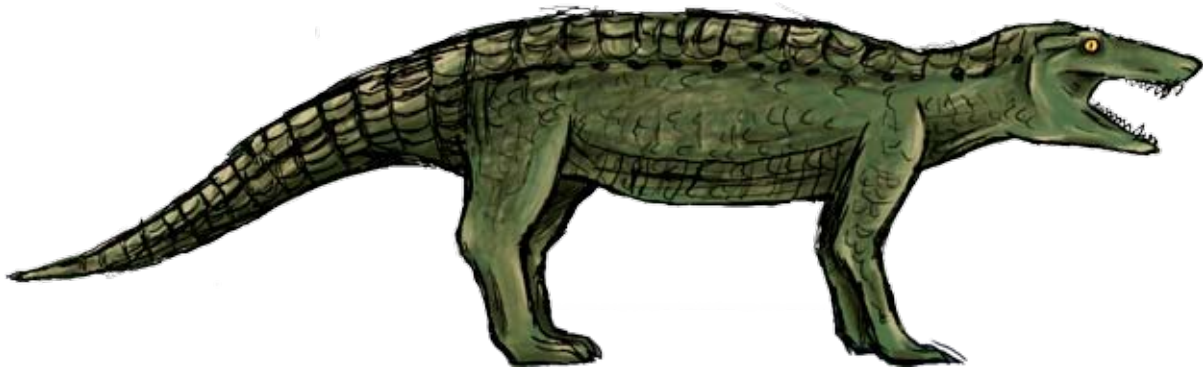


Aikakirja

Toimittaneet:

Ari Brozinski, Harry Lehto, Kirsi Rajala ja Kirsi Lehto



Sisällysluettelo

Aika ennen Maan syntyä 8

Maan synty ja geologinen kehityshistoria 23

Elämän synty 31

Maan ja eliökunnan kehitys 61

Ihmisen aika 87

Sanasto 100

Aikavaelluksen ja Aikakirjan tukijat

Haluamme lämpimästi kiittää kaikkia Aikavaelluksen ja Aikakirjan tukijoita, joita ilman tämä projekti ei olisi ollut mahdollinen. Erityisen arvokkaan panoksen tähän hankkeeseen ovat antaneet seuraavat yhteistyötasot.

Aikavaelluksen kivipaasien lahjoittaja: Palin Granit Oy

Aikavaelluksen informaatiolaattojen leikkaus, kaivertaminen ja kiinnittäminen:
Turun yliopiston työpaja ja Åbo Akademin työpaja

Kivipaasien kuljetus maastoon: Kaarinan kaupunki ja Turun kaupunki

Aikavaellusreitit puurakenteet ja viitat: Turun yliopiston puutyöpaja

Osallisena suunnitteluun ja tiedotukseen: Turun yliopiston tilasuunnittelu ja Turun yliopiston tiedotus

Kartta-aineisto: Maanmittauslaitos

Wihurin säätiö

K.H. Renlundin säätiö

Varsinais-Suomen liitto

Turku 2011-säätiö



Lisäksi Aikavaellus haluaa kiittää seuraavia henkilöitä avusta:

- Fahad Sulehria, www.novacelestia.com
- Chris Flynn, Fysiikan ja tähtitieteen laitos, Tuorlan observatorio, Turun yliopisto
- Hannu Karttunen, Fysiikan ja tähtitieteen laitos, Tuorlan observatorio, Turun yliopisto
- Vesa Kankare, www.vkastronomy.com

Aikavaellus ja Aikakirja

Projektin johtajat ja koordinoijat

- Kirsi Lehto, Biokemian ja elintarvikekemian laitos, molekulaarisen kasvitieteen osasto
- Harry Lehto, Fysiikan ja tähtitieteen laitos, Tuorlan observatorio, Turun yliopisto

Aikakirjan toimittajat

- Ari Brozinski, Geologi och mineralogi, Åbo Akademi
- Harry Lehto, Fysiikan ja tähtitieteen laitos, Tuorlan observatorio, Turun yliopisto
- Kirsi Rajala, Käyttätymistieteiden ja filosofian laitos, Turun yliopisto
- Kirsi Lehto, Biokemian ja elintarvikekemian laitos, molekulaarisen kasvitieteen osasto

Aikakirjan taitto, karttaesite, WWW-sivut

- Ari Brozinski, Geologi och mineralogi, Åbo Akademi

Pääkirjoittajat eri osoissa

Aika ennen Maan syntyä

- Esko Gardner ja Harry Lehto, Fysiikan ja tähtitieteen laitos, Tuorlan observatorio, Turun yliopisto

Maan synty

- Ari Brozinski ja Olav Eklund, Geologi och mineralogi, Åbo Akademi.

Elämän synty

- Kirsi Lehto, Paavo Huoviala, Heta Mattila, Lauri Nikkanen, Pasi Paananen. Biokemian ja elintarvikekemian laitos, Molekulaarisen kasvitieteen osasto ("Elämän synty" kurssi)

Maan ja eliökunnan kehitys

- Matti Räsänen ja Jenni Huttu, Geologian ja maantieteen laitos, ja Ilari Sääksjärvi ja Timo Vuorisalo, Biologian laitos, Turun yliopisto

Ihmisen aika

- Kirsi Rajala, Käyttätymistieteiden ja filosofian laitos, Turun yliopisto

Teematekstien kirjoittajat

Edellä mainittujen lisäksi: Auni Somero, Fysiikan ja tähtitieteen laitos, Tuorlan observatorio; Esa Tyystjärvi ja Suvi Virtanen, Biokemian ja elintarvikekemian laitos, molekulaarisen kasvitieteen osasto

Aikajanatekstien kirjoittajat

13720 Ma; 13530 Ma; 13440 Ma; 13200 Ma; 13100 Ma; 12510 Ma; 11500 Ma; 11010 Ma; 10330 Ma; 8650 Ma; 7700 Ma; 6660 Ma; 6000 Ma; 5300 Ma; 5100 Ma; 625 Ma; 100 Ma; 10 Ma:

Esko Gardner ja Harry Lehto

1 Ma; 0,0257 Ma: **Harry Lehto**

4568 Ma; 4530 Ma; 4400 Ma; 1900–1880 Ma; 1880–1860 Ma; 1850–1810 Ma; 1800–1760 Ma; 1575 Ma; 1275 Ma:

Olav Eklund ja Ari Brozinski

3000 Ma, Ur; 2500 Ma, Arctica ja Kenorland; 2000 Ma, Atlantica; 1800 Ma, Nena; 1800–1500 Ma, Columbia; 1100–1000 Ma Rodinia; 600–500 Ma, Gondwana; 500 Ma, Pangea: **Ari Brozinski**

730–640 Ma; 635–541 Ma; 540–488 Ma; 488–443 Ma; 416 Ma; 416–360 Ma; 318–299 Ma; 230 Ma; 199 Ma; 199–145 Ma; 100 Ma; 73 Ma; 70–65,5 Ma; 65,5 Ma; 65,5–55,8 Ma; 65,5–23 Ma; 55,8–33,9 Ma; 10 Ma; 6 Ma; 4 Ma; 3 Ma; 0,2 Ma; 0,06–0,05 Ma; 0,03 Ma; Holo-seeni:

Matti Räsänen, Ilari Sääksjärvi, Timo Vuorisalo ja Jenni Huttu

Esihistoriallinen ja historiallinen aika: **Kirsi Rajala**

Kuvittajat

- Sanni Rahkola ja Tomi Räsänen, Geologian ja mineralogian laitos, Turun yliopisto

Aikavaellus-tehtäväkirja koululaisille

- Laura Vainio, Geologian ja maantieteen laitos, Turun yliopisto

Laattatekstien kirjoittajat

- Esko Gardner ja Harry Lehto, Fysiikan ja tähtitieteen laitos, Tuorlan observatorio, Turun yliopisto
- Ari Brozinski ja Olav Eklund, Geologi och mineralogi, Åbo Akademi
- Kirsi Lehto, Biokemian ja elintarvikekemian laitos, molekulaarisen kasvitieteen osasto
- Kirsi Rajala, Käyttäytymistieteiden ja filosofian laitos, Turun yliopisto
- Matti Räsänen, Maantieteen ja geologian laitos, Turun yliopisto
- Ilasri Sääksjärvi, Biologian laitos, Turun yliopisto
- Timo Vuorisalo, Biologian laitos, Turun yliopisto

Tervetuloa

Aikavaellukselle

Toimituskunta

Ihmisen muisti on lyhyt. Omat ja kenties isovanhemmilta siirtyneet muistot ja mielikuvat ylettyvät ehkä sata, korkeintaan kaksisataa vuotta ajassa taaksepäin. Menneisyyden tuntemuksemme perustuukin lähes kokonaan ihmiskunnan kollektiiviseen muistiin, eli kykyymme kommunikoida ja siirtää tietoa yksilöltä ja sukupolvelta toiselle.

Kollektiivisen muistin kapasiteetti ja tarkkuus ovat parantuneet huimasti kirjoitustaidon kehittymisen myötä noin 5000 vuotta sitten. Muistiin merkityn tiedon hyödyllisyyttä ja tarpeellisuutta kuvastaa se, että kirjoitustaito on keksitty useita kertoja eri puolilla maailmaa, mm. Mesopotamiasa, Egyptissä ja vanhassa Inka-kulttuurissa. Jo ennen kirjoitustaidon keksimistä viestejä ja tietoa voitiin tallettaa ja siirtää eteenpäin kuvien muodossa. Esihistorialliset piirrookset, piktograafit, ovat luoliin ja kallioiden seiniin piirrettyjä kuvia, joiden kautta meille on säilynyt tietoa jopa 30 000 vuoden takaa.

Muistojen ja kollektiivisen muistin lisäksi meillä ihmisillä on geneettinen muisti. Siihen tallentuneet tiedot kertovat selviytymisstrategioista, eli hyödyllisistä ominaisuuksista ja kyvyistä sekä lajimme kehityksen eri vaiheista. Monet näistä ovat peräisin Afrikan savanneilta, joilla nykyihminen kehittyi esi-ihmisistä noin 200 000 vuotta sitten. Nykyihmisen kehitys on kuitenkin vain viimeisin askel lajimme historiassa. Meitä

ovat edeltäneet apinaihminen ja kädelliset nisäkkäät, nämä taas ovat kehittyneet pienistä nisäkkäistä ja nämä edelleen muinaisista matelijoista, laakamadoista ja yksisoluisista eliöistä. Ketjun alkupäässä ovat alkeelliset yksisoluiset, jotka sijoittuvat kaikesta elämän yhteiseen alkuhistoriaan.

Olemassa olomme juontaa kuitenkin juurensa pidemmälle kuin elämän syntyyn



KUVA: ARI BROZINSKI

maapallolla: eliökunnan kehitys liittyy saumattomasti myös ilmastoon, ilmakehään, Maahan ja maailmankaikkeuteen. Nämä kaikki, sekä lisäksi aika, jonka mukana kuljemme eteenpäin, saivat alkunsa alkuräjähdyksessä (*engl. Big Bang*) 13,7 miljardia vuotta sitten. Tuolloin syntyi materia sekä energia ja niistä luonnonlait, joiden myötä maailmankaikkeus on kehittynyt.

Ajan kuluessa maailmankaikkeus ja kotiplaneettamme ovat muuttuneet valtavasti. Maan pinnanmuodot ja ilmasto ovat jatkuvassa muutostilassa. Elämää tällä planeetalla on ollut olemassa noin neljän miljardin vuoden ajan, ja myös eliökunnan lajit ovat jatkuvasti muuttuneet. Tämä muutosprosessi on tuottanut maailman jossa nyt elämme. Nykyhetki kuuluu osana tähän jatkuvaan muutosprosessiin.

Tämän kirjan sivuille olemme koonneet merkittäviä tapahtumia maailmankaikkeuden, Maan sekä eliökunnan kehityksen varrelta. Lisäksi olemme huomioineet tähtitieteen, geologian ja biologian vaikutukset toisiinsa.

Maailmanhistorian mittakaavan havainnollistamiseksi olemme merkinneet tärkeitä tapahtumia aikajanelle. Aikajana muodostuu 13,7 kilometriä pitkästä vaellusreitistä, Aikavaelluksesta, jossa 1 km vastaa miljardia vuotta ja 1 metri miljoonaa vuotta. Vaellus lähtee Tuorlan observatoriolta, alkuräjähdyksestä kuvaavasta pisteestä, ja päättyy Turun yliopistolle, nykyhetkeä kuvaavaan pisteeseen. Reitin varrelle on asetettu merkkikivet kuvaamaan merkittävien tapahtumien ja muutosten ajankohtia.

Antoisia luku- ja vaellushetkiä!

Aika ennen Maan syntyä

Alkuräjähdyksestä

Maahan – lyhyt

historia

Esko Gardner & Harry Lehto

Maailmankaikkeus on sinänsä mielenkiintoinen paikka. Se rakentuu pienemmästä suurempaan, vaikka usein luokittelu on nimenomaan toiseen suuntaan. Maailmankaikkeuden maatuskanukke koostuu superjoukkojen muodostamista rakenteista, jotka muodostuvat galaksijoukoista, jotka muodostuvat galaksiryhmistä, jotka muodostuvat yksittäisistä galakseista, jotka puolestaan muodostuvat tähdistä.

Maailmankaikkeuden alku oli dramaattinen. Sitä ei ollut näkemässä eikä kuulemassa kukaan. Ei ollut valoa eikä ääntä. Tiede ei pysty vastaamaan kysymyksen: mistä maailmankaikkeus tuli? Erilaisia arvioita on, mutta niitä ei ole pystytty varmentamaan kokeellisesti. Aivan ensimmäinen hetki on siis fysiikan ulottumattomissa. Kun oli kulunut lyhin mitattavissa oleva aika, Planckin aika, alkoivat asiat tapahtua nopeasti.

Maailmankaikkeuden alkuhetket voidaan jakaa osiin, joista jokainen kestää valtaisesti enemmän kuin edellisen osan tapahtumat. Hetken murusten edetessä maailmankaikkeus kasvaa ja sen lämpötila ja tiheys laskevat nopeasti. Tapahtumat etenevät tietyssä järjestyksessä.

Kun on kulunut aika, joka hyttyseltä menee yhteen siivenlyöntiin, noin yksi sekunnin tuhannesosa, on maailmankaikkeus käynyt

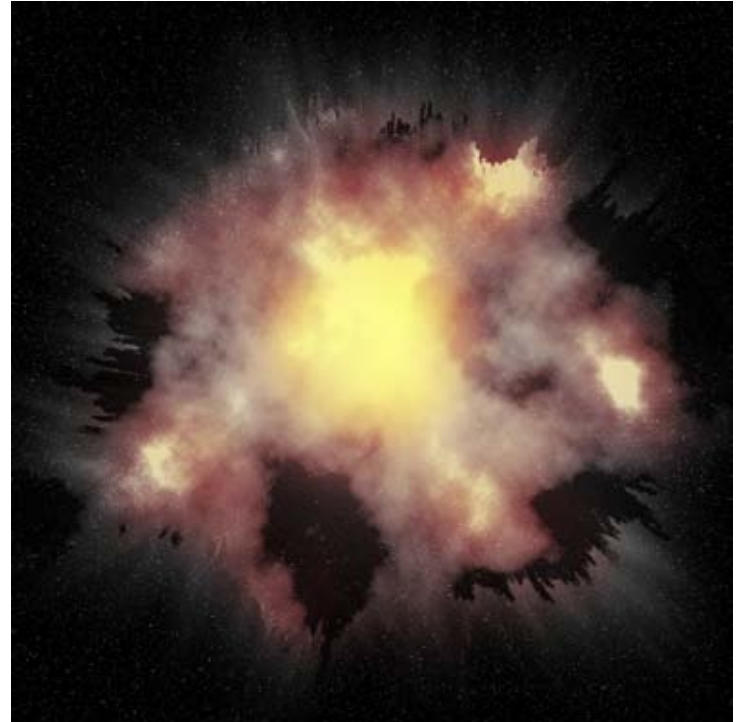
läpi kehityksessään jo kuusi merkittävää vaihetta. Seuraavan sadan sekunnin kuluessa muodostuvat alkuaineiden keski-osat, ytimet. Kun aikaa on kulunut 380 000 vuotta, pääsee valo liikumaan vapaasti maailmankaikkeudessa, maailmankaikkeus tulee läpinäkyväksi, mitä se on nyt ollut 13,7 miljardia vuotta.

Alussa oli siis jotain. Emme oikein ymmärrä, mikä johti alkuräjähdykseen, mutta se on nykyisin vallitseva teoria siitä, mistä fyysinen maailmankaikkeus on ylipäättään lähtöisin. Alkuräjähdyksen alku-sekunteinä muodostunut vety ja helium täyttävät

vielä 13,7 miljardia vuotta myöhemminkin maailmankaikkeutta. Maailmankaikkeus jäähtyi laajentuessaan ja saavutettiin tilanne, jossa kaasu pystyi painovoiman aiheuttamana luhistumaan tähdiksi.

Ensimmäiset tähdet, joista käytetään nimitystä populaatio III, koostuivat vedystä, heliumista ja litiumista. Muita alkuaineita ei ollut vielä muodostunut. Näitä tähtiä ei ole onnistuttu löytämään.

Tähdissä syntyi alkuaineita heliumista rautaan ja nikkeliin. Raskaammat alkuaineet raudasta uraaniin ja toriumiin asti



KUKAAN EI TIEDÄ TARKALLEEN MILTÄ ALKURÄJÄHDYS NÄYTTI. KUVASSA ON TAITEILIJAN NÄKEMYS SIITÄ, MILTÄ MAAILMANKAIKKEUDEN ALKUVAIHEIHEET SAATTOIVAT NÄYTTÄÄ. KUVA: ARI BROZINSKI

syntyivät ensimmäisten tähtien räjähtäessä supernovina. Heliumia raskaampia alkuaineita on arvioitu olevan 2 % maailmankaikkeuden näkyvästä massasta, kun taas vetyä on 74 % ja heliumia 24 %. Galaksit pystyivät muodostumaan vasta toisen sukupolven (populaatio II) tähtien muodostuessa. Vanhimmat havaitut galaksit ovat noin 13,2 miljardia vuotta vanhoja. Tämän ikäisiä ovat myös Linnunradan vanhimmat tähdet. Vähitellen seuraavien

miljardien vuosien aikana ja painovoiman vaikutuksesta alkoivat galaksiryhmät ja galaksijoukot muodostua. Suurimmat rakenteet, superjoukot muodostuvat hitaasti. Näiden valtaisien rakenteiden muodostumista hallitsee suvereenisti pimeän aineen aiheuttama painovoima. Näkyvä, baryoninen aine seuraa pimeää ainetta viiveellä. Toisen sukupolven tähtien räjähtäessä syntyi paljon lisää hiiltä, happea, typpeä ja muita elämälle välttämättömiä alkuaineita. Uusimpien tähtisukupolvien, jotka ovat nimestään huolimatta hyvin vanhoja, on mahdollista synnyttää ympärilleen kiviplaneettoja. Esimerkiksi Maa on Auringon ympärille muodostunut kiviplaneetta

Aurinkokunnan synty

Linnunrataamme kiertää kaasupilvi, joka on tähtitieteellisellä asteikolla tiheä, muutama miljoona atomia kuutiometriä kohden. Pilvi on kuitenkin harvempaa ainetta kuin missään tyhjiöpumpussa Maan päällä voidaan saavuttaa. Noin valovuoden kokoinen hitaasti pyörivä alue tuntee sisäistä vetovoimaa ja se alkaa painua kasaan oman sisäisen vetovoimansa aiheuttamana.

Noin 100 000 vuodessa pilvi on romahtanut pyöriväksi esiplanetaariseksi kertymäkiekoksi. Keskinäisten törmäysten johdosta kaasussa olevat pölyhiukkaset asettuvat ohueen tasoon, ne sedimentoituvat. Pyörivässä kiekossa keskitason lämpötila ja paine ovat korkeampia kuin kiekon ylä- ja alareunoilla. Lisäksi paine ja lämpötila kasvavat voimakkaasti kohti kiekon pyörähdyksensä.

Samalla kun kiekossa alkavat pölyhiukkaset keskinäisten törmäysten seurauksena

kasvaa isommiksi kiviksi, nousee kiekon keskellä olevan esiauringon lämpötila. Kun lämpötila kiekon keskipisteessä nousee noin neljään miljoonaan asteeseen, alkavat ydinreaktiot. Aurinko on syntynyt.

Samaan aikaan planeettojen rakennuspalikat esiplaneetat ja protoplaneetat ovat muodostuneet kertymäkiekossa. Aurinko "puhallettaa" aurinkotuulen avulla kevyet kaasut, vedyn ja heliumin, kauemmas Auringosta. Kiekko on edelleen sen verran tiheä, ettei se tuhoudu hetkessä. Kiekon sisäosa on kuuma. Esiplanetaarisen kiekon sisäreunan lämpötila on reilusti yli 1000 °C, ja kiekon sisäosista ovat haihtuneet kaikki haihtuvat aineet, kuten hiilidioksidi, typpi-dioksidi ja vesi. Kertymäkiekon ulko-osissa, noin 4–5 AU:n ulkopuolella on kiekon lämpötila sen verran kylmempi, että vesijää säilyy.

Maa syntyy aineesta, jota on noin 0,8–1,3 AU:n etäisyydellä Auringosta. Maan synty on varsin murskaava tapahtuma. Eri kokoisia kiviä törmää syntyvään Maahan. Kertymäkiekko kestää noin 10 miljoonaa vuotta Auringon syttymisestä. Tämän jälkeen kappaleiden törmäykset Maahan harvenevat, mutta törmäävien kappaleiden koko kasvaa. Eräs viimeisistä isoista törmäyksistä on Kuun synnyttävä törmäys, jolloin Marsin kokoinen kappale törmäsi Maahan. Haihtuvat aineet, kuten vesi ja ilmakehän typpi saapuvat Maahan vasta myöhemmin komeettojen ja asteroidien törmäessä Maahan seuraavien satojen miljoonien vuosien aikana. Ilmakehän happi ilmestyy paljon myöhemmin ilmakehään, kun syanobakteerit eli sinilevät alkavat tuottaa sitä hajottamalla vettä.



13440 Ma, $z=15$

Ensimmäiset tähdet syntyvät (Pop. III). Aivan tarkkaa ensimmäisten tähtien syntymäajankohdasta ei tiedetä, koska niitä ei ole varmuudella vielä havaittu. Ne ovat isoja, painavia, kirkkaita ja lyhytikäisiä. Niissä on ainoastaan vetyä, heliumia ja litiumia. Muita alkuaineita syntyy tähtien sisäosien fuusioreaktioissa ja niiden räjähtäessä super- tai hypernovina. Räjähtäessään suuret tähdet levittävät sisältönsä seuraavien tähtisukupolvien käyttöön. Pieniä tähtiä saattaa myös syntyä. Nämä voivat olla edelleen joukossamme muiden nuorempien tähtien seassa.

Mikä on tähti?

Lähin tähtemme on Aurinko. Tähtien sisällä tapahtuu fuusioreaktioita. Tähti on tasapainossa siten, että sen sisältä ulospäin suunnautuva säteilypaino on tasapainossa tähteen kasaan painavan vetovoiman kanssa. Mikäli tasapaino järkkyy voi tähti sykkiä, romahtaa tai räjähtää.

Fuusioreaktio

Fuusio on prosessi, jossa atomeita yhdistyy raskaammaksi atomiksi ja samalla vapautuu energiaa. Tähtien sisällä tämä yleensä tarkoittaa sitä, että neljä vetyatomia yhdistyy välivaiheiden kautta heliumatomiksi. Hiiltä syntyy, kun kolme heliumatomia törmää samanaikaisesti toisiinsa. Vaikkei kyse ole varsinaisesta polttamisesta, niin usein

puhutaan siitä, että tähti 'polttaa' vetyä heliumiksi.

Mikä on tähtipopulaatio?

Tähtitieteessä tähdet luokitellaan populaatioihin. Suurin osa tähdistä kuuluu populaatioihin I ja II. Walter Baade nimesi nämä molemmat vuonna 1944 julkaistussa tutkimuksessa, jossa hän vertasi avoimien ja pallomaisten tähtijoukkojen tähtiä. Myöhemmin osoittautui, että populaation I tähdet ovat nuoria ja metallirikkaita ja populaation II tähdet ovat vanhempia metalliköyhiä tähtiä.

Tähtitieteen termistössä metalleiksi kutsutaan hieman hämävästi kaikkia heliumia raskaampia alkuaineita. Nykyisin populaatioluokittelua käytetään myös ikäindikaattorina. On siis luonnollista, että vanhimpia eli ensimmäisiä tähtiä kutsutaan tällöin populaation III tähdiksi.

Supernova

Tähden ikääntyessä loppuu tähdessä vety kesken. Se ei kuitenkaan heti tarkoita sitä, että tähden elämä päättyy siihen. Tähdet jatkavat muiden alkuaineiden, kuten heliumin, hiilen ja hapen fuusiota. Kun ison tähden keskiosa on muuttunut raudaksi, se ei pysty muodostamaan

raskaampia aineita. Tähden sisäinen säteilypaino lakkaa. Se romahtaa, mistä seuraa niin voimakas vastapotku, että tähti räjähtää supernovana. Se loistaa hetken kirkkaampana kuin sen oman galaksin kaikki muut tähdet yhteensä.

Hypernova on supernova, jossa räjähtävän tähden massa on yli 100 kertaa Auringon massa. Pienet, auringonkaltaiset tähdet eivät räjähdä supernovina vaan muuttuvat lopuksi valkoisiksi ja mustiksi kääpiöiksi.



YHDISTELMÄKUVA KIRKKAIMMASTA HAVAITTAVASTA SUPERNOVAJÄÄNTEESTÄ, N49:STÄ. KESKELLÄ NÄKYVÄT SINISET OSAT (RÖNTGENKUVA) OVAT MILJOONA ASTEISTA KAASUA. VIILEÄMPI KAASU NÄKYYPUNAINENA (INFRAPUNAKUVA). RÖNTGENKUVA: NASA/CXC/CALTECH/S.K. ULKARNI ET AL. OPTINEN KUVA: NASA/STScI/UIUC/Y.H. CHU & R. WILLIAMS ET AL. INFRAPUNAKUVA: NASA/JPL-CALTECH/R.G. EHRZ ET AL. NASA/NASAIMAGES.ORG.



KAKSI GALAKSIA YHDISTYMÄSSÄ. TÖRMÄYKSEN AIKANA SYNTYY MILJARDEJA TÄHTIÄ. TIHEINTÄ JA KIRKKAINA TÄHTIENMUODOSTUSALUETTA KUTSUTAAN SUPERKLUSTERIKSI. KUVAN AVULLA TÄHTITIEILIJÄT VOIVAT PAREMMIN EROTtaa TÄHTIEN JA TÄHTIKLUSTEREIDEN VÄLISIÄ EROJA, JOITA SYNTYY KAHDEN SPIRAALIGALAKSIN TÖRMÄTESSÄ. KUVA ON OTETTU HUBBLE-AVARUUSTELESKOOPILLA. KUVA: NASA, ESA, AND B. WHITMORE (STScI).

Miten Maa toimii?

Ari Brozinski

Ytimestä ylöspäin

Maapallo jaetaan kemiallisten ominaisuuksien perusteella ytimeen, vaippaan ja kuoreen. Tämän lisäksi Maan rakenteesta erotetaan astenosfääri ja litosfääri.

Maan keskus eli ydin koostuu pääosin raudasta sekä nikkelistä ja se saa aikaan Maan magneettikentän. Ydintä ympäröivä vaippa koostuu enimmäkseen silikaateista eli mineraaleista, jotka sisältävät piitä ja happea. Osa vaipasta on rakenteeltaan pehmeää, hieman muovailuvahan tapaista. Ydin ja vaippa muodostavat yli 99 % Maan tilavuudesta.

Vaippaa ympäröi ohut kivikehä eli kuori, joka on korkeintaan noin 40 kilometriä paksu. Kuori jaetaan mantereiseen ja merelliseen osaan. Merellinen kuori syntyy nimensä mukaisesti valtamerien keskiselänteillä ja se on mantereista kuorta ohuempaa sekä painavampaa, koska se sisältää raskaampia alkuaineita. Tyypillinen kivilaji merelliselle kuorelle on basaltti ja mantereiselle tonaliitti.

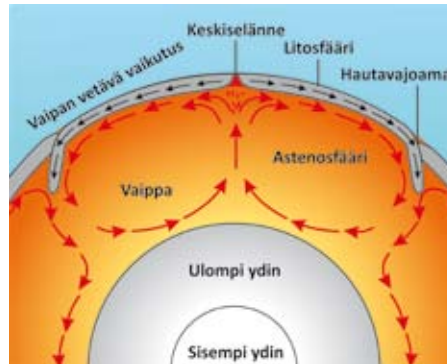
Litosfääri käsittää kuoren sekä vaipan ylimmät osat ja se on pirstoutunut osiin, joita kutsutaan litosfäärilaatoiksi. Suuria litosfäärilaattoja on seitsemän ja ne ovat jatkuvassa liikkeessä toisiinsa nähden.

Litosfääri kelluvat ja liikkuvat astenosfäärin päällä. Astenosfääri on osa vaippaa ja se käyttäytyy plastisesti muovailuvahan ta-



MAAN OSAT.
PIIRROS: ARI BROZINSKI.

voin eli kivi on osittain sulassa muodossa. Laattojen liike perustuu vaipan konvektiovirtauksiin sekä vaippaan vajoavien manterelaattojen aiheuttamaan vetävään vaikutukseen. Konvektiovirtauksen toimivat samalla periaatteella kuumen kiviaineksen suhteen sama tavalla kuin kattilassa kiehuvalle vedelle: lämmin vesi kohoaa ylös, jäähtyy ja laskeutuu alas.



KONVEKTIOVIRTAUSTEN SEKÄ VAIPAN VETÄVÄN VAIKUTUKSEN PERIAATE. PIIRROS: ARI BROZINSKI.
ALKUPERÄINEN KUVA: USGS.

Litosfääri on ohuimmillaan valtamerien keskiselänteillä, jossa sen paksuus on vain joitain kilometrejä. Paksuimmillaan litosfääri sen sijaan voi olla useita satoja kilometrejä vanhojen kratonien ("mannerten ydin") alla. Astenosfäärin paksuus voi niin ikään vaihdella suuresti, ollen ohuimmillaan noin 50 kilometriä ja paksuimmillaan koko ylemmän vaipan paksuinen.

Kolme liikesuuntaa

Litosfäärilaattojen liike voi olla erkanevaa, törmäävää tai sivuttaissuuntaista. Erkanemisen yhteydessä syntyy uutta merellistä kuorta tai repeämälakko riippuen litosfäärin tyypistä. Hyvä esimerkki erkanemisesta on Atlantin keskiselänne, jossa Euraasian ja Pohjois-Amerikan laattojen merelliset osat erkanevat toisistaan. Erkanemista pääsee katsomaan konkreettisesti käymällä Islannissa: laattojen raja kulkee tuliperäisen saaren läpi (ainut paikka maailmassa).

Hyvä esimerkki mantereisen kuoren erkaantumisesta on Itä-Afrikan kuuluisa hautavajoama, jossa Afrikan litosfäärilaatta lohkeaa Somalian ja Nuubian laatoiksi. Erkaantumisen jatkuttua riittävän pitkään, laattojen väliin avautuu uusi meri.

Laattojen kohdatessa voi tapahtua joko törmäys tai subduktio

Törmäyksessä molemmat laatat ovat samantyyppisiä eli merellisiä tai mantereisia. Tällöin toinen laatta ei pääse painumaan toisen alle. Himalajan vuoristo on syntynyt mantereisen Intian laatan ja Euraasian laatan törmätyksessä. Niiden välissä aiemmin ollut merialue hävisi, ja meren pohjalla olleet sedimenttikerrostumat joutuivat suureen

Mitä elämä on?

Kirsi Lehto, Paavo Huoviala,

Heta Mattila, Lauri Nikkanen ja

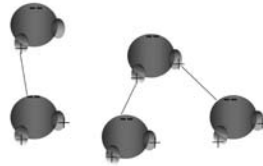
Pasi Paananen

Elämä rakentuu hiilestä, vedystä, hapesta, ja joistakin muista alkuaineista.

Kaikki tuntemamme elämä perustuu hiilen ja eräiden muiden alkuaineiden kemiaan. Elämän perusrakennusaineita ovat hiili (C), vety (H), typpi (N), happi (O), fosfori (P) ja rikki (S). Näistä alkuaineista muodostuu kirjainyhdistelmä CHNOPS. Elämä käyttää siis vain pientä osaa kaikista tunnetuista alkuaineista. Nämä alkuaineet ovat maailmankaikkeuden yleisimpiä alkuaineita, ja niiden toimiminen elämän rakennusaineina perustuu myös niiden erityisen suotuisiin kemiallisiin ominaisuuksiin.

Hiili ja vety muodostavat keskenään monenlaisia molekyyliä, jotka voivat olla ketjumaisia, rengasmaisia ja haaroittuvia. Typen, hapen, fosforin ja rikin avulla näihin yhdisteisiin muodostuu monia erilaisia reaktiivisia ryhmiä. Biomolekyylit muodostuvat useimmiten niin, että alkuaineet jakavat elektroneja keskenään, eli muodostavat kovalenttisia sidoksia. Molekyylien rakenteet ja keskinäiset reaktiot taas usein perustuvat sähköisten varausten (elektronien ja protonien sijainti) jakautumiseen molekyylien eri osien kesken. Tämän perusteella erilaiset molekyylit tai niiden osat joko hylkivät tai vetävät toisiaan puoleensa.

Vesi on oleellinen elämän rakennusaine ja liuotin. Vesimolekyyli koostuu kahdesta vety- ja yhdestä happiatomista, joka jakaa molempien vetyjen kanssa kaksi elektronia. Happi vetää voimakkaammin elektroneja puoleensa, ja siksi ne ”viihtyvät” enemmän hapen läheisyydessä kuin vetyatomien läheisyydessä. Sähkövaraukset ovat siis jakautuneet epätasaisesti vesimolekyylin sisällä, ja tällä perusteella molekyyli on **polaarinen**. Eri molekyylien positiiviset ja negatiiviset päät vetävät toisiaan puoleensa, ja tämän seurauksena vesimolekyylien välille muodostuu heikkoja sähköisiä sidoksia, vetysidoksia.



VESI. KUVASSA VESIMOLEKYYLEJÄ, JOTKA KOOSTUVAT YHDESTÄ HAPPIATOMISTA (ISO PALLO), JA KAHDESTA VETYATOMISTA (PIENET PALLOT). HAPPIATOMI VETÄÄ YHDISTEEN YHTEISIÄ ELEKTRONEJA VOIMAKKAAMMIN PUOLEENSA, JA TÄSTÄ SYYSTÄ HAPEN PUOLEINEN OSA MOLEKYYLIÄ ON LIEVÄSTI NEGATIIVISESTI VARAUTUNUT, JA VETYATOMIEN PUOLI LIEVÄSTI POSITIIVISESTI VARAUTUNUT, MOLEKYYLI ON ”POLAARINEN”. ERI MOLEKYYLIEN PIENET SÄHKÖVARAUKSET VETÄVÄT TOISIAAN PUOLEENSA, JA TÄMÄ TEKEE VEDESTÄ HIUKAN ”SITKEÄÄ” NESTETTÄ. KUVA: KIRSI LEHTO.

Myös biomolekyylien ja veden lievät sähköiset varaukset vaikuttavat toisiinsa. Nämä vuorovaikutukset molekyylien sisällä, molekyylien kesken, sekä molekyylien ja veden välillä määräävät sen millaisiin rakenteisiin molekyylit asettautuvat, ja miten ne liukenevat veteen. Pääsääntö on, että polaariset tai sähköisesti varautuneet molekyylit liukenevat helposti veteen, kun

taas sähköisesti neutraalit molekyylit (esimerkiksi rasvat, eli hiilivetyketjut joissa ei ole reaktiivisia ryhmiä) eivät liukene, vaan hylkivät vettä ja erottuvat siitä pois. Tärkeitä elämän rakennekomponentteja ovat sellaiset pitkät molekyylit, joiden toinen pää on neutraali, vettä hylkivä, ja toinen vesihakuinen. Näitä aineita kutsutaan lipideiksi. Näiden vettä hylkivät osat ”pitävät kiinni toisistaan” ja muodostavat yhtenäisiä kerroksia, jotka osoittavat vedestä poispäin, kun taas niiden vesihakuiset päät osoittavat veteen päin. Kun kaksi tällaista lipidikerrosta asettuvat vastakkain, ne muodostavat veden sisälle kalvon, jonka sisäosa on vettä hylkivä ja pinnat vesihakuiset. Näin muodostuvat biologiset kalvot.

Elämän rakennuspalikat

Elämä muodostuu hyvin monimutkaisista molekyyleistä. Kaikki elävät solut sulkeutuvat lipideistä muodostuvien **solukalvojen** sisälle. Elämän rakenteelliset ja toiminnalliset molekyylit ovat **proteiineja**. Nämä muodostuvat useista sadoista, tarkkaan järjestykseen ketjuuntuneista aminohapoista, joita on yhteensä kaksikymmentä erilaista.

Elämää ylläpitävä informaatio on taas koodattuna **nukleiinihappojen (DNA ja RNA)** pitkiin juosteisiin, jotka muodostuvat neljästä erilaisesta **deoksiribo- tai ribonukleotidista**. Tyypillisesti eliöiden genomiset DNA-juosteet sisältävät useita miljoonia (pienimmillään n. 500 000, isoimmillaan satoja miljardeja) nukleotidejä. Nukleotidien keskinäinen järjestys sisältää geneettisen informaation. Se ohjaa mm. proteiinien synteesiä määräämällä sen, missä järjestyksessä aminohapot liittyvät toisiinsa. Yhden proteiinin synteesiä

Lounais-Suomen kallioperä

Olav Eklund

Jokaisessa kivessä, oli kyseessä irtokivi tai kiinteä kallioperä, on säilöttyä osa maapallon historiaa. Raahe Laatokka -linjan eteläpuolella oleva Suomen kallioperä muodostui 1920-1275 miljoonaa vuotta sitten. Linjan pohjoispuolella suuri osa kallioperästä on vanhempaa: nämä kivilajit ovat arkeisia, ja ne syntyivät yli 2500 miljoonaa vuotta sitten. Kaikki nämä kivet syntyivät syvällä maankuoressa kiteytyneistä tai maanpinnalle

purkautuneista magmakivistä, syväkivistä ja vulkaniiteista, sekä eroosion kautta mereen kerrostuneista hiekoista ja savista.

Suurin osa Etelä-Suomen kallioperästä on syntynsä jälkeen kokenut metamorfoosin, jonka seurauksena siinä on tapahtunut mineralogisia ja rakenteellisia muutoksia. Kivien metamorfoosi (sana juontuu kreikan kielestä, missä *meta morphos* tarkoittaa muodonmuutosta) on seurausta kivien joutumisesta uusiin paine- ja lämpötilaoloihin. Etelä-Suomen kallioperän metamorfinen kehitys liittyy alueen vuorijonokehitykseen, ja laajoista kivilajiyksiköistä vain rapakivigraniitit ja muutamat muut kivilajit (Satakunnan Jotuniset hiek-

kakivet ja diabaasit) ovat välttyneet metamorfoosilta, koska ne muodostuivat vasta vuorijonoliikuntojen jälkeen.

Geologit saavat tietoa kivien syntyolosuhteista ja -ympäristöstä sekä siitä, milloin kivet saivat nykyisen asunsa, tutkimalla kivien mikroskooppisia, makroskooppisia ja alueellisia rakenteita,

mineralogisia koostumuksia ja yhdessä esiintyviä mineraaliseurueita sekä kivien kemismiiä ja isotooppikoostumusta. Nämä tutkimukset ovat pala palalta tarkentaneet kuvaa Etelä-Suomen kallioperän geologisesta kehityksestä.



SULÄ KIVIAINES ON PURKÄUTUNUT KOSTEÄÄN SEDIMENTTIIN. RANTAKALLION TUMMAT OSAT OVÄT OLLEET SULÄÄ KIVÄÄ JA PUNERTAVÄT OSÄT SEDIMENTTIÄ. SEDIMENTTI ON OLLUT KÄLKKIPITOISTÄ. KÄLKKIKIVI ON NYT RÄPÄUTUNUT POIS JÄ JÄLJELE ON JÄÄNYT REIKÄINEN KIVI. KUVA ON OTETTU ISO-HUMÄSLUODLÄ VÄLKVÄLLÄ. KUVA: ÄRI BROZINSKI

Proterotsooinen eoni, 1275 Ma

Diabaasit



1275 miljoonaa vuotta sitten maankuoreen tunkeutui jälleen vaipasta peräisin olevia magmoja, jotka kiteytyivät oliviinidiabaaseina. Näitä paikoin hyvin karkearakeisia diabaaseja on muun muassa Porin länsipuolella Reposaaren Siikarannan leirintäalueella. Myös Porin ulkopuolella sijaitseva Säpin majakkasaari koostuu näistä.



NOIN 5 METRIÄ LEVEÄ DIABAASIJUONI KEISTIÖN SAARELLA INTÖSSÄ.
KUVA: ARI BROZINSKI.

Proterotsooinen eoni,**1100–1000 Ma***Rodinia-supermanner*

Suhteellisen lyhytikäinen Rodinia muodostui edellisen supermantereen, Columbian osista niiden järjestäytyessä uudelleen. Pääosa Rodiniasta muodostui niin kutsuttujen Grenvillen törmäyksien yhteydessä, jossa Atlantica ja laajentunut Ur yhdistyi-

vät Nenaan eli osa sen muodostaneista manterryhmittymistä säilyi muuttumattomina. Rodinian lisäksi ehdotettuja nimiä supermantereelle ovat olleet muun muassa Ur-Gondwana ja Paleopangea. Nimi Rodinia tulee Venäjän kielestä, jossa se tarkoittaa "kasvamista". Rodinia oli laajimmillaan noin 1000 miljoonaa vuotta sitten.

Rodinian konfiguraatiosta on useita mielipiteitä eikä sen muodosta ole varmuutta. Tämä johtuu esimerkiksi siitä, ettei luotettavaa paleomagneettista dataa ole tarjolla. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että Laurentia on Rodiniassa keskeisessä asemassa ja muut manterryhmittymät ja kratonit ovat enemmän tai vähemmän hitsautuneet siihen kiinni. Rodiniaa ympäröi maailmanlaajuinen valtameri Mirovoi. Rodinian hajoamisen myötä noin 800-700 Ma alkoi sarja kylmiä ajanjaksoja.



YKSI MAHDOLLINEN RODINIAN KONFIGURAATIO. PALEOMAGNEETTINEN POHJA-AINEISTO: SATU MERTANEN JA LAURI PESONEN. PIIRROS: TOMI RÄSÄNEN.

sääntyi. Nopeat muutokset ilmastossa ja merenpinnan tasossa aiheuttivat jälleen kerran suuren sukupuuttoaalton merissä. Kauden lopulla ilmasto-olojen vaihtelut olivat suhteellisen nopeita ja syklisiä. Fanerotsooinen eoni, myöhäinen

Fanerotsooinen eoni,

myöhäinen kivihiihikausi,

318-299 Ma

Pääosa mantereista oli kasaantunut laajaksi Pangean supermantereeksi. Etelämantereella oli kauden aikana laajoja jäätiköitä ja niiden syklinen laajeneminen ja sulaminen aiheuttivat merenpinnan korkeudessa suurta vaihtelua. Vedenpinnan vaihtelu aiheutti kivihiihikerrostumien syntyamisen, kun trooppisilla leveysasteilla monikymmenmetrinen lieko- ja saniaiskasvillisuus hautautui toistuvasti nousevan merenpinnan alle syntyviin kerrostumiin. Tämä toistui jäätiköitymisten rytmissä, joten nykyiset kivihiihikerrostumat

esiintyvät muutamien metrien paksuisina patjoina hiekka- ja savikiivissä.

Kivihiihikauden kasvillisuus oli monimuotoista suokasvillisuutta, ja sanikkaiset olivat yleisiä. Vanhin tunnettu fossiilinen siemenkasvi, *Elkinsia polymorpha*, eli myöhäisdevonikaudella. Se kuului paljassiemeniin, joilla siemenet kehittyvät paljaina emilehden pinnalla. Kivihiihikaudella paljassiemeniset siemenkasvit yleistyivät.

Suuri osa nykyisistäkin hyönteisryhmistä oli jo olemassa. Kivihiihikauden hyönteismaailmaa hallitsi muiden muassa, suurin tunnettu sudenkorentolaji, *Meganeura*, jonka siipien kärkiväli oli jopa 75–90 cm. Myös elämä merissä ja makeissa vesissä oli rikasta.

Pangean supermantereen ilmasto oli permikaudella viileä ja kuiva. Kauden keskivaiheelta lähtien laajenevat jäätiköt sitoivat valtameren veden, matalat meret pirstoutuivat ja kuivuivat maapallon vuorisuolakerrostumiksi. Viileässä ilmastossa paljassiemeniset havupuut valtasivat alaa muulta kasvillisuudelta. Myös matelijat olivat kehittyneet jo kivihiihikaudella, noin 300 miljoonaa vuotta sitten. Ensimmäiset matelijat olivat kook-



KIVIHIIHIKAUDELLA ELÄNYT JÄTTILÄISSUDENKORENTO, *MEGANEURA*, JONKA SIIPIEN KÄRKIVÄLI OLI JOPA 70–90 CM. PIIRROS: SANNI RAHKOLA.

kaita, tukevia ja neljällä raajalla liikkuvia kasvinsyöjiä. Matelijat olivat sammakkoeläimiä selvemmin maaelämään sopeutuneita. Tästä kertovat niiden kuiva ja sarveistunut iho, täydellinen siirtyminen keuhkohengitykseen, sisäinen hedelmöitys ja kuivuutta kestävä vesikalvollisen munan kehittyminen. Matelijat ja muu permikauden lajisto kohtasivat kaikkien aikojen massiivisimman sukupuuttoaalton permikauden lopussa 251 miljoonaa vuotta sitten. Tässä tuhossa 95 % merellisestä lajistosta kuoli, kun meret supistuivat minimiinsä. Myös maalla elävistä lajeista 70 % kuoli sukupuuttoon. Maalla elävän lajiston kohtaloon vaikutti ilmeisesti Siperian laakiobasalttien purkautumisen aiheuttama nopea hiilidioksidipitoisuuden nousu ja sitä seurannut kasvihuoneilmiö.

Ihmisen kulttuurievoluutio

Kirsi Rajala

Ihminen on älyllisesti kehittynein tunnetuista eläinlajeista. Ihminen on lähes ainoa laji, joka käyttää symboleita kuvaamaan havaittua todellisuutta. Myös simpanssilla ja gorillalla on symbolifunktio ja ne oppivat viittomakieltä. Kuitenkin ainoastaan ihmislajin edustajat ratkovat monimutkaisia matemaattisia ongelmia, harjoittavat uskontoja ja ihastelevat taideteoksia.

Kulttuurin kehityksestä käytetään myös nimitystä kulttuurievoluutio. Kulttuurilla tarkoitetaan informaation siirtämistä eogeneettisin keinoin. Suuri osa jokapäiväisistä toimistamme, esimerkiksi aamukahvin keitto, sanomalehden luku ja kengännauhojen sitominen, ovat kulttuurievoluution seurausta. Termiä käytetään myös eläinten kulttuurievoluutiosta, esimerkiksi linnut oppivat lajikumppaneitaan jäljittelemällä avaamaan maitopullon korkkeja.

Rickhard Dawkins käytti 1976 ilmestyneessä kirjassaan *Geenin itsekkyyys* kulttuurievoluution yksiköstä nimeä meemi. Toiset tutkijat puhuvat yleisemmin kulttuurigeenistä. Sana meemi tulee kreikan kielen sanasta mimesis, joka tarkoittaa jäljittelyä. Meemit ovat kulttuuriin sisältyviä aineksia, jotka opitaan jäljittelemällä. Esimerkiksi lapsi oppii jäljittelemällä kielen, ilmeet, eleet ja moraalinormit. Ihmisen kyky jäljitellä ja muistaa monimutkaisia asiakokonaisuuksia on johtanut lajimme valta-asemaan. On jopa esitetty kysymys,

onko ihminen enää lajina luonnonvalinnan kohteena. Vastaus tähän on tosin myöntävä, minkä osoittaa esimerkiksi laktoositoleranssin yleistyminen maitoa myös aikuisellä käyttävissä kulttuureissa.

Kulttuurievoluutio eroaa biologisesta evoluutiosta monessa suhteessa. Kulttuurievoluutio ei edellytä lisääntymistä toisin kuin biologinen evoluutio. Kulttuurievoluutio on myös nopeaa: Informaatio leviää nykyään esimerkiksi internetin välityksellä ympäri maailmaa huimaa vauhtia. Kulttuurievoluution leviämistahtia on jopa verrattu viruksen monistumisnopeuteen. Toiseksi kulttuurievoluutio ei ainakaan suoraan edistä aina yksilöiden kelpoisuutta. Esimerkiksi kulttuurissamme ihannoidaan äiti Teresan ja Dalai Laman kaltaisia äärimmäisen epäitsekkäitä ja altruistisia henkilöitä, joiden käytöstä ei voida selittää puhtaasti biologian avulla.

Nykyihminen kehittyi Afrikassa noin 200 000 vuotta sitten. Kuten ihmisen evoluutiosta kertovassa luvussa on mainittu, tuolloin oli elossa vielä useita muitakin ihmislajeja. Vanhimmat taide-esineet ja luolamaalaukset ovat noin 30000 vuotta vanhoja. Ne ovat selvä merkki siitä, että esi-isillemme oli kehittynyt nykyisenkaltaiset aivot, jotka voivat käyttää symboleita kuvaamaan todellisuutta. Varsinainen kulttuurievoluution murros tapahtui kuitenkin vasta maanviljelyn alkamisen jälkeen. Tämä mahdollisti suuremmat väestökittymät ja vähitellen syntyvän työnjaon. Ihmisille jäi myös aikaa muuhun kuin ravinnon hankintaan ja jälkeläisistä huolehtimiseen. Syntyi uusia arkea helpottavia keksintöjä, jotka levisivät yhteisöstä toiseen. Toisaalta jäi aikaa havainnoida ympäröivää

maailmaa ja yläpuolella lepäävää tähtitavasta. Kirjoitustaidon keksiminen mahdollisti tiedon tallentamisen jälkipolville. Varmoja merkkejä ihmisen kiinnostuksesta luonnontutkimusta kohtaan on koko kirjoitetun historian ajalta.