

Elämän synty avaruudessa on edelleen arvoitus

■ Marianna Ridderstad

Kari Lounamo ja Tamara Tuuminen kirjoittivat kiinnostavasta ja ajankohtaisesta aiheesta, astrobiologian viime vuosien tutkimustuloksista, otsikolla ”Onko elämä tullut avaruudesta?” (Tieteessä tapahtuu 6/2011). Itse otsikonsa kysymykseen artikkeli ei tuonut vastausta, sillä sellaista ei vielä olekaan olemassa. Koska kirjoituksesta kuitenkin saattoi saada sen käsityksen, että panspermateoria olisi tutkijoiden keskuudessa erityisessä suosiossa, tai jopa, että sitä pidettäisiin lähes varmana, haluan tässä esittää elämän synnystä sen, mitä tällä hetkellä asiasta tiedetään ja mikä on ainoastaan spekulatiota.

On tiedetty jo useita vuosikymmeniä, että avaruudessa esiintyy runsaasti samoja yleisimpiä ja yksinkertaisimpia orgaanisia molekyylejä kuin Maassa. Kaikkiaan avaruuden eri molekyylejä tunnetaan noin 150. Molekyylit ovat avaruudessa joko kaasufaasissa tai jäätyneinä tähtienvälisten pölyhiukkasten pinnoille.

Tähtienvälinen pöly, jota avaruudessa on vain prosentti kaasun määrästä, koostuu etupäässä silikaateista ja hiilestä. Nämä hiili- ja silikaattipohjaiset hiukkaset syntyvät C- ja O-tyyppin punaisten jättiläistähtien viileissä ulko-osissa, joista ne joutuvat avaruuteen viimeistään tähden kuollessa. Hiukkaset koaguloituvat edelleen tähtienvälisten pilvien tiheissä, kylmissä ytimissä, jossa myös kaasumaiset molekyylit jäätyvät niiden pinnoille muodostaen jäävaipan. Siten kylmissä alueissa on paljon pölyhiukkasia, jotka koostuvat lähinnä erilaisten jäiden peittämistä hiili- tai silikaattipohjaisista ytimistä. Molekyylit syntyvät näiden tähtienvälisen pölyhiukkasten jääpeitteisten pintojen reaktioissa. Kun pilvessä syntyy tähti, sen voimakas ultraviolett- ja rönt-

gensäteily höyrystää hiukkasten jäävaipat, rikoen molekulaariset sidokset ja pilkkoen lopulta sekä hiukkaset että molekyylit pienemmiksi. Hyvin voimakkaassa säteilyssä lähellä tähteä molekyylit ionisoituvat tai hajoavat atomeiksi. Yksi monimutkaisten molekyyliden, kuten aminohappojen, havaitsemisen vaikeus liittyykin siihen, että ne ovat ainoastaan vähän aikaa havaittavissa kylmissä pölypilvissä syntyneiden tähtien ympärillä, kunnes tuhoutuvat tähden säteilyssä.

Tähteä ympäröivän kertymäkiekon synty kuuluu luonnollisena osana tähden syntyprosessiin. Yksi astrobiologian keskeinen kysymys on, voiko tähtienvälisen pilven monimutkaisia molekyylejä päätyä kiekon tiheimpiin ja kylmimpiin alueisiin siten, että ne voisivat planeettojen syntyprosessissa päätyä elämän käyttöön planeetoille.

Kertymäkiekko syntyy, kun pilviydin romahhtaessaan alkaa pyöriä yhä nopeammin ja litistyy kiekon muotoon. Kiekon keskelle syntyy tähti (tai useampia). Lähinnä tähteä säteily on voimakasta ja atomit ja molekyylit ovat ionisoituneina. Koska kiekon aine on aivan ratatasossa hyvin tiheää, se on kauempana kiekossa myös hyvin kylmää ja pölyhiukkaset ovat jääpeitteisiä. Monimutkaisia molekyylejä muodostuu näiden hiukkasten pinnoilla (Visser ym. 2011). Kauempana ratatasosta (vertikaalisuunnassa) lämpötila on korkeampi, ja kaikkein kauimpana ratatasosta säteily hallitsee jälleen ja aine on ionisoituneena. Kiekon aine on turbulenttia ja virtaa alueista toisiin (ks. esim. van Dishoeck 2006). Erityisesti tämän vuoksi on vaikea arvioida, voisiko esimerkiksi jossain kiekon ulkolaidoilla säilyä hyvin varhaista materiaa ja jos, niin miten paljon. Keskustähden lisäksi myös muiden läheis-

ten tähtien säteily voi vaikuttaa kiekon kemiaan (Throop 2011).

Kiekossa jokaisella molekyylillä on oma ns. jäärajansa, jonka takana se on jäätyneenä pölyhiukkasten pinnalle (esim. van Dishoeck 2006). Vedellä tämä raja on noin 4–5 AU:n (*astronomical unit*) etäisyydellä tähdestä. Sen takana syntyvät kaasuplaneetat, komeetat ja muut jäiset pienkappaleet; sen sisäpuolella kiviplaneetat. Koska Maa syntyi jäärajan sisäpuolella, ei Maassa sen synnyttyä uskota olleen lainkaan vettä. Vesi lie-nee saapunut suurelta osin komeettojen mukana (Hartogh ym. 2001).

Kiekon pölyhiukkaset kerääntyvät nopeasti suuremmiksi kuin tähtienvälisessä avaruudessa keskimäärin. Lopulta kertyminen kasvattaa kappaleet niin suuriksi, että gravitaatio alkaa vaikuttaa törmäyksiin. Tämä voidaan katsoa kiviplaneettojen kertymisen viimeiseksi vaiheeksi. Kaasuplaneetoilla jääpitoinen ydin syntyy ensin, sen jälkeen ne ”imevät” itseensä kaasua ympäröivästä kiekosta. Lopulta voimakas tähtituuli puhaltaa suurimman osan kiekon pienaineksesta pois ja planeettakunnan voidaan katsoa ”valmistuneen”. Tämän jälkeenkin pienkappaleita törmää edelleen planeettoihin runsaasti. Aurinkokunnan synnyn osalta puhutaan ns. Suuren pommituksen aikakaudesta, joka päättyi noin 3,8 miljardia vuotta sitten eli noin 800 miljoonaa vuotta Maan syntymisen jälkeen.

Koska komeetat, jotka koostuvat jäistä ja kiviaineksesta, syntyivät melko kaukana Auringosta, on nimenomaan niistä arveltu voivan löytää hyvin pristiiniä, varhaista materiaalia. Komeettojen tutkiminen on mahdollista, koska ne tulevat radallaan usein Aurinkokunnan sisäosiin asti; samaa ei voi sanoa muista kaukaisimmista ja mahdollisesti varhaista materiaa sisältävistä kohteista.

Komeetoissa onkin havaittu sekä hyvin prosessoitunutta että hyvin varhaiselta vaikuttavaa materiaa (esim. Sandford ym. 2006, Messenger ym. 2008, Visser ym. 2001b viitteineen). Komeetoissa on kuitenkin suuria koostumuseroja ja osa niiden materiaasta saattaa olla peräisin jopa toisten, Auringon kanssa samasta sumusta muodostuneiden, tähtien kertymäkiekoista (Mumma &

Charnley 2011). Myös kondriiteissa on havaittu orgaanisia aineita sisältäviä hiukkasia, joiden koostumus vastaa enemmän tähtienvälisiä pölyhiukkasia kuin varhaisen Aurinkokunnan materiaan piirteitä (esim. Messenger ym. 2008).

Stardust-luotain löysi komeetta Wild 2:sta glysiiniä (Elsila ym. 2009). Tämä on merkittävää, sillä näitä elämän rakennneosia on saattanut päätyä planeetoille komeettojen mukana. Komeetassa on tarpeeksi lähelle Aurinkoa saapuessaan usein verraten miellyttävät olosuhteet, esim. nestemäistä vettä, jolloin jopa varsinaisen elämän synty kappaleessa saattaisi olla mahdollista. Eri asia sitten on, miten syntynyt elämä selviäisi komeetan palatessa kylmempiin alueisiin.

Toisaalta jäärajan sisäpuolella syntyneestä Murchison-meteoriitista, joka on hiilikondriitti eli C-asteroidin kappale, on löydetty ainakin 70 erilaista aminohappoa. Viimeisimpien tulosten mukaan nämä yhdisteet todella ovat peräisin avaruudesta, eivätkä ole kontaminaatiota (Schmitt-Kopplin ym. 2010). Sen sijaan (surullisen) kuuluisan Mars-meteoriitti ALH84001:n ”nanobakteerit” ovat todennäköisesti epäorgaanisia mineraalimuodostumia (Golden ym. 2001).

Lähiavaruudessa on siis tärkeitä maaelämän rakennusaineita. On eri asia, onko tilanne ollut täsmälleen samanlainen juuri maaelämän syntyessä, ja mistä vaiheesta planeettakunnan syntyä orgaaninen materia pääosin on peräisin (ks. Aléon 2010, Throop 2011).

Alku-Maa vaikuttaa elämälle vihamieliseltä paikalta, sillä aivan alussa Maan pinnan peitti magmavaltameri. Toisaalta Maan vanhimmissa kiteissä on merkkejä vedestä, joten vesi on ollut paikalla varhain, vaikka planeetan pinnan sulattavat suuret törmäykset jatkuivatkin. Alkuilmakehä oli koostumukseltaan erilainen kuin nykyisin, mahdollisesti pelkistävä. Sellaisena se olisi ollut edullinen paikka esim. aminohappojen synnylle.

Elämän rakennusaineiden synty-ympäristöjä löytyy siis sekä alku-Maasta, että lähiavaruudesta, ja tämän perusteella elämä olisi voinut syntyä kummassa paikassa tahansa.

On syytä mainita, että sekä meteoriiteista

löydetyissä että tähtienvälisen pilvien ja alku-Maan olosuhteita vastaavissa laboratoriokokeissa syntyneissä aminohapoissa on suuri ongelma: molekyylien molempia kätisyyskäsiä esiintyy lähes yhtä paljon. Maaelämä sen sijaan on ”vasenkätistä”. Ratkaisuksi on tarjottu mm. tähtienvälisen säteilyn tai jonkin väliaineen aiheuttaman polarisaation luomaa valintaefektiä, mutta asia on edelleen ratkaisematon. Ongelma on kuitenkin keskeinen, sillä eri kätisyyksille pohjautuvat elämät ovat myrkyä toisilleen.

Elämän ilmaantumisen aikaskaala on mielenkiintoinen, sillä ensimmäiset mahdolliset elämän merkit ovat nähtävissä jo noin 3,85 miljardia vuotta sitten eli ennen Suuren pommituksen aikakauden loppua, ja ensimmäiset varmat mikrofossiilit ja stromatoliitit ovat nekin noin 3,5 miljardia vuotta vanhoja (Schopf ym. 2007 viitteinen). Tätä varhaisuutta on toisinaan käytetty perusteluna elämän saapumiselle ”valmiina” avaruudesta. Elämän saapumisen esimerkiksi Marsista tämä aikaskaala kuitenkin tekee epätodennäköiseksi, sillä elämän olisi sekä pitänyt ehtiä syntyä Marsissa että päätyä vahingossa avaruuteen ja vieläpä osua Maahan jossain satunnaisessa törmäyksessä.

Elämän syntyminen suurten, planeetan pinnan sterilisoivien impaktien aikana edellyttää, että se olisi joko saapunut tai syntynyt useita kertoja, tai säilynyt hengissä ns. refugeissa ja sopeutumalla. Sopeumaan viittaa esim. lämpösokkiproteiinien esiintyminen kaikissa nykyisissä eliöissä. Useita kertoja tapahtuva valmiin elämän panspermia vaikuttaa epätodennäköiseltä, ellei kyseessä sitten olisi todella yleinen tapahtuma, joka olisi voinut toistua myöhemminkin Maan historiassa. Tällaisesta ei kuitenkaan ole mitään merkkejä. Niin sanotun vahvan panspermian kannattajien C. Wickramasinghen ja F. Hoylen ehdotukset tähtienvälisessä avaruudessa esiintyvistä bakteereista, joita ”sataisi” Maahan, voidaan lukea äärimmäisen epätodennäköisiin vaihtoehtoihin.

Myös planeettakuntien välinen panspermian mahdollisuus voidaan käytännössä unohtaa, sillä todennäköisyys, että planeetalta sinkoutunut kivi päätyisi toiseen planeettakuntaan ja siellä

vieläpä elinkelpoiselle planeetalle, on häviävän pieni johtuen tähtien ja planeettojen pienuudesta verrattuina planeettakuntien välisiin etäisyyksiin.

Elämä on (molekulaarinen) koodi, joka sisältää yksilön elämän toimintoihin ja uuden yksilön syntymiseen tarvittavan informaation. Elämän synnyn ja etsimisen suurin ongelma kuitenkin on, ettemme todellisuudessa osaa määritellä edes maankaltaista elämää niin tarkasti, että tietäisimme, mistä se täsmälleen alkaa; mitkä konkreettiset prosessit aikaansaavat ”elottoman” aineen muuttumisen ”eläväksi”. Yleensä ajatellaan, että darwinistiseen evoluutioon kykenevät, melko monimutkaista informaatiota sisältävät, kopioituvat molekyyliyt olisivat maaelämän varhaisin alkumuoto, mutta yritykset luoda tällaista elämää laboratorioissa ovat ainakin toistaiseksi epäonnistuneet. Elämän syntypaikan ongelma ratkennee, kun pystymme luomaan tällaisia molekyyliä ja saamme selville, millaisissa olosuhteissa niitä helpoiten syntyy ja missä päin varhaista Aurinkokuntaa vaaditut olosuhteet ovat olleet olemassa.

Koska maaelämän käyttämät alkuaineet ja molekyyliyt kuuluvat avaruuden kaikkein yleimpiin, voidaan ajatella maaelämän synnyn ehkä edenneen todennäköisintä reittiä. Tämä reitti olisi tietenkin määritelmänsä mukaan todennäköisin kaikkialla muuallakin, joten keskeisimmäksi kysymykseksi muodostuu itse prosessin kulku ja sen vaatimat olosuhteet, ei se, onko tapahtumapaikka ollut Maassa, Marsissa, komeetoissa vai jossain muualla. Tällä hetkellä elämän syntyspekulaatioiden siirtäminen Maasta avaruuteen on ainoastaan ongelman siirtämistä paikasta toiseen ja olosuhteista toisiin: varsinainen ongelma on ja pysyy.

Yksisoluihin eliöihin verrattuna hyvin monimutkainen kokonaisuus, jolla on varmasti takanaan pitkä evoluutio. Siten nykyisten eliöiden yksinkertaisimmatkin koodit voivat poiketa hyvin paljon ensimmäisestä eläväksi laskettavasta olennosta tai kopioituvasta molekyylistä. Nykyiset eliöt voivat antaa vain vihjeitä, kuten sen, että DNA ei tiettävästi pysty katalysoimaan omaa reprodukti-

otaan, mutta RNA pystyy sen tekemään. Monet uskovatkin elämän ensimmäisen vaiheen olleen RNA:han perustuva, ns. RNA-maailma. Tämän maailman jälkikaikuja olisivat nykyiset virukset. RNA-elämää ei yrityksistä huolimatta ole onnistuttu luomaan laboratoriossa.

Nukleiinihappojen emästen (adeniini, guaniini, sytosiini, tyymiini, urasiili) stabiilisuusarviot vihjaavat, että joko sytosiini ei ole alkuperäisen elämän koodiin kuuluva yhdiste tai sitten alkuympäristö on ollut varsin erikoinen (Levy & Miller 1998). On ehdotettu hyvin kylmiä (jäätiköt) ja hyvin kuumia (kuumat lähteet, vulkaaniset purkausaukot) ympäristöjä, sekä vaihtuvia lämpötiloja, joita voisi olla tarjolla esim. merenpohjan vulkaanisten purkausaukkojen ympäristössä, kun aines kiertää siirtyen välillä lähelle nollalämpötiloja, välillä taas noin 100 celsiusasteen lämpötiloihin. Vaihtuvia lämpötiloja, ja lisäksi hyvin pitkiä aikaskaaloja, on kuitenkin tarjolla myös komeetoissa. Siten komeetat mielestäni muodostavatkin ehkä varteenotettavimman vaihtoehdon elämän synty-ympäristölle planeetan pinnan eli Maan lisäksi. Komeettojen esiintymisaluetta vastaavia vyöhykkeitä on havaittu myös muissa planeettakunnissa, joten niiden mahdollinen osuus elämän synnystä ei rajoitu Aurinkokuntaan.

Muissa planeettakunnissa ja jopa omassamme saattaa olla toisenlaisiin kemioihin pohjautuvaa elämää, kuten piipohjaista, ammoniakkaa liuottimenaan käyttävää elämää hyvin kylmissä ympäristöissä (esim. Saturnuksen Titan-kuussa). Tällöin kyseisen elämän paras alue tähtensä ympärillä luonnollisesti sijaitsee paljon kauempana tähestä kuin oma elämän vyöhykkeemme, joka perustuu nestemäisen veden esiintymisalueeseen. Muiksi liuottimiksi on ehdotettu myös rikkihappoa hyvin kuumissa alueissa tähtien lähellä ja nestemäistä vetyä planeettakuntien ulkoreunoilla. Samaten piipohjaista elämää on ehdotettu hyvin kuumiin ympäristöihin. Tällaisiin spekulatioihin on mahdollista laajentaa elämän esiintymismahdollisuuksien kirjoa avaruudessa paljonkin.

Paras toivomme löytää elämää muualta on tietenkin siinä, että elämän synty olisi yleinen

prosessi. Toistaiseksi tämän vaihtoehdon puolesta puhuu se, että maaelämä käyttää avaruuden yleisimpiä alkuaineita ja molekyyliä, että maaelämän monimutkaisimpienkin molekyylien osaset ovat yleisiä kaikkialla avaruudessa ja että elämää esiintyi Maassa heti alkuvaiheessa.

Tätä kirjoitettaessa maankaltaisimmat eksoplaneetat ovat noin kuuden Maan massaiset ”supermaapallot” Gliese 581 c ja d, jotka kiertävät tähtensä elämän vyöhykkeellä tai sen rajalla. Sen sijaan laajalti uutisoidusta Gliese 581 g -planeetasta on valitettavasti todettava, että se on todennäköisesti virhehavainto (Tuomi 2011, Gregory 2011). Maan kokoisen, elämänvyöhykkeellä sijaitsevan eksoplaneetan löytyminen lieinee kuitenkin enää lyhyen ajan kysymys Keplerluotaimen ja monien muiden etsintäprojektien kartoittaessa yhä pienempiä planeettoja. Lähteväisyydessä päästäneen havaitsemaan myös löydettyjen eksomaapallojen kaasukehiä ja etsimään mahdollisen elämän signatuureja. Kaiken kaikkiaan voitaneen todeta, että olemme lähempänä elämän arvoituksen ratkaisemista, kuin koskaan ennen.

Lähteet

- Aléon, J., *The Astrophysical Journal* 722, 1342 (2010).
Elsila, J. E., et al., *Meteoritics & Planetary Science* 44, 1323 (2009).
Golden, D. C., et al., *American Mineralogist* 86, 370 (2001).
Gregory, P. C., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 415, 2523 (2011).
Hartogh, P., et al., *Nature* 478, 218 (2011).
Levy, M., & Miller, S. L., *PNAS* 95, 7933 (1998).
Messenger, S., Nakamura-Messenger K., & Keller, L., *COSPAR* (2008).
Mumma, M. J., & Charnley, S. B., *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 49, 471 (2011).
Sandford, S. A., et al., *Science* 314, 1720 (2006).
Schmitt-Kopplin, P., et al., *PNAS* 107, 2763 (2010).
Schopf, J. W., et al., *Precambrian Research* 158, 141 (2007).
Throop, H., *Icarus* 212, 885 (2011).
Tuomi, M., *Astronomy & Astrophysics* 528, L5 (2011).
van Dishoeck, E. F., *PNAS* 103, 12249 (2006).
Visser, R., van Dishoeck, E. F., & Doty, S. D., ”Chemical history of molecules in circumstellar disks”, *The Molecular Universe*, Proceedings of IAU Symposium No. 280, toim. J. Cernicharo & R. Bachiller (2011).
Visser, R., van Dishoeck, E. F., & Doty, S. D., *Astronomy & Astrophysics* 534, A132 (2011b).
www.helsinki.fi/~ridderst/astrobiology.html

Kirjoittaja on tähtitieteilijä ja Helsingin yliopiston astrobiologian opettaja.