



## Liekkien loimu vai ikijää – loppukuvan hahmottelua

Tapio Markkanen



**Maailmankaikkeuden tulevaisuuden käsikirjoitus on kirjoitettu jo aikojen alussa. Kun halutaan tietää, millaiseksi nykyinen luonnontutkimus arvioi tulevaisuuden, on ensiksi luotava katsaus menneisyyteen.**



Vallitsevan käsityksen mukaan maailmankaikkeus syntyi äkillisesti noin viisitoista miljardia vuotta sitten. Samalla syntyivät, paitsi aine ja energia, myös luonnonlait eli perusvuorovaikutukset, jotka ovat ohjanneet olevaisen käyttäytymistä siitä lähtien. On syytä huomauttaa, että vuorovaikutukset olisivat voineet muovautua toisenlaisiksikin, ja silloin myös maailmankaikkeutemme näyttäisi varmasti vallan toisenlaiselta. Vaihtoehtojen eräitä vaikutuksia olen käsitellyt toisessa yhteydessä<sup>1</sup>.



### Tarvitaan ainetta, tarvitaan aikaa



Alun tapahtumia kutsutaan usein alkuräjähdykseksi, jota on seurannut edelleenkin jatkuva maailmankaikkeuden laajeneminen. Kuvaa on ehkä täydennettävä muistuttamalla, ettei alun maailmankaikkeus ollut suunnaton tyhjä tila, jonka keskellä ollut hippunen olisi alkanut laajeta ja täyttää maailmankaikkeutta. Myös avaruus, siis tila, oli sulloutuneena hyvin pieneksi. Tällä hetkellä alkuräjähdyksen lähtöpiste on levinnyt kaikkialle. Me olemme alkupisteessä, mutta niin on kaikki muukin, myös kaukaisimmat tähtijärjestelmät.



Maailmankaikkeus kehittyi siinä mielessä, että sillä on ajallisesti tunnistettu alku ja sen rakenne jatkuvasti muuttuu. Tällä hetkellä emme täysin varmasti tiedä, jatkuuko laajeneminen ikuisesti. On mahdollista, että se aikanaan pysähtyy ja kääntyy kutistumiseksi. Luhistumisen jälkeen voi maailmankaikkeus syntyä uudelleen, ehkä hyvin toisenlaisena. Laajenemisen jatkuminen riippuu maailmankaikkeuden massan tiheydestä. Aineen hiukkasten keskinäiset vetovoimat jarruttavat koko ajan laajenemista. Jos aineen tiheys on kyllin suuri, materian sisäinen vetovoima pysäyttää vihdoin laajenemisen ja kääntää sen luhistumiseksi. Jos tiheys on kriittistä arvoa pienempi, laajeneminen jatkuu koskaan pysähtymättä. Tämänhetkiset havainnot ja maailmankaikkeuden ainemäärää koskevat arvot antavat aihetta uskoa, ettei laajeneminen koskaan lopu.



Lakkaamatta laajenevassa maailmankaikkeudessa riittää aikaa monenlaisten kehitysvaiheiden esiintymiseen. Kehityksen kulku on kuitenkin määrätty jo alkuhetkellä. Tässä mielessä maailmankaikkeus näyttäytyy varsin deterministisenä, sen kehitys jopa predestinoituneena. Se ei tarkoita, etteikö maailmankaikkeudessa olisi sijaa äkillisille mullistuksille ja kaoottisille tapahtumille. Ne eivät kuitenkaan järkytä kokonaisuuden kehityskulkua. Julkisuudessa on viime aikoina käsitelty Maan lähietäisyydeltä kulkevia pikkuplaneettoja ja pyrstötähtiä sekä pohdittu yhteentörmäyksen mahdollisuutta ja sellaisen aiheuttaman tuhon mittasuhteita. Törmäyksen todennäköisyys on pieni, mutta tapahtuma silti mahdollinen, ja sen seuraukset saattavat varsinkin ihmiskunnan kannalta olla katastrofaaliset. Todettakoon tässä, että maailmankaikkeuden kannalta yhden planeettakunnan sisäiset törmäykset ovat jokseenkin merkityksettömiä. Tähtitieteilijä Toivo Jaakkola on kiinnittänyt yleisempää huomiota mahdollisuuteen, että maailmankaikkeuden rakennetta ja kehitystä tutkiessamme olemme ehkä ottaneet vakauden ja stationaarisuuden itsestäänselvyuden kaltaisena asioiden normaalitilana ja laiminlyöneet mullistusten merkitystä<sup>2</sup>. Kyetäkseen kehittymään tasolle, jolla on mahdollista tarkastella maailmankaikkeutta, kulttuuri vaatii ainakin kohtuullista vakautta ja pysyvyyttä.



Mutta maailmankaikkeudessa kehitys vallitsee myös toisessa perustavanlaatuisessa merkityksessä. Maailmankaikkeuden varhaisina hetkinä, neljän ensi minuutin aikana, syntyivät keveimmät alkuaineet vety, raskas vety, helium ja litium. Vety ja helium ovat maailmankaikkeuden ylivoimaisesti runsaimmat alkuaineet. Koko maailmankaikkeuden aineesta noin kolme neljänestä on vetyä, loput on lähes kokonaan heliumia. Kaikki muut alkuaineet, korkeintaan muutama prosentti kokonaisuudesta, ovat syntyneet myöhemmin, alunperin



vedystä ja heliumista muodostuneissa tähdissä.

Heliumia raskaampia alkuaineita syntyy tähtien keskuksissa prosessissa, josta on peräisin myös tähtien säteilemä energia, muun muassa valo ja lämpö. Tähdet syntyvät avaruuden harvaineisten kaasupilvien kutistumisen seurauksena. Kun pilvi vetäytyy sisäisen vetovoimansa vaikutuksesta kokoon ja tihenee, sen lämpötila nousee. Vapautunut energia ei pääse säteilemään ulos kylin tehokkaasti pilven jäädyttämiseksi, vaan keskuksen lämpötila ja paine kasvavat kasvamistaan. Kun pilven keskuksen lämpötila on noin kymmenen miljoonaa astetta, liikkuvat vety-ytimet niin suurilla nopeuksilla, että ne törmätessään pystyvät voittamaan ytimien väliset sähköiset hylkivät voimat ja yhtyvät. Tällaisessa fuusioksi sanotussa prosessissa alkuaineytimiä syntyy yksinkertaisempien ytimien yhdistymisen seurauksena. Tärkein fuusioprosesseista on vetyytymien yhtyminen heliumytimeksi. Se vallitsee tällä hetkellä Auringossa ja useimmissa muissa tähdissä. Fuusiossa vapautuu energiaa, joka siirtyy vähitellen tähden pintaan ja poistuu siitä sähkömagneettisena säteilynä avaruuteen.

Aurinko on loistanut keskuksensa vetyä fuusioimalla jo noin viiden miljardin vuoden ajan, ja sen polttoainetarasto riittää vielä toiset viisi miljardia vuotta. Tähtien energian tuottaminen vetyä heliumiksi fuusioimalla muuttaa tähden sisuksen kemiallista kokoonpanoa jatkuvasti. Muutos kestää pitkään, eivätkä sen vaikutukset juurikaan näy tähden kirkkauden, pintalämpötilan yms. muutoksina, ennen kuin vetyvarasto alkaa ehtyä. Sen jälkeen tähden koko rakenne ja ulkonäkö muuttuvat hyvinkin dramaattisesti.

Tähden kehityksen nopeus riippuu tähden massasta. Auringon kokoinen tähti fuusioi keskuksessaan vetyä kymmenen miljardin vuoden ajan. Jos tähden massa on viisitoistakertainen Aurinkoon verrattuna, vetyvarasto tulee käytetyksi tuhannesosajassa, siis kymmenessä miljoonassa vuodessa. Kun sisuksen vety on käytetty, tähden rakenne muuttuu ja se voi tuottaa energiaa fuusioimalla nyt keskuksessaan heliumia hiileksi tai keskuksen ja pinnan välisessä kerroksessa vetyä heliumiksi. Prosessin vaiheet ja yksityiskohdat riippuvat ratkaisevasti tähden massasta. Kun auringon kokoinen tähti on käyttänyt keskuksensa heliumin hiileksi, sen fuusiomahdollisuudet ovat lopussa, ja tähti kutistuu niin sanotuksi valkoiseksi kääpiöksi. Aurinkoa huomattavasti massiivisempi tähti sen sijaan pystyy fuusioimaan hiiltä hapeksi, happea piiksi ja lopulta raudaksi. Mutta sitten massiivisimpienkin tähtien fuusiotie on kuljettu loppuun, ja energian tuotto keskuksessa loppuu. Paine siellä pienenee eikä pysty enää kannattamaan ulompien kerrosten painoa, vaan tähti luhistuu ja räjähtää. Tällaisessa supernovassa energiaa vapautuu äkillisesti, ja sen johdosta rautaaakin raskaampien ytimien on mahdollista rakentua. Itse asiassa maailmankaikkeuden kaikki rautaa raskaampi aine on muodostunut supernovaräjähdyksissä.

Supernovien avaruuteen sirottama materia sekoittuu harvaineisiin vety- ja heliumpilviin, joiden kutistumisen tuloksena seuraavien sukupolvien tähdet aikanaan muodostuvat. Ne sisältävät nyt edeltäjiään enemmän heliumia raskaampia alkuaineita ja vuorollaan lisäävät niitä. Näin tähdet rikastavat maailmankaikkeutta raskailla alkuaineilla hitaasti mutta varmasti. Vanhimpien tähtien aineessa on heliumia raskaampia ytimiä hädin tuskin promillen verran. Nuorimmissa tähdissä ja tähtienvälisessä aineessa, josta uudet tähdet parhaillaan syntyvät, niitä on noin neljä prosenttia.

### Kosmos – järjestynyt maailmankaikkeus

On helppo kuvitella, että pelkästä vedystä ja heliumista muodostunut maailmankaikkeus ei voi olla kovin vaihteleva ja monimuotoinen rakenteiltaan. On vaatinut vuosimiljardeja, ennen kuin ainesvalikoima on ollut kylin monipuolinen esimerkiksi elämän kaltaisen ilmiön synnylle. Ihmisessä on lähes kaikkia luonnon alkuaineita. Vetyimme, jota on vedessä ja monissa orgaanisissa yhdisteissä, on peräisin maailmankaikkeuden alusta; siinä mielessä olemme kaikki vanhaa hyvää sukua, mutta kaikki muu, kuten valkuaisaineidemme typpi, happi, rikki, fosfori ja hiili, luidemme kalsium ja veremme rauta ovat syntyneet menneiden sukupolvien tähdissä.

Tähdet eivät esiinny satunnaisesti hajallaan maailmankaikkeudessa, vaan ne ovat keskittyneet eriateisiksi järjestelmiksi. Suuri osa tähdistä kuuluu jäsenenä järjestelmiin, joissa kaksi tai useampia tähtiä kiertää toisiaan keskinäisten vetovoimiensa sitomina. On erilaisia tähtijoukkoja ja suuria tähtien ja tähtienvälisen aineen järjestelmiä, galakseja.

Galaksitkin ovat keskittyneet joukoiksi, joiden on havaittu asettuneen vielä suuremmiksi järjestelmiksi. Syntyivätkö suuret galaksien ja galaksijoukkojen rakenteet ensin ja tähdet sitten vai oliko järjestys päinvastainen, on vielä avoin kysymys.

On kiintoisaa panna merkille, että maailmankaikkeudessa esiintyvät "luonnolliset" rakenteet, kuten tähdet, luovat järjestystä kehityksensä myötä. Kuvitellaanpa yksinkertaisten vety- ja heliumytimien liikettä varhaisen maailmankaikkeuden vastasyntyneessä tähdessä. Sen sisällä sinkoilee sikin sokin vety-ytimien eli protonien keralla heliumytimiä, joissa on neljä hiukkasta, kaksi protonia ja kaksi neutronia. Tähten hiukkasten liikemäärä on siis jakautunut suuren hiukasmäärän kesken. Kun fuusion tuloksena vedystä ja heliumista syntyy raskaampien alkuaineiden ytimiä, niissä on yhteen liittyneinä jopa kymmeniä protoneita ja neutroneita. Näin jokaisessa raskaassa ytimessä kulkee kymmeniä hiukkasia yhteen kytkettyinä. On kuin alunperin kurittomassa, päättömästi ryntäilevien yksilöiden parvessa olisi ainakin osa komennettu yhtä jalkaa marssiviksi joukkueiksi. Fuusio siis vähentää vapaiden, riippumattomasti liikkuvien hiukkasten määrää tähdessä, mikä merkitsee järjestyksen lisääntymistä.

Yleensä luonnonilmiöissä epäjärjestys kasvaa. Jos meillä on kaksi astiaa, joista toisessa on kuumaa, toisessa kylmää vettä, ja astioiden väliseinä poistetaan, yhtyneessä astiassa on aluksi suhteellisen korkea järjestyksen aste: kuumat molekyylit toisessa, kylmät toisessa päässä. Pian kuitenkin molekyylit ovat sekoittuneet ja siis epäjärjestys kasvanut. On jokseenkin turha odottaa, että kylmät ja kuumat molekyylit järjestyisivät oma-aloitteisesti astian eri osiin. Mutta tähdet osoittavat, että luonnossa on systeemejä, joissa järjestystä syntyy ilman ulkopuolista asioihin puuttumista. Mitään luonnonvastaista tai käsittämätöntä kuvailtuun kehitykseen ei tuki liity. Tähdet luovat sisällään järjestystä käyttämällä siihen aineosasten keskinäisestä vetovoimavuorovaikutuksesta eli tähden kokoonpuristumisesta vapautunutta energiaa. Järjestyksen syntyminen maailmankaikkeuden kehityksessä on syytä panna merkille, sillä onhan elävässä aineessa vallitseva pitkälle kehittynyt järjestys yksi elämän peruspiirteistä – ajateltakoonpa vaikka perimän viestiä kuljettavaa ja ohjaavaa DNA-molekyylä.

Aurinko kuuluu galaksiin, jota sanomme Linnunradaksi. Galakseissa on tavallisesti keskus, jossa voi olla miljoonien, jopa miljardien auringonmassojen verran ainetta luhistuneena äärimmäisen tiiviiseen tilaan, mustaksi aukoksi. Galaksin keskuksen tienoilla on myös tähtiä, ja tähtien avaruustiheys pienenee yleensä ulommas mentäessä. Monissa galakseissa on tähtienvälisiä aineita, harvaa kaasua, josta uusien sukupolvien tähdet muodostuvat. Tähdet ja tähtienvälinen aine on kiertoliikkeessä galaksien keskuksen ympäri. Esimerkiksi Auringon kierros Linnunradassa kestää runsaat 200 miljoonaa vuotta.

Linnunradassa tähtien synty on ollut hyvin vilkasta galaksin varhaiskautena. Se jatkuu edelleen, vaikka onkin hidastunut. On olemassa galakseja, joissa lähes kaikki aine on sitoutunut tähdiksi aivan alussa, eikä uusia tähtisukupolvia ole sittemmin juurikaan syntynyt. On myös galakseja, joissa tähtiä ei ole muodostunut alun jälkeen vuosimiljardeihin, mutta niiden synty on käynnistynyt jälleen, kun galaksien törmäyksen seurauksena uutta tähtienvälisiä aineita on tullut galaksiin. (Kahden galaksin törmäys on luonnollisesti kohtalaisen mittava tapahtuma, mutta se ei välttämättä ole katastrofi. Tähdet ovat tavallisesti niin kaukana toisistaan, että kahden galaksin törmäystä voisi autokolarin sijasta verrata pikemminkin hyttysparvien törmäykseen. Linnunrata ja sen naapuri, Andromedan tähdistö suunnassa, runsaan kahden miljoonan valovuoden päässä sijaitseva galaksi Messier 31, yhtyvät noin kuuden miljardin vuoden kuluttua, jolloin maailmankaikkeuden ikä on kasvanut nykyisestä lähes 50 %:lla.) Galaksien tähtipopulaatiot voivat siis poiketa kehitystahdinsa puolesta paljonkin toisistaan. Galaksin yleisrakennekaan ei säily jatkuvasti ennallaan, vaan muuttuu ajan myötä, kuten tuleamme näkemään.

Edellä on tarkasteltu maailmankaikkeuden varhaisvaiheita ja nykytilaa. Samalla on nähty kuinka kaikkeuden alussa syntyneet perusvuorovaikutukset, gravitaatio, varautuneiden hiukkasten välinen sähköinen vuorovaikutus ja ytimien vuorovaikutukset ohjaavat aineen ja energian käyttäytymistä maailmankaikkeudessa. Tähdet, tähtijärjestelmät ja koko maailmankaikkeus kehittyvät näiden luonnonlakien määräämällä tavalla. Kehityksessä voidaan erottaa toisiaan seuraavia jaksoja. Maailmankaikkeuden tähänastinen historia – noin kymmenen–viisitoista miljardia vuotta – on kehityksen kokonaiskesto verrattuna lyhyt. Olemme vasta historian alkuvaiheessa. Seuraavassa tarkastellaan kosmoksen eri

kausien yleisimpiä piirteitä.

### Säteilyn valtakausi

Maailmankaikkeuden alun jälkeen ensimmäiset vaiheet seurasivat nopeasti toisiaan. Syntyi aineen ja antiaineen hiukkasia, jotka välittömästi yhtyivät ja vapauttivat tuoreeseen maailmankaikkeuteen säteilyenergiaa. Vähäisen eron takia antiaine kului tyystin, mutta ainetta jäi hiukan jäljelle, ja se muodostaa nyt aineellisen maailmankaikkeuden. Myöhemmän historian kannalta ratkaisevia asioita tapahtui jopa sekunnin biljoonasosan biljoonasosan biljoonasosan kuluessa. Kun ensimmäinen sekunti oli ohi, olivat aineen tärkeimmät osat, protonit, neutronit ja elektronit syntyneet. Suunnattoman kuuma alkupuuro jäähdyi nopeasti säteilyn hämmentäessä sitä. Kun neljä minuuttia alusta oli kulunut, protonit ja neutronit olivat tähden sisusta vastaavassa kuumuudessa fuusioituneet heliumiksi, ja siihen neutronit kuuluivatkin. Alun heliumin tuottoa koskevat laskelmat ovat hyvässä sopuoinnussa heliumin nykyistä määrää koskevien havaintojen kanssa (tähtien heliumtuotanto vastaa vain noin kymmenestä prosentista kokonaisuudesta).

Lämpötila laski edelleen, kunnes se vajaan puolen miljoonan vuoden kuluttua oli noin  $3000^{\circ}$ . Silloin oli jo kyllin kylmää, jotta siihen asti vapaina poukkoilleet elektronit saattoivat ensi kerran muodostaa atomeja asettamalla kiertämään ytimiä. Aikaisemmin avaruus oli ollut vapaiden elektronien takia läpinäkymätön, nyt se muuttui läpinäkyväksi. Tähän päättyi säteilyn vallitseva kausi. Muistona alkutilan kuumuudesta havaitaan kaikkialta taivaalta tuleva taustasäteily. Avaruuden laajenemisen vuoksi alkulöylyn hehku on haalentunut niin, että se vastaa nyt  $2,7$  kelvinasteen ( $2,7^{\circ}$  absoluuttisen nollapisteen yläpuolella) olevan aineen säteilyä. Taustasäteilyn havainnot osoittavat, että jo vajaan puolen miljoonan vuoden ikäisen maailmankaikkeuden aine ei enää ollut tasaisesti jakautunut, vaan siinä oli tihentymiä, jotka ilmeisesti olivat galaksien tai ensimmäisen sukupolven jättiläistähtien siemeniä.

### Tähtien valtakausi

Säteilyn aikakauden päättymisen jälkeen maailmankaikkeuteen alkoi ilmestyä tähtiä ja galakseja. Parhailaan elämme alkuvaihetta seurannutta toista, loistavaa tähtien valtakautta. Sitä on kulunut vasta viitisentoista miljardia vuotta, eikä se ole ehtinyt paljon alkua pitemmälle. Toisiaan seuraavien tähtisukupolvien massiivisimmat tähdet ovat kehittyneet nopeasti supernoviksi ja siten rikastaneet maailmankaikkeutta vetyä ja heliumia raskaammilla alkuaineilla. Sen seurauksena on tullut mahdolliseksi myös kiinteän aineen muodostuminen. Yksinkertaisten tähtien ympärille on muodostunut planeettoja ja muita kiertolaisia.

Kaksoistähdissä tai useampikertaisissa tähtijärjestelmissä kiertolaisten radat voivat ajoittain muuttua suuresti, voipa kappale sinkoutua kokonaan pois järjestelmästä, mutta yksinkertaisen tähden pienimassaisille kiertolaisille on tarjolla varsin vakaita ratoja. Niinpä Aurinkokunta kiertoratojen puolesta säilysi lähes järkkymättä kymmenien miljardien vuosien ajan. Sisimpien planeettojen tuho koittaa kuitenkin paljon aikaisemmin, koska Auringon rakenne ja kirkaus muuttuu jo kymmenen miljardin vuoden kuluessa. Viimeaikainen tutkimus on osoittanut, että Aurinkokunnan planeettojen radat voivat pitkänä ajanjaksona kuitenkin muuttua. Erityisesti Merkuriuksen ja Marsin ratojen muutokset voivat olla huomattaviakin.

Maan rata saattaa muuttua aivan muista kuin Aurinkokunnan vetovoiman aiheuttamista syistä. Kun Aurinko noin viiden miljardin vuoden kuluessa käyttää keskuksensa vetyvaraston ja siirtää vetyfuusion ylemmän kuoreen, sen sisus puristuu tiiviimmäksi ja ulko-osat laajenevat. Aurinko paisuu lopulta niin kookkaaksi, että sen atmosfääriin uloimmat osat ulottuvat Maan kiertoradan tasalle. Se merkitsi tietysti Maan kaasuntuumista ja häviämistä Auringon atmosfääriin. Ennen kuin täystuho ehtii tulla, Auringosta puhaltava hiukkastuuli kuitenkin painaa Maata niin, että sen rata hiljalleen laajenee lähes Marsin radan kokoiseksi. Tämä tapahtuu runsaan puolen miljardin vuoden aikana, jonka Auringon jättiläisvaihe kestää. Vaikka Aurinko ei Maata nielaisekaan ja planeettamme säilyy tuossa vaiheessa kiinteänä kappaleena, elämä häviää maapallolta viimeistään silloin kohonneen lämpötilan takia.

Auringon fuusioenergian tuotanto loppuu runsaan viiden miljardin vuoden kuluttua, jolloin sen keskus on hiiltä ja sen

ympäriällä vetyä ja heliumia sisältävä vaippa. Sisäinen vetovoima puristaa Auringon noin maapallon kokoiseksi valkoiseksi kääpiöksi, joka säteilee jäännöslämpöään arvuuteen hyvän aikaa.

Aurinkoa massiivisemmat tähdet pystyvät tuottamaan hiiltä raskaampiakin alkuaineita, massiivisimmat aina rautaan saakka (suurimpien "normaalien" tähtien massa on noin 100 auringonmassaa). Jos tähden massa on yli kahdeksankertainen Aurinkoon verrattuna, se ei päädykään valkoiseksi kääpiöksi, vaan räjähtää supernovana. Se voi luhistua neutronitähdiksi, jonka sisällä elektronit ovat puristuneet ytimiin ja neutraloineet protonien sähkövaraukset, tai vielä tiiviimmäksi mustaksi aukoksi. Massiivisia tähtiä on hyvin harvassa. Esimerkiksi Auringon ja Maan kosmisessa ympäristössä ei ole suurimassaista tähteä niin lähellä, että sen leimahtaminen supernovaksi tai suistuminen mustaksi aukoksi olisi maapallon tai sen elämän kannalta kohtalokasta.

Aurinkoa pienemmillä tähdillä vaihe, jossa ne fuusioivat vetyä heliumiksi, kestää huomattavasti pitempään kuin Auringon. Jos tähden massa on puolet Auringon massasta, tähti loistaa fuusion varassa – tosin himmeästi – noin biljoonan vuoden ajan. Tällaisia tähtiä on hyvin paljon, niiden yhteenlaskettu massa on suurempi kuin muiden tähtien massa yhteensä. Pienimassaiset tähdet kehittyvät hitaasti ja pullistuvat vedyn fuusiointivaiheen lopulla kirkastuen valaisemaan maailmankaikkeutta, jossa suuremmat tähdet ovat jo hiipuneet. Tähti jonka massa on 0,16 auringonmassaa, kirkastuu biljoonien vuosien kuluttua syntymästään niin, että se loistaa neljäsosalla Auringon nykyisestä kirkkaudesta. Tämä vaihe kestää kääpiötähdellä vajaat kuusi miljardia vuotta eli runsaasti ajan, joka elämältä on kulunut maapallolla nykyiselleen kehittymiseen. Maailmankaikkeudessa on siis ehkä tilaisuuksia elämän synnylle vielä silloinkin, kun Maan pinnalla kukoistanut elämä on kadonnut jo biljoonia vuosia aikaisemmin. Voimme kuvitella kaukaisen tulevaisuuden olennon katselemassa myöhään kirkastunutta kääpiötähteä kiertävän planeettansa pinnalta maailmaa, joka on ainakin yhdessä suhteessa varhaista edeltäjänsä köyhempi. Hänen mustalla yötaivaallaan ei ole tähtiä loistamassa.

Jos tähden massa on tarpeeksi pieni, sen sisäinen vetovoima ei riitä puristamaan ja kuumentamaan sisusta niin, että vedyn fuusio lainkaan käynnistyisi. Pienin tähti, joka vielä kykenee saamaan fuusion alkuun, on 0,08 auringonmassaa. Sen fuusiovaihe kestää kymmenen biljoonaa ( $10^{13}$ ) vuotta. Suurin piirtein saman ajan ( $10^{13} - 10^{14}$  vuotta) riittää galakseissa tähtienvälisistä vapaata kaasua, josta uusia tähtiä voi syntyä. Fuusiovaiheensa aikana tähdet eivät pysty käyttämään läheskään kaikkea vetyään tai heliumiaan raskaampien alkuaineiden tuotantoon.

Pilvet, joiden massa ei ole riittävä tähdeksi, kutistuvat sisäisen vetovoimansa vaikutuksesta ja säteilevät himmeästi lämpösäteilyä, joka vapautuu puristuneen kaasun sisäisen energian kustannuksella. Tällaisia kappaleita sanotaan ruskeiksi kääpiöiksi. Aurinkokuntamme suuret planeetat, Jupiter, Saturnus, Neptunus ja Uranus muistuttavat paljolti ruskeita kääpiöitä (Jupiterin massa on noin sadasosa auringonmassaa). Niiden kemiallinen koostumus on paljolti tähden kaltainen, ne sisältävät runsaasti vetyä ja heliumia.


Heliumia raskaampien alkuaineiden määrän jatkuva lisäys maailmankaikkeudessa muuttaa vähitellen myös tähtien kehityskulkua. Myöhäiset tähtisukupolvet saavat muun muassa happea runsaasti, jolloin pienen tähdenalun ulko-osiin muodostuvat jääkiteet hidastavat kokoonpuristuvan sisuksen lämpösäteilyä niin tehokkaasti, että keskus kuumenee riittävästi vedyn fuusion käynnistymiseksi. Siten voi jopa kappale, jonka massa on vain 0,04 auringonmassaa, toimia oikeana tähtenä.

Mutta viimein sadan biljoonan ( $10^{14}$ ) vuoden kuluttua tähtien valtakausi on lopussa, ja maailmankaikkeudessa alkaa olla pimeää.


### Degeneraation vaihe

Sadan biljoonan vuoden kuluttua maailmankaikkeudessa on siis kylmiä ja pimeitä "valkoisia" kääpiöitä, samoin kylmiä ja pimeitä ruskeita kääpiöitä, neutronitähtiä ja mustia aukkoja sekä galaksiytimien supermassiivisia mustia aukkoja. On pimeää ja kylmää, lämpötila on lähellä absoluuttista nollaa.


Maailmankaikkeus ei kuitenkaan ole täysin passiivinen.




Vetovoima järjestelee ainetta edelleen. Kun entiset tähdet ja pienemmät, kiinteät kappaleet kuten planeetat, silloin tällöin kulkevat toistensa läheltä, niiden radat muuttuvat. Kappaleita keskittyy yhteen ja lopulta törmää ja yhtyy toisiinsa, toisaalta galaksit ja aurinkokunnat hajoavat, tähtiä ja planeettoja ikään kuin höyrystyy galakseista ja karkaa galaksienväliseen avaruuteen. Noin sadan triljoonan eli miljoonan biljoonan ( $10^{20}$ ) vuoden kuluessa galaksit ovat hajonneet. Pieni osa aineesta joutuu lähistöllä sattumalta sijaitseviin mustiin aukkoihin, joiden massat siten hiukan kasvavat.




Silloin tällöin pimeydessä kuitenkin pilkahtaa valo. Pari ruskeata kääpiötä saattaa törmätä ja muodostaa tähden, jonka massa on nyt riittävä fuusion käynnistämiseen. Linnunradan kokoisessa galaksissa on tässä vaiheessa samanaikaisesti ehkä kymmenen tai jopa sata tällaista tähteä, joiden yhteenlaskettu kirkkaus on Auringon nykyisen kirkkauden luokkaa (Linnunradassa loistaa nykyisin noin sata miljardia eli  $10^{11}$  tähteä). Ne eivät siis suuresti Linnunradan erämaata valaise. Tällainen tähti sammuu noin biljoonan vuoden kuluttua syntymästään. Myös muutaman viikon mittaiset välähdykset saattavat kirkastaa ikivötä silloin tällöin, ehkä kerran biljoonassa vuodessa, kun kaksi massiivista valkoista (nyt jo käytännössä mustaa) kääpiötä törmää ja räjähtää supernovana. Lisäksi pienempien valkeiden kääpiöiden törmäykset voivat tuottaa satunnaisia tähtiä, jotka hehkuvat kymmenen miljardin tai biljoonan vuoden ajan.




Toistensa vetovoimakentissä liikkuvat kappaleet säteilevät gravitaatio-säteilyä, joka vähitellen kuluttaa niiden liikemäärän ja saa järjestelmän luhistumaan. Kaksoistähti-järjestelmä tai tähti-planeetta -järjestelmä, jossa kiertoradan säde on yhtä suuri kuin Maan etäisyys Auringosta, luhistuu sadan miljoonan biljoonan ( $10^{20}$ ) vuoden kuluessa. Galaksin luhistumisaika on paljon pitempi ja kestää tyypillisesti ja noin 1025 vuotta, ellei hidastavia tekijöitä ole.




Galaksien liikkeiden tutkimus on eräiden muiden perusteiden ohella antanut aiheita olettaa, että galaksien ulko-osissa tai oikeammin niiden ulkopuolella olisi eksoottisia vimpejä, heikosti vuorovaikuttavia hiukkasia, englanniksi weakly interacting massive particles (WIMPs). Ne ovat mahdollisia, joskin vain oletettuja; niitä ei ole havaittu. Jos vimpejä on, voivat galaksista karkaavat valkoiset kääpiöt kalastaa niitä kaukana galaksin ulkopuolella vaeltaessaan. Vimpien yhtymiset valkoisen kääpiön tähtituhkaan voivat tuottaa energiaa, jolloin syntyisi eräänlainen tähti, jonka pintalämpötila ei ole järin korkea. Se olisi vain 64 astetta absoluuttisen nollan yläpuolella eli tyypin sulamispisteen (63 K) ja kiehumapisteen (77 K) välillä. Vihoviimeiset vimpitkin olisi käytetty  $10^{30}$  vuoden kuluttua.



Viimeiset värinät maailmankaikkeudessa syntyvät protonien mahdollisesta hajoamisesta, jonka arvioidaan tapahtuvan  $10^{46}$  –  $10^{200}$  vuoden kuluttua. Prosessia säestää samaan aikaan mustien aukkojen vähittäinen höyrystyminen. Galaksinmassaisen mustan aukon ( $10^{11}$  auringonmassaa) höyrystyminen kestää  $10^{98}$  –  $10^{100}$  vuotta.



Mitä on jäänyt jäljelle? Suunnattomasti laajentuneessa maailmankaikkeudessa säteilyn fotonien energia on pienentynyt punasiirtymän takia lähes olemattomaksi. Tyhjiydessä viilettää sillä täällä jokunen neutriino, elektroni ja positroni, kaikki tavattoman kaukana toisistaan. Lopulta jokin positroni tuntee kaukaisen elektronin viestin, ja ne muodostavat eksoottisen positroni-elektroni -atomin, jonka läpimitta on nykyistä maailmankaikkeutta suurempi. Tämäkin "atomi" luhistuu lopulta hiukkastensa yhtyessä, ja siten vapautunut säteily punasiirtyy viimein energiana merkityksettömäksi. Hamletia mukailien loppu on hiljaisuutta ja pimeyttä.



Maailmankaikkeuden kehitysvaiheet seuraavat toisiaan jaksoina, joista jokainen on suunnattoman pitkä edelliseen verrattuna. Ensi vaiheet kestivät sekunnin murto-osia, viimeisiin kuluu ajanjaksoja, joiden rinnalla maailmankaikkeuden nykyinen ikä on mitätön. Luonnontieteen nykyinen käsitys kaukaisimmasta tulevaisuudesta tarjoaa kuvan lopullisesta pimeydestä, jota edeltää todella pitkä loppuhimmennys. Ihmisen maailmankäsityksen historiassa on keskeisenä ollut ajatus luomissuunnitelmasta, jolla on päämäärä. Päämäärä on olemassa todella kaukaisessa tulevaisuudessa, vaikka se tuskin vastaa kuvitelmiämme täyttymyksestä.

#### VIITTEET JA KIRJALLISUUS

1. Tapio Markkanen: A Universe for Man – Millaiseen maailmankaikkeuteen ihminen mahtuu? Acanthus 1995 (Museum of



Finnish Architecture), p. 8—21, s. 22—26.

2. Toivo Jaakkola: Maailmankuvan nykyvaihe. Aika 1/1971 s. 41—46.  
Kirjoitus perustuu paljolti artikkeliin Fred. C. Adams and Gregory Laughlin, The Future of the Universe. Sky & Telescope (Vol. 96, Nr. 2) August 1998, s. 32—39.

*Dosentti Tapio Markkanen toimii Suomen yliopistojen rehtorien neuvoston pääsihteerinä. Kirjoitus perustuu esitelmään Turun Kirja- ja Tiedemessuilla 17.10. järjestetyssä "Mitä todella tapahtuu" -seminaarissa, jonka järjestivät Tieteellisten seurain valtuuskunta yhdessä Tähtitieteellinen yhdistys Ursan kanssa. Artikkelel sisältyy ensi vuonna ilmestyvään teokseen "Lopun leikit: Uskon, historian ja tieteen eskatologia" (Toim. Tuomas M. S. Lehtonen, Gaudeamus 1999).*

