

# Kosmologinen aikajana

**Rosa M. Ros, Beatriz García, Ricardo Moreno, Pilar Orozco, Juan Antonio Prieto, Ivo Jokin**

International Astronomical Union, Polytechnical University of Catalonia, Spain, ITeDA and National Technological University, Argentina, Colegio Retamar, Spain, Diverciencia, Spain, Municipal Center for Extracurricular Activities, Dolna Mitropolia Municipality, Bulgaria.

## Yhteenveto

Maailmankaikkeuden historia kattaa 13800 miljoonaa vuotta. Tuona ajanjaksona maailmankaikkeus muutti energian alkuainekuiden atomeiksi ennätysajassa. Atomit muodostivat tähtiä ja nämä puolestaan muunsivat materiaalin tuottamaan noin 100 alkuainetta, jotka muodostavat jaksollisen taulukon. Kemialliset elementit järjestettiin, mutta prebioottisen materiaalin saamiseksi, joka myöhemmin johti eri elämänmuotoihin, jotka tunnettu maapallolla, prosessi oli pitkä ja monimutkainen. Voimme sanoa, että elämä on seurausta useista tekijöistä, jotka tuottivat sen ja mahdollistivat sen kehittymisen. Tietää hetkiä, jotka olivat perustavanlaatuisia virstanpylväitä elämän ilmestymiselle koko maailmankaikkeuden historian ajan, lähestyä tähtitieteilijöiden suunnittelema, rakentama ja asentama työkaluja, jopa maan ulkopuolella, tutkia elämän olemassaolon mahdollisuutta maailmankaikkeuden ainoan paikan ulkopuolella, jossa se havaittiin, ja löytää teorioita, jotka yrittävät selittää, miten, milloin ja mistä elämä sai alkunsa, on tämän työpajan tehtävä.

## Tavoitteet

- Visualisoi maailmankaikkeuden historia aikajanan kautta
- Ymmärrä prosessin merkitys, joka oli välttämätön elämän muodostumisen saavuttamiseksi
- Ymmärrä elämän sopeutuminen moniin erilaisiin olosuhteisiin

## Kosmologinen esittely

Maailmankaikkeus on ainoa luonnosta eristetty järjestelmä: se ei vaihda energiaa eikä ainetta ympäristön kanssa, koska se on väliaine.

On arvioitu, että maailmankaikkeus syntyi 13800 miljoonaa vuotta sitten energian vapautumisen seurauksena. Maailmankaikkeuden syntymä- ja evoluutioprosessia sekä mahdollisia skenaarioita sen lopulliselle määränpäälle käsiteltiin Universe Evolution Workshopissa.

Koko maailmankaikkeuden tutkimuksen lisäksi on mielenkiintoista laajentaa mittakaavamalleihin liittyvää ehdotusta, jonka avulla voimme vilkaista, mitä kosmoksen ikä

tarkoittaa, mutta samalla esitellä ihmislajin peruskäsite: elämän, joka on yksi maailmankaikkeuden ominaisuuksista tai ainutlaatuisista ominaisuuksista.

Kysymys elämän alkuperästä ja sen seurauksesta, älykkään elämän olemassaolosta, on ekson ja astrobiologian pääpaino; Se on epätavallinen tapahtuma, jota voidaan tutkia tieteellisestä näkökulmasta tavoitteena ymmärtää, miten se on tapahtunut maapallolla ja miten se voisi tapahtua muualla.

Elämän etsiminen on yleinen tavoite tähtitieteessä ja astrofysiikassa, ja siksi aiheen asettaminen kosmologiseen mittakaavaan antaa meille mahdollisuuden ymmärtää pitkä aikaväli, joka erottaa maailmankaikkeuden alkuperän alkeellisimpien elämänmuotojen ilmestymisestä.

Elämän etsimiseen meillä on joitain työkaluja, jotka ovat astrobiologian ja astrokemian työn perusta.

Tähtien muodostumis- ja syntymäprosessissa tähtienvälisen kaasun ja pölyn pilven painovoiman romahtamisesta voidaan muodostaa planeettajärjestelmä kyseisen pilven materiaalin jäännöksistä.

Samalla tavalla kuin voimme tietää tarkasteltavan tähden koostumuksen tutkimalla sen spektriä, on mahdollista tietää planeetan ilmakehän olemassaolo ja kemiallinen koostumus aurinkokunnan tapauksessa tai eksoplaneettojen olemassaolo ja kemiallinen koostumus eksoplanetaaristen tai eksoplaneettojen tapauksessa. Jokaisella kemiallisella elementillä, jokaisella molekyyllillä, on tietty ja ainutlaatuinen spektri.

Jos planeetalla tai eksoplaneetalla on kaasukehä ja jos tähden spektri tunnetaan, kun tähdestä tuleva valo kulkee eksoplaneetan kaasukehän läpi, se absorboituu osittain kyseisen ilmakehän kemiallisiin alkuaineisiin. Tällä tavoin pystymme määrittämään minkä tahansa ilmakehän kemiallisen koostumuksen.

Esimerkki tästä on James Web Telescopen viimeaikaiset löydöt, jotka tekevät erilaisia eksoplanetaarisia järjestelmiä.

Esimerkki: siitä, miten on mahdollista lähestyä elämän etsimistä, olisi seuraava. web-teleskoopin havaintojen ansiosta tehdyssä eksoplaneetan WASP-39b yksityiskohtaisessa mallinnuksessa paljastettiin, että sen ilmakehässä oleva  $\text{SO}_2$  tuotetaan fotokemialla, mikä on erittäin tärkeää, koska fotokemia on olennaista maapallon elämän kukoistamiselle, koska se liittyy  $\text{O}_3$ : n (otsonin) tuotantoon, fotosynteesillä ja ihmisen organismille olennaisen D-vitamiinin tuotannolla.

Ehdottamamme aikajanan nollahetkestä kului vain noin 100 sekuntia siihen, että kaikki energia muuttui atomeiksi. Elämän ilmestymiseksi galaksien oli ensin noustava, sitten tähtien, niiden oli muutettava kemiallisia alkuaineita, rikastettava galaksienvälistä ja tähtienvälistä ympäristöä ja annettava olosuhteet, jotta epäjärjestyksessä olevat molekyylit määrättiin muodostamaan monimutkaisia rakenteita, jotka voisivat replikoitua ja lopulta antautilaa elämälle.

Seuraavissa osissa näemme tämän pitkän prosessin, joka, se ei ole ihmeellinen, on seurausta kosmoksen kehityksestä.

## Tehtävä 1: Aikajana

Kyse on maailmankaikkeuden historian aikajanan visualisoinnista nauhalle. käyttämällä mittayksikkönä yhtä metriä, joka vastaa miljardia vuotta ( $1\text{m} = 10^9$  vuotta eli  $10\text{ cm} = 10^6$  vuotta).

Kun tiede kehittyy ja tarkempia instrumentteja tulee saataville, maailmankaikkeuden historian kannalta tärkeiden suuruusluokkien, kuten ajan ja etäisyyden, määrittäminen voi johtaa tiettyihin muutoksiin ajanjaksoissa, jolloin kosmoksen merkittävimmät tapahtumat tapahtuvat. Muista, että se, mitä tiedämme maailmankaikkeudesta, on tilastollista, enemmän ja parempia havaintoja voi pakottaa meidät tarkistamaan kaikki tuloksemme.

Bing Bang, alkuräjähdyks, tapahtui 13800 miljoonaa vuotta sitten ( $13,8 \cdot 10^9$  vuotta), sitten lyhyenajan,  $10^{-45}$  sekuntia, ei tiedetä kovin hyvin selittävän, mitä tapahtui, koska et voi edes soveltaa Einsteinin suhteellisuusteoriaa, tämä on niin kutsuttu Planckin aikakausi.



Kohde 1: Aikajanan yksinkertainen esitys 13,8 m pitkällä nauhalla. Jotkut esineet on ommeltu yhteen, mikä helpottaa arvojen suhdetta ja vertailua ja mahdollistaa asteikon kiinnittämisen.

Alkuräjähdyksen  $10^{-35}$  jälkeen alkaa INFLAATIO, joka reagoi maailmankaikkeuden eksponentiaaliseen laajenemiseen. Mikrosekunti ( $10^{-6}$  sekuntia) alkuräjähdyksen jälkeen alkaa alkukeiton muodostuminen (koostuu erilaisista alkeishiukkasista).

3 minuutin alkuräjähdyksen jälkeen aloitetaan "H" primordiaalinen nukleosynteesi. Kaikkea tätä ensimmäistä osaa ei todellakaan voida esittää aikajanalla skaalausongelmalla, koska ajattelemme, että 1 millimetri, joka vastaa miljoonaa vuotta, sekunnit tai minuutit ovat näkymättömiä. Tästä syystä sitä ei näytetä aikajanalla, vaan se esitetään erikseen.

100 miljoonan vuoden kuluttua (10 cm:n jälkeen), eli 13700 miljoonaa vuotta sitten, muodostuivat ensimmäiset alkuelementit. Vielä 100 miljoonan vuoden tai vielä 10 cm:n kuluttua  $13,6 \cdot 10^9$  vuotta sitten muodostuivat ensimmäiset molekyylit ja näiden joukossa ensimmäiset vesimolekyylit.

Noin myös tässä ajassa ensimmäiset tähdet muodostuivat 13600 miljoonaa vuottaja ensimmäiset galaksit jotain myöhemmin, 13100 miljoonaa vuotta sitten. Sadan miljoonan vuoden kuluttua muodostui primitiivinen Linnunrata ( $13,0 \cdot 10^9$  vuotta) (kuva 1).

Noin 8400 miljoonan vuoden ajan (8,4 metriä: mittakaavassamme  $10^9$  vuotta vastaa yhtä metriä) tapahtuu sarja samanaikaisia ilmiöitä. Ensimmäiset tähdet kehittyvät, mikä aiheuttaa erilaisia räjähdysisiä, jotka karkottavat erityyppisiä atomeja, ja jaksollisen järjestelmän alkuelementtien monimuotoisuus ilmestyy. Samaan aikaan muodostuu jatkuvasti uusia tähtiä, jotka myös kehittyvät ja erilaisia kohteita syntyy evoluution eri vaiheissa



Kuva 2: 4600 miljoonaa vuotta sitten muodostuu aurinko ja sen mukana näkyvät aurinkokunnan eri kappaleet, erityisesti maa ja kiviset planeetat muodostuivat 4560 miljoonaa vuotta sitten. Noin 20 miljoonaa vuotta myöhemmin syntyi maan magneettikenttä, joka toimii suojana erilaisille säteilyille, jotka ovat vaarallisia elämälle, kuten tiedämme.

Edellä mainitun 8,4 miljoonan vuoden eli  $4,6 \cdot 10^9$  vuotta sitten jälkeen tapahtuu aurinkomme muodostuminen sekä ensimmäisten alkoholien muodostuminen. OH-ryhmät ovat välttämättömiä myöhemmin, koska ne esiintyvät monien molekyylien muodostumisessa, jotka ovat tärkeitä DNA:n muodostumisen saavuttamiseksi.

Noin 3 cm myöhemmin, 4570 miljoonaa vuotta sitten, aurinkokunta syntyi, 4 mm myöhemmin, 4566 miljoonaa vuotta sitten, kaasumaiset planeetat muodostuivat ja 6 mm myöhemmin, 4560 miljoonaa vuotta sitten, maapallo ja muut kiviplaneetat muodostuivat (kuva 2).

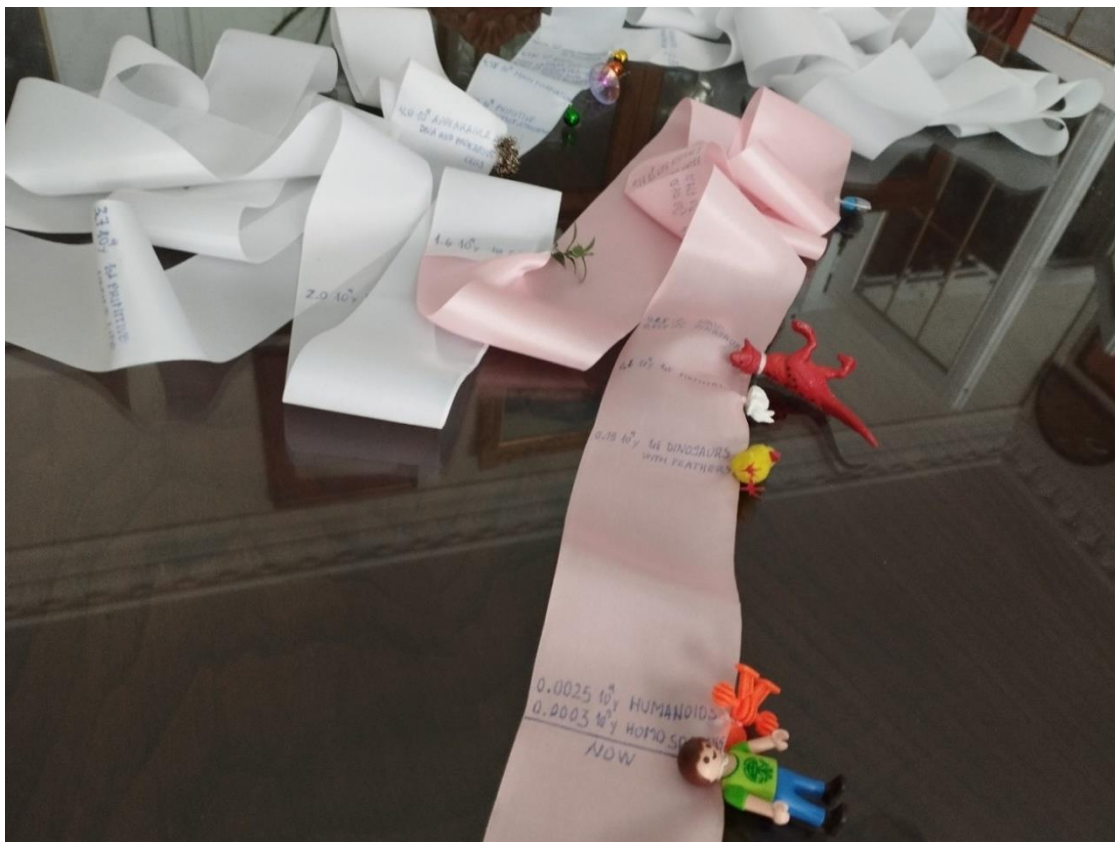
Noin 2 cm myöhemmin, maapallon magneettikenttä syntyi tästä 4540 miljoonaa vuotta sitten, mikä edusti suojaa erilaisilta säteilyiltä, jotka ovat haitallisia elämälle planeetallamme.

Myöhemmin, 6 cm:n korkeudessa, Kuun muodostuminen alkoi, noin 4480 miljoonaa vuotta sitten, muodostaen Maa-Kuu-järjestelmän planeettajärjestelmässämme.

Vain 3 cm myöhemmin, 4450 miljoonaa vuotta sitten, primitiivinen Maan ilmakehä muodostuu.

$4,1 \cdot 10^9$  vuotta sitten, tämä on 45 cm:n jälkeen, tapahtui myöhäinen voimakas pommitus, joka vaikutti aurinkokunnan kehoihin sekä maahan ja kuuhun.

4000 miljoonaa vuotta sitten ( $4,0 \cdot 10^9$  vuotta), eli 10 cm myöhemmin, ensimmäiset prokaryootiset solut ilmestyvät (ilman ydintä) ja DNA-molekyyli ilmestyy.



Kuva 3: Viiva on tyhjä alusta ensimmäisten vihreiden kasvien ilmestymiseen. Vaaleanpunaisena tästä hetkestä nykypäivään.

2 metrin kuluttua tämä on 2 miljardia vuotta sitten, elämä, joka hengittää happea  $O_2$ , alkaa.

40 cm: n,  $1,6 \cdot 10^9$  n jälkeen vuotta sitten vihreiden kasvien ulkonäkö planeetallamme alkaa, eli klorofyllifunktio tulee esiin (kuva 3).

Yli 90 cm tai 90 miljoonaa vuotta, eli 700 miljoonaa vuotta sitten ( $0,7 \cdot 10^9$  vuotta), ensimmäiset erikoistuneet kudokset ja elimet alkavat näkyä.

18 cm: n kuluttua,  $0,52 \cdot 10^9$  vuotta esiintyy trilobiittien, meille kaikille hyvin tunnettujen fossiilien, fossiileja.

5 miljoonan vuoden kuluttua eli 5 cm myöhemmin, 470 miljoonan vuoden ajan tapahtuu eläinten ensimmäinen poistuminen vedestä maanpäälliseen vyöhykkeeseen.

Vain 7 cm: n kuluttua, 400 miljoonaa vuotta sitten, ammonilaiset (tunnetut fossiilit) ilmestyvät.

3 mm myöhemmin, 397 miljoonaa vuotta sitten, ensimmäiset selkärangaiset näkyvät maapallolla.

Jos siirrymme 14,7 cm, noin 250 miljoonaa vuotta sitten, Nautili ilmestyy, eläimet, jotka löytyvät edelleen planeetaltamme.

Vain 5 miljoonaa myöhemmin, tämä on 5 mm myöhemmin, 245 miljoonaa vuotta sitten, ensimmäiset dinosaurukset ilmestyvät.

4,5 cm: n jälkeen, 200 miljoonaa vuotta sitten, nämä ensimmäiset nisäkkäät syntyvät, aluksi ne olivat pieniä, vaikka myöhemmin suuremmat näkyvät.

5 cm myöhemmin, tästä 150 miljoonaa vuotta sitten, ilmestyvät ensimmäiset höyhenpeitteiset dinosaurukset, lintujemme esi-isät. Itse asiassa yksi vähiten kehittyneistä ja lähimpänä muinaisia siivekkäitä dinosauruksia ovat yksinkertaiset kanat, joita meillä on kynissämme (kuva 3).

Yli 14,75 cm, eli 14,75 miljoonan vuoden kuluttua,  $0,0025 \cdot 10^9$  vuotta sitten = 2,5 miljoonaa vuotta = 2 500 000 vuotta, ensimmäiset humanoidit ilmestyvät.

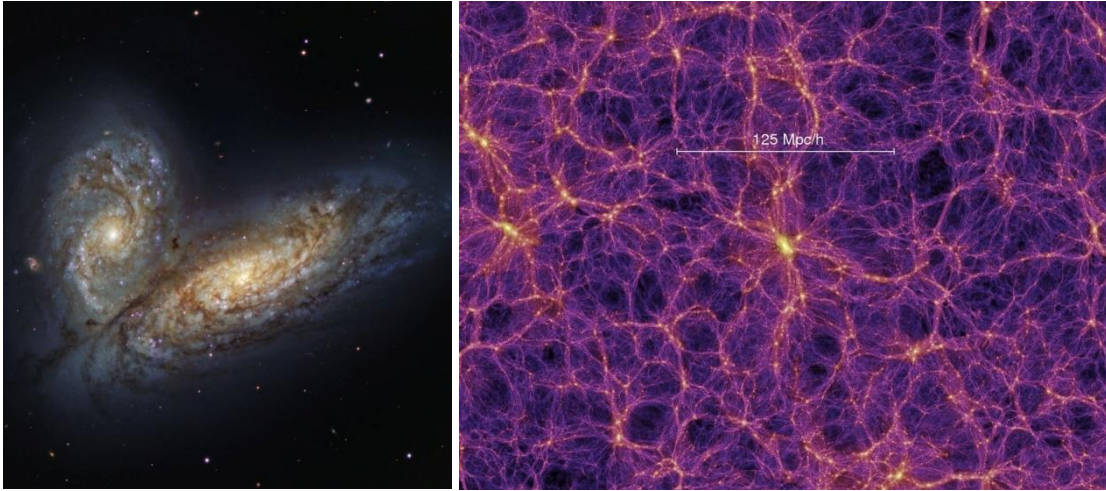
Vain 2,2 mm: n jälkeen, eli vain  $0,0003 \cdot 10^9$  vuotta sitten =  $0,3 \cdot 10^6$  vuotta = 300 000 vuotta, Homo sapiens ilmestyy.

## Kannibaali Galaksit

Galaksit ovat painovoiman yhteen sitomia tähtiryhmiä, jotka pyörivät itsessään. Eri galaksiryhmät muodostavat rihmoja, joissa uusien galaksien muodostumisen aktiivisuus on hyvin aktiivista.

Kaikki galaksijoukot kuuluvat suureen kosmiseen balettiin, jossa ne kohtaavat, törmäävät ja suurempien kannibalismi pienempiin nähden saa nuoret galaksit kilpailemaan jäljellä olevasta vapaasta kaasusta edistääkseen uusien tähtien muodostumista (kuva 4).

Näin tähtienmuodostuksen rikkaimmat alueet vastaavat suurten törmäysten alueita, joissa suuria voittajia ovat aina suuremmat galaksit. Kaikki tämä toiminta tapahtuu maailmankaikkeuden rihma-alueilla, jolloin suuret tilat ovat vapaampia aineesta (kuva 5).

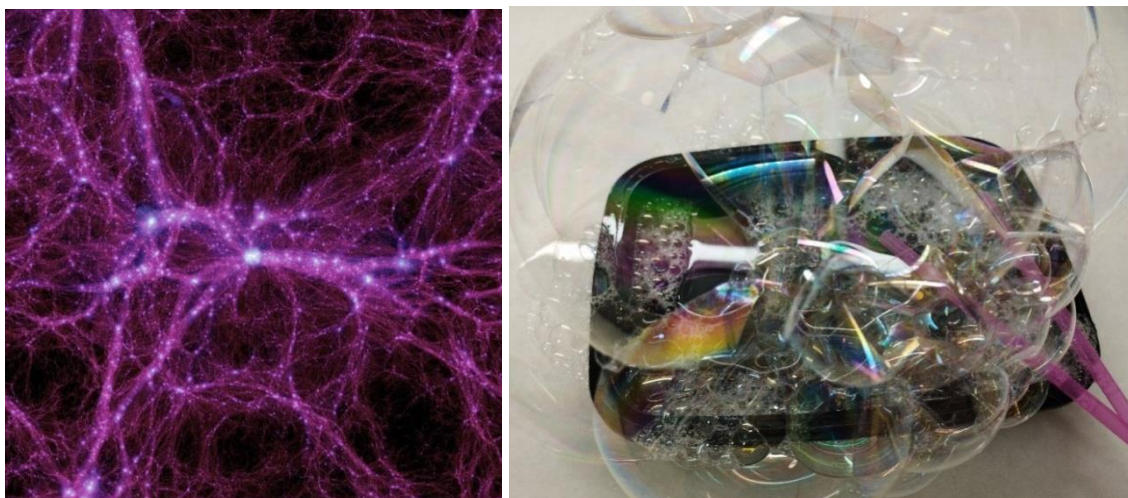


Kohde 4: Kannibaaligalaksien törmäys (Luotto: ESO). Kuva 5: Maailmankaikkeuden rihmarakenteen mallintaminen (Luotto: Springel et ai.)

## Tehtävä 2: Filamenttimalli

Maailmankaikkeuden rihmarakennetta voidaan simuloida tarjottimella tai astialla, johon voidaan laittaa pesuainetta sisältävää vettä. Esittelemällä pari pilliä virvoitusjuomien siemailemiseksi, toimit päinvastoin, puhaltamalla ilmaa niiden läpi ja saat siten hyvän määrän kuplia hyvin lyhyessä ajassa.

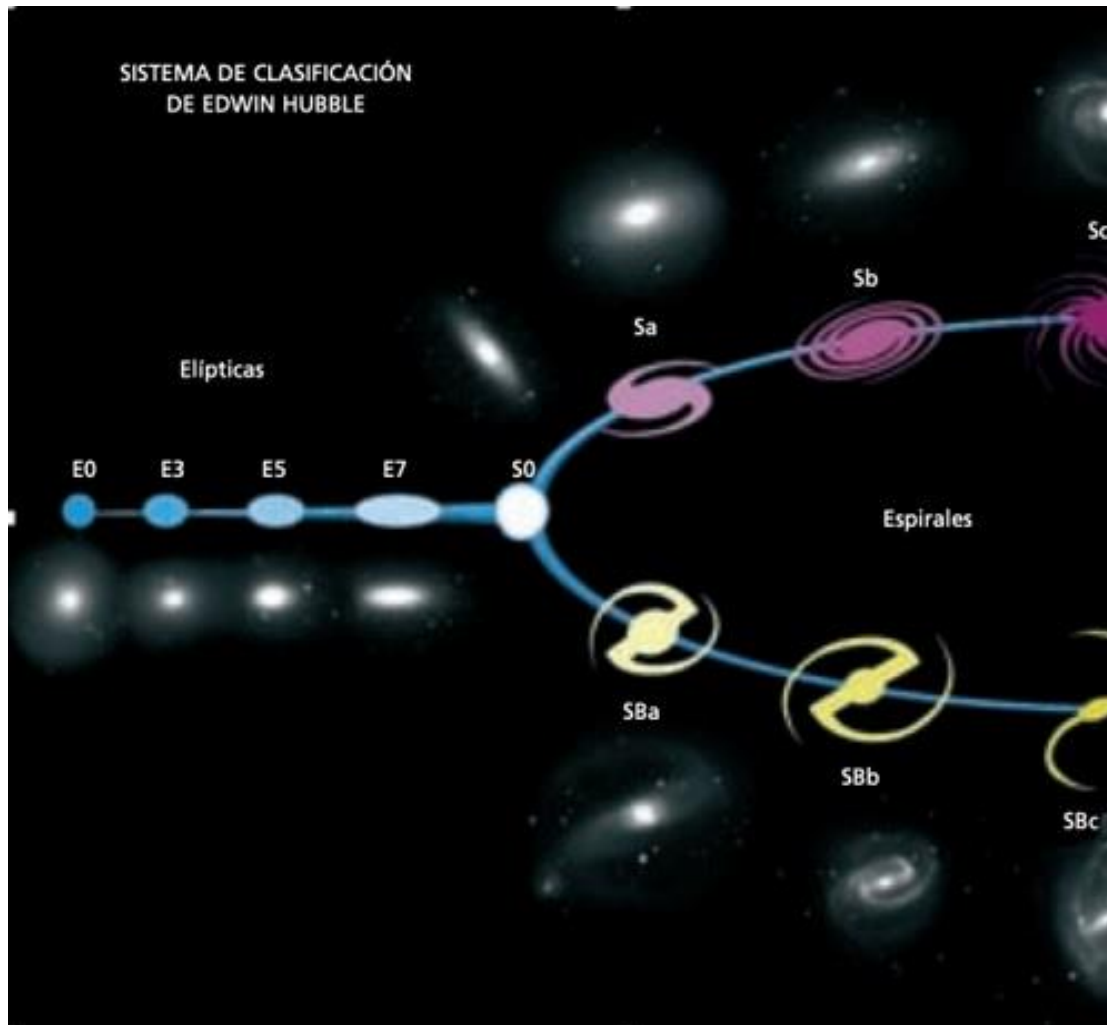
Kuten mallissa, jossa on suuria saippuakuplia, voidaan nähdä, suurin osa saippuanesteestä on järjestetty kuplien leikkausalueille, jolloin syntyy enemmän tai vähemmän rihmaisia alueita.



Kuva 6: Maailmankaikkeuden rihmarakenteen mallintaminen (Luotto: Illustris-projekti). Kuva 7: Edellä mainitun rakenteen mallintaminen filamenteissa vedellä ja pesuaineella.

## Galaksien luokittelu

On spiraali-, palkki-, elliptisiä, pallomaisia ja epäsäännöllisiä galakseja, jotka luokitellaan yleensä morfologiansa mukaan tunnetussa Hubble-sekvenssissä. Kuten edellä mainittiin, tämä luokitus koskee vain sen muotoa eikä vastaa sen kehitystä.



Kohde 8: Edwin Hubblen luokitusjärjestelmä (Luotto: NASA-ESO)

## Tehtävä 3: Spiraaligalaksien muodostumisen simulointi

Spiraaligalaksien malli (kuva 9a) voidaan valmistaa lasilla, joka on täynnä vettä ja tuotetta, jossa on erittäin hienoja rakeita, esimerkiksi natriumbikarbonaattia (kuva 9b), ruokasuolaa (NaCl), vaikka se liukenee helpommin veteen ja hiekkaan (kuva 9c), kunhan se on erittäin hieno, jopa kulkee seulan läpi.





Viikuna. 9 a. Galaxy NGC 5457  
(ESA/Hubble)



Viikuna. 9 b. Galaxy  
bikarbonaatilla.



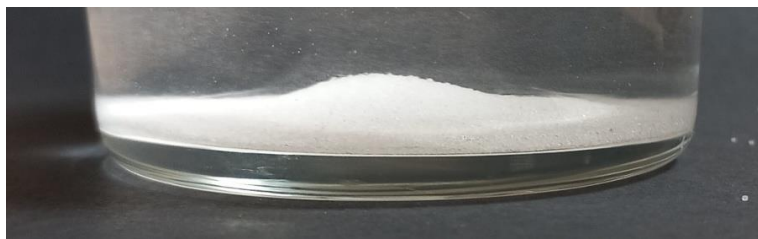
Viikuna. 9 c. Galaksi hiekalla.

Sekoita vesi lasista teelusikalla ja energialla, lopeta sekoittaminen, kaada ruokalusikallinen tuotetta ja odota, että jyvät laskeutuvat. Saat keskisaalun ja spiraalivarret, jotka ovat hyvin samanlaisia kuin galakseissa.

Katsoessaan lasia sivulta malli simuloi myös galaksien muotoa nähtynä reunasta alaspäin keskuspullistuman kanssa (kuvat 10 a, b ja c).



Kuva 10a, Hiekkagalaksimalli sivulta nähtynä.



Viikuna. 10 b. Bikarbonaattimalli, myös sivulta nähtynä.

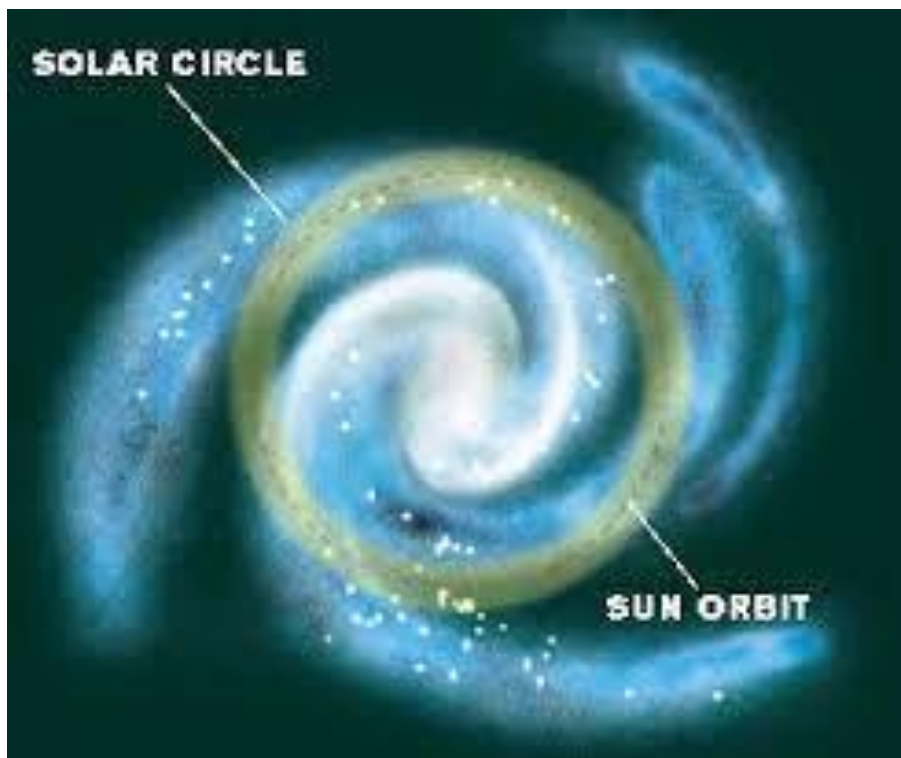


Viikuna. 10c. Galaxy NGC 4565, jossa keskuspullistuma (Luotto: ESO/NASA)

Jos jatkat sekoittamista hitaasti, voit mallintaa spiraalihaarat ja saada jotain elliptisten galaksien kaltaista, toisen tyyppisen galaksin Hubble-sarjassa (kuva 8). Meidän mallimme ei yksinään onnistu toistamaan sauvagalakseja.

## Asuttava vyöhyke galakseissa

Galaksien keskivyöhykkeellä on korkea energiataso, on massiivisia gammapurkauksia ja valtavia erittäin energisiä ja väkivaltaisia tapahtumia, jotka tekevät elämästä mahdotonta. Toisaalta galaksin reunan alueella ei ole vetyä ja heliumia raskaampia atomeja, jotka ovat välttämättömiä elämälle, joten asuttava vyöhyke vastaa pyöreää aluetta, kuten autonrenkaan kammiota ja vastaa aluetta, jossa aurinko liikkuu. Galaksien asuttava vyöhyke sijaitsee normaalisti 23000 l.y. ja 30000 l.y. säteellä galaksin keskustasta (Aurinko on 27000 l.y.).



Kohde 11: Galaksin asuttava vyöhyke (Luotto: NASA)

## Plasma ja magneettikenttä

Intergalaktisessa aineessa, tähtienvälisessä aineessa ja itse tähdissä aine on yleensä plasmatilassa. Tämä plasma koostuu elektroneista, protoneista, korkean energian hiukkasista ja ionisoidusta kaasusta.



Kohde 12a: Verhosumu, (Credit Hubble), Kuva 12b: Komeetta C/2002 E3 (Credit Rykis Babianskas ja Carlos Viscasillas)

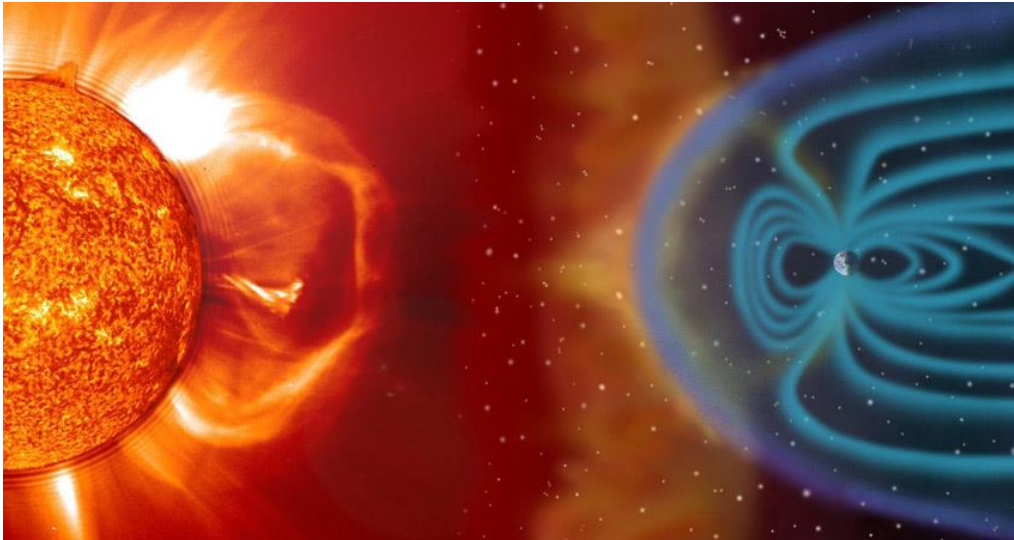
Maapallolla on tässä tilassa ainetta, kuten salama, loisteputkien tai energiansäästölamppujen sisäpuoli, näytöt ja televisioruudut, plasmapallot tai kynttilän liekki.



Kuvat 13a, 13b ja 13c: Plasman tilassa on ainetta plasmapallossa, liekissä ja loisteputkessa

Se on myös plasma aurinkotuuli, varautuneiden hiukkasten virta, joka vapautuu auringon koronasta koko aurinkokunnassa, kaikkiin suuntiin. Näiden hiukkasten virtaus on vaihteleva, ja siihen vaikuttaa suuresti auringon aktiivisuus, joka tuottaa auringonpilkkuja ja soihtuja. Aurinkotuuli voi vääntää komeettojen pyrstöjen plasmaa, joka osoittaa aina aurinkoa vasten.

Maapallolla se voi tuottaa geomagneettisia myrskyjä ja synnyttää revontulia (valot pohjoisessa ja etelässä). Aurinkotuulen hiukkaset kulkevat suurella nopeudella ja suurella energialla, niillä on suuri läpäisykyky ja ne voivat vahingoittaa solujen DNA: ta. Maan magneettikenttä muodostaa magnetosfäärin, joka toimii suojakilpenä, kuten sateenvarjo, joka ohjaa elämälle niin vaarallisia varautuneita hiukkasia ja estää niitä pääsemästä maan pinnalle.



Kohde 14: Maan magneettikenttä toimii kilpenä tai sateenvarjona aurinkotuulta vastaan.

Kun auringossa on voimakkaita koronan purkauksia, aurinkotuulen voimakkuus kasvaa suuresti, ja se voi lävistää maan magnetosfääriin. Tällöin osa aurinkotuulesta saavuttaa ilmakehän napojen lähellä olevilla alueilla ja tuottaa kauniita pohjoisia valoja (pohjoisella pallonpuoliskolla) ja eteläisiä valoja (eteläisellä pallonpuoliskolla).

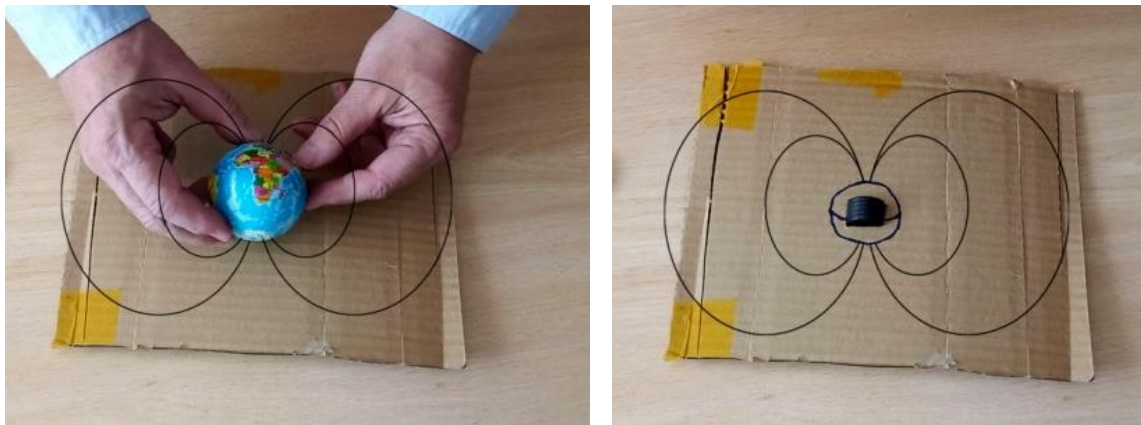
Näiden hiukkasten energia herättää ilmakehän atomeja, jolloin niiden elektronit emittoivat eri aallonpituuksien fotoneja. Jos hiukkaset ovat korkeaenergisiiä, happi tuottaa vihreää/keltaista valoa, ja jos ne ovat matalaenergisiiä, punaista/violettiä valoa. Typen tapauksessa se tuottaa sinertävää tai punaista/violettiä valoa revontulien alareunoihin.



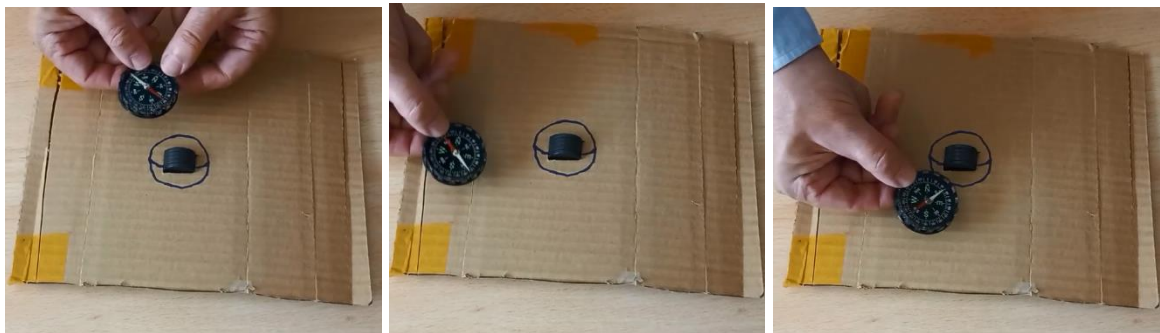
Kuvat 15a ja 15b: Revontulien eri värit riippuvat hapen ja typen ionisaatiosta. (Tekijät , S.Ekko, Suomi)

## Tehtävä 4: Maan magneettikenttä

Voimme visualisoida maapallon magneettikentän magneetilla, joka edustaa maan magneettikenttää, ja kompassilla, jolla käymme läpi kentän voimalinjat. Riittää, kun ymmärretään, että magneetin neula on sijoitettu "tangentiksi" magneettikentän viivoihin (kuvat 17a, 17b ja 17c).



Kuva 16a, 16b Maapallon magneettikentän malli, jossa on esitetty joitakin voimalinjoja.

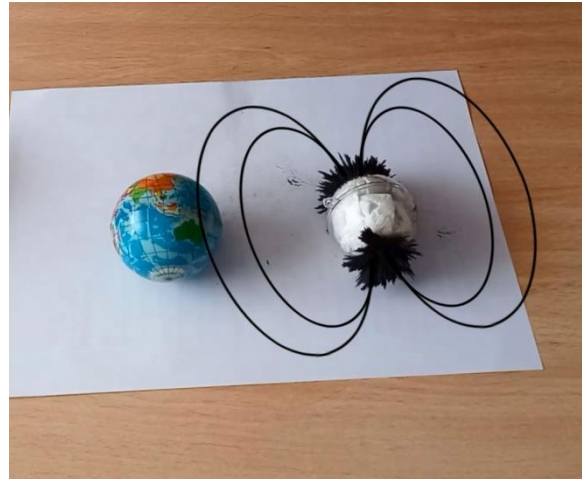


Kohde 17a, 17b, 17c: Kompassilla kenttäviivat "piirretään" (kompassin neula sivuaa aina kenttäviivoja).

Muovipallon sisään laitamme paperipyyhkeeseen käärityn magneetin. Se edustaa maapalloa. Ripottelemme napojen lähelle rautaviiloja, jotka visualisoivat erittäin hyvin alueen magneettikenttäviivat.



Kohde 18: Magneetti muovipallon sisällä maapallon magneettikentän mallina.



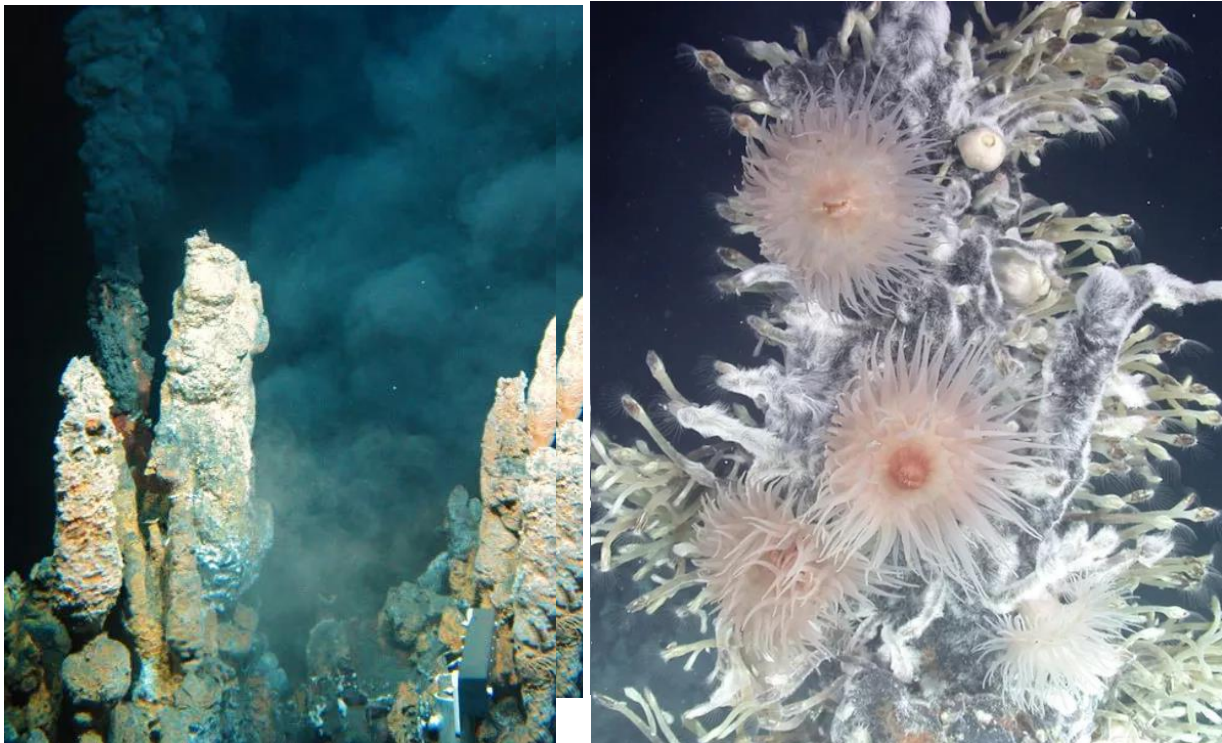
Kuvat 19a ja 19b: Rautaviilojen avulla napa-alueiden kenttäviivat visualisoidaan. Näillä alueilla esiintyy auroraa.

## Elämän alkuperä maapallolla

On hyväksytty, että elämän alkuperä maapallolla juontaa juurensa yli 3 miljardia vuotta sitten, ja se kehittyi alkeellisimmista mikrobeista erittäin monimutkaiseksi ajan myötä. Mutta miten ensimmäiset organismit kehittyivät maailmankaikkeuden ainoassa tunnetussa elämän kodissa?

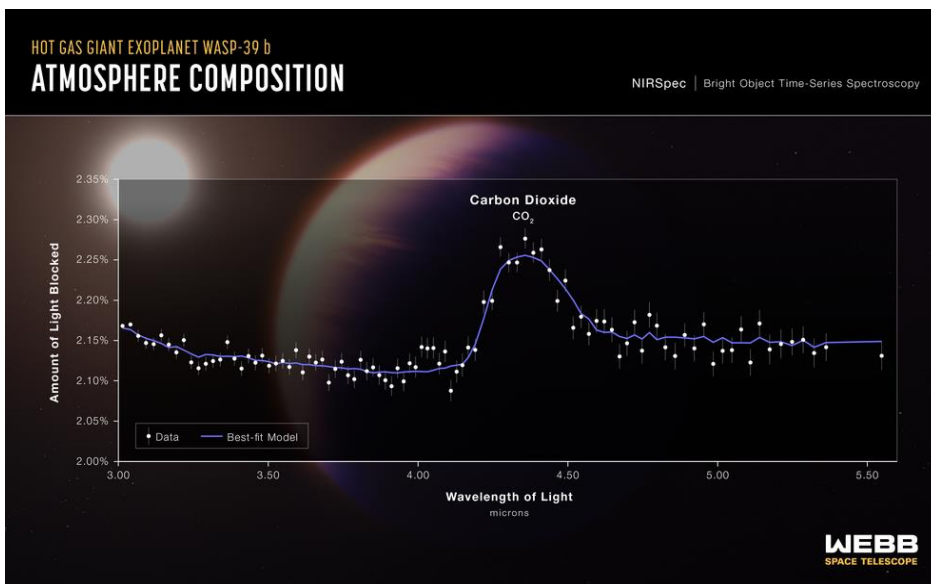
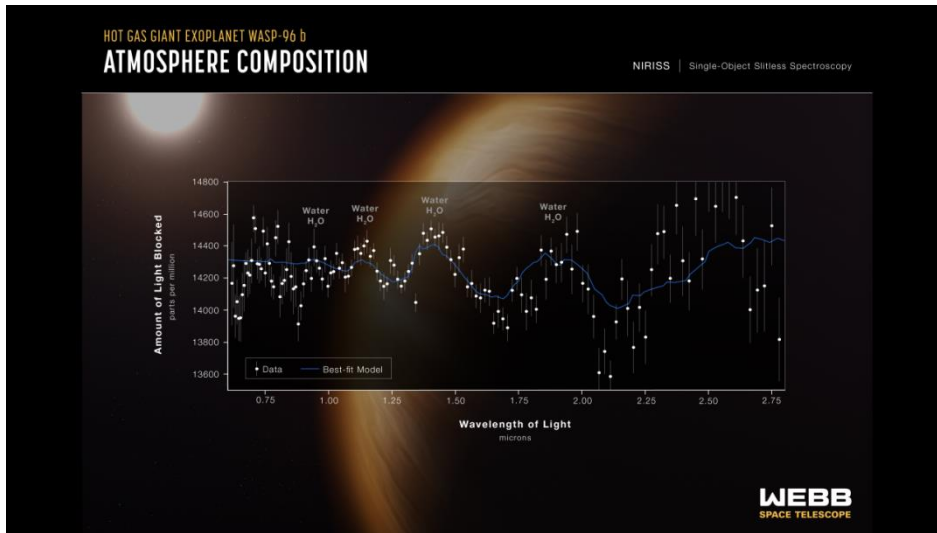
Tiede on edelleen päättämätön ja ristiriitainen elämän tarkan alkuperän suhteen, jopa koko elämän määritelmä kyseenalaistetaan ja kirjoitetaan uudelleen. Jotkut monista voimassa olevista tieteellisistä teorioista elämän alkuperästä maapallolla ovat:

- Yksi hyväksytyimmistä teorioista on se, joka ehdottaa, että elämä on saattanut alkaa hydrotermisistä tuuletusaukoista, jotka löytyvät syvästä valtamerestä, yleensä erilaisista mannerlevyistä ja jotka vuodattavat elämän avainelementtejä, kuten hiiltä ja vetyä. Poistuneet nesteet jäähtyvät, kun ne kulkevat maankuoren läpi ja absorboivat liuenneita kaasuja ja mineraaleja, kuten hiiltä ja vetyä. Tiedämme nyt, että näissä tuuletusaukoissa, joissa on runsaasti kemiallista ja lämpöenergiaa, kuumaa ja emäksistä, on laaja valikoima lajeja (kuvat 20a ja 20b).



Kuva 20a: Elämä on saattanut alkaa hydrotermisistä tuuletusaukoista, joissa hapan merivesi kohtasi maankuoren emäksisen nesteen (luotto: Woods Hole Oceanographic Institution). Kohde 20b: Vuokot kukoistavat tuuletusaukkojen lämpimissä vesissä (Luotto: NERC ChEsso -konsortio)

- Salama on saattanut antaa kipinän, jota tarvitaan elämän alkamiseen. Sähkökipinät voivat tuottaa aminohappoja ja sokereita ilmakehästä, joka on ladattu vedellä, metaanilla, ammoniakilla ja vedyllä Miljoonien vuosien aikana voi muodostua suurempia, monimutkaisempia molekyyliä. Vaikka tutkimukset ovat sittemmin paljastaneet, että maapallon varhainen ilmakehä oli itse asiassa huono vedyllä, tutkijat ovat ehdottaneet, että varhaisen ilmakehän vulkaaniset pilvet olisivat voineet sisältää metaania, ammoniakkia ja vetyä ja sähköpurkauksia, ensimmäiset elämän molekyylit olisi voitu löytää savesta, saven mineraalikiteet olisivat voineet järjestää orgaanisia molekyyliä järjestäytyneissä kuvioissa. Tätä teoriaa ei kuitenkaan ole osoitettu kategorisesti (kuvat 21a ja 21b).



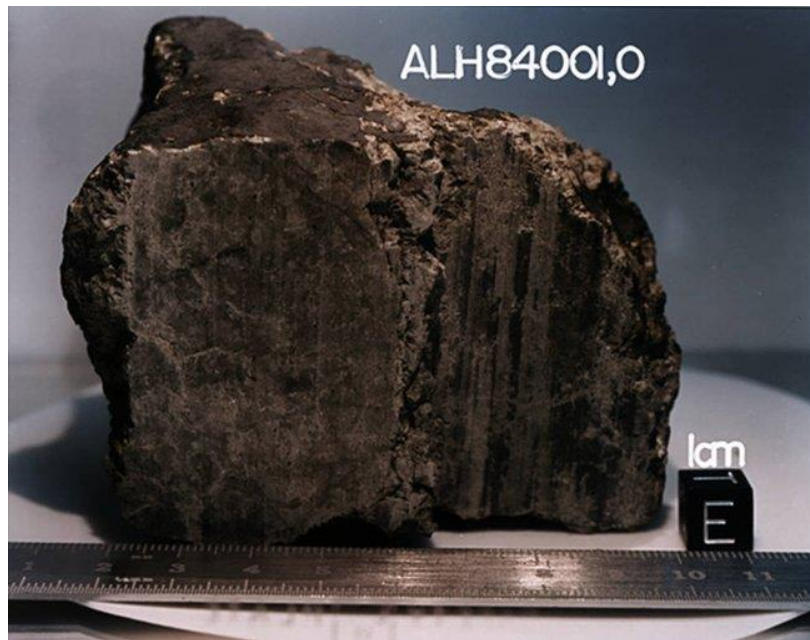
Kuva 21a. James Web Telescope -teleskoopilla hankitut eksoplaneetaaristen kaasukehien spektrit. WASP-96 b (ylhäällä) Kuva 21b: vesimolekyylin läsnäolo havaitaan; WASP-39 b (pohja): hiilidioksidikaista, joka ei ole spektrin keskellä. Huomaa, että nämä spektrit ovat lähetysspektrejä ja aallonpituudet vastaavat lähi-infrapuna, eli kaistat näkyvät sähkömagneettisen spektrin näkyvän alueen ulkopuolella.

- 3 miljardia vuotta sitten jää on saattanut peittää valtameret ja helpottaa elämän syntymistä, koska orgaanisten yhdisteiden uskotaan olevan vakaampia alhaisissa lämpötiloissa. Jää olisi myös voinut suojata herkkiä orgaanisia yhdisteitä ultraviolettivalon ja kosmisten vaikutusten vaikutuksilta. Nykyään tiedämme, että jäädytetyssä maaperässä, joka tunnetaan ikeroutana, on lepotilassa olevia elämänmuotoja.

Mutta olisi myös mahdollista väittää, että elämä alkaa maapallon ulkopuolella ja olisi saapunut kivien vaihdolla miljoonien vuosien aikana komeettojen, asteroidien, meteoriittien vaikutuksen ansiosta panspermia-nimisen teorian puitteissa. Ulkoavaruuden olosuhteilta suojatut mikrobit



voisivat selviytyä loukussa kivissä, mutta asia on otettava erittäin vakavasti, koska on myös mahdollista, että saavuttuaan maapallolle maapallon ulkopuolinen materiaali saastuu planeetalla jo olemassa olevalla elämällä, kuten tapahtui kuuluisan meteoriitin ALH 84001 kanssa (kuva 22), jolle viimeaikainen tutkimus, NASAn astrobiologiaohjelman rahoittama se osoittaa, että sen orgaaninen materiaali ei muodostunut biologisesti, vaan veden ja kiven geokemiallisista vuorovaikutuksista.



Kuva. 22. Marsista saapunut meteoriitti ALH 84001 oli kyseiseltä planeetalta saapuvan elämän ennenaikaisen ilmoituksen päähenkilö. Nykyään tiedämme, että orgaanisena aineena havaitulla aineella ei ole biologista alkuperää.

Vaikka panspermia olisikin totta, kysymys siitä, miten elämä alkoi maapallolla, muuttuisi vain siihen, miten elämä alkoi muualla Univerisissä.

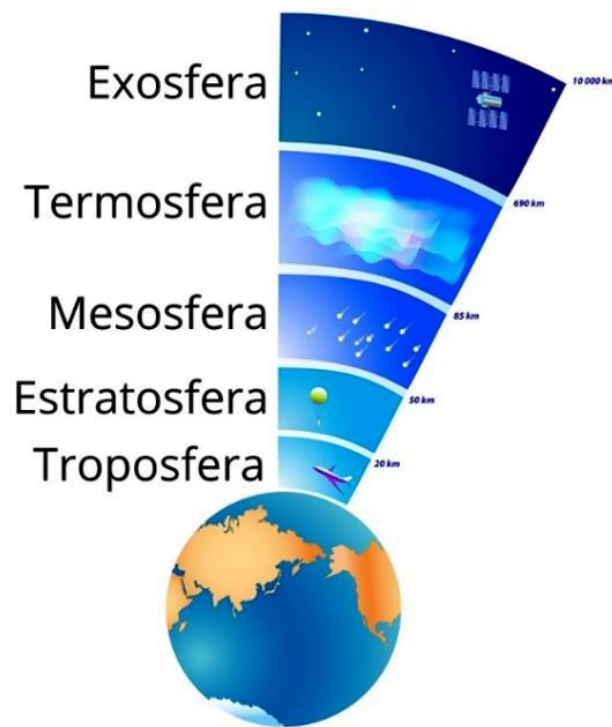
Maapallon äärimmäisten ympäristöjen tutkiminen on johtanut lukuisten elinympäristöjen löytämiseen, joita oli pidetty asuinkelvottomina vain muutama vuosi sitten. Kiinnostus äärimmäisten ympäristöjen monimuotoisuuteen ja ekologiaan on kasvanut useista syistä, ei pelkästään ekstremofiilien ja niiden komponenttien mahdollisen käytön vuoksi bioteknologisissa prosesseissa (kuten biokaivostoiminnassa, bioremediaatiossa), vaan myös siksi, että etsitään rajoja elämän olemassaololle.

Ensimmäisten elävien lajien on täytynyt olla yksinkertaisia elämänmuotoja, jotka toimivat yhteytenä ensimmäisen organismin (kuten bakteerien) ja tuntemamme elämän välillä.

Kuten hyvin tiedetään, ei ole mahdollista yksinkertaisesti laittaa joitakin kemiallisia alkuaineita yhteen koeputkeen ja odottaa uudenlaista elämää ilmestyvän spontaanisti. Elämän alkuperä on tapahtuma, jonka tapahtuminen kestää miljoonia vuosia, mutta kun se alkaa, elämä voi lisääntyä eksponentiaalisesti ja sopeutua planeetan alueisiin, jotka voivat olla hyvin erilaisia kuin mistä se on peräisin.

## Mikrometeoriitit

Aurinkokunnasta peräisin oleva kiinteä aine muodosti kuut ja planeetat. Tämä kertyminen ei ole ohi, ja noin 5 tonnia materiaalia avaruudesta putoaa edelleen maapallolle. Nämä meteorit kulkevat eksosfäärin ja termosfäärin läpi suurella nopeudella ilman vaikeuksia, koska nämä kerrokset eivät ole kovin tiheitä. Mutta kun ne saavuttavat mesosfäärin, tiheys on suurempi ja on suuri kitka, joka voi sulattaa materiaalin. Kun jäähdytetään stratosfäärissä ja troposfäärissä, niillä on lopussa pallomainen muoto, joskus juovia ja joskus pieniä kuplia nopean jähmettymisen vaikutus.



Kuva 23 Ilmakehän kerrokset (Luotto: Lifeder)

## Tehtävä 5: Pallomaisten mikrometeoriittien simulointi.

Täytä korkea, sylinterimäinen läpinäkyvä astia auringonkukkaöljyllä pylväänä. Ruiskun avulla (kuvat 24a ja 24b) pudotetaan muutama tippa vettä tai kolaa (koska sen väri näyttää paremmalta). Veden tai virvoitusjuoman alkuperäinen fyysinen tila aiheuttaa välittömästi pienten pallojen muodostumisen, joiden nähdään hitaasti putoavan alas öljypylvästä.



Kohde 24 a: Tiputa ruiskulla, Kuva 24b: Pylväs, johon pallot muodostuvat.

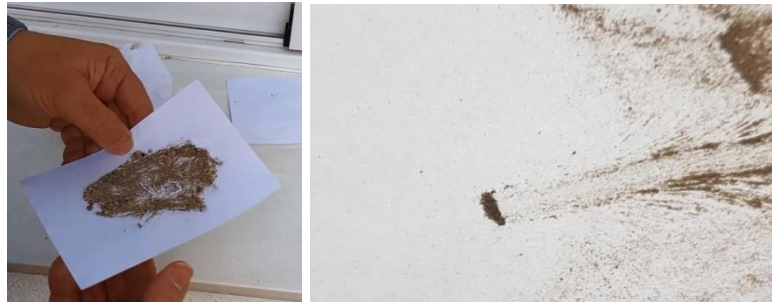
## Tehtävä 6: Etsi mikrometeoritteja

Mikrometeoritteja voidaan saada materiaalista, joka on jatkuvasti kerrostunut katoille, teille jne. Kun sataa, vesi pesee ne kattojen viemärikourujen läpi ja katujen tai reittien ojiin. Se kerätään paperiarkille, jossa on harja vähän hiekkaa näistä sivustoista.



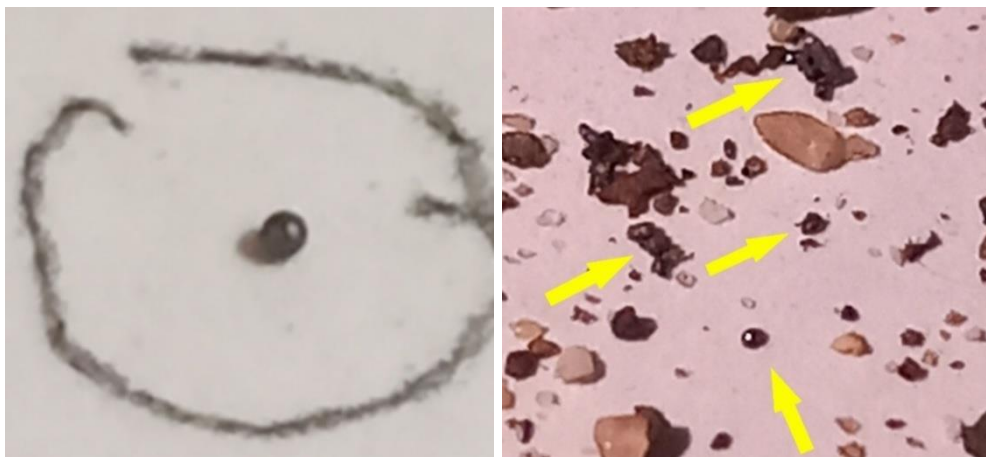
Kohde 25a: Yleiseltä tieltä löytyy oja tai kouruja, joissa on hiekkaa, josta voimme paikantaa meteoritit. Kohde 25b: Keräämme tämän hiekan paperilla analysoidaksemme sitä.

Sitten magneetti johdetaan paperiarkin alle materiaalin kanssa: nähdään selvästi, kuinkapienet rautapitoisen materiaalin hiukkaset houkuttelevat magneettia (kuva 26). Käännä paperi erottamatta magneettia, ja kaikki hiekka putoaa, lukuun ottamatta hienoja tummia hiukkasia, joita magneetin magneettikenttä houkuttelee. Käännä paperi ympäri ja poista magneetti. Siellä voi olla mahdollisia mikrometeoritteja.



Kuvat 26a ja 26b: Vedä ferromagneettista materiaalia viemällä magneetti paperiarkin alle

Kun näytettä tarkastellaan matkapuhelimen kameralla suurimmalla zoomilla, mikrometeoriittien hiukkaset ovat muodoltaan pallomaisia, kuten pienet marmorit.



Kohde 27a: Valokuva yhdestä eristetystä mikrometeoriitista mobiilikameralla, Kuva 27b: Valokuva useiden mikrometeoriittien kanssa samalla kameralla;

Voit myös rakentaa yksinkertaisia "ansoja". Tämä edellyttää seuraavia elementtejä: Keittiötarjotin ja läpinäkyvä sellofaanipaperi (talouskalvopaperi). Peitä tarjotin sellofaanipaperilla taittamalla reunat tai liimaamalla sellofaani alle, jotta se ei lennä (kuvat 28a, 28b ja 28c).



Kohde 28a: Tarjotin, sellofaanipaperi ja teippi liimaamista varten, Kuva 28b: Sellofaanipaperin liimaaminen lokeron takaosaan, Kuva 28c: Mikrometeoriitin "ansa" asennettuna puutarhaan.

Tarjotin asetetaan hieman kauemmas maasta, jotta ympäröivä pöly tai eläimet eivät saastuta näytettä (kuva 28c), paikkaan, jossa ei tuule paljon ja jossa mikään ei peitä taivasta. Jätä tämä laitos ulos vähintään viikoksi. Paperi alkaa näyttää "likaiselta". Siirrä viikon lopussa kaikki kertynyt materiaali paperiarkille. Magneetti viedään alle ja analysoidaan puhelimen kameralla.

Jokaiselle opiskelijalle on myös mahdollista valmistaa yksilöllinen ansa. Tarvitset paperikupin, köyden sen sitomiseen ja pienen magneetin.



Kuvat 29a ja 29b: Lasi sidottu langalla ja pienellä magneetilla. Kohde 29c: Opiskelija käyttää lasia ja etsii mikrometeoriitteja.

Ansaan valmistamiseksi jokaiselle opiskelijalle sidomme lasin langalla ja laitamme pienen magneetin lasin sisään. Oppilaat liikkuvat koulun piha-alueella magneetikuppien kanssa. Sitten ne poistavat magneetin, ja jos on rautahiukkasia (mikrometeoriitteja), ne putoavat valkoiselle paperiarkille. Oppilaat etsivät puhelimen kameroilla mikrometeoriitteja ja tunnistavat ne pieniksi palloiksi.

## Ekstremofiilien luokittelu

Ekstremofiili on organismi, usein mikro-organismi, joka elää äärimmäisissä olosuhteissa, toisin sanoen niissä olosuhteissa, jotka ovat hyvin erilaisia kuin useimpien maanpäällisten elämänmuotojen kokemat.

Viime aikoihin asti ajateltiin, että paikoissa, joissa tiedämme nyt ääriliikkeiden kasvavan, oli mahdotonta olla elämää. Esimerkiksi Etelämantereen erittäin kylmillä alueilla, Rio Tinton erittäin happamissa ja metallipitoisissa vesissä tai Atacaman erittäin kuivassa ja raskasmetallisessa autiomaassa. Mutta on osoitettu, että kaikilla näillä alueilla elää organismeja.

NASAn ja ESA astrobiologit tutkivat paikan päällä (Etelämantereen, Atacaman aavikko, Río Tinton kaivokset jne.) miten elämä kehittyy tai sopeutuu ymmärtääkseen, miten se sai alkunsa.

Etelämanner on suurimmaksi osaksi kylmä ja autio, mutta useat tutkijaryhmät ovat onnistuneet löytämään suuren määrän elämää pinnan alla. He ovat löytäneet ekstremofiilisiä mikrobeja, jotka elävät 36 metrin syvyydessä  $-20\text{ °C}$  lämpötiloissa suolavedessä (joka ei jääty korkean suolapitoisuuden vuoksi), toinen ryhmä on löytänyt 800 metrin syvyydestä kokonaisen ekosysteemin ilman valoa (kuva 30).



Kohde 30: Eri tieteelliset ryhmät löytävät ekstremofiilejä Etelämantereen pinnan alta

Jotkut ekstremofiilit elävät ilman vettä tai pystyvät vastustamaan kuivumista elämällä hyvin vähän. Kuten Atacaman aavikon maaperän mikrobit.

On olemassa erittäin upea ilmiö: kukkainen aavikko. Tämä on maailman kuivin aavikko, vuosina, jolloin sademäärä on normaalia suurempi, ja sitten kylmä etuosa näyttää suurelta määrältä ja monimuotoiselta kukkia (jopa 14 lajiketta), joka pysyy muutaman kuukauden ajan.

Rooman valtakunta hyödynsi Riotinton kaivosaluetta ensimmäiseltä vuosisadalta eKr., Ja tilanne tänään, satojen vuosien pintakaivostoiminnan jälkeen, jossa on louhittu raskaita mineraaleja, on erittäin kiinnostava tutkia elämää äärimmäisissä olosuhteissa.



Kohde 31: Valokuva elokuulta 2022 Useiden kuivuusvuosien jälkeen viimeiset vuodet olivat 2015 ja 2017

Muut ekstremofiilit kehittyvät ympäristöissä, joissa on korkea happamuus ja korkeat metallipitoisuudet (rauta, kupari, kadmium, arseeni, sinkki, lyijy). Acidofiiliset bakteerit katalysoivat tämän joen reaktioita niin, että jos happamuus vähenee, bakteerien populaatio lisääntyy, mikä tuottaa enemmän sulfidien hapettumista ja enemmän happamuutta prosessissa, joka ruokkii takaisin. Alueen asukkaat tietävät, kuinkapaljon sataa joen värin muutosten vuoksi (bakteerit tuottavat enemmän happamuutta pH: n ylläpitämiseksi joen tulvien aikana).



Kohde 32: Rio Tinton punaiset vedet, joissa asidofiiliset bakteerit elävät.



Kohde 33: *Erica andevalensis* ON laajalle levinnyt koko alueella, jonka juuret ovat happamassa maaperässä ja jossa on hyvin vähän ravinteita

*Erica Andevalencisin* tai "kaivoskanervan" pensaita on laajoja alueita, jotka on jaettu joen pohjaan. Näiden kasvien juuret ovat erittäin happamassa maaperässä, jossa on vähän ravinteita. Jopa jotkut kasvit kasvavat joen rannoilla, ja niiden juuret upotetaan osittain happamaan veteen ja maaperään, jossa on suuria kupari- ja lyijypitoisuuksia.

Avaruustutkimus vaatii astrobiologien työtä äärimmäisillä alueilla, kuten Etelämantereella, Atacaman autiomaassa tai Ríotinton kaivoksissa. Ensimmäinen askel monista protokollista, jotka suoritetaan ekstreemofiilien löytämiseksi, on DNA: n uuttamisprosessi, ja tästä syystä tämä aktiivisuus suoritetaan alla.

## Tehtävä 7: DNA uuttaminen

Kun olet havainnut, että elämää on hyvin äärimmäisissä olosuhteissa, on päätetty tehdä DNA-testi, kun haluat havaita elämän olemassaolon. DNA: n jäännökset mahdollistavat elämän olemassaolon (nykyisen tai menneisyyden) havaitsemisen, ja tätä käytetään etsimään elämää avaruudessa.

DNA-molekyylillä on hyvin pitkä molekyylillä ja se tiivistyy proteiineilla (kuten sotkulla) solujen sisällä. Siten DNA-jäännösten läsnäolon havaitsemiseksi on tarpeen valmistaa liuos, jolla voimme rikkoa solun vaippakalvon.



Jatkamme esimerkkinä kypsän tomaatin DNA uuttamiseksi, koska se on erittäin helppo nesteyttää.

#### Ratkaisu solun rikkomiseksi

Puolessa lasillisessa vettä liuotetaan teelusikallinen suolaa (natriumkloridia) proteiinien vapauttamiseksi ja siten DNA:n vapauttamiseksi, joka näyttää valkoiselta suolan läsnäolon vuoksi. Kolme teelusikallista leivontanatriumia, jotta liuoksen pH pysyy vakiona ja että DNA ei hajoa. Lisää sitten astianpesukone, kunnes vedellä on tämän väri, rasvasolujen kalvon rikkomiseksi. On tarpeen sekoittaa ilman vaahtoamista, jotta DNA voidaan nähdä hyvin.

#### Valmistele "tomaatin" solujen mehu

Aloitamme uuttamalla kaksi ruokalusikallista tomaattimassaa, murskaamalla sen lusikalla ja murskaamalla haarukalla, kunnes meillä on enemmän tai vähemmän nestemäinen sose (kuva 34).

Kaada solujen katkaisijaliuos tomaattipyreen päälle. Kaksi kertaa tilavuus liuosta kuin tomaattipyrettä. Solujen rikkomiseksi ravista, varo vaahtoamista ja rasittamasta suurten palojen poistamiseksi. Solujen sisällä oleva sisältö on mehussa, ja sieltä löytyy DNA, jonka haluamme uuttaa.



Kohde 34: Nestemäisen tomaattisoseen valmistelu kaadetaan kaksi kertaa enemmän katkaisijaliuosta kalvoista DNA:n uuttamiseksi.

#### DNA näkyväksi

Kun DNA-säikeitä on monia, se näyttää valkoiselta pilveltä (suola antaa sille valkean värin). Pudotamme alkoholia mehulasin seinälle, koska haluamme, että alkoholikerros pysyy mehun päällä sekoittumatta siihen. Kolmessa tai neljässä minuutissa muodostuu valkoinen DNA-pilvi, joka kasaantuu yhteen ja tulee näkyväksi (nousee). Alkoholia lisätään, koska DNA ei liukene alkoholiin ja muodostuu DNA-pilvi, joka on hyvin näkyvissä (kuva 35).



Kohde 35: DNA-pilvi on hyvin näkyvä kellumassa seoksen yläpuolella

## Bibliografia

- Arisa, E., Mazón, J. and Ros, R.M. 2012, Looking for the north, EU-UNAWA, Barcelona, Spain.
  - Dill K.A. and Agozzino L. 2021, “Driving forces in the origins of life”, Open biology, Volume 11, <https://doi.org/10.1098/rsob.200324>
  - Kostov, R. I., Kurchatov, V. 2001. Bulgarian meteorites – history and stage of study. – Geology and Mineral Resources, 8, 10, 16-20, Bulgaria.
  - Larsen L., 2019, On the Trail of Stardust: The Guide to Finding Micrometeorites: Tools, Techniques, and Identification, Voyageur Press, Beverly, MA (USA).
  - Levy M. et al. 2000, “Prebiotic Synthesis of Adenine and Amino Acids Under Europa-like Conditions”, Icarus, Volume 145, <https://doi.org/10.1006/icar.2000.6365>
  - Martin W. 2008, “Hydrothermal vents and the origin of life”, Nature Reviews Microbiology, Volume 6, <https://doi.org/10.1038/nrmicro1991>
  - Moreno, R., 2022, Experimentos para todas las edades, 3ª Edición. Editorial Rialp, Madrid (Spain).
  - Declaration for scientists/researchers using the NHM Collection, 2013.
  - La plus Grande Histoire jamais contée, Des Origines de l’Univers a la vie sur Terre, Belin, Paris, France, 2017.
    - <https://www.sciencefriday.com/articles/up-on-the-roof-a-handful-of-urban-stardust/>
    - <https://micro-meteorites.com/>
    - <https://www.astrogc.com/index-otros-projects-met.html>
- <https://www.pbslearningmedia.org/resource/5762943c-af62-4a3b-8340-36660545628a/go-outside-and-play-micrometeorites-young-explorers/>