



# *Astrokemistit* avaavat avaruuden salaisuuksia

## ■ Miten tähdet ovat syntyneet? Mitä ovat elämän molekyylit avaruudessa ja kuinka löytää ne?

**Kysymyksiin etsii vastauksia astrokemia, nouseva tieteenala, johon ovat tarttuneet myös suomalaiset tutkijat.**

### Kalevi Rantanen

Noin 400 miljoonan valovuoden etäisyydellä Maasta sijaitsee Käärmeen-kantajan tähtikuvi, jonka sisällä on tiheä molekyylipilvi. Pilvessä syntyy parhaillaan uusia, Auringon kaltaisia tähtiä.

Kiitos suomalaistutkijoiden, tiedämme nyt, kuinka vanha kaukainen tähtien kehto on: molekyylipilvellä on ikää noin miljoona vuotta.

Pilven iän laskemiseen tarvittiin sekä fysikaalisia että kemiallisia menetelmiä. Kemiallisin menetelmin pilveä on tutkinut kansainvälinen ryhmä, johon kuuluvat muun muassa Helsingin yliopiston tähtitieteilijät **Olli Sipilä** ja **Jorma Harju**.

Helsingissä väitellyt Sipilä työskentelee tällä hetkellä Max Planck -instituutin astrokemian tutkimusryhmässä Saksan Garchingissa, jossa Harjukin on viime vuosina käyttänyt puolet työajastaan.

Kun tutkijat ryhtyivät paneutumaan molekyylipilven salaisuuksiin, he havaitsivat siellä vedystä ja deuteriumista koostuvan  $H_2D^+$ -ionin spinisomeerejä.

$H_2D^+$  on  $H_3^+$ -kationin isotooppi, jossa yksi vety-ytimistä on korvautunut deuteriumilla eli raskaalla vedyllä. Spinisomeerejä kutsutaan orto- ja paramuodoiksi. Nämä muodot edustavat vety-ytimien spinien symmetriaa”, Harju kertoo.

Spin on kvanttiluku, jota kuvataan ylös- tai alaspäin suuntautuvalla nuolella. Symmetristä ortomuotoa voidaan tällöin kuvata kahdella samaan suuntaan osoittavalla nuolella ja antisymmetristä paramuotoa nuolilla, joista toinen osoittaa ylös- ja toinen alaspäin.

Kylmässä pilvessä  $H_2D^+$ -ionin orto/para-suhde muuttuu pitkän ajan kuluessa niin, että paramuodon osuus

kasvaa. Muotojen spektriviivoista tutkijat pystyivät laskemaan orto/para-suhteen, joka puolestaan kertoi pilven iän.

Molekyylipilven ikää oli aiemmin vain arvailtu. Olisiko se noin 100 000 vuotta vai ehkä enemmän? Aikaa oli yritetty määrittää  $N_2H^+$ -isotoopin avulla, mutta ”typpikello” lakkaa käymästä aikaisemmin kuin ”vetykello”, jolloin tulokseksi saatava aika on liian lyhyt.

$H_2D^+$ -ionin orto/para-suhde saatiin sijaan laskettua säteilynkuljetusohjelmalla, jonka oli kehittänyt astronomi **Mika Juvela** Helsingin yliopiston fysiikan laitoksessa.

Astrokemiallisen mallin pilven iän määrittelyyn oli puolestaan rakentanut Olli Sipilä vuonna 2013 valmistuneessa väitöstyössään. Malli on alallaan laajimpia. Se kuvaa sekä kaasussa että pölyn pinnalla tapahtuvia reaktioita ja sisältää spinvalintasäännöt molekyyleille, joissa on useita vety- tai deuteriumytimiä.

Astrokemia on Suomessa keskittynyt nimenomaan tiheiden tähtienvälisen pilvien kemiaan eli tähtien syntypaikojen tutkimiseen.

”Työ on perustunut spektroskooppisiin havaintoihin ja niiden mallinnukseen. Parhaimmillaan projekteihin on osallistunut sekä havaitsijoita, mallintajia, laboratoriokemistejä että teoretikkoja, suomalaisten lisäksi tietenkin myös ulkomaalaisia”, Jorma Harju kertoo.

Käärmeenkantajan tähtikuvion molekyylipilven tutkimuksessa oli mukana tutkijoita myös saksalaisesta Kölnin yliopistosta ja yhdysvaltalaisesta Harvard-Smithsonianin astrofysikaalisesta keskuksista.

### Kemia valtaa alaa avaruustutkimuksessa

Astrokemia on hieman huonosti tunnettu tieteenala, osittain siksi, että ala

on nuori, eikä se ole vielä selvästi erottunut astrofysiikasta tai tähtitieteestä. Ero on kuitenkin olemassa ja se on myös tärkeä. Mika Juvelan mukaan juuri tähtienvälisen pilvien tutkimus on osoittanut kemiallisen erikoisasiantuntemuksen tarpeellisuuden astronomiassa.

Molekyylin lähettämä spektriviiva-säteily kertoo, millaisia ovat kohteiden fysikaaliset perusominaisuudet, kuten tiheys, lämpötila ja kaasun virtaus.

”Silloin on tiedettävä jotain myös siitä, miten kyseisten molekyylin runsaudet vaihtelevat kohteesta toiseen tai kohteen sisällä”, Juvela sanoo.

”Jos tunnemme astrokemian, runsaussuhteet itsessään kertovat kohdealueessa vallitsevista fysikaalisista olosuhteista ja jopa niiden historiasta.”

Astrokemia eroaa maanpäällisestä kemiasta monien erityispiirteidensä vuoksi. Avaruudessa tiheydet ovat erittäin alhaisia, eli siellä vallitsee lähes täydellinen tyhjiö. Lämpötilat ovat äärimmäisiä ja ulottuvat lähelle absoluuttista nollapistettä.

Aineisiin myös kohdistuu eri voimalla kuin Maassa säteilyä, sekä hiukkassäteilyä että sähkömagneettista säteilyä, kuten ultravioletti- ja röntgensäteilyä.

”Maanpäällisissä laboratorioissa näitä olosuhteita voidaan jäljitellä vain tiettyyn rajaan saakka, joten tähtitieteen havainnot ovat tärkeitä ja niiden selittäminen edelleen haaste kemiallisille malleille.”

Tähtienvälisen pilvien lisäksi astrokemia tutkii monia muita kohteita alkaen aurinkokunnan vedestä ja päätyen kaukaisten galaksien supermassiivisten mustien aukkojen lähialueisiin.

”Astrokemian merkitys luultavasti vain kasvaa, kun lähivuosina päästään kunnolla tutkimaan myös eksoplaneettojen kaasukehien koostumusta”, Juvela ennustaa.

Itse asiassa kasvu näkyy jo julkaisutilastoissa. Tieteellisten julkaisuu-

» » »

◀ **Noi 400 miljoonan valovuoden päässä sijaitseva Käärmeenkantajan molekyylipilvi on uusien tähtien synnyinkoti.**

## Suomalainen lentävässä observatoriossa

Astrokemian kehitystä ovat vauhdittaneet hyvät teleskoopit ja mittauslaitteet. Käärmeenkantajan molekyylipilven tutkijat käyttivät sekä lentävää että maanpäällistä teknologiaa.

Lentävä observatorio Sofia on Yhdysvaltain avaruushallinnon Nasan ja Saksan avaruustutkimuskeskuksen DLR:n rakentama. Boeing 747 -lentokoneeseen sijoitettu Sofia toimii kaukoinfra-punasäteilyn taajuuksilla. Kone lentää yli 12 kilometrin korkeudessa, jossa ilmankehän vettä ei ole imemässä infrapunasäteitä.

Pilven astrokemiallisissa mittauksissa hyödynnettiin tarkkaa spektrometriä nimeltä Great. Laitetta käyttävään tiimiin kuuluu myös Kölnin yliopistossa työskentelevä suomalainen tähtitieteilijä **Anna Parikka**. Maan päällä mittauksista huolehti Apex-radioteleskooppi, joka sijaitsee Chilen Andeilla.



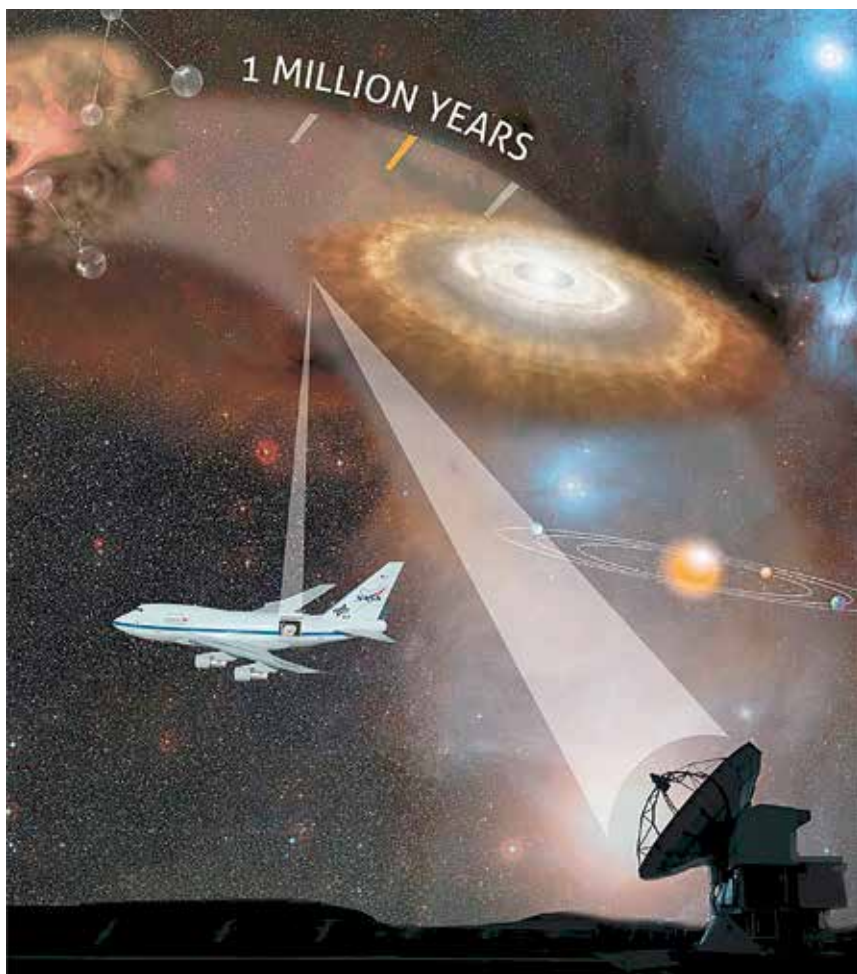
jen hakupalvelu Google Scholar antoi 19. maaliskuuta 2018 hakusanalla *astrochemistry* 16 200 osumaa ja hakusanalla *astrophysics* noin 837 000 osumaa, yli 50-kertaisen määrän. Jos rajataan haut vuosiin 2017–2018, julkaisuja astrofysiikasta oli enää 16 kertaa enemmän. Astrokemian on siis hitaasti nousseessa astrofysiikan rinnalle.

### Elämän kemikaaleja avaruuden pilvistä

Tähtien synnyn ohella toinen astrokemian suuri tutkimuskohde ovat avaruuden orgaaniset aineet.

Yhdysvaltalaisien ja venäläisten tutkijoiden ryhmä on löytänyt bentsonitriilin molekyyleja Tauruksen molekyylipilvestä TMC-1, joka sijaitsee lähellä Härän ja Ajomiehen tähdistöjä noin 430 valovuoden päästä Maasta. Havainnon he tekivät tutkimalla infrapunasäteilyä Green Bankin radioteleskoopilla, joka sijaitsee Länsi-Virginiassa.

Infrapunasäteily on ollut yksi avaruuden arvoituksista. Koko maailman-



Max Planck -instituutti

Tähtienvälisen tiheän pilven romahdus prototähdeksi voi kestää yli miljoona vuotta. Näin on käynyt ainakin Käärmeenkantajan tähdistön pilvessä, jonka iän mittasivat lentävä Sofia-observatorio ja maanpäällinen Apex-teleskooppi.

## Avaruussuklaan arvoitus selvisi

Kun avaruudesta löydetään orgaanisia aineita, seuraava kysymys kuuluu usein: kuinka ne ovat siellä syntyneet?

Esimerkiksi komeetta 67P/Churyumov-Gerasimenko sisältää mutkikkaita, vähintään kuusiatomisia orgaanisia kemikaaleja, kuten propanoli- ja butanaaliyhdisteitä. Eräät yhdisteet samasta kemikaaliryhmästä antavat makua suklaaseen.

Havaijin Manoa-yliopiston kemistit ovat tutkineet, miten kosmi-



nen säteily voi synnyttää näitä yhdisteitä tähtienvälisessä aineessa. He altistivat ultratyhjiössä ja viiden kelvinin lämpötilassa hiilimonoksidia ja metaanin deuteriumisotooppia ionisoivalle säteilylle. Näin he saivat ensimmäisen kerran syntymään propanoli- ja butanoliyhdisteitä avaruuden oloja simuloivassa laboratoriossa.

kaikkeus hehkuu infrapunaa. Säteily on tunnettu 30 vuotta, mutta sitä ei ole tiedetty, mistä se tulee.

Kauan on kuitenkin epäilty polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä eli pah-

yhdisteitä. Niihin on sitoutunut noin kymmenesosa maailmankaikkeuden hiilestä. Pah-molekyylejä tunnetaan satoja, mutta yhtäkään ei ole aikaisemmin havaittu avaruudessa.

Amerikkalais-venäläinen tutkimus raottaa salaisuuksien verhoa. Nyt havaittu bentsonitriili on pah-yhdisteiden sukulainen. Se on aromaattinen, renkaan muotoinen molekyyli, jonka keskellä on kuuden hiiliatomin rengas. Viiteen hiiliatomiin on kiinnittynyt vetyatomi, ja kuudennesta lähtee ulospäin hiiliatomin ja typpi-atomin pari CN eli syanoryhmä.

Molekyylin ”vinous” eli epäsymmetrinen rakenne auttaa astronomeja. Epäsymmetrisestä molekyylistä on helppoa saada radioastronominen sormenjälki.

Bentsonitriili on savuava ase, joka todistaa, että pah-yhdisteitä on avaruudessa runsaasti. Se on myös isoin mole-

kyyli, joka radioastronomian keinoilla on havaittu.

Tähtienvälisestä avaruudesta on tähän mennessä löydetty noin 200 molekyyliä, joista monet ovat orgaanisia. Leidenin yliopiston astrokemisti **Ewine F. van Dishoeck** julkaisi vuonna 2017 katsauksen tieteenalan tilasta ja puki sanoiksi monen astrokemistin salaisen haaveen: ”Tiheät molekyyli-pilvet ovat tärkeitä uusien tähti- ja planeettasukupolvien lastenhuoneina. Joissakin niissä voi olla jopa elämää.”

Elämän molekyyliä etsitään innok-

kaasti. Nasan James Webb -avaruusteleskoopilta, joka on tarkoitus laukaista vuonna 2019, astrokemistitkin odottavat paljon.

Teleskooppi kerää tietoa sekä lähi-infrapuna- että kaukoinfrapuna-aalloilla ja kykenee tutkimaan planeettojen kaasukehiä entistä tarkemmin. Laitteet pystyvät etsimään me-

taania, vettä, hiilidioksidia ja happea, jotka antavat vihjeitä elämästä tai elämän mahdollisuuksista.

Valmistettavaa tietoa on jo saatu. Kansainvälinen tutkijaryhmä julkaisi helmikuussa 2018 tietoja planeetoista, jotka kiertävät punaista kääpiötä nimeltä Trappist-1. Hubble-teleskoopin tekemien mittausten perusteella tutkijat päättelivät, että ainakin kolmella planeetoista voi olla metaania, hiilidioksidia ja happea.

Voi olla, mutta ei tiedetä, onko Webb-luotain saattaa antaa tähän vastauksen. Kun vastaus saadaan, tiedetään myös, ovatko Trappist-1:n planeetat asumiskelpoisia.

Avaruussiirtolaisia niihin tuskin pian lähtee, vaikka vastaus olisi myönteinen ja vaikka ne sijaitsevat vain 40 valovuoden päässä eli suhteellisen lähellä. Meillä on silti pakottava tarve tietää, onko jossakin planeettoja, joiden kemialliset olosuhteet sopisivat ihmiselle.

## Uteliaisuus johtaa yllätyksiin

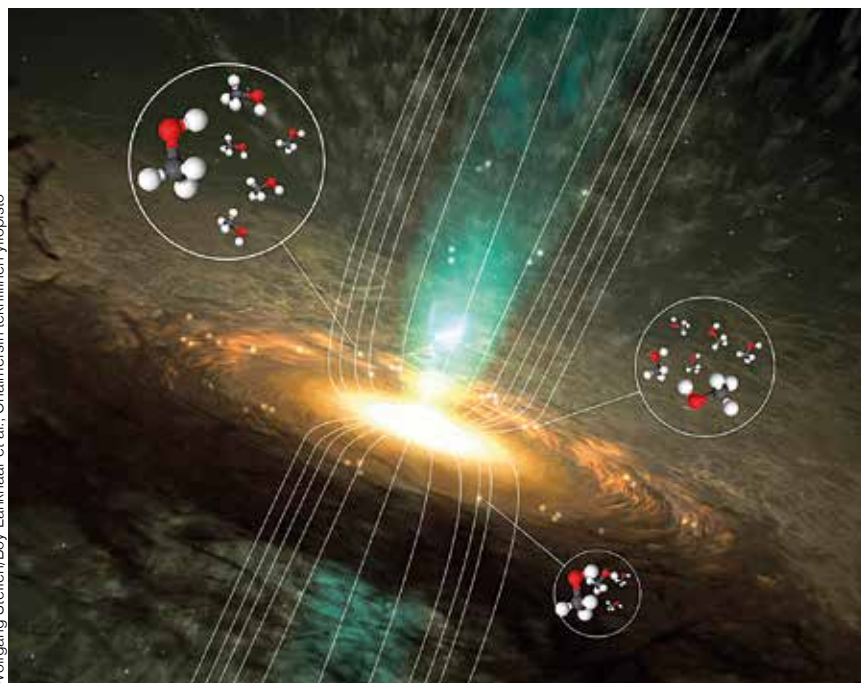
Astrokemian vie eteenpäin tietämisen halu. Se on siis vielä puhtaasti uteliaisuusvetoista tutkimusta.

Yhdysvaltain kemian seura ACS kertoo sivullaan, että astrokemistit työllistyvät yliopistoihin, tutkimuslaitoksiin ja valtion virastoihin. ”Valtion virasto” on yhtä kuin Nasa. Teollisuutta ja yrityksiä ei mainita.

Kaupallisten sovellusten osalta astrokemian on samassa vaiheessa kuin suhteellisuusteoria sata vuotta sitten. Kukaan ei voinut silloin aavistaa, että satelliittinavigointijärjestelmissä tarvitaan suhteellisuusteorian kaavoja. Astrokemiankin sovelluksia tulee, mutta ne ovat jotakin täysin odottamatonta. □

Kirjoittaja on vapaa tiedetoimittaja.  
kalevi.rantanen@kolumbus.fi

## Bentsonitriili on savuava ase, joka todistaa, että pah-yhdisteitä on avaruudessa runsaasti.



Metanoli lähettää radioviestejä paikasta, jossa muotoutuu massiivisia tähtiä. Viestit tulevat kirkkailta alueilta. Kirkkaat pisteet ovat viestien lähettäjiä, luonnollisia metanolimasereita, ja käyrät viivat magneettikentän voimaviivoja.

## Metanoli kertoo raskaista tähdistä

Astrokemian monipuolisuudesta kertoo ruotsalaisen Chalmersin teknillisen korkeakoulun tähtitieteilijöiden tutkimus magneettikentän vaikutuksesta metanoliin. Työhön osallistui tutkijoita myös Hollannista ja Italiasta.

Metanoli on luonnollinen maser eli laserin vastine mikroaaltoalueella. Maserin säteily voidaan havaita radioteleskoopilla. Metanoli on myös kosminen merkkiaine, jota

esiintyy kaasussa suurimassaisten prototähtien ympärillä. Magneettikenttä vaikuttaa metanolin lähettämään säteilyyn.

Tutkijat rakensivat matemaattisen mallin, joka kertoo, miten metanoli käyttäytyy magneettikentässä. Lisäksi he varmistivat, että malli on sopu-soinnussa tunnettujen mitaustulosten kanssa. Tutkimus tuotti kemiallisen työkalun magneettikenttien mittaamista varten.