

Tähtipöly ja elämän reunaehdot

Jorma Harju

Suurin osa tuntemamme maailmankaikeuden aineesta on vetyä (^1H) ja heliumia (^4He), joiden suhteelliset runsaudet vallalla olevan kosmologisen teorian mukaan määräytyvät jo muutaman ensimmäisen minuutin aikana suuren alkuräjähdyksen jälkeen. Vedyn ja heliumin ja näiden harvinaisten isotooppien, deuteriumin (D tai ^2H), tritiumin (^3H), ja heliumin isotoopin ^3He , lisäksi alkuräjähdyksessä uskotaan syntyneen pieni määrä järjestysluvultaan kolmatta alkuainetta litiumia (^7Li).

Todellisuus, jossa me elämme, koostuu kuitenkin paljolti litiumia raskaammista alkuaineista ja niiden yhdisteistä. Esimerkiksi kasvien rakennusaine selluloosa on vedyn, hiilen (C) ja hapen (O) muodostama makromolekyylinen aine. Ihmisruumiin proteeinit ja luuaine sisältävät vedyn ohella hiiltä, happea ja typpeä, sekä huomattavat määrät fosforia (P), rikkiä (S) ja kalsiumia (Ca). Maan kuorikerroksen mineraalien yleisimmät alkuaineet ovat pii (Si) ja happi (O). Yksi luonnontieteen tehtäviä on selvittää miten alkuaineet ovat syntyneet, sekä miten ne ovat siirtyneet maapallolle ja elävien organismien rakenneosiksi. Viimeaikaiset tutkimustulokset tähtiä ympäröivistä pölykiekoista, tähtienvälisistä pilvistä ja komeetoista ovat tuoneet uutta tietoa kosmisen aineen kiertokulusta.

Valaan ihme

Kosmisen kierrätyksen tutkimus alkoi tosin jo 400 vuotta sitten. Aikanaan tunnettu tähtien tarkkailija, friisiläinen pappi David Fabricius löysi 1596 valaan tähtikuvioista uuden punertavan tähden joka kuitenkin himmeni seuraavana vuonna näkymättömiin- ilmestyäkseen taas jonkin ajan perästä uudelleen. Ensimmäinen tunnettu muuttuva tähti sai nimekseen "Valaan ihme", *Mira Ceti*.

Nykyään tiedämme että Mira on ns. punainen jättiläinen, ja edustaa Auringon kaltaisen tähden kehityksen loppuvaiheita. Ydinpolttoaineen loputtua tähden keskustasta reaktiot käynnistyvät sitä ympäröivässä ns. palamiskuoressa. Tämä saa aikaan tähden ulko-osien laajamisen. Laajetessaan ionisoitunut kaasu jäähtyy ja rekombinoituu atomeiksi, jotka puolestaan voivat yhtyä molekyyleiksi. Yleisin molekyyli tähtiä ympäröivissä vaipoissa on hiilimonoksidi, CO, joka on erittäin pysyvä jopa 3000 K lämpötilassa.

Hiilimonoksidi sitoo kaiken käytettävissä olevan hiilen tai kaiken hapen. Mira kuuluu spektriluokan M jättiläisiin, jotka sisältävät enemmän happea kuin hiiltä. Toinen punaisten jättiläisten ryhmä on "hiilitähdet" (spektriluokka C), joissa vapaata happea ei jää jäljelle hiilimonoksidin muodostumisesta.

Pölyvaipoissa tiheydet ja lämpötilat ovat riittävän suuria makroskoopisten pölyhiukkasten tiivistymiselle vapaista atomeista ja keveistä molekyyleistä. Pölyn tiivistymisen uskotaan tapahtuvan vaipan sisäosassa 500-1500 K lämpötilassa. M-tyypin jättiläisissä pölyn muodostumiselle ovat keskeisen tärkeitä piimonoksidi (SiO) ja magnesiumsulfidi (MgS) sekä atomaarinen magnesium ja rauta (Fe). Nämä takertuvat toisiinsa muodostaen silikaatteja eli SiO₂-ketjujen ympärille rakentuvia mineraaleja.

Hiilitähtien vaipoissa esiintyy monentyyppisiä hiilyhdisteitä. Pölyn muodostumisen kannalta tärkeitä ovat karbidit (esim. SiC) ja erityisesti hiilirenkaan sisältävät, aromaattiset hiilivedyt. Aromaattisten hiilivetyjen synty alkaa asetyleenin (C₂H₂) ketjuuntumisella.

Asetyleenipolymeerit kuitenkin murtuvat energeettisesti edullisemman rengasrakenteen tieltä. Hiilirenkaiden "kasvattaessa" ympärilleen toisia renkaita syntyy PAH-yhdisteitä eli polyaromaattisia hiilivetyjä. Grafiitti muodostuu PAH-levyistä, joita pitää yhdessä *van der Waals*-voima, kun taas noki koostuu luultavasti pienten PAH-hiukkasten löyhistä kimpuista. PAH-yhdisteille ovat mahdollisia myös putkimaiset ja pallomaiset rakenteet, eli viimeaikoina huomiota saaneet nanotuubit ja fullereenit. Näitä ei tosin ole havaittu tähtienvälisessä aineessa.

Pölyvaipan tullessa paksummaksi tähti häviää näkyvistä, ja se voidaan havaita vain molekyylien radiospektriviivojen ja infrapunasäteilyn avulla. Tähden säteilypainne ja syn sykkimiseen liittyvät sokkiaallot työntävät vaipan ainetta voimakkaasti ulospäin. Tässä vaiheessa M-tyypin jättiläinen tunnetaan nimellä OH/IR-tähti, jolle on tyypillistä hydroksyyli-radikaalin (OH), vesihöyryn (H₂O) ja piimonoksidin (SiO) maseremissio. Näistä havainnoista johdetut OH/IR-tähtien pölykuorien laajenemisnopeudet ovat jopa 30 km/s ja on arvioitu että tähti menettää tällä tavoin massastaan tyypillisesti sadastuhannesosan vuodessa. Hiilitähtien vaipoissa ei esiinny edellä mainittuja masereita. Tätä kompensoimassa niissä havaitaan voimakkaita termisiä spektriviivoja (esimerkiksi molekyyli CO, CS, SiS ja SiC₂), joiden avulla pölyvaipojen rakennetta on voitu tutkia radiointerferometreillä.

Keskiraskaan tähden taival päättyy ns. valkoisena kääpiönä. Pölyvaipasta tulee planetaarinen sumu, joka lopulta päättyy osaksi diffuusia tähtienvälistä ainetta. Sumun harvetessa molekyylit hajoavat atomeiksi tähtienvälisen ultravioletisäteilyn vaikutuksesta, mutta pölyhiukkaset jäävät jäljelle -tuhoutuakseen mahdollisesti vasta uuden tähden syntymän yhteydessä.

Suurimman osan tähtienvälistä ainetta rikastavasta pölystä on arveltu olevan peräisin M-tyypin jättiläisistä, OH/IR-tähdistä ja hiilitähdistä. Arviot näiden yhteenlasketusta osuudesta vaihtelevat 70 ja 90 prosentin välillä. Näitä tähtiä on paljon, ne kehittyvät hitaasti ja puhaltavat kehityksensä loppuvaiheessa suuren osan massastaan ympäröivään avaruuteen. Massiivisten tähtien (yli 8 auringon massaisten) tuuli on mahdollisesti näiden jälkeen merkittävin tähtipölyn lähde. Supernovat ovat tärkeitä raskaiden alkuaineiden tuottajia, mutta niiden osuus tähtienvälisestä pölystä jäänee muutamaan prosenttiin.

Nukleosynteesi

Pääosa tähtienväliseen pölyyn sitoutuneista raskaammista alkuaineista syntyy massiivisissa tähdissä. Näissä keskustan lämpötila on riittävä ns. kolmiafa-reaktion käynnistymiseen, jossa kolme heliumydintä yhtyy hiiliytimiksi (¹²C). Tästä eteenpäin raskaampia alkuaineita voi rakentua alfa-reaktioissa, joissa ydin yhtyy heliumytimen kanssa. Näin syntyvät happi (¹⁶O), neon (²⁰Ne) ja magnesium (²⁴Mg). Alfa-reaktioiden takia järjestysluvultaan (eli ydinvarausluvultaan) parilliset aineet ovat luonnossa yleisempiä kuin parittomat.

Alfa-reaktioiden tuotteena syntyneet ytimet voivat edelleen yhtyä toisiinsa. Näin esimerkiksi happiytimet (¹⁶O) yhtyvät rikiksi (³²S). Kaikki ydinreaktiot, jotka tuottavat alkuaineita rautaan (⁵⁶Fe) asti luovuttavat lämpöä, sillä reaktiotuotteena olevan ytimen sidosenergia on suurempi kuin lähtöaineiden. Rautaa raskaammat alkuaineet syntyvät supernovaräjähdyksien yhteydessä neutronisieppauksessa ja sitä seuraavassa beta-hajoamisessa (ydin lähettää elektronin jolloin yksi neutroni muuttuu protoniksi ja atomin järjestysluku kasvaa).

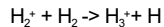
Auringolla ja sen kaltaisilla tähdillä toiminnassa on ns. protoni-protoni-ketju, jossa neljä vety-ydintä muuttuu heliumytimiksi. Hiukan Aurinkoa raskaammilla tähdillä käynnistyy ns. CNO-sykli, joka tarvitsee hiiliytimiä katalyyteinä, mutta jossa nettoreaktion tapahtuu sama kuin protoni-protoni ketjussa eli vety-ydinten yhtyminen heliumytimiksi. Reaktio tuottaa kuitenkin tuottaa myös typpeä (N) ja hiilen isotooppia ¹³C. Tullessaan punaiseksi jättiläiseksi tällaisella tähdellä on hilestä tai hapestä koostuva ydin ja sitä ympäröivät heliumin ja vedyn palamiskuoret. Tähden ulkokuori on täysin konvektiivinen, mikä tarkoittaa sitä että palamiskuorissa kehittyvä lämpö siirtyy ulospäin virtauksen avulla. Tämä on myös edellytyksenä sille että ydinreaktioiden tuotteet siirtyvät tähdet pintakerroksiin sitä kautta laajenevaan vaippaan.

Tähtienväliset pilvet ja kemia

Maan ilmakehään verrattuna tähtienvälinen kaasu on tavattoman harvaa ja kylmää. Molekyylipilvien ns. tiheissä ytimissä keskitiheydet on luokkaa 10⁴-10⁵ hiukkasta kuutiokesanmitta-tilassa, ja lämpötila on tyypillisesti 10-20 K. Näissä olosuhteissa ionien ja neutraalien väliset

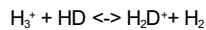
kemialliset reaktiot ovat paljon nopeampia kuin neutraalien hiukkasten väliset reaktiot. Ionin sähkökenttä polarisoi neutraalin molekyylin tai atomin jonka seurauksena syntyvä Coulombin voima vetää hiukkaset yhteen.

Keskeinen reaktiokeiju tähtienvälisessä kemiassa on kosmisen hiukkasen (yleensä protonin) aiheuttama vetymolekyylin ionisaatio (H_2^+) ja tätä seuraava H_3^+ -ionin tuottava reaktio:



Itse molekyylinen vety, H_2 , joka on tiheiden pilvien vallitseva komponentti, kuitenkin pölyhiukkasten pinnalla. Kaasufaasissa mahdolliset reaktiot ovat joko liian hitaita tai liian paljon lämpöä luovuttavia jolloin reaktiossa vapautuva energia hajottaisi molekyylin.

Eräs tähtienvälisen kemian piirteistä on se että "raskaan vedyn" eli deuteriumin (D) osuus molekyyleissä kasvaa. Tämä johtuu siitä että reaktio



on voimakkaasti eksoterminen eli lämpöä luovuttava ja tapahtuu kylmissä pilvissä hyvin nopeasti vasemmalta oikealle, mutta on miltei estynyt kokonaan oikealta vasemmalle. Tämän seurauksena H_2D^+ :n johdannaiset ovat paljon yleisempiä kuin atomaarinen D/H suhde (n. 10^{-5}) edellyttäisi. Esimerkiksi DCO^+/HCO^+ molekyylien suhde on pimeissä sumuissa sadasan luokkaa, siis tuhatkertainen D/H-suhteeseen verrattuna. Tällaista jonkin atomin isotoopin suosimista yhdisteissä kutsutaan kemialliseksi fraktionaatioksi.

Ioni-molekyylikemian avulla voidaan selittää varsin hyvin tiheissä pilvissä havaitut molekyylien runsaudet ja kemialliset erikoispiirteet. Tällaisia ovat mm. hiilimonoksidin suhteellinen runsaus ($CO/H_2 \sim 1/10000$), isotooppien fraktionaatio (esim. D/H, $^{13}C/^{12}C$), joidenkin molekyylien erikoiset isomeerit (esim. HNC ja HCN), ja vähän vetyä sisältävien hiilihiukkasten ja syklisten yhdisteiden esiintyminen.

Pilvien kemiallista koostumusta ja sen muutoksia yritetään ymmärtää kemiallisten mallilaskujen avulla. Näissä tietokoneohjelmalla annetaan alkuaineiden runsaudet ja kemiallisten reaktioidet nopeudet sekä pilven fysikaaliset olosuhteet kuten lämpötila, tiheys ja kosmisten hiukkasten aiheuttaman ionisaation määrä. Pilven kemiallista kehitystä seurattaessa on huomattu että tietyt yhdisteet syntyvät pilveen vasta miljoonien vuosien kuluttua siitä kun tiheys oli kyllin suuri molekyyllisen vedyn muodostumiselle. Toiset yhdisteet ovat taas vallitsevia aivan kehityksen alkuvaiheessa. Esimerkiksi monimutkaiset hiiliyhdisteet kuten syanopolymyini (HC_3N , HC_5N , HC_7N jne.) ovat tyypillisiä nuorelle kemialle, jolloin vapaita hiiliatomeita on vielä käytettävissä. Myöhemmin lähes kaikki hiili on sitoutunut hiilimonoksidin. Sellaiset yhdisteet, jotka syntyvät neutraalien atomien ja molekyylien välisten reaktioiden kautta, kehittyvät myöhään. Näin esimerkiksi ammoniakkaa (NH_3) ja rikkimonoksidia (SO) pidetään tyypillisinä "kypsan" kemian tunnusmerkkeinä. Viime aikoina on tehty myös mallilaskuja, joissa pilven dynaaminen kehitys (ydinten luhistuminen ja tähtien synty) on otettu huomioon. Tämä on perusteltua, sillä luhistuvan pilven dynaaminen aikaskaala on paljon lyhyempi kuin se aika jossa kemiallinen tasapainotila saavutetaan.

Jäätyminen

Pölyllä on huomattava kyky absorboida ja sirottaa tähtien valoa. Tällä tavalla se suojaa tähtienvälisen aineen hiukkasia säteilykentän hajottavalta vaikutukselta. Pölyn osallistuminen tähtienvälisen aineen kemialliseen prosessointiin on viime aikoina käynyt yhä ilmeisemmäksi. Tähtienvälisissä pilvissä pölyhiukkasten silikaatti- tai grafiittitiimit, joiden läpimitta on luokkaa 0.05 mikrometriä, saavat ympärilleen jäävaipan. Suhteellisen alhaisissa tiheyksissä pölyhiukkasten pintaan takertuu vety-, hiili-, typpi ja happiatomeja, jotka liittyvät yhteen muodostaen vesijäää (H_2O), ammoniakkaa (NH_3) ja metaania (CH_4).

Tiheissä pilviytimissä, joissa vety on käytännössä kokonaan molekulaarista (H_2), edellä mainittujen kevyiden hydridien muodostuminen estyy ja pölyvaippaan alkaa kertyä happi- ja typpimolekyyliä (O_2 , N_2), hiilimonoksidia (CO) ja mahdollisesti hiilidioksidia (CO_2). Tuloksena on kerrosmainen rakenne, jossa pääasiassa vedestä koostuva jää on happirikkaan kerroksen alla. Mahdollinen säteily ja lämmitys saa jäävaipassa aikaan reaktioita, joissa edellä mainituista yhdisteistä voi muodostua esim. metyylialkoholia, formalehydiä, muurahaishappoa ja syaaniyhdisteitä.

Pölyhiukkasten jääkuorien koostumus ei ole pelkästään teorian varassa vaan perustuu infrapunaspektroskopian avulla havaittuihin absorptioviivoihin. Molekyyli-pilveen hautautuneiden nuorten tähtien tai niiden takaa kumottavien jätiläistähtien suunnassa mitatuissa lähi-infrapunaspektrien on varmuudella voitu tunnistaa useita edellämainituista yhdisteistä. Tunnetuimpia pölyn absorptio-ominaisuuksia ovat jäätyneen vedin, hiilidioksidin ja hiilimonoksidin sekä silikaattien aiheuttamat absorptiovyöt aallonpituusalueella $\lambda=3-17$ mikrometriä.

Säteilykenttä saa aikaan huomattavia muutoksia jään koostumuksessa. Säteily voi saada aikaan tyydyttyneiden yhdisteiden muuttumisen radikaaleiksi, jotka lämmityksen kautta voivat edelleen reagoida muiden yhdisteiden kanssa muodostaen yhä monimutkaisempia yhdisteitä. Erityisesti alinalla olevassa vesijääkerroksessa tuloksena voi olla monimutkaisia orgaanisia yhdisteitä. Laboriossa suoritettavat kokeet joissa on simuloitu tähtienvälisen jään fotolysireaktioita ovat tuottaneet mm. maitohappoa ja glysiiniä.

On arvioitu että ilman mekanismeja, jotka irrottavat molekyyliä pölyn pinnalta, kaasumainen aine jäätyisi kokonaan tähtienvälisen pilvien ytimissä suhteellisen lyhyessä ajassa. Luultavasti edellä mainittu säteilyn aiheuttama "radikalisointi", kosmisten hiukkasten aikaansaama lämmitys sekä pölyhiukkasten keskinäiset törmäykset kuitenkin paluttavat molekyyliä kaasufaasiin. Tämä kiertokulku vaikuttaa merkittävästi pilven kemialliseen koostumukseen.

Pilviytimien luhistuminen ja tähtiä ympäröivät kiekot

Tähdet syntyvät tiheiden molekyyli-pilvien ytimissä. Aluksi tämä käsitys perustui siihen havaintoon että nuoret tähdet esiintyvät tiheiden molekyyli-pilvien läheisyydessä. Varsin tärkeä löytö 1980-luvulla oli IRAS-satelliitin havaitsemat molekyyli-pilviin hautautuneet infrapunapistelähteet. 1970-luvun lopussa ja 1980-luvun alussa etsittiin merkkejä molekyyli-pilvien luhistumisesta. Paradoksaalista kyllä ensimmäisenä todennettu tähtien syntyyn liittyvä dynaaminen ilmiö oli kuitenkin ulosvirtaus. Usein tämä tapahtuu pääasiassa kahteen vastakkaiseen suuntaan (ns. bipolaarinen ulosvirtaus). Tällä hetkellä ehkä yleisimmin hyväksytty kuva ulosvirtauksesta on nuoresta tähdestä lähtevä suihku joka auraa tietään ympäröivän pilven läpi ja samalla kerää vanaveteensä turbulentista kaasua, joka havaitaan molekulaarisena ulosvirtauksena. Vasta aivan viime vuosina on myös löydetty spektroskooppisia todisteita myös tätä vaihetta edeltävästä pilviytimien luhistumisesta. Vaikeutena tämän havaitsemisessa on se että luhistuminen tähdeksi alkaa "sisästäpäin" aivan pilviytimien keskustassa eikä siihen osallistu kokonainen pilven tihentymä kuten aluksi ajateltiin.

Pilviytimessä on aina jonkin verran liikemäärämomenttia. Luhistuminen johtaa pyörivän litistyneen ytimen syntymiseen, josta kehittyvät prototähti ja sitä ympäröivä kertymäkiekko. Yksinäisen tähden tapauksessa ulosvirtaus keskittyy pyörimisakselin suuntaan. Tähteä ympäröivän kiekon olemassaolo pystyttiin aluksi osoittamaan epäsuorasti mallintamalla nuorten tähtien infrapunaspektrejä. Sittemmin on tehty myös suoria havaintoja. Radiointerferometreillä pystymään tätä nykyä kartoittamaan lähellä sijaitsevien nuorten tähtien pölykiekkoja, ja esimerkiksi Hubble-teleskoopin ottamat kuvat Orionissa sijaitsevasta tähden syntyalueesta osoittavat kauniisti kiekkojen olemassaolon.

Yksi tutkituimmista kohteista on Härän tähtikuviassa sijaitseva nuori, T Tauri-tyyppinen tähti HL Tau, jota ympäröivä pölykiekko tai sen

jäänne on kartoitettu myös radiospektriivivoissa. Mielenkiintoiseksi tämän kohteen tekee se, että keskustähden massa on täsmälleen sama kuin Auringolla, ja kohteen voidaan kuvitella muistuttavan aurinkokunnan alkuaikojä. Kiekon säde on 2000 AU (astronomista yksikköä eli Maan ja Auringon välistä etäisyyttä) ja massa 0.1 auringon massaa. Kaasun lämpötila on 40-100 K, ja kiekossa vallitsee Keplerin liikkeen mukainen nopeuskenttä.

T Tauri-vaiheessa tähti on jo optisesti näkyvä ja noin miljoona vuotta on kulunut siitä kun tähden luhistuminen alkoi. Ns. "alastomat" T Tauri-tähdet edustavat myöhempää vaihetta. Niillä on optisesti ohut kiekko joka antaa aiheen olettaa että pienet hiukkaset (1 mikrometri ja sitä pienemmät) ovat joko poistuneet tähden säteilypaineen ajamina - tai koaguloituneet suuremmiksi, jolloin ne eivät enää yhtä tehokkaasti heikennä tähden valoa. Tunnettu ja paljon tutkittu "alaston" T Tauri-tähti on eteläinen Beta Pictoris. Pölykiekko on säteeltään vain 100 AU ja sen massan arvioidaan olevan vaivaiset 10^{-7} Auringon massaa. Kuitenkin Beta Pictoriksen kiekossa on löydetty muuttuvia infrapunapiirteitä, jotka erään tulkinnan mukaan syntyvät kiekon ulko-osissa majoilevien komeettaytimien syöksyessä kiekon sisäosiin.

Komeetat, meteoritit ja aurinkokunnan pöly

Komeettojen koostumuksesta kertyy koko ajan lisää tietoa myös radiospektriivimittausten ansiosta. Esimerkiksi SEST-teleskoopilla mitataan säännöllisin väliajoin viime vuonna komeesti näkyntä Hale-Boppia, joka tällä on hetkellä sijaitsee eteläisellä taivaalla lähellä Suurta Magellanin pilvettä ja on matkalla pois päin auringosta- kääntyäkseen aikanaan takaisin. Komeettojen monitoroinnin avulla tutkitaan mitä yhdisteitä komeetan jää sisältää, ja missä järjestyksessä eri molekyylit haihtuvat kaasumaiseen tilaan auringon säteilyn lämmittäessä niitä. Komeetaan ollessa lähinnä aurinkoa sen kaasukehä on luonnollisesti suurimmillaan. Perihelin jälkeen kaasu jälleen kylmenee ja alkaa jäätyä takaisin komeetaan pintaan. Komeettojen radiospektreissä löydetään samoja molekyylejä kuin tähtienvälisissäkin aineissa. Komeettojen spektreissä helposti havaittavia yhdisteitä ovat mm. CO, OH, HCN, NH₃, CS, CH ja CH₃OH. Sekä Hale-Boppin että aikanaan Halley'n komeetan monitoroinneissa on lisäksi havaittu että komeetan ollessa perihelissä, molekyylin runsaussuhteet ovat lähes samanaikaiset kuin tähtienvälisissä molekyylipilvissä. Tämä on paitsi osoitus komeettojen aineen tähtienvälisestä alkuperästä, myös siitä että komeetat ovat säilyneet alkuperäisessä koostumuksessaan ilman suurempaa prosessointia.

Meteorittinäytteistä ja interplanetaarisesta pölystä otetut näytteet osoittavat että osa asteroidien ja komeettojen sisältämästä aineesta on muuttumattomana aurinkokunnan syntyä edeltäneen pilven ajoilta.

Meteorittien sisältämien yhdisteiden syntyolosuhteita voidaan selvittää niiden isotooppisuhteiden avulla. Eräs tärkeimmistä on D/H, deuteriumin ja tavallisen vedyn suhde. Edellä oli puhetta siitä että tähtienvälisissä pilvissä vallitsevista olosuhteista deuteriumin osuus yhdisteissä kasvaa huomattavasti yli kosmisen D/H suhteen. Toinen isotooppi johon fraktionaatio vaikuttaa on hiilen isotooppi ¹³C.

On voitu arvella että esimerkiksi tavatut karbonaatit ovat syntyneet aurinkokunnassa, kun taas orgaaniset hiiliyhdisteet ovat ainakin osittain peräisin tähtienvälisestä aineesta. Timantti, grafiitti ja piikarbidi ovat todennäköisesti syntyneet hiilitähtien pölyvaipoissa.

Meteoriteista ns. hiilikondriitit sisältävät eniten orgaanisia yhdisteitä, mukaan lukien pieniä määriä aminohappoja, jotka ovat proteiinien perusosia. Nämä aminohapot eivät ole syntyneet maan pinnalla meteorittin putoamisen jälkeen. Niissä esiintyy yhtä paljon sekä vasen- että oikeakätisiä isomeerejä (asymmetrisen hiiliatomien aiheuttama kiertäisyys), kun taas kaikki luonnon eliöiden sisältämät aminohapot ovat 'vasenkätisiä'. Toiseksi deuteriumin runsaus hiilikondriiteissa tavatuissa aminohapoissa on selvästi suurempi kuin maanpäällisissä. Kuuluisa Murchinsonin meteoritti sisältää 74 aminohappoa, joista 8 esiintyy maapallon eläinproteiineissa ja 11 ovat muuten osallisina biologisissa prosesseissa. Loput 55 aminohappoa on tavattu vain maan ulkopuolelta tulleissa näytteissä.

Törmätessään ilmakehään suurella nopeudella meteoritit muuttuvat tulipalloiksi ja usein hajoavat kappaleiksi. Lämpötila nousee tuhansiin asteisiin ja pintakerrokset sulavat tai höyrystyvät suoraan kaasuksi. Sen sijaan pienimpien hiukkasten (1-100 mikrometriä), jotka ovat komeettojen jälkeensä jättämää pölyä, nopeus hidastuu voimakkaasti jo ilmakehän yläosissa, josta ne leijailevat hitaasti maan pinnalle säilyttäen koostumuksensa muuttumattomana.

On arvioitu että maan pinnalle laskeutuu vuodessa noin 300 tonnia avaruudesta tullutta orgaanista ainetta. Suurin osa tästä on "avaruspölyä" eli maahan pikkuihijaa leijailevia hiukkasia. Näitä hiukkasia onnistuttiin sieppaamaan ensimmäisen kerran 1970-luvulla ilmakehän stratosfäärissä ilmapallon ja NASA:n U2 lentokoneen avulla.

Aminohappojen alkuperä

Elämän uskotaan syntyneen maapallolle jo varhain. Voidaan melkoiselle varmuudella sanoa että alkeellisia elämää oli 3.5 miljardia vuotta sitten. Tästä on osoituksena tuolta ajalta peräsin olevat mikrofossiilit sekä geologiset löydöt (tietyissä kerroskivilajeissa esiintyvät rautaoksidit), jotka antavat aiheen olettaa että tuohon aikaan ilmakehässä sisälsi ainakin jonkin verran vapaata molekulaarista happea, joka on taas pääasiassa peräsin kasvien yhteyttämisestä.

Toisaalta näyttää siltä että paljon tätä aikaisemmin elämää ei ole voinut esiintyä. Kuun kraaterit kertovat raskaan asteroidipommituksen jaksosta joka päättyi noin 3,8 miljardia vuotta sitten. Ei ole mitään syytä epäillä etteikö Maa olisi kokenut samaa kohtaloa. Suuren asteroidin törmäyksessä vapautuva energia pystyy höyrystämään valtameret ja sterilisoimaan koko planeetan tuhoamalla kaikki elämälle tärkeät yhdisteet.

1950-luvulla Miller ja Urey onnistuivat syntetisoimaan aminohappoja metaatista (CH₄), vedystä (H₂), vedestä (H₂O) ja ammoniakista (NH₃) koostuvasta höyrystä johon viikon ajan johdettiin sähköpurkauksia. Esimerkiksi yksinkertaisimman aminohapon glysiinin, (CH₂NH₂COOH), muodostuminen voitiin näissä olosuhteissa ymmärtää reaktioketjun avulla johon osallistuivat formaldehydi (H₂CO), vetyyanidi (HCN), ammoniakki ja vesi. Myöhemmin samantyyppinen koe on suoritettu höyrystä jossa pääosa ammoniakista on korvattu typpimolekyylillä (N₂), minkä uskotaan vastaavan paremmin maapallon alkuaikojen ilmakehää. Tuloksena on kuitenkin lähes yhtä paljon aminohappoja kuin 1950-luvun klassisissa kokeissa.

Ilmakehän koostumuksen on todettu olevan kuitenkin erittäin ratkaiseva näille elämälle välttämättömien yhdisteiden synnylle. Kysymys on lähinnä siitä mihin aineeseen ilmakehän hiili oli sitoutunut. Jos vallitseva hiiliyhdiste oli hiilidioksidi, CO₂, ei aminohappojen syntyminen ei käynyt päinsä Millerin ja Ureyn kokeen tapaisissa reaktioissa, ellei ilmakehää toisaalta sisältänyt erittäin paljon vetyä, joka on voimakkaasti pelkistävä aine.

Ilmakehä on saanut alkunsa tulivuoritoiminnasta, joka maapallon alkuaikoina oli paljon aktiivisempaa kuin nyt. Tällä hetkellä tulivuorista purkautuu lähinnä hiilidioksidia ja vesihöyryä. On varsin mahdollista että alkuaikoinan tulivuoret ovat päästäneet ilmoille vetyä, metaania ja ammoniakkia. Tämä on taas sidoksissa maankuoren alla olevan sulan magman koostumukseen. Ongelmallista aminohappojen aminohappojen synnyn kannalta on että 3,8 miljardia vuotta vanhat kivilajinäytteet ovat saaneet geologit uskomaan että ilmakehää runsaasti hiilidioksidia jo tuolloin.

Suhteellisen lyhyt aikaväli jona elämä on voinut kehittyä maapallolle sekä geologiset merkit siitä, ettei ilmakehä ehkä ollutkaan tänä aikana kovin suosiolinen aminohappojen muodostumiselle, eivät luonnollisesti todista sitä että nämä yhdisteet olisivat tulleet avaruudesta. Ne kuitenkin korostavat tähtienvälisen aineen ja aurinkokunnan pienkappaleiden merkitystä eräiden peruskysymysten tutkimuksessa. .

FT Jorma Harju Helsingin yliopiston observatoriosta työskentelee tutkijana Suomen Akatemian rahoittamassa Tähtienvälinen aine ja tähtien synty - tutkimusprojektissa. Kirjoitus perustuu hänen esitelmäänsä Tähtitieteellinen yhdistys Ursan tilaisuudessa 17.2.1998

TAKAISIN LEHDEN SISÄLLYSLUETTELOON