaation kartoittamiseen.

WMAPin tulokset viittaavat jo yhteen mie-

lenkiintoiseen poikkeamaan yksinkertaisimmasta mahdollisesta alkuperäisestä rakenteesta: Alkuperäiset tiheysvaihtelut olivat hieman heikompia pienemmillä etäisyyskaaloilla. Tätä kuvataan ns. spektri-indeksin arvolla, joka WMAP:in mittausten mukaan on 0,96 (+−0,015). Tämä tarkoittaa, että annetulla skaalalla tiheysvaihteluiden voimakkuus on vain 96 % 2,7 kertaa suuremman skaalan tiheysvaihteluiden voimakkuudesta. (Tässä 2,7 on luonnollisen logaritmijärjestelmän kantaluku e.)

Planck tekee mittauksensa vuosina 2009–11 ja tulokset on tarkoitus julkaista vuonna 2012. Karkeasti voidaan sanoa, että Planckin mittaukset ovat noin kolme kertaa tarkempia kuin WMAPin. Tämän jälkeen taustasäteilyn kirkkaudenvaihtelut on mitattu käytännössä niin hyvin kuin niitä on hyödyllistä mitata. Polarisaatiomittauksissa on senkin jälkeen huomattavasti tarkentamisen varaa. Tätä varten laaditaan jo suunnitelmia seuraavasta satelliitista, joka olisi optimoitu taustasäteilyn polarisaatiomittauksia varten.

## Rakenteen kehitys

Jälkimmäinen kysymys, miten näistä primordiaalisista tiheysvaihteluista on kasvanut maailmankaikkeuden nykyinen rakenne, on jo paremmin hallinnassa. Meillä on hyvin ymmärretty ja toimiva painovoiman teoria, yleinen suhteellisuusteoria, jonka avulla voimme laskea miten rakenne kehittyy.

Tässäkin on kuitenkin vielä tuntemattomia vapausasteita. Maailmankaikkeuden ainetiheyttä nimittäin hallitsee niin sanottu pimeä aine, jonka tarkkaa luonnetta emme tunne. Pimeällä aineella on ratkaiseva merkitys rakenteen voimistumisessa. Rakenteen muodostumisen kannalta on oleellista, että pimeä aine ei vuorovaikuta säteilyn kanssa. Säteilyn paine nimittäin estää aluksi tavanomaisen aineen tihentymiä voimistumasta. Ilman pimeää ainetta nykyisenkaltainen rakenne ei ehtisi muodostua. Nyt pimeän aineen tihentymät alkavat kasvaa ensin. Kun tavanomainen aine myöhemmin muuttuu plasmasta kaasuksi (atomiytimet ja elektronit yhdistyvät atomeiksi), tavanomai-

sen aineen ja säteilyn vuorovaikutus heikkenee huomattavasti. Tämä tapahtuu kun lämpötila on laskenut tarpeeksi, eli noin 400 000 vuoden ikäisessä maailmankaikkeudessa. Tällöin aine muuttuu läpinäkyväksi ja säteily ja tavanomainen aine pääsevät kehittymään toisistaan riippumattomasti. Säteily etenee vapaasti ja näyttäytyy meille tänä päivänä kosmisena taustasäteilynä. Tavanomainen aine puolestaan alkaa pudota pimeän aineen tihentymiin, jotka ovat jo ehtineet tiivistyä huomattavasti.

Koska emme kuitenkaan tiedä mistä hiukkasista pimeä aine muodostuu, emme tiedä pimeän aineen ominaisuuksia tarkalleen. Oleellinen kysymys on, mikä osa pimeästä aineesta on ”kylmää”, mikä ”kuumaa”. Kylmyys ja kuumuus eivät viittaa tässä varsinaisesti lämpötilaan, vaan siihen mitkä ovat ainehiukkasten tyypilliset nopeudet. Kuuman aineen hiukkaset ovat tyypillisesti hyvin kevyitä ja liikkuvat nopeasti, eivätkä siksi herkästi jää painovoiman vangiksi. Havaintojen mukainen rakenne edellyttää siksi, että pääosa pimeästä aineesta on kylmää.

Galaksijoukkojen massasta suurin osa on pimeää ainetta. Galaksit liikkuvat galaksijoukoissa niin suurella nopeudella, että ne karkaisivat, jos ainoastaan galaksijoukon tavanomaisen aineen painovoima olisi niitä siellä pitelemässä. Pimeä aine koostuu ilmeisestikin joistakin toistaiseksi tuntemattomista hyvin heikosti vuorovaikuttavista hiukkasista. Pimeän aineen hiukkasia olisi kaikkialla, myös aurinkokunnassa. Ne eivät kuitenkaan tiivisty yhtä tiiviiksi rakenteiksi kuin galaksit ja aurinkokunnat, joten galaksien sisäosissa tavanomaisen aineen tiheys nousee pimeän aineen tiheyttä suuremmaksi. Galaksit ovat siis muodostuneet pimeän aineen tihentymiin, jotka ovat kooltaan suurempia kuin galaksien näkyvä osa.

Suhteellisen hyvin havaintoja vastaava suuren mittakaavan rakenne syntyy mahdollisimman yksinkertaisilla oletuksilla pimeästä aineesta, kun lähdetään alkuperäisestä mahdollisimman yksinkertaisesta satunnaisesta rakenteesta ja lasketaan, miten se voimistuu painovoiman vaikutuksesta. Oletamme pimeästä aineesta vain, että se on hyvin ”kylmää”, eli sen hiukkasten

alkunopeudet ovat merkityksettömän pienet, ja että sen muut kuin gravitaatiovuorovaikutukset ovat merkityksettömän heikkoja. Rakenteen kasvuun liittyy erilaisia etäisyyskaaloja, jotka liittyvät mm. siihen, kuinka pitkän matkan ääni- ja valoallot ehtivät kulkea missäkin maailmankaikkeuden kehitysvaiheessa. Näin alkuperäisestä (lähes) skaalainvariantista rakenteesta kehittyi rakenne, jonka voimakkuus riippuu etäisyyskaalasta. Tässä riippuvuudessa on mielenkiintoisia laskettavissa olevia detalleja, mutta kaikkein karkeimmillaan voidaan todeta seuraava yleispiirre: Rakenteen voimistumisessa on kysymys siitä, että ainetta putoaa painovoiman vaikutuksesta harvemmista alueista tiheämpiin alueisiin ja että kestää kauemmin pudota pitempi matka. Näin ollen pienen etäisyyskaalan rakenteet voimistuvat nopeammin kuin suuren skaalan. Siksi tänä päivänä pienillä skaaloilla havaitaan voimakkaampia rakenteita kuin suurilla. Muutamaa kymmentä miljoonaa valovuotta pienemmällä skaaloilla aine on tyypillisesti jo ehtinyt pudota koko matkan, muodostaen galakseja ja galaksijoukkoja, joissa putoamisliike on muuttunut kiertoliikkeeksi. Tämä kiertoliike estää näitä rakenteita luhistumasta enempää. Suuremmilla skaaloilla putoaminen on vasta käynnissä, eli esim. pienempi galaksijoukko on putoamassa kohti suurempaa, kymmenien miljoonien valovuosien päässä olevaa galaksijoukkoa kohti yhtyäkseen siihen, mutta ei ole vielä ehtinyt sinne.

Rakenteen voimistuminen painovoiman vaikutuksesta tuottaa suurilla skaaloilla juuri havaittuja kalvo- ja säiemäisiä rakenteita. Epämääräisen muotoinen heikko tihentymä tiivistyy nimittäin painovoiman vaikutuksesta siten, että putoaminen ehtii ”loppuun”, eli vastakkaisilta suunnilta lähteneet ainekset kohtaavat ensin siinä dimensiossa, mikä tihentymällä alun perin oli pienin. Näin syntyy litteä ”kalvomainen” rakenne. Sen jälkeen kohtaaminen tapahtuu toiseksi lyhimässä dimensiossa, eli syntyy pitkulainen ”säiemäinen” rakenne. Lopuksi viimeinenkin dimensio putoaa kasaan, ja saadaan kompakti rakenne, kuten galaksijoukko. Tämä päätepiste on siis saavutettu enintään muutaman

kymmenen miljoonan valovuoden kokoisilla skaaloilla. Sitä suuremmilla skaaloilla kehitys on vielä kesken, ja galaksien ja galaksijoukkojen havaitaan muodostavan näitä säie- ja kalvomaisia rakenteita. Suurin skaala, jossa rakenne alkaa jo selvästi erottua on muutama sata miljoonaa valovuotta. Sitä suuremmilla skaaloilla tarkasteltuna maailmankaikkeus vaikuttaa varsin tasa-aineiselta.

### **Kiihtyvä laajeneminen**

Olemme jo noin kahdeksankymmentä vuotta tienneet, että maailmankaikkeus laajenee. Tämän laajenemisen oletettiin vähitellen hidastuvan painovoiman, eli aineosasten välisen vetovoiman, vuoksi. Viimeisen kymmenen vuoden aikana kertynyt havaintoaineisto kuitenkin osoittaa, että maailmankaikkeuden laajeneminen alkoi kiihtyä noin viisi miljardia vuotta sitten. Tämän laajenemisen kiihtymisen syy on nykykosmologian suurin mysteeri. Jos emme halua tehdä muutoksia tunnettuihin luonnolakeihin, meidän on oletettava että maailmankaikkeuden energiatihelyttä dominoi ns. ”pimeä energia”, jolla painovoima toimiikin työntövoimana. Tämä on täysin yleisen suhteellisuusteorian mukaista: tietyn tyypillisillä energialajeilla painovoima toimii näin; varhaisen maailmankaikkeuden inflaatiossa on kyseessä sama ilmiö.

Joka tapauksessa kiihtyvällä laajenemisella on se vaikutus, että se pysäyttää rakenteen voimistumisen suurilla skaaloilla. Esimerkiksi kaksi galaksijoukkoa putoavat toisiaan kohti, mutta niiden välissä avaruus laajenee nopeammin. Laajenemisen kiihtymisen vuoksi putoamisnopeus käy lopulta merkityksettömäksi laajenemisen rinnalla, ja galaksijoukot jäävät likimain paikalleen laajenevaan avaruuteen.

Näin ollen maailmankaikkeuden suuren skaalan rakenteen kehitys on jo likimain pysähtynyt: Nykyinen rakenne jäätyi paikalleen ja vain laajenee avaruuden mukana. Tämä merkitsee mm., että oma galaksijoukkomme ei tule koskaan putoamaan läheiseen suurempaan Virgon galaksijoukkoon, niin kuin ennen odotettiin. Sen sijaan muut galaksijoukot tulevat loitonemaan omasta galaksijoukostamme niin, että

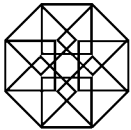
ne häviävät näkyvistä muutaman kymmenen miljardin vuoden aikaskaalalla. Tähtitieteilijöille jää havainnoitavaksi vain oman galaksijoukon kolmisenkymmentä galaksi: oma Linnunratamme, Andromedan galaksi, pienempi kierteisgalaksi M33 sekä joukko pieniä epäsäännöllisiä kääpiö- ja satelliittigalakseja.

Tällaisiin pitkän aikavälin ennustuksiin on toki syytä suhtautua varauksella. Emme tiedä, mistä kiihtyvä laajeneminen johtuu, tai mikä on sen mahdollisesti aiheuttavan pimeän energian todellinen luonne. Yksinkertaisimmat oletukset johtavat siihen, että laajeneminen pysyy kiihtyvänä, ikuisesti, jolloin tulevaisuus on edellä kuvattu. Mutta tarkempi tutkimus voi toki paljastaa rikkaamman todellisuuden, jonka jokin toistaiseksi havaitsematon piirre voi joskus alkaa hidastaa laajenemista.

## Kirjallisuutta

- J.R. Gott III et al. (2005): A Map of The Universe, *Astrophysical Journal* 624, 463.
- E. Komatsu et al. (2008): Five-Year WMAP Observations: Cosmological Interpretation, *Astrophysical Journal* (painossa), arXiv:0803.0547.
- A.G. Riess et al. (2007): New Hubble Space Telescope Discoveries of Type Ia Supernovae: Narrowing Constraints on the Early Behavior of Dark Energy, *Astrophysical Journal* 659, 98.
- V. Springel et al. (2005): Simulating the Joint Evolution of Quasars, Galaxies, and Their Large-Scale Distribution, *Nature* 435, 629.

**Kirjoittaja on teoreettisen fysiikan dosentti ja yliopistonlehtori fysiikan laitoksella Helsingin yliopistossa. Artikkelin perustuu Tieteen päivillä 7.1.2009 pidettyyn esitelmään.**



Tieteellisten seurain valtuuskunta julistaa haettavaksi

## Tiedeakatemiajaoston avustajan toimen

Avustaja osallistuu Tieteellisten valtuuskunnan ja sen Tiedeakatemiajaoston kansainvälisten asiain hoitamiseen ja avustaa erityisesti International Council for Science (ICSU) -järjestön tieteellisestä suunnittelusta ja arvioinnista vastaavaa varapresidenttiä, emerituskansleri Kari Raiviota.

Työsuhde alkaa toukokuussa 2009 sopimuksen mukaan neljän kuukauden koeajalla. Tehtävä on määräaikainen ja päättyy 31.12.2011.

Toimen menestyksellinen suorittaminen edellyttää vähintään opistotasoista koulutusta ja kotimaisten kielten lisäksi hyvää suullista ja kirjallista englannin kielen taitoa. Ranskan kielen taito katsotaan eduksi.

Hakemukset pyydetään viimeistään 6.4.2009 Tieteellisten seurain valtuuskuntaan, Mariankatu 5, 00170 Helsinki. Lisätietoja toiminnanjohtaja Aura Korppi-Tommola puh. (09) 228 69 222 ja professori Olavi Nevanlinna (09) 451 3034.