



dr. Lukács Manuéla
Lukács István

**Az élet
kialakulásának
kutatása
a Naprendszerben**

I. rész

Az élet kialakulásának kutatása a Naprendszerben

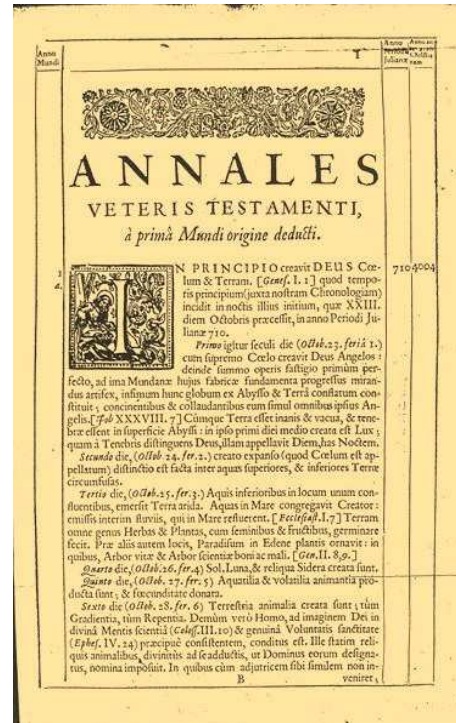
I. rész

Készítették: dr. Lukács ManuÉla - Lukács István

Az emberiség évezredek óta kutatja a Föld keletkezésének, és az élet kialakulásának a titkát. Az élővilág természetes úton való kialakulására az evolúciós elmélet előtt nem volt magyarázat, csak vallásos eredetmítoszok és más, természetfeletti beavatkozást feltételező elképzelések.

A Biblia általános elfogadottságából következett, hogy Európában a Föld korát először a Biblia alapján próbálták megállapítani. John Lightfoot (1602-1675), a Cambridge-i Egyetem alkancellárja 1642-es, a világ teremtéséről szóló könyvében kijelentette, hogy a teremtés i. e. 3929-ben történt az őszi napéjegyenlőség közelében.

Aztán az ír James Ussher (1581-1656) anglikán érsek számításai váltak hosszú ideig a keresztény világban elfogadottá. Kiszámolta, hogy a Bibliában szereplő generációk száma mekkora időszakra utal. A világ teremtésének idejére az 1650-ben megjelent „Annales Veteris Testamenti” latin nyelvű kiadásban, valamint az „Annals of the World” angol nyelvű című könyvében pontosan az i. e. 4004. október 23-át, a vasárnapot meg előző szürkületet adta meg (szintén az őszi napéjegyenlőség közeli időbont). Ussher adatát a keresztény világban évszázadokig elfogadták, de a földtudomány fejlődése az általa megadott kort kétségessé tette.

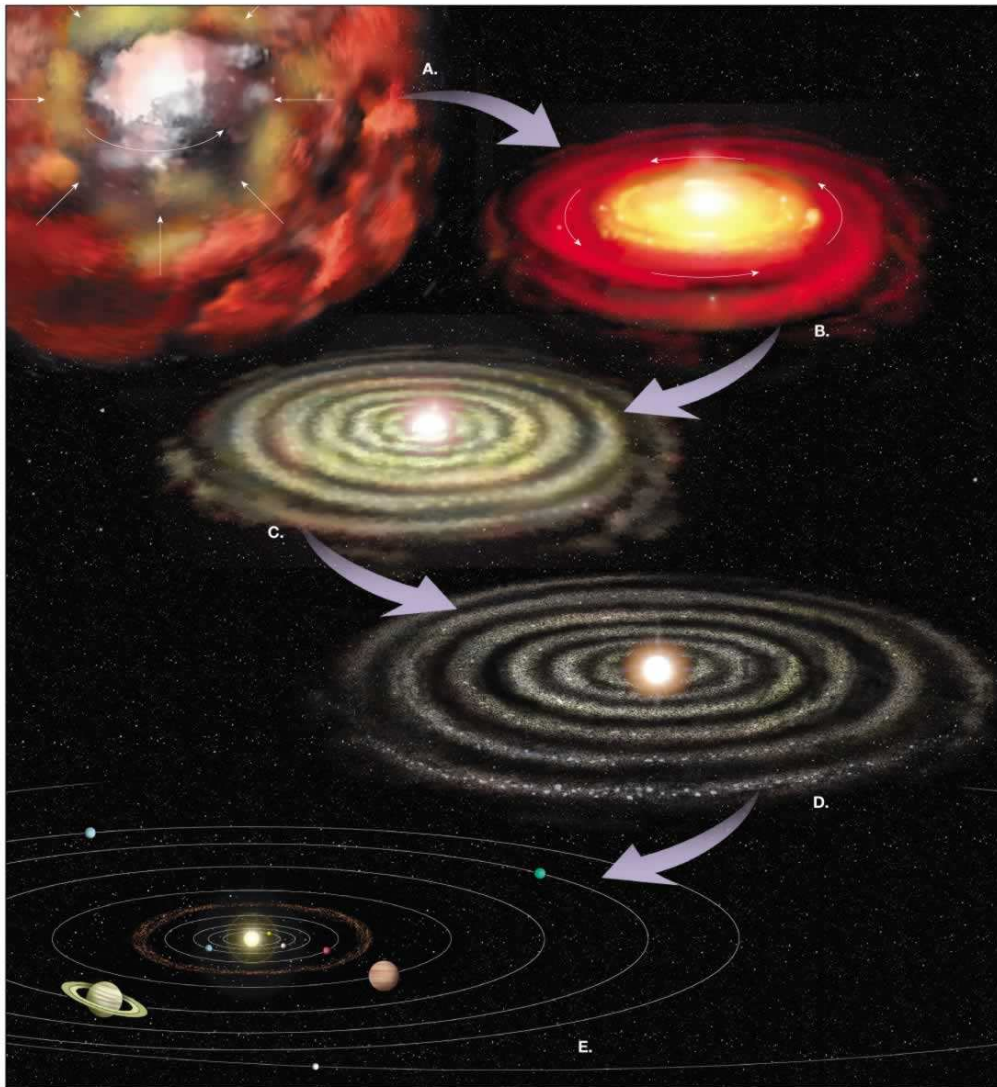


James Ussher számításaitól eltérő több Biblia alapú becslés is készült mint például Jose ben Halafta (i. e. 3761), Beda Venerabilis (i. e. 3952), Joseph Scaliger (i. e. 3949), Johannes Kepler (i.e. 3992), Sir Isaac Newton (i.e. 3988) írásaiban olvashatók.

Biztos tudásunk még most sincs a Föld keletkezéséről, kialakulásáról, a magyarázatok ma is még valamennyien inkább csak elméletek. A legáltalánosabban elfogadott elmélet a Föld keletkezésére vonatkozólag két évszázados multra tekinthet vissza. 1755-ben ugyanis a híres königsbergi bölcselő, Kant Immanuel állított föl egy elméletet. Tőle teljesen függetlenül 1796-ban de Laplace Pierre Simon, párisi matematikus szintén hasonló eredményre jutott. Ezt az elméletet a tudomány azóta Kant-Laplace-féle elmélet néven ismeri. E szerint a kezdeti állapot rendezetlen ösköd, chaosz volt.

Az életnek otthont adó Naprendszer kialakulása a planetáris ködből

Idők folyamán, ennek a rendezetlen ködtömegnek az állandó mozgása, forgása következtében kialakult a planetáris köd. Ezt követte a spirális ködállapot.

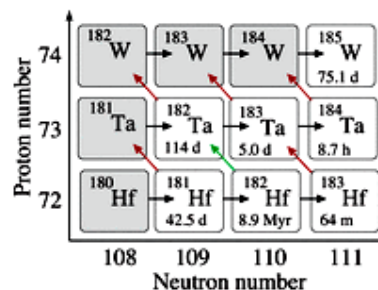


(illusztráció: The Earth just aged a little bit more, planetary formation, <http://lucidthoughts.com.au/wordpress/wp-content/uploads/2012/04/planetary-formation.jpg>)

Így alakult ki lassanként az ősnap. Az ősnap a fokozatos lehűlés és összehúzódás következtében egyre sűrűbb gázgömbbé lett. Ebből a gázgömbből az egyenlítő mentén egymás után több gyűrű vált le. A levált gyűrűk azután mind jobban lehűltek, összesűrűsödtek s végül is bolygókká alakultak.

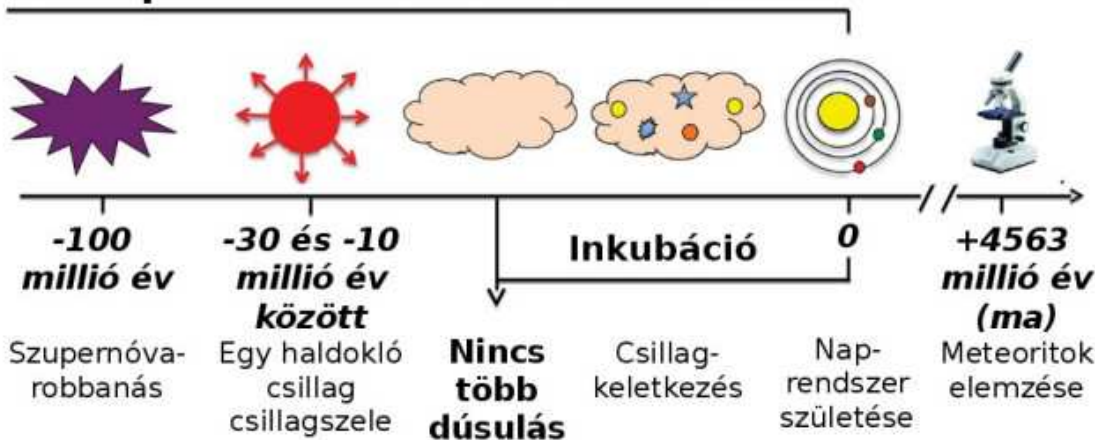
Egy nemzetközi kutatócsoport, melynek vezetője Maria Lugaro (Monash Centre for Astrophysics (MoCA), Monash University, Melbourne, Ausztrália), most a radioaktivitás mérésével meg tudta határozni, mikor kerültek be a Naprendszer létrehozó anyagba utoljára egyes nehéz elemek.

„Meteoritokban található, nehéz radioaktív elemek segítségével határoztuk meg a végső feldúsulás idejét. Az arany, ezüst és platina utolsó egy százaléka durván 100 millió évvel a Nap születése előtt érkezett. Az ólom és a ritkaföldfémek utolsó egy százaléka pedig még később, legfeljebb 30 millió évvel korábban került ide.” – mondta el Lugaro.



Így feltérképezhető, milyen események vezethettek a Nap születéséhez. 100 millió évvel korábban egy szupernóva robbanása gazdagította a felhőt nehéz elemekkel, 10-30 millió évvel korábbi időszakban pedig egy élete végén járó, felfúvódott vörös óriáscsillag dúsította molekulafelhőket az anyagával, és inkubációs fázisba került melynek során kialakult benne több csillagkezdemény, amelyből pedig egy Lokális Galaxiscsoport született. A Tejútrendszer ennek egyik küllős spirálgalaxisa, melyben a Naprendszer és ezen belül Földünk található.

A Naprendszer előtörténete

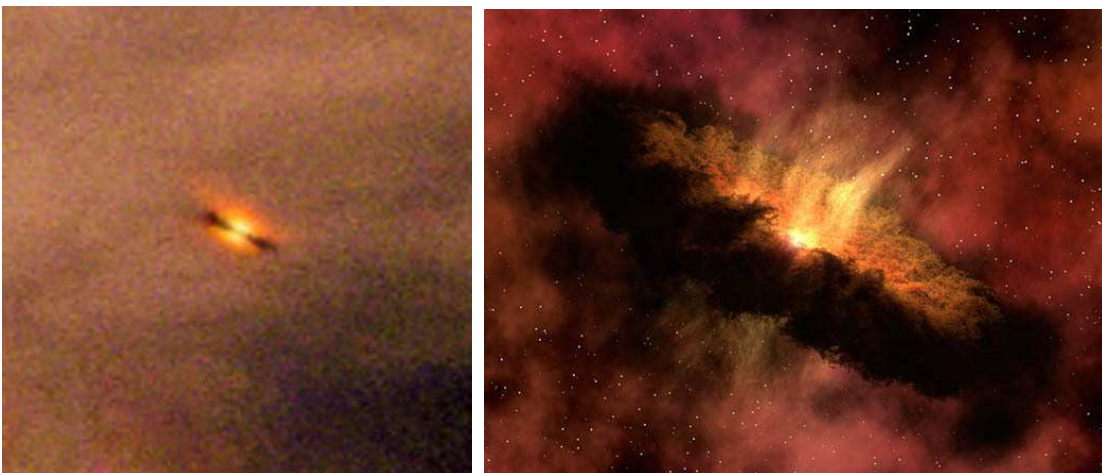


(forrás: Maria Lugaro, Alexander Heger, Dean Osrin, Stephane Goriely, Kai Zuber, Amanda I. Karakas, Brad K. Gibson, Carolyn L. Doherty, John C. Lattanzio, Ulrich Ott: Stellar origin of the ¹⁸²Hf cosmochronometer and the presolar history of solar system matter, Science 2014. augusztus 08., Vol. 345 no. 6197 pp. 650-653, DOI: 10.1126/science.1253338, <http://www.sciencemag.org/content/345/6197/650.abstract> és Molnár László: Koszmos idógép: pillantás a Nap keletkezését megelőző időszakba, http://www.csillagaszat.hu/hirek/nap_keletkezes_meteoritok/)

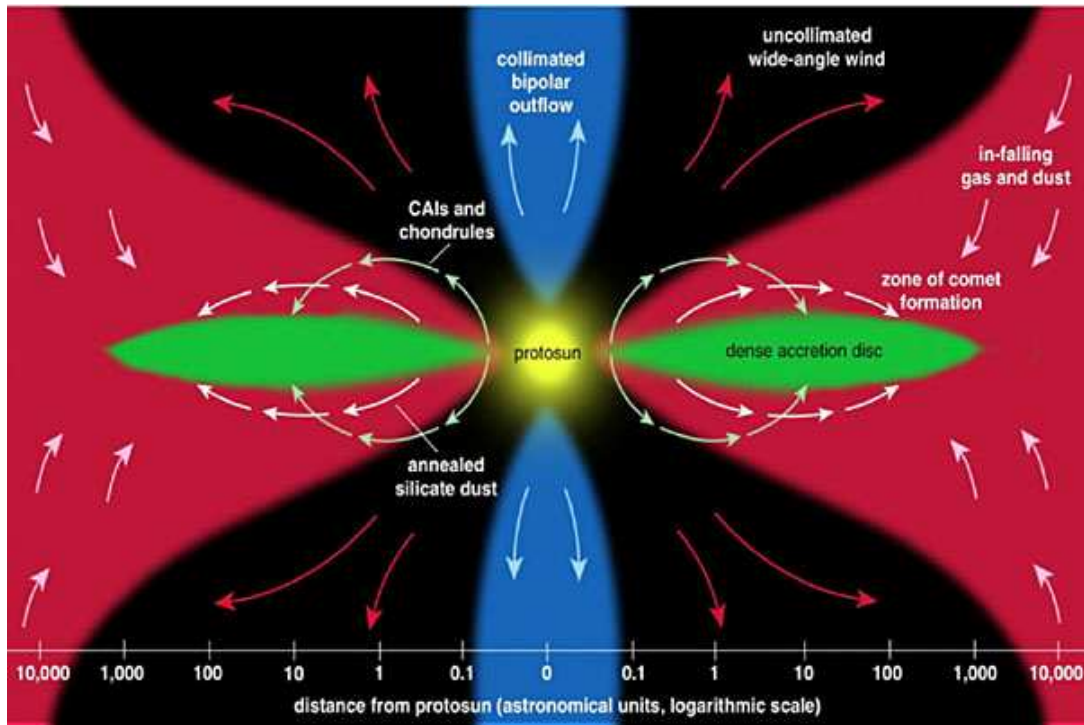
Mindezek a ködformák ma is megtalálhatók az égbolton. Például az Orion-köd is otthont ad fiatal bolygó rendszereknek, 30 protoplanets (protoplanetary discs) protoplanetáris korong ismert.



(forrás: Atlas Of The Orion Nebula's Protoplanetary Discs, <http://lpb.fieldofscience.com/2009/12/atlas-of-orion-nebulas-protoplanetary.html>, NASA, ESA and L. Ricci (ESO))



(forrás: http://3.bp.blogspot.com/_R_fTYHVWAZI/SyZvJXaJZLI/AAAAAAAAA8Q/oaINl6pnszQ/s1600-h/proplyd26.jpg, és illusztráció: Planet-Forming Disk Around a Baby Star, NASA Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, www.spitzer.caltech.edu/images/1852-ssc2007-14d-Planet-Forming-Disk-Around-a-Baby-Star)



(from Nuth, J. A., 2001, *American Scientist*, v. 89, p.230.)

(forrás: http://www.psr.d.hawaii.edu/June11/traveling_CAI.html)



(illusztráció: The Graduate University for Advanced Studies, Japan, <http://subarutelescope.org/Pressrelease/2013/02/07/index.html>)

A bolygók, a csillagokkal együtt, a zsugorodó gázfelhőket övező, protoplanetáris korongban születnek.

Eljutottunk a Föld fejlődéstörténetében addig a pontig, hogy a Föld tömege az ősnapból kivált. A Kant-Laplace-féle elmélet értelmében ez a tömeg izzó gázból állott. A világmindenségben azonban érvényes a régi herakleitosi „panta rhei” elv, minden folyik, minden mozog. Ez a folytonos mozgás hozza magával a folytonos fejlődést, az egyre tökéletesebbnek a kialakulását, vagyis más szóval az evolúciót. Leopold Kober (1883–1970) osztrák geológus szerint a folytonos mozgás és fejlődés, az evolúció az alaptétele mindennek a világmindenségben. Az ősnapból levált tömeg, amelyből azután Földünk kialakult, szintén ennek az alaptételnek az érvényessége, törvénye alatt állott. A mozgó, forgó, fejlődő tömeg fokozatosan vesztett hőmérsékletéből, egyre jobban sűrűsödött. Az izzó gáztömeg lassacskán cseppfolyós halmazállapotú tömeggé lett. A Föld ebben a korban még csillagkorát élte, saját fénye volt. A fokozatos, állandó lehűlés következtében azután a Föld tömegének külső része lassanként annyira lehűlt, hogy megszilárdult és vékony páncélként borította a belül még izzón folyós tömeget. A vékony páncél még gyöngye volt, sokszor törte át a belső, izzón folyós anyag, amely kihűlt, megszilárdult s ezzel a páncél, a Föld külső, immár szilárd kérgé állandóan vastagodott. A szilárd kéreg kialakításával ért véget a Föld csillagkora. Ennek a csillagkornak a Földjét nevezi Leopold Kober „eogea”-nak (eós = hajnal, gé = föld).



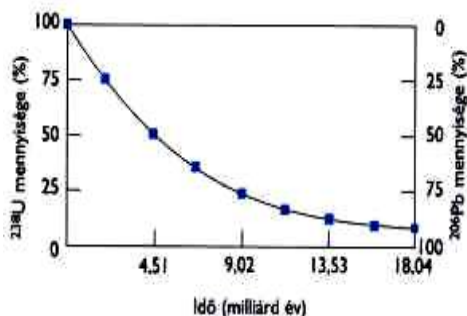
(illusztráció: NASA/Ames/JPL-Caltech, www.universetoday.com/91989/first-earth-sized-exoplanets-found-by-kepler/)

A XVIII. sz. vége felé pedig, 1778-ban, a híres francia kutató, Georges-Louis Leclerc de Buffon (1707-1788) természettudós, zoológus, izzó vasgolyóval végzett kísérletei alapján kiszámította, hogy a Föld izzón folyós állapota 2936 évig tartott, azóta pedig koráig 74.000 esztendő múlt el.

Sir Charles Lyell (1797-1875) skót geológus az európai utazásai során figyelt fel a földtani formákra. Ezek változatossága érdeklődését annyira felkeltette, hogy életét a geológiának szente háromkötetes, világosan megírt kiváló műve a „Principles of Geology” (A geológiai elvei) mérföldkő a földtudományok történetében. Ebben a műben nemcsak kimondta, hogy a Földön a múltban végbement folyamatok a jelenleg megfigyelt jelenségekkel értelmezhetők, hanem figyelembe véve a feltárt kőületeket, leszögezte: nem kizárt, hogy a Föld kora eléri, sőt meghaladja a 100 millió évet. Ez a közlés az egyházban természetesen megbotránkozást keltett, mivel azt is magában foglalta, hogy a Föld képe a múltban egyáltalán nem olyan volt, mint amilyennek most látjuk. Olyan állatok kőületei is felszínre kerültek, amelyek manapság már nem élnek. Lyell könyve Charles Robert Darwin (1809-1882) angol természettudós érdeklődését annyira felkeltette, hogy nagy jelentőségű utazásai során a Beagle fedélzetén gyakran ezt a könyvet forgatta. Az „The Origin of Species” 1859 (A fajok eredete) című könyvében javasolt evolúciós elmélete ugyanis feltételezi, hogy a növény és állatvilág fejlődéséhez nagyon hosszú időre volt szükség.

A Föld korát, illetőleg az óceánok korát megpróbálták az óceánok sótartalmából is kiszámítani. Ez a módszer abból a föltevésből indult ki, hogy az ósóceán eredetileg nem volt sósvíz s így, ha meghatározzuk, hogy most mekkora sómennyiség kerül bele az óceánok vizébe, akkor kiszámíthatjuk ebből az óceán korát. 1899-ben John Joly (1857-1933) végezte az első erre vonatkozó számítást, amelynek eredményéül a Föld korára 90 millió esztendőt nyert.

A XIX. század második felében a Föld korát illetően, két tudományág, a geológia és a biológia azonos nézeteket vall, mely szerint feltehetően több mint 100 millió év. A fizikusok, a Föld korának meghatározását termodinamikai elvekre alapozták. A Föld korának első termodinamikai becslését Sir Isaac Newton (1642–1727) angol fizikus, matematikus, csillagász, filozófus és alkimista végezte el. Az 1687-ben megjelent Principiájában ugyanis megemlíti, hogy a Föld izzó állapotából mintegy 50 ezer év alatt hűlhetett le. Jean Fourier (1768–1830) francia matematikus és fizikus nem végzett kísérleteket. Számításait hővezetési egyenletekre alapozta. Buffonnal szemben helyesen feltételezte, hogy a Föld belseje még nem hűlt ki teljesen. Eredményül 100 millió évet kapott, ami a geológusok becslésének alsó határa volt. Ezt a véleményt azonban Lord Kelvin (William Thomson) (1824–1907) ír születésű brit matematikus, mérnök, a 19. század meghatározó fizikusa, egyáltalán nem osztotta, számításai szerint a Nap kora 25 millió évre tehető, aminél a Föld semmi esetre sem lehet öregebb. Lord Kelvinnek és a fizika egzaktságának olyan nagy tekintélye volt, hogy 1860-ban Darwin visszavonta a Fajok eredetében írt feltételezést, hisz szerinte a földi élet evolúciójához több mint 100 millió évre volt szükség.



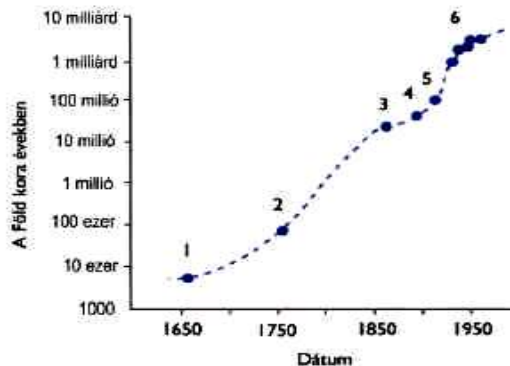
A ^{238}U izotóp átalakulása ^{206}Pb izotóppá. A bomlási görbe a kiindulási anyag exponenciálisan csökkenő mennyiségét mutatja. A ^{238}U izotóp felezési ideje 4,51 millió év. Minden rákövetkező 4,51 millió év periódusban az adott periódus kiindulási anyagmennyiségének fele bomlik el.

Alfred O. Nier ólomizotóp méréseink eredményei alapján Sir Arthur Holmes (1890-1965) brit geológus értékelte és a XX. század negyvenes éveiben a Föld legvalószínűbb korára kerekén hárommilliárd évet kapott. Holmes 1913-ban, 23 éves korában közzétett könyvében (A Föld kora) egy nagyon fontos javaslatot tett - Thomas C. Chamberlin (1843-1928) amerikai geológus, elképzeléséből kiindulva - amely szerint a Föld keletkezéskor nem izzó gömb volt, hanem a Nap körül keringő anyagokból állt össze. Ha ez az elképzelés helyes, okoskodott Holmes, akkor a meteoritok jobb lehetőséget nyújtanak a Föld (Naprendszer) korának a meghatározására, mint a sok változáson átesett földi kőzetek.

A második világháború után olyan tömegspektrométereket fejlesztettek ki, amelyek igen pontos izotópméréseket tettek lehetővé.

A Föld korának jelenlegi legjobb közelítését a Patterson-féle meteoritmódszer szolgáltatja. Az amerikai Claire Patterson azt feltételezi, hogy a meteoritok a Földdel azonos őanyagból egyidejűleg képződtek, majd a képződés után elszakadtak. Az Claire Petterson a tömegspektrométeres mérések nagy szakértője volt. Három kő- és két vasmeteoritban végzett mérései alapján 1956-ban megállapította, hogy a Föld kora 4550 millió (+70 millió), azaz kerekén 4,6 milliárd éves.

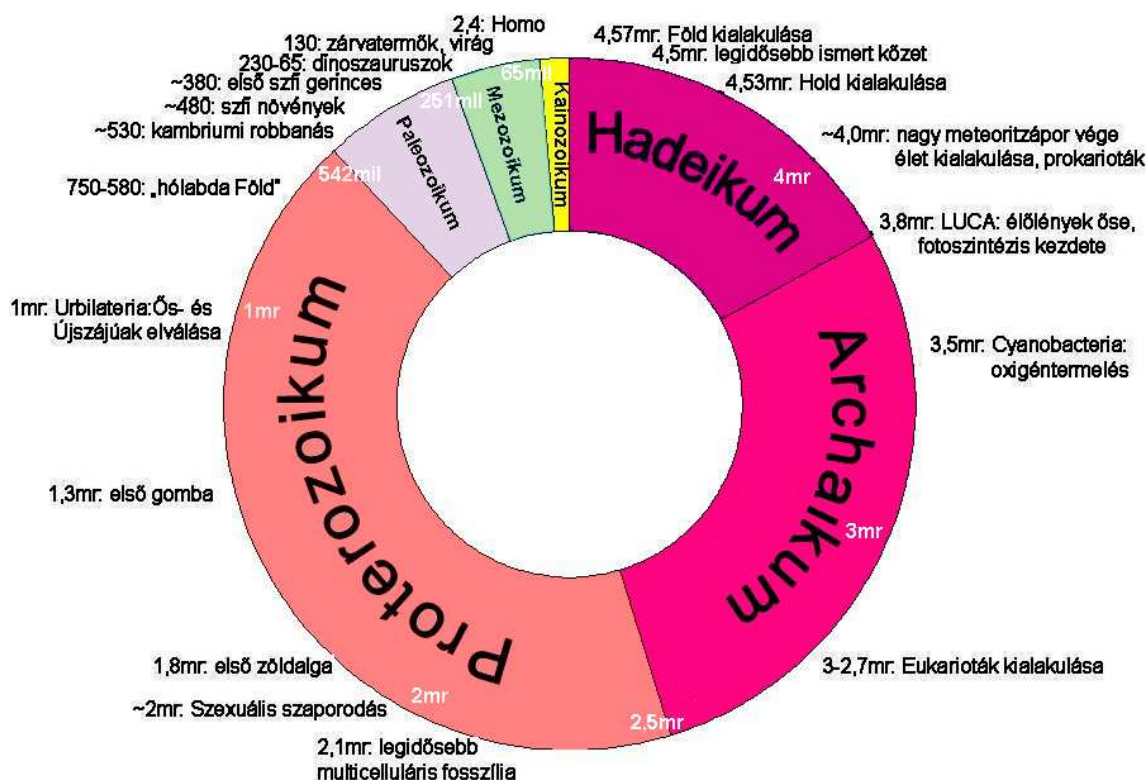
Lord Kelvin	szerint	a Föld kora	20,000.000 év
Kövesligethy	"	"	20,000.000 év
Dana	"	"	48,000.000 év
De Lapparent	"	"	70,000.000 év
Joly	"	"	90,000.000 év
Croll	"	"	100,000.000 év
Lyell	"	"	240,000.000 év
Wallace	"	"	500,000.000 év
Geikie	"	"	100-680,000.000 év
Holmes	"	"	3,200,000.000 év
Franz	"	"	35,000,000.000 év



(forrás: „7. Földtörténet, dia képek” in: Földtani alapismeretek, és Cserny Tibor et al.: Általános földtan és gyakorlat. 2006., és Seresné Hartai Éva: Általános, szerkezeti és történeti földtan 2001.)

A Münster-i és a Cambridge-i Egyetem, valamint a Zürich-i Műszaki Főiskola tudósaiból álló csoport a frissen kialakult Föld más égitestekkel való összeütközéseinek nyomait vizsgálták. „Vizsgálataink azt mutatják, hogy a Föld 20-90 millió évvel fiatalabb, mint azt eddig feltételezték” - közölte Thorsten Kleine, a Münsteri Paleontológiai Intézet kutatója.

Eddig a kutatók abból indultak ki, hogy a Föld 4,53 milliárd évvel ezelőtt keletkezett, az új eredmények alapján azonban kora 4,51-4,44 milliárd évesre tehető a Nature Geoscience című szaklapban megjelent tanulmány szerint.



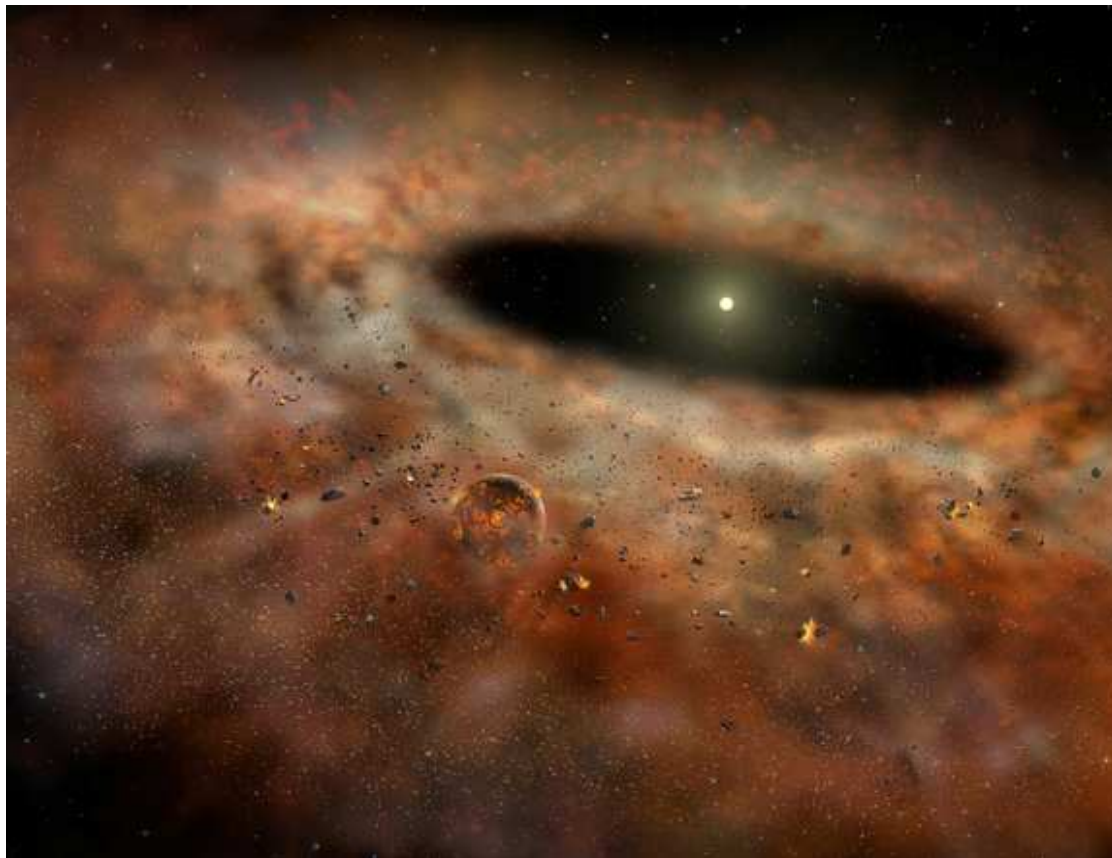
(forrás: Hoffmann Gyula, Mátics Róbert: Élet a Földön – történeti földtan <http://tamop412a.ttk.pte.hu/files/kornyeztan9/www/out/html-chunks/ch14s03.html>)

A Föld története a nap 24 órájához arányosítva, a bioszféra kiemelt eseményei.

A „Nagy Bumm” (Ősrobbanás) és az univerzum keletkezése kb. 13,7 milliárd évvel ezelőtre tehető, ez egyenértékű majdnem 3 nappal. Az ember kb. 2 millió éve jelent meg Földünkön, a 24. óra előtt kb. 1 perccel. A földtörténeti időskálán a legnagyobb időegységek az „eon”-ok (görög aion szóból származik, ami „kor”-t jelent).

A kriptozoikum „eon”-jába egyetlen földtörténeti idő tartozik a prekambrium, amely a földkéreg megszilárdulásával kezdődött és a szilárd vázú állatok megjelenéséig tartott. A Nemzetközi Rétegtani Bizottság hivatalos kortáblázatában nem szerepel, de gyakran használják, amikor az élőlények evolúciója szempontjából kiemelt fontosságú kambrium időszak előtti földtörténeti periódusra egyben akarnak utalni. A prekambrium bolygónk történetének körülbelül 80%-át fedi le. Elnevezése arra utal, hogy a korai elképzelések szerint az első élőlények a kambrium időszakban jelentek meg, és az összes korábbi geológiai képződményt a prekambriumba (a „kambrium előtti” időszakba) sorolták. Később kiderült, hogy már 3,5 milliárd évvel ezelőtt is éltek egyszerű szerveződési szintű élőlények, de az eredeti felosztás és elnevezés máig megmaradt.

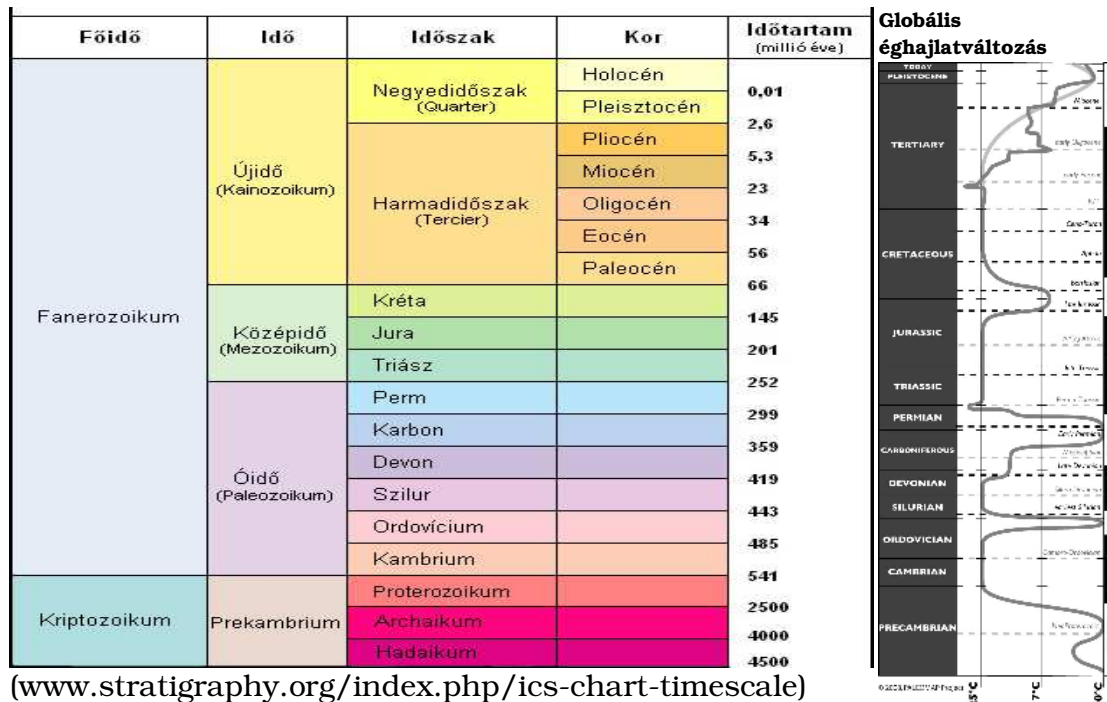
A kortábla a prekambrium nagyobb egységeit eonként tartalmazza. hadaikum 4,5–4,0 milliárd éve (nem minden kortáblán szerepel eonként), archaikum 4,0–2,5 milliárd éve, proterozoikum 2,5–0,541 milliárd éve.



(Illusztráció: Gemini Observatory/AURA artwork, Lynette Cook, www.space.com/16426-star-dust-missing-disk-mystery.html)

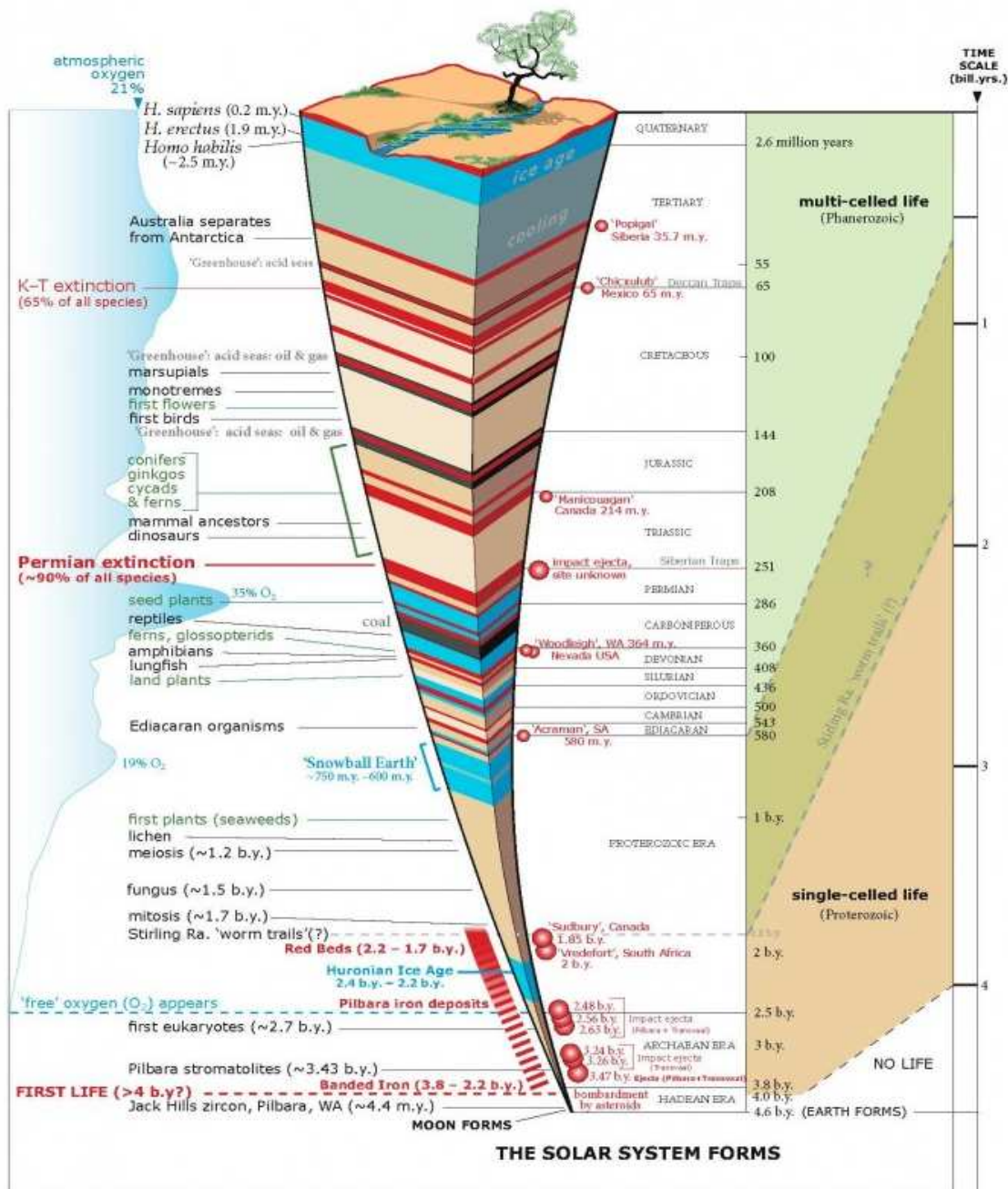
A naprendszer keletkezését ábrázoló illusztráció..

A földtörténeti idő felosztását és az egyes időszakok megjelölésére használatos elnevezéseket illetően nincs általános egyetértés a geológusok között.



A legnagyobb időtávlatot átfogó „idők”, az ős-, elő-, óidő stb. görög nyelven megalkotott nemzetközi nevei arra utalnak, hogy a tagolás, a beosztás az állatvilág fejlődése alapján történt. Mindegyik név „zoikum”-ra végződik, ami „állati időnek, állati élet idejének” fordítható. Az ős- és előidő közös neve a kryptozoikum, vagyis a „rejtett állati élet ideje”, mivel ebből az időből nem maradt fenn ősmaradvány. Az ó-, közép- és újidő viszont együttesen a fanerozoikum, azaz a „nyilvánvaló, a nyomozható állati élet ideje”. Ezen belül az óidő a paleozoikum, a középidő a mezozoikum, az újidő pedig a kainozoikum, tehát szó szerint a „rég, a középső és az új állati élet ideje”. A hagyományos felosztás - például Vadász Elemér (1885–1970) kétszeres Kossuth-díjas geológus, „Földtörténet és földfejlődés”(Akadémiai Kiadó, Budapest, 1957.) című könyvében - megkülönböztette a csillagidőt (asztrális idő), az azoikumot, illetve az algonkiumot. A csillagidőn belül elkülönítette az első gáztömb állapotot a magmagömb állapottól. Az azoikumot más néven archaikumnak nevezte, és felosztotta víz nélküli és tengeri szakaszra. Ennek az időnek a jellemzője az állatok hiánya lett volna. A legfiatalabb időt, az algonkiumot más néven proterozoikumnak vagy archaeozoikumnak nevezte. A proterozoikum, megfelel a középső és felső prekambriumnak. A proterozoikum három korra osztható. Az alsó proterozoikum a középső prekambriummal azonosítható. A középső és felső proterozoikum a felső prekambrium megfelelője. A középső proterozoikumot rifeinek, a felsőt vendinek is hívják. Proterozoikumot nevezik Eozoikum-nak (Hajnalkor) is.

Földtörténeti időskála



- = glaciális korszak (eljegesedési időszak hidegebb periódusa) köznapri értelemben „jégkorszak”
- = tömeges kihalás időszaka
- o kozmikus becsapódás (100-200 km átmérőjű égitest)
- O kozmikus becsapódás (>200 km átmérőjű égitest)

(regmorrison.edublogs.org/files/2013/05/Evolution-timescale-2g32cnm.jpg
regmorrison.edublogs.org/files/2013/05/Evolution-timescale-1w2ws0w.pdf)

A fiatal Nap körüli törmelékkorong, azaz a protoplanetáris köd anyagának tömörödésével ~4,6 milliárd évvel ezelőtt létrejöttek az első bolygókezdemények. A viszonylag lassú összeállás lehetővé tette a szilárd felszín kialakulását. A fiatal Föld pályája a Naprendszer lakható övezetében stabilizálódott, amely ekkor még nem volt mentes a törmeléktől.

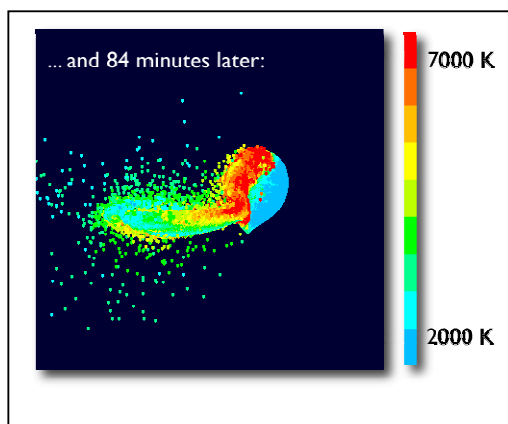


A hadaikum (kéreg nélküli időszak) a földtörténeti időskála legelső eonja, amely az archaikum előtti időket foglalja magában a Föld keletkezésétől számítva 4,53-4,0 milliárd évvel ezelőttig terjedő időszakot értik alatta. Ezen intervallum eseményei a bolygóanyag összeállásától az ósóceánok kialakulásán át az élet megjelenéséig terjednek.



A hadaikum (Hádészi) mint eon a földtörténeti időskálán hivatalosan, a Nemzetközi Rétegtani Bizottság (International Commission on Stratigraphy) által el nem ismert, mivel kortörténeti meghatározása nélkülözi a rétegtani módszereket (nem maradt fenn elegendő vizsgálható szilárd felszíni réteg ebből az időszakból).

A kezdeti légkör nagyrészt hidrogénből és héliumból állhatott, ami azonban az alacsony szökési sebesség és a napszél eróziós hatása miatt nem érhetett el nagy sűrűséget. Fordulópont volt a légkör gyarapodása szempontjából, amikor a planéta nagyjából elérte mai tömegének 40%-át, ami már elegendő visszatartó erővel bírt a nehezebb gázok, köztük a vízgőz számára. Feltételezhető, hogy a Föld mai pályáján legalább két bolygókezdemény jött létre, s hogy a kisebb égitest (Theia) a nagyobb (Föld) kísérőjeként viselkedett. A Theia egy Mars méretű feltételezett kőzetbolygó volt, mely a Naprendszer keletkezése után a Földével megegyező sugarú pályán keringet, de pályája a keletkezésétől számított néhány tízmillió éven belül instabillá vált, emiatt összeütközött a Földdel 30-50 millió (legkésőbb 100-150 millió) évvel a Föld kialakulása után, nagyjából $4,527 \pm 0,01$ milliárd évvel ezelőtt.



(forrás: Robin Canup, Kaliforniai Egyetem, Riverside, NASA PR, http://science1.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/09apr_theia/ és www.csillagaszat.hu/fold_es_hold/20090415-theia-stereo-kereses.html)

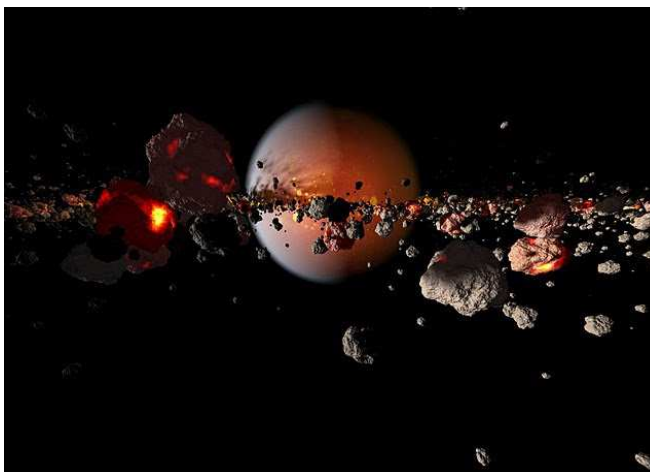
Theia becsapódása a proto-Földbe

(illusztráció: Dana Berry, Robin Canup, SWRI, <http://ngm.nationalgeographic.com/2013/07/125-solar-system>)

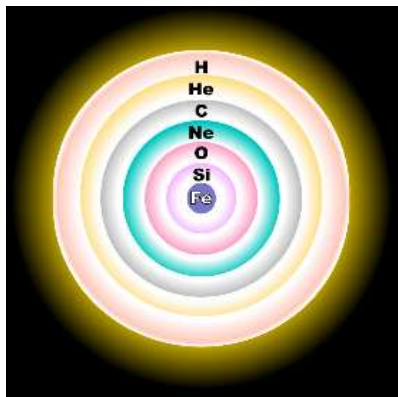


Robin Canup és Alastair Cameron 1975 körül az új elmélet kidolgozásához felhasználták a számítógépes szimulációt is (egy katonai célokra kifejlesztett szoftvert, amivel eredetileg az atomrobbanások hatásának terjedését akarták modellezni a földfelszínen). Az anyag hőmérséklete a jobb oldali színskálán olvasható le.

Az ütközés hatására a Föld körül egy gyűrű keletkezett, majd ebből a gyűrűből állt össze a Hold. Napjainkban a Theia-elmélet a legelfogadottabb a Hold keletkezésére vonatkozó elméletek közül. A Theia-elmélet mellett szólnak többek között a földi és a holdi kőzetek megegyező kémiai tulajdonságai.



A hipotézis tesztelésének egyik módja a holdkőzetek izotópjainak vizsgálata. A legtöbb elem több különböző tömegszámú változatában fordul elő a természetben, az oxigénnek például három stabil izotópja van: ^{16}O , ^{17}O , és ^{18}O ; melyek közül a leggyakoribb az oxigén-16. A legtöbb oxigén-16 a masszív tömegű csillagokban, a hélium fúzió (háromalfa-ciklus) végén szintetizálódik, de valamennyi a neon-égési folyamat során is keletkezik. Az oxigén-17 izotóp elsősorban a CNO-ciklus során keletkezik, melyben a hidrogén héliummá ég el; így gyakori izotóp a csillagok hidrogén-zónájában.

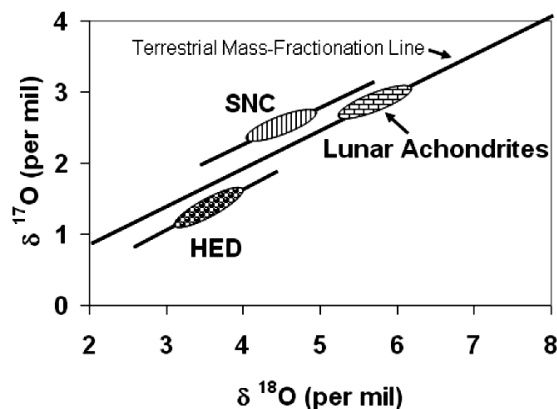
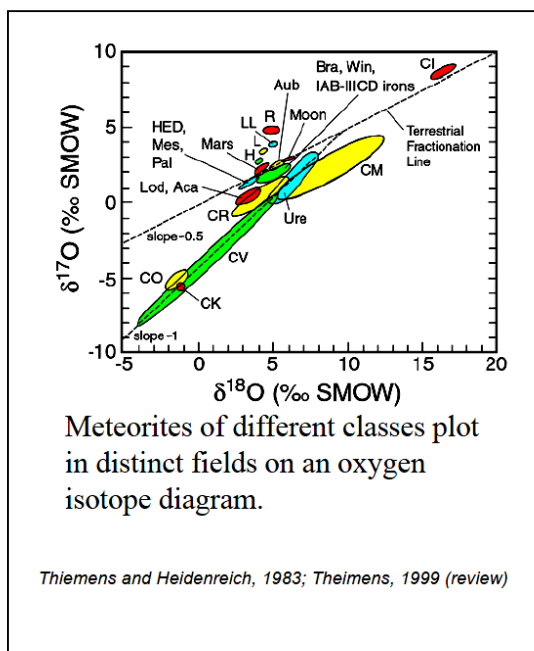


A nagytömegű csillagok életének végén az oxigén-16 az O rétegben, az oxigén-17 a H-rétegben, az oxigén-18 a He-rétegben koncentrálódik.

Az oxigén-18 legnagyobb részben akkor keletkezik, amikor a CNO-ciklusban létrejött ^{14}N befogja a ^4He atommagot. Emiatt az oxigén-18 a fejlett, nagytömegű csillagok héliumban gazdag zónáiban gyakori izotóp.

A tömegszám az atommagban megtalálható protonok és neutronok együttes számát jelzi, az oxigén esetében ez az említett izotópoknál 8 protont és 8, 9 vagy 10 neutronot jelent. Bármilyen természetes földi oxigénmintát megvizsgálva abban körülbelül egyforma lesz ezen izotópok aránya (99,76% oxigén-16, 0,038% oxigén-17 és 0,205% oxigén-18).

Meteoritok vagy más bolygókról származó minták esetében azonban rendszerint ettől eltérő arányokat találunk. Így ha a földivel azonos izotópösszetétel mérhető valamely mintában, akkor az nagy valószínűséggel bolygónkról származik.



(forrás: Antal Embey-Isztin: „Basaltic volcanism on the terrestrial planets: a window to planetary interiors” ACTA GGM DEBRECINA, Geology, Geomorphology, Physical Geography Series Debrecen Vol. 2, 53–57 2007)

Az ábrákon Különböző bolygókról származó kőzetek oxigén izotóp összetétele látható. A diagramokban mindegyik vonal különböző származású égitestet képvisel a Naprendszerben. A Hold kőzetek a földi vonalra esnek, az SNC Mars és HED Vesta meteoritok eltérőek. (McSween, 1999. alapján)

A becsapódások ritkulása, illetve a lassú lehűlés a Földön, és a Holdon magával hozta a szilárd kéreg kialakulását ~4,4 milliárd évvel ezelőtt.

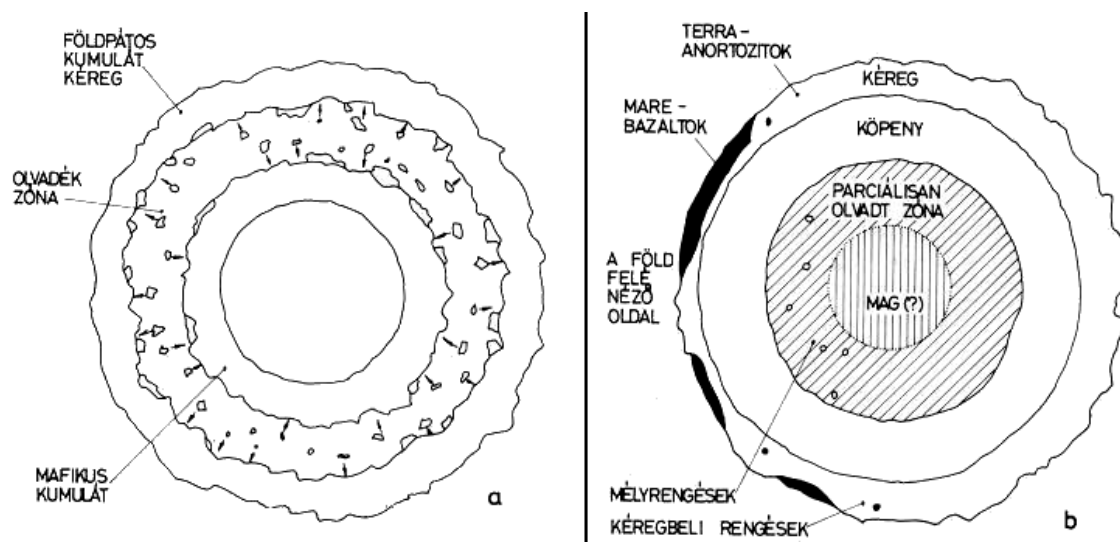


(illusztráció: Zdenek Burian, <http://paleos.com/hadean/paleohadean.html>)

A kialakult, friss Hold két nagy átalakulási folyamaton ment át. A mai belső felépítését, geológiai tulajdonságait alapvetően ezek alakították ki. Az első differenciálódás közvetlenül az összeállás után kezdődött, tehát kb. 4,5 milliárd éve. Ez az egész égitestre kiterjedő folyamat volt, amelynek során a Hold külső része radioaktív bomlásnak és még inkább az állandó meteorbombázásnak köszönhetően annyira felhevült, hogy kb. 100 km mélységig megolvadt. A felszínt akkoriban egyetlen hatalmas magmaóceán borította (Almár-Horváth, 1981; Marik, 1989). A folyékony kőzetekben végbement a gravitációs differenciálódás (azaz a sűrűség szerinti rendeződés). Ezután, ahogy a kozmikus törmelék fogyni kezdett, kívülről befelé haladva fokozatosan hűlni kezdett a Hold is.

A felszíni olvadékszóna külső, 100-200 km mély részének kristályos differenciálódásával, majd megszilárdulásával képződött az anortozitos kéreg, a belsőből pedig jórészt egy ezzel komplementer, nagyobb sűrűségű mafikus (vagyis vasban és magnéziumban gazdag) réteg alakult ki. Az első differenciálódás mintegy 300 millió évig tartott, vagyis kb. 4,2 milliárd éve fejeződhetett be. Közben még jónéhány kozmikus találat érte a Holdat, ezek közül több is elég mélyre leáshatott, s a robbanások a lenti anyagok egy részét megint kiforgatták (Bérczi, 1991).

Az átrendeződés a korábban mélyebbre süllyedt nehéz radioaktív elemeket ismét a felszín közelébe hozhatta, s azok viszonylag nagy mennyiségben felhalmozódtak a maradék-olvadékszóna alján.

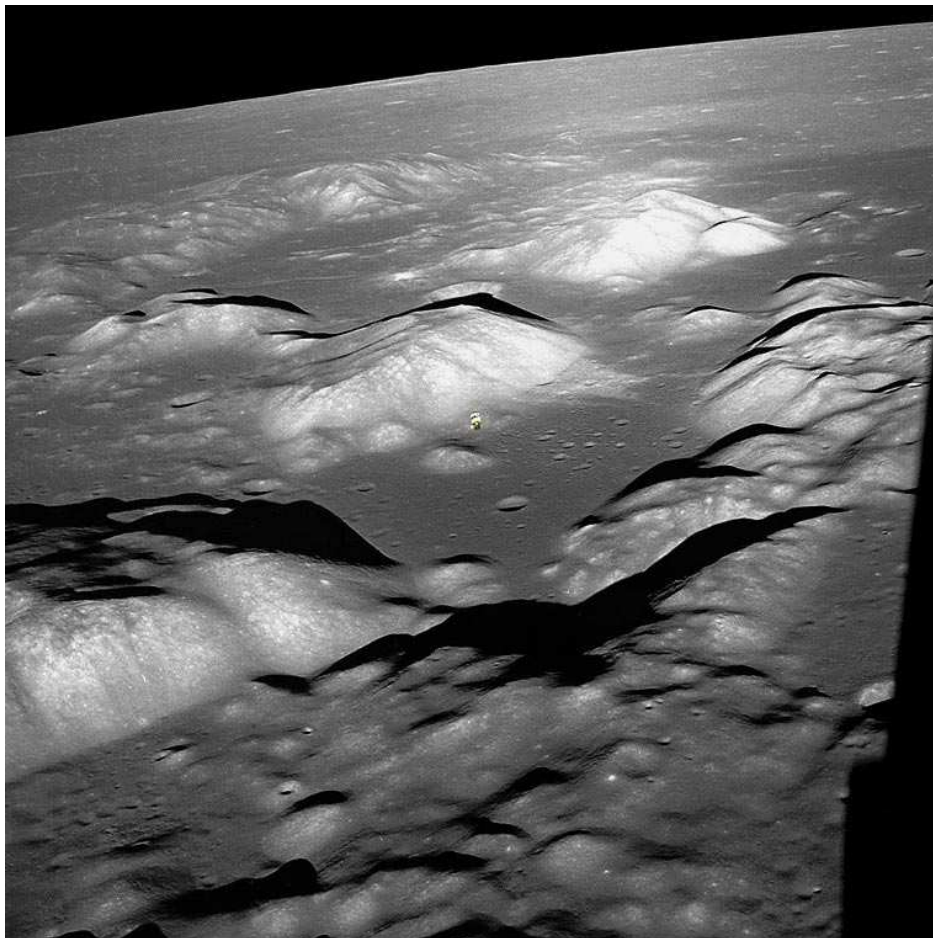


(forrás: Bodács István: A Hold és hatásai a Földre, Diplomamunka, Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Kar Kísérleti Fizikai Tanszék, 2000, és Bérczi Szaniszló: Kristályoktól a bolygótestekig, 1991)

A Hold belső szerkezetének kialakulása, a) az első differenciálódás utáni; b) a második differenciálódás utáni (mai) állapot.

A második differenciálódás ennek a következménye, ez vulkanikus folyamat volt. A radioaktív bomlás ugyanis annyi hőt termelt a felszínhez közel, hogy az újraolvadáshoz, a szilárd kéreg elvékonyodásához vezetett, s ezt a láva újra és újra áttörte; a Holdon globális vulkanizmus kezdődött. Mindenfelé lokális olvadási, újrakristályosodási folyamatok zajlottak, a tűzhányókból nagy mennyiségű láva ömlött ki és terült szét a felszínen, miközben az illékony anyagok elpárologtak belőlük. A tengerek is ekkoriban keletkeztek, a szárazföldek alapvető arculata azonban már nem változott meg. A Hold kihűlésével, mintegy 3,6 milliárd éve az addig jelentős magnetoszféra is megszűnt (Powell, 1991), pedig azelőtt a Hold még a mai, földi térerő duplájával rendelkezett.

A második differenciálódás korszaka, s vele a globális vulkanizmus, mintegy 3 milliárd évvel ezelőtt befejeződött (Marik, 1989). Eddigre ugyanis a Hold viszonylag gyors hűlése következtében kialakult és megszilárdult a vastag köpeny, mely elzárta az ~1000 km mélységbe szorult magma útját.

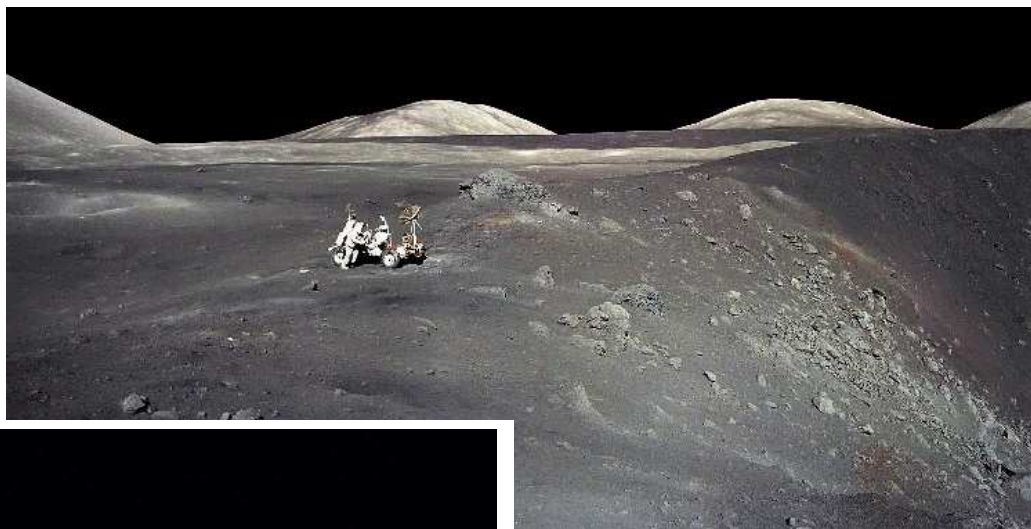


(forrás: www.geokem.com/images/nasa/Apollo-17-Hills_CM.jpg)

Az Apollo-17 a völgyben landolt igen magas hegyek között 1972. 12. 11 -én. A legénység 35,9 km-t utazott a Taurus-Littrow völgyben a holdjárművel.



(forrás: www.bis-space.com/wp-content/uploads/2012/05/Apollo-Sym.jpg)



(www.geokem.com/images/nasa/Apollo-17-car-crater.jpg)

A Shorty Crater szélén a Lunar Roving Vehicle (LRV) az Apollo-17 holdjármű, és Harrison Schmitt asztronauta.

(www.hq.nasa.gov/office/pao/History/alsj/a17/AS17-140-21496HR.jpg)

A perthi - ausztráliai - Curtin Egyetemen Alexander Nemchin irányítása alatt végzett kutatás német, ausztrál és amerikai kutatói - a NASA-tól kapott - 1972. december 11-én a Holdon landolt Apollo 17 űrexpedíció által Földre hozott kőzetminta vizsgálatából tudták pontosan megállapítani, hogy mikor szilárdult meg a Hold felszíne.

A Nature Geoscience című folyóiratban publikált tanulmány szerint a holdkőzetben talált mikroszkopikus cirkon kristály 4,4 milliárd éves, és ezzel pontosan meghatározhatóvá válik a Hold felszínének kialakulása.

Nemchin magyarázatában az égitestek összeütközése nyomán keletkezett törmelék fúziója során keletkezett hő 500-800 kilométer vastag magmaóceánt hozott létre. Amit ma a Hold felszínén látunk, az a kihűlt és kikristályosodott magma.



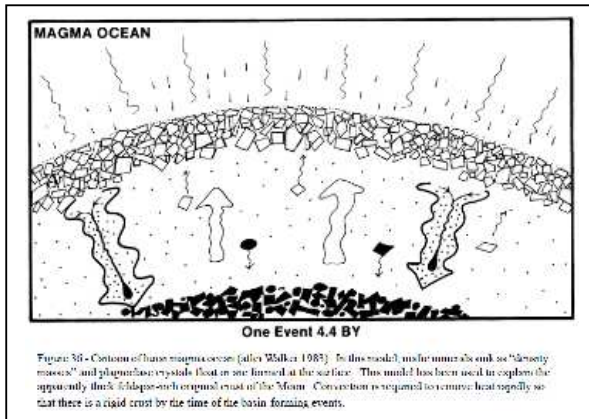
(forrás: NASA/Johnson Space Center)

S73-15393 minta
Apollo 17, norite 78236.
plagioklász és piroxén
ásványi anyagokat tartalmaz.

S73-19456 minta)
Apollo 17, troctolite 76535.
plagioklász és olivin,
de kis mennyiségű piroxén is jelen van.

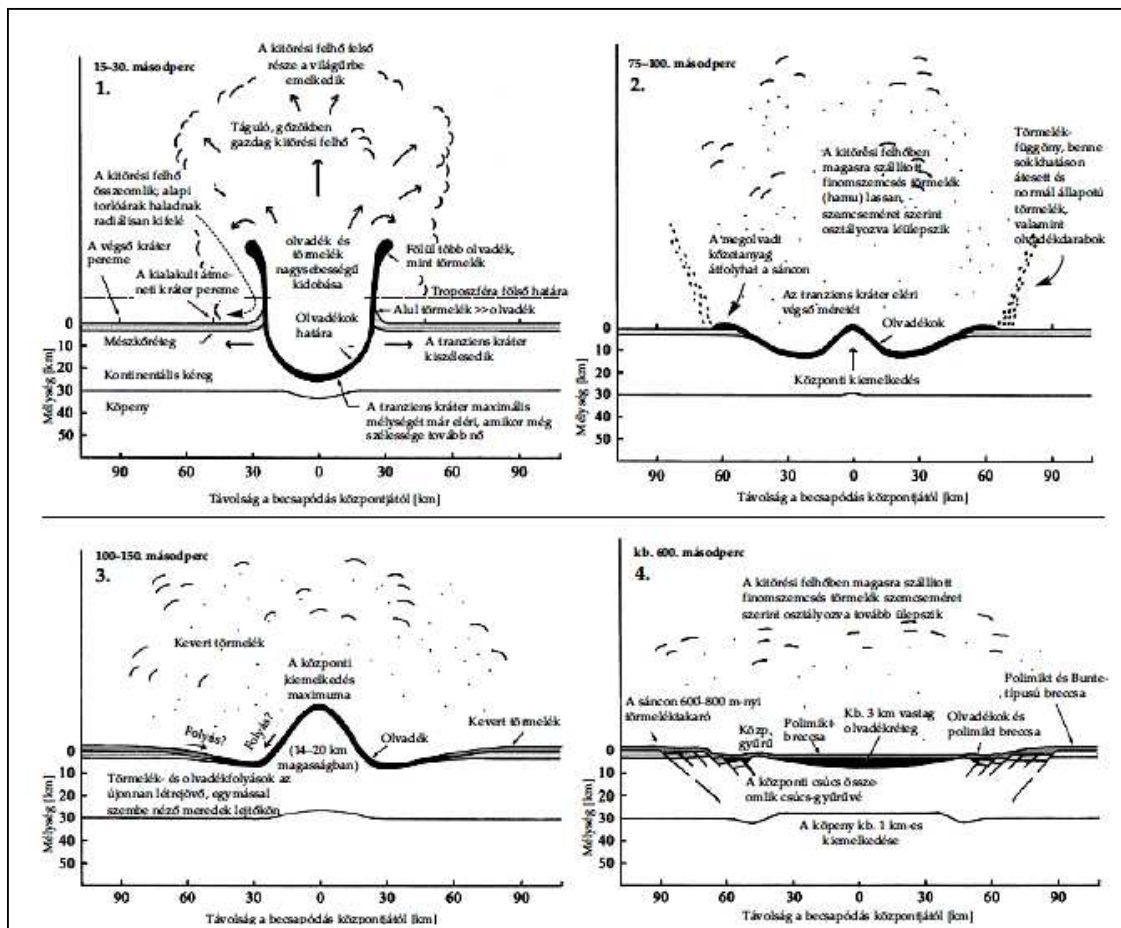
Az Apollo-17 űrhajósai által gyűjtött világos színű mélyégi holdkőzetek.

Ezek a kőzetek eredetileg a Hold kérgében mélyebb rétegekben alakultak ki 4,2 és 4,5 milliárd évvel ezelőtt, és csak később kerültek az égitest felszínére különböző geológiai folyamatok (pl. fajsúly szerinti elkülönülés, vulkánosság), vagy kisebb égitestek becsapódásai által kiváltott mozgások, anyagkidobódások következtében.

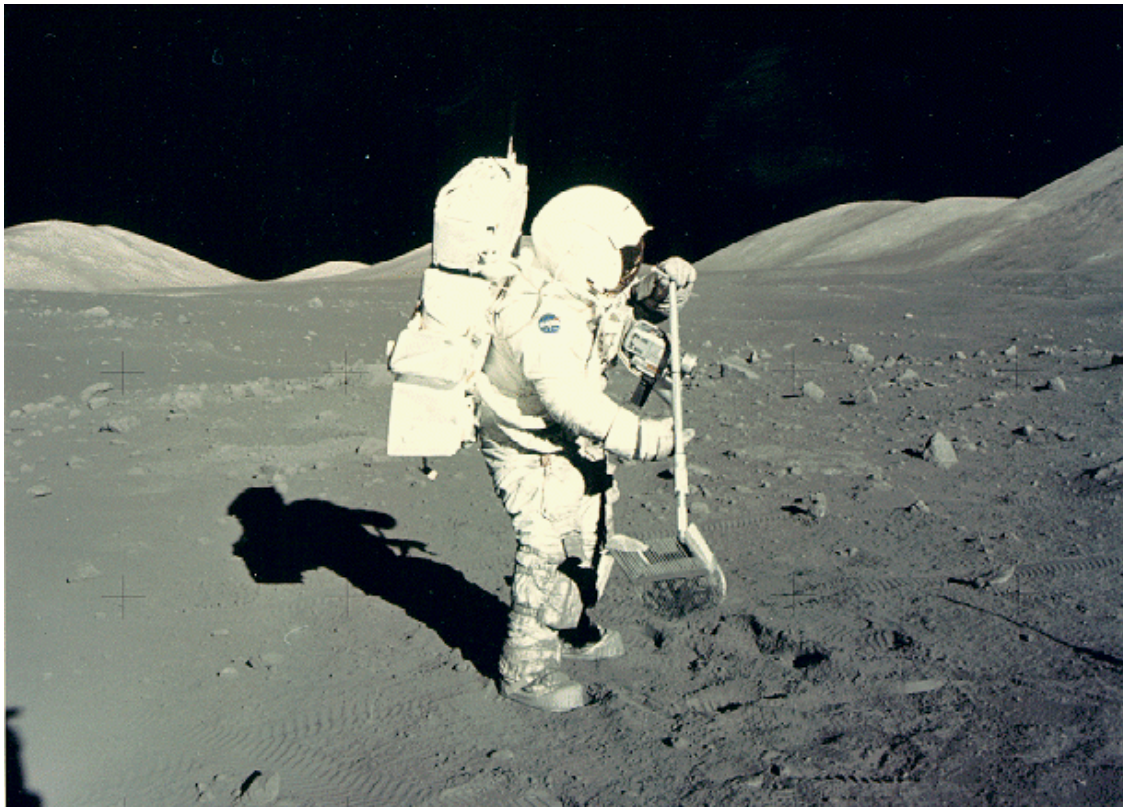


(forrás: Charles Meyer: The Lunar Petrographic, Educational, Thin Section Set, NASA Lyndon B., Johnson Space Center, 2003. szeptember, <http://curator.jsc.nasa.gov/education/lpetss/index.cfm>, http://curator.jsc.nasa.gov/education/lpetss/documents/CMEYER_booklet2003.pdf)

A mafikus (színes) ásványok pl. olivin, piroxén, ilmenit, cirkon, apatit, stb., lesüllyednek, a plagioklász szintelen (szálikus, felzikus) ásványok felusznak a felszínre. Ez a modell megmagyarázza, a Hold eredeti földpát gazdag kérgét.



(forrás: Henrik Hargitai, Szaniszló Bérczi, Arnold Gucsik, Ferenc Horvai, Erzsébet Illés, Ákos, Kereszturi, Szabolcs János Nagy: Impacts Processes, Traces, Effects in: Encyclopaedia of the Solar system, landforms of the Solar system (1), Eötvös Loránd University Cosmic Materials Space Research Group) A becsapódások által kiváltott mozgások és anyagkibővődások.



Apolló-17 űrhajós Harrison H. Schmitt gyűjt Hold mintákat a Taurus-Littrow leszállóhelyen. (www.psr.d.hawaii.edu/Dec09/Apollo-lunar-samples.html)

AS17-146-22294



(forrás: Lunar and Planetary Institute,
www.lpi.usra.edu/lunar/missions/apollo/apollo_17/surface_opp/)

Az Apolló-program keretében 1969 és 1972 közötti, 384 kg-nyi kőzetmintát sikerült begyűjteni a Holdról az oda érkező űrhajósoknak (ezek jó része a NASA-hoz került), így a vizsgált kőzetminták is innen származnak.

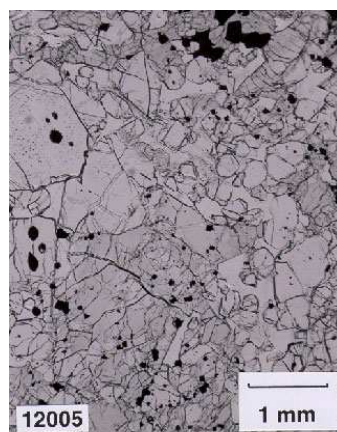
A NASA az 1970-es években egy 12 vékonycsiszolatból álló mintakészletet állított össze egyetemek számára a holdi expedíciókon gyűjtött holdközetekből. Húsz ilyen készlet készült, az egyiket a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetemen kölcsönzik és használják föl a geológia és az anyagtudomány oktatásában.



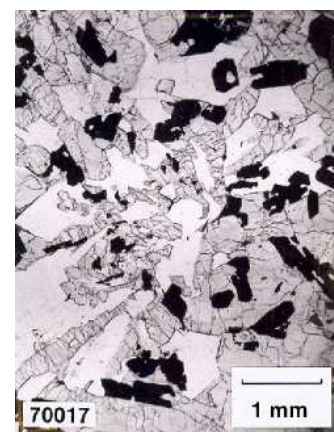
(forrás: Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport (KAVÜCS) az ELTE TTK Fizikai Intézet, Anyagfizika Tanszékén működő űrkutató csoport, és NASA Johnson Space Center (JSC), <http://hu.wikipedia.org/wiki/Holdk%C5%91zetek>)



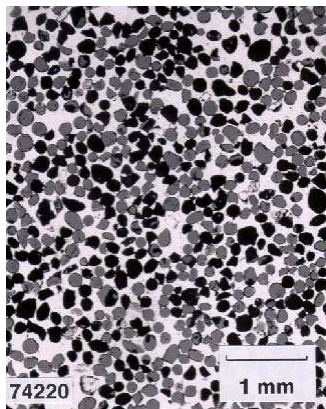
„mare” bazalt 12002



„mare” bazalt 12005



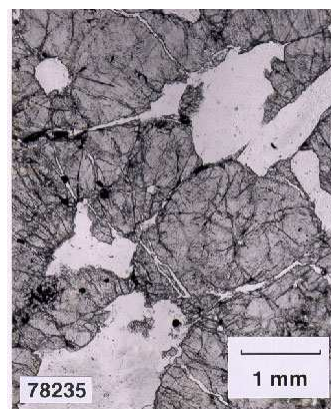
„mare” bazalt 70017



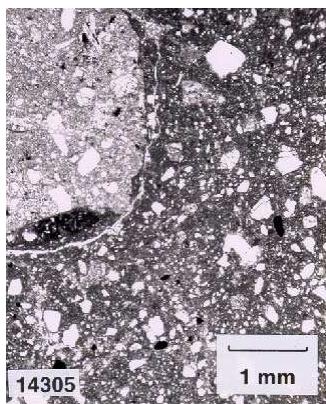
narancs színű kőzet
74220 minta



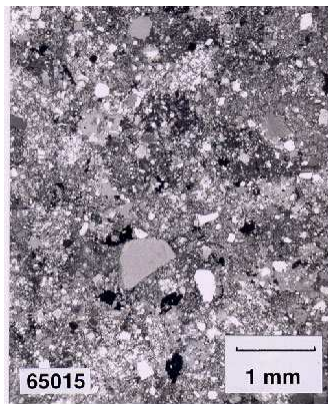
„cataclastic anortozit”
60025 minta



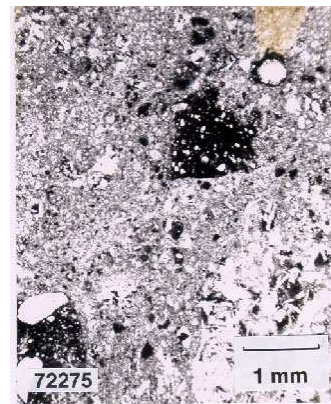
„shocked” norit
78235 minta



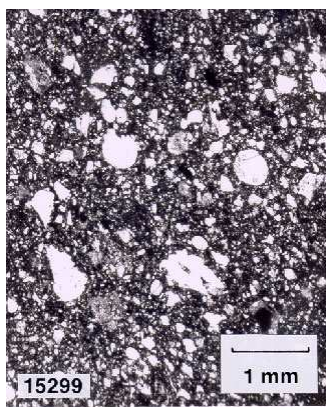
„polymict” breccsa
14305 minta



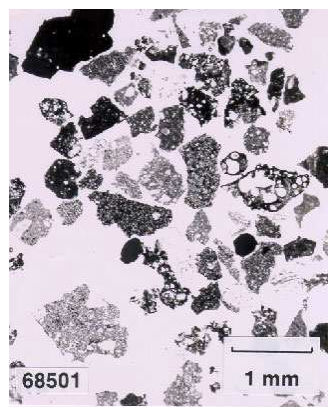
„impact” olvadt breccsa
65015 minta



„fragmental” breccsa
72275 minta



„regolith” breccsa 15299



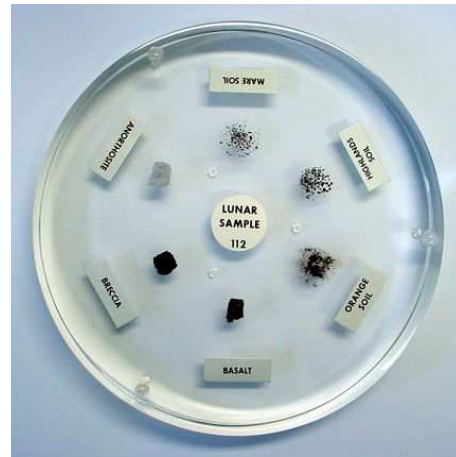
„highland soil” 68501



„Coarse-fine” 75081

(forrás: NASA, Lunar and Meteorite Petrographic Thin Section Program,
<http://curator.jsc.nasa.gov/education/thinsections.cfm>, és
OU-NASA Virtual Microscope, [www.open.ac.uk/earth-research/tindle/
AGT/AGT_Home_2010/NASA_List.html](http://www.open.ac.uk/earth-research/tindle/AGT/AGT_Home_2010/NASA_List.html))

Az epoxiba beöntött kőzetminták a három legfontosabb holdi kőzettípust mutatják: a bazaltot, az anortozitot és a breccsát. Tartalmazznak azután még három talajmintát is: a felföldekről származó, a holdi „tengerekről” származó talajt és a narancs színű talajt. A Hold kőzetei eredetüket tekintve magmás kőzetek, melyeket a későbbiekben a becsapódások átalakítottak: összetördeltek, szétszórtak, részben meg is olvastottak.



(forrás: hu.wikipedia.org/wiki/Holdk%C5%91zetek)



(forrás: <http://curator.jsc.nasa.gov/education/lunar-disks.cfm>,
<http://curator.jsc.nasa.gov/education/diskinfo.cfm?disk=54>)

Az oktatási holdközvet mintasorozat jó áttekintést ad a Hold főbb kőzettípusairól. Vizsgálatuk képet ad a Holdon lejátszódott fontosabb kőzettani folyamatokról.

- 1.) a holdi kéreg kialakulása (az anortozit minta és a norit minta),
- 2.) a bazaltos mare („tenger” sötétebb területek a holdon) előntések kialakulása és a bazaltok rétegződése (3 bazaltos minta és egy szitált frakció a narancsszínű talajból, amit lávaszökőkút hozott létre),
- 3.) a breccsák keletkezése (3 breccsa minta, egy-egy a felföldi és mare területről és egy a Fra Mauro Formációról),
- 4.) a holdi regolit keletkezése (2 talajmintából szitált frakció és egy talajbreccsa).



A Hold külső kérgé az égitest összeállása után megolvadt. A magmaóceánból kristályosodott ki az az anortozitos kéreg, a holdi felföld. A holdi magmaóceán a teljes holdra kiterjedt, melyre az ásványok ritkaföldfém gyakorisága alapján lehet következtetni.

Az anortozitok ősi terra kőzetek. Valamikor régen, keletkezésük idején, kumulátos szövetűek voltak. Később a sok becsapódás hatására, a sok ütközéstől összetöredeztek. Ez az ütközés hatására történt szövetátalakulás (shock-metamorphosed) impact (sokk vagy becsapódásos) metamorfózis különféle szöveti jegyekben mutatkozik meg.

A Hold anortozitos kérgét a keletkezése utáni fél milliárd évben több nagyméretű égitest becsapódása érte, amelyek feltördelték az anortozitos kérget, körkörös medencéket hoztak létre (ezeket a körkörös medencéket bazaltláva töltötte föl, és vékony lávafolyásokat alkottak), és hatalmas területekre terítették szét a kidobott törmeléktakarót. A hold kérgét alkotó anortozitos kőzetek ezért többségükben breccsás szövetűek. Az Apolló-űrhajósok által hozott anortozit minták többségében megfigyelhetjük az összetördelt ásványokat, a breccsás szövetszerkezetet.

A terra közetek egy másik típusát képviselik a noritok. A norit fele részben plagioklász földpátból, fele részben rombos piroxénből áll. A plagioklász, ütközés hatására, megüvegesedett, maskelynitté alakult át. A noritok az anortozitos ősi kéregbe benyomuló magmatestek kőzetdarabjai. A noritok az anortozitokkal együtt alkotják a holdi kéreg két fő kőzettípusát.



(forrás: NASA, hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:Apollo15DunaTisza.jpg)

Az Apollo-15 Hold körül keringő egységének felvétele (1971.) a Prinz kráter közelben, az Arisztarkhosz-krátertől északra található „folyóvölgyekről”, melyek valószínűleg beroppant lávacsatornák. Két völgy alakja a Magyar Alföldön áthaladó Duna és Tisza vonalához nagyon hasonló lefutású, csak harmadakkora méretben található a Holdon.

A holdi kéregbe történt nagy becsapódások medencéket alakítottak ki a Holdon. A Hold látható oldalán ezeket a körkörös medencéket bazaltláva folyások töltötték föl. A holdi vulkanizmus hosszú ideig eltartott, s a higan folyó láva hatalmas távolságokon, vékony rétegekben terült szét. A holdi bazaltok keletkezésének kora csaknem egy milliárd évet fog át.

Az Apolló expedíciókon a Földre hozott holdkőzetek kora 3,7 és 3,2 milliárd év közé esik.

A holdi lávák vékony rétegekben kerültek szét.

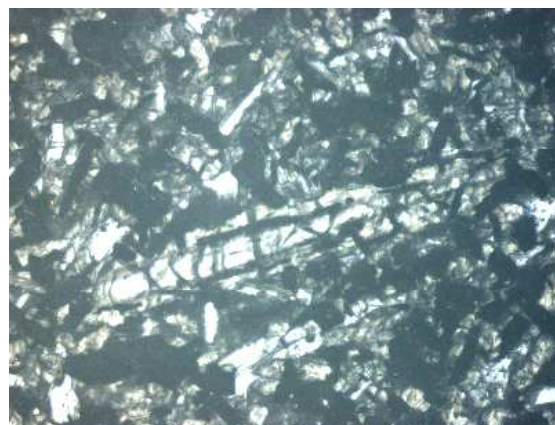
A felszíntől lefelé haladva más és más jellegű szöveteket találunk egy lávafolyásban.

A lehűlés körülményei erősen hatnak a szemcseméretre. A gyorsan lehűlő szilikátolvadékból apró kristályok válnak ki, míg a hosszú ideig (például nagy mélységben) kristályosodó kőzetek durva szemcsés szövetűek lesznek.

A szövetek az üveges elegyrészeket is tartalmazó szferulitos szövegtől elindulva rendre a következő típusokat tartalmazzák: variolitos szövet, interszertális szövet, intergranuláris szövet, szubofitos szövet, ofitos szövet, poikilitos szövet.

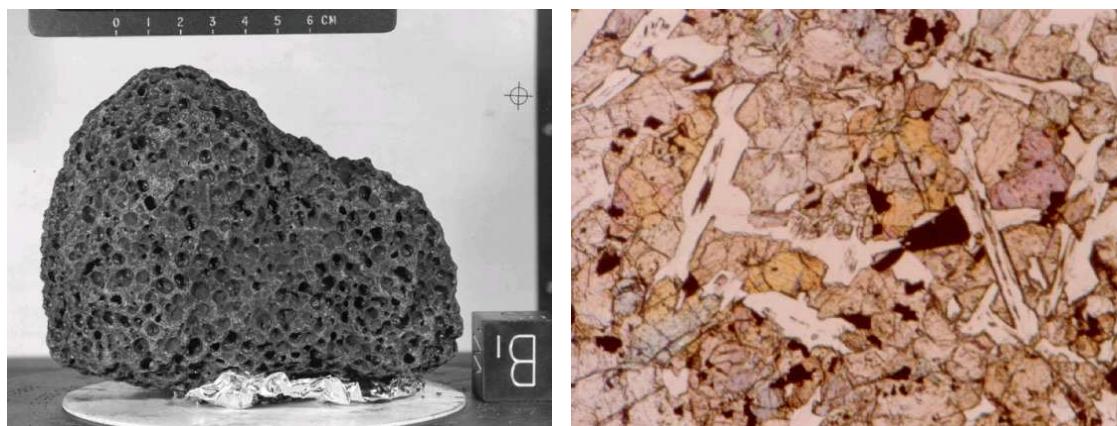
A holdi bazaltok között a legtöbb típusra van példa, néha azonban csak úgy, hogy töredékként jelennek meg a breccsákban. Ilyen szövetsort földi ofiolitokban, vagy párnalávákban is találtak kutatók (Józsa, 2000).

(forrás: Bérczi Szaniszló Naprendszeranyagokról készült rajzgyűjteménye, ELTE TTK – MTA KAVŰCS, hu.wikipedia.org/wiki/Holdk%C5%91zetek)



(forrás: NASA/Johnson Space Center photograph S76-25456, www.lpi.usra.edu/lunar/samples/atlas/lab_view/?mission=Apollo%2011&sample=10049&side=w, www.lpi.usra.edu/lunar/samples/atlas/thin_section/?mission=Apollo%2011&sample=10049&source_id=JSC04196)

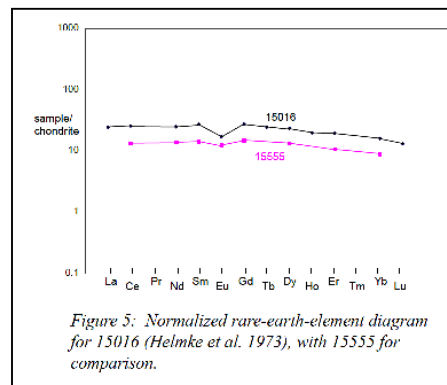
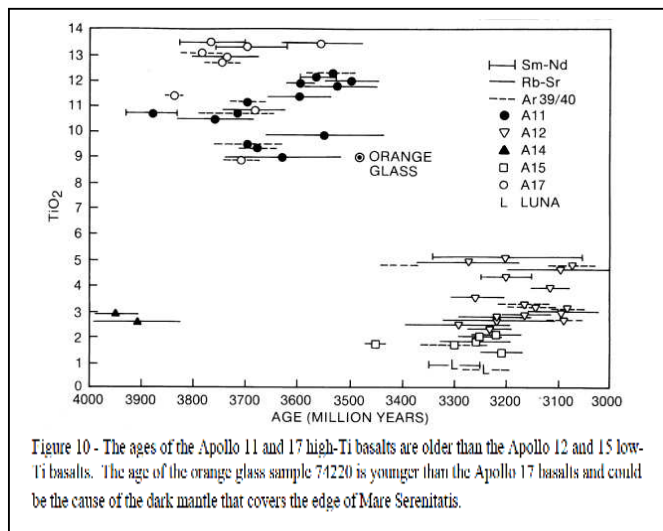
Apollo 11 program során begyűjtött bazalt minta 10049, és vékonycsiszolat visszavert fény mikroszkópos képe (JSC04196) 10x nagyításban.



(forrás: NASA fotó S71-46986 NASA fotó S79-26733
<http://curator.jsc.nasa.gov/education/lpetss/index.cfm>,
<http://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/15016.pdf>)

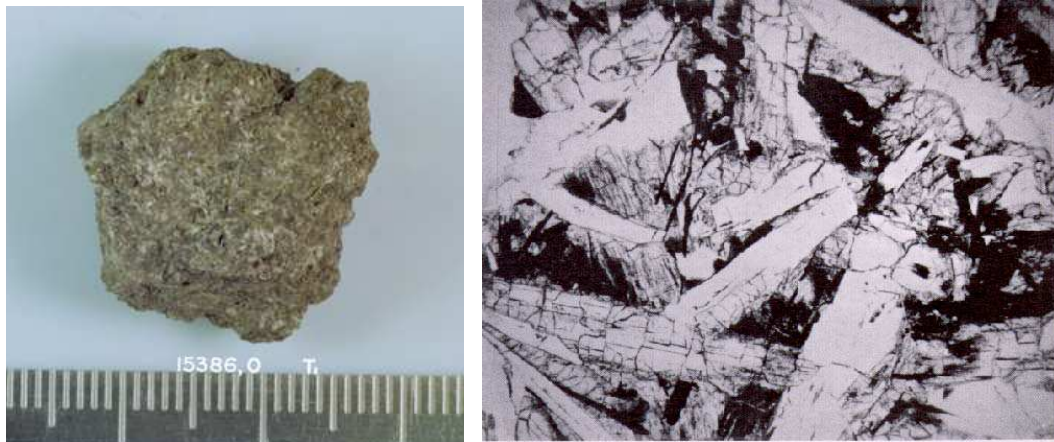
Hólyagos Mare-bazalt, 15016 minta és vikonycsiszolat fotomikrográf.
 Az Apollo 15 hozta a Hold Hadley Rille területéről.

A Mare-bazaltok kémiai összetételük alapvetően megegyezik minden tenger esetében, főként plagioklászból, ilmenitből és piroxénből állnak, közülük ez utóbbi a leggyakoribb. Többnyire kristályos kőzetek, sötétszürke vagy fekete színűek. Kétféle van belőlük: fiatalabb (3,15-3,45 milliárd éves), kis titántartalmú (1-5%-nyi TiO_2), és idősebb (3,55-3,87 milliárd éves) magas titántartalmú (9-13%-nyi TiO_2) bazaltok.



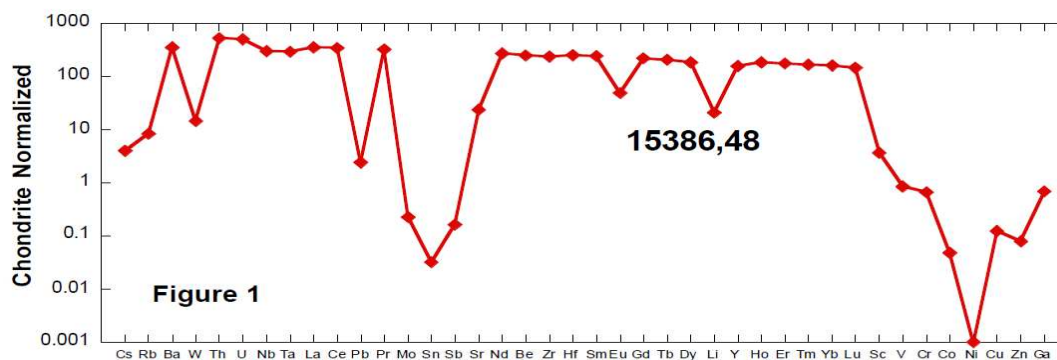
(<http://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/15016.pdf>)

(forrás: Charles Meyer: The Lunar Petrographic, Educational, Thin Section Set, NASA Lyndon B., Johnson Space Center, 2003. szeptember,
<http://curator.jsc.nasa.gov/education/lpetss/index.cfm>,
http://curator.jsc.nasa.gov/education/lpetss/documents/CMEYER_booklet_2003.pdf)



(forrás: Lunar and Planetary Institute, S76-24072, KREEP-bazalt 15386, www.lpi.usra.edu/lunar/samples/atlas/detail/?mission=Apollo%2015&sample=15386, és www.lpi.usra.edu/lunar/samples/atlas/misc_view/?mission=Apollo%2015&sample=15386&source_id=S76-24072 és <http://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/15386.pdf>)

A KREEP-bazaltok (Kalium, Rare Earth Elements and Phosphor = jelentős kálium, ritkaföldfémek és foszfor tartalom) sok radioaktív izotópot, főként 40-es káliumot tartalmaznak. Feltehető, hogy anyagaik a holdi tóriummal együtt az második differenciálódás végén, a kéreg és a köpeny között keletkeztek, és később a tűzhányókból, vagy a kozmikus ütközések segítségével kerültek a felszínre. (Sik-Simon,1999). A 15386 minta a legnagyobb érintetlen KREEP bazalt a gyűjteményben, hiányoznak belőle a sziderofil elemek („vaskedvelő”, fő elemei: a vas, kobalt, nikkel, ruténium, ródium, palládium, ozmium, irídium, platina; átfutó és kérdéses elemek: arany, rénium), ebből következően nem szennyezett meteorit törmelékkel, így indogenous (őseredetű) holdi vulkáni olvadék. A KREEP-üvegek a sugaras szerkezetű kráterek világos vonalaiban is nagy mennyiségben fellelhetőek.



(forrás: C. R. Neal, G. Kramer: The composition of kreek: A detailed study of KREEP basalt 15386., Department of Civil Engineering and Geological Sciences, University of Notre Dame, Lunar and Planetary Science XXXIV (2003), www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2003/pdf/2023.pdf)

A bazalt minták a holdi második nagy differenciálódási korszakot képviselik a holdi vékonycsiszolat gyűjteményében.



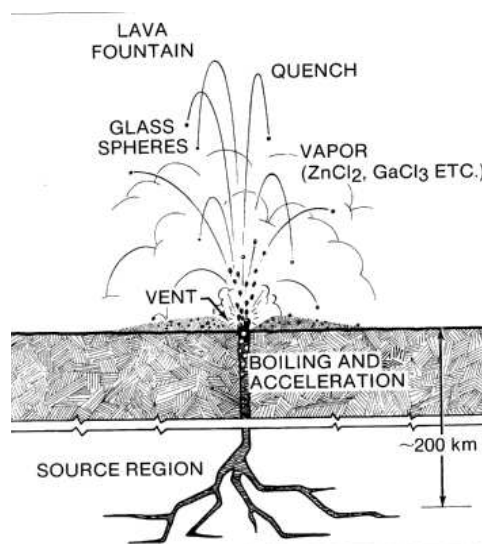
(forrás: Bérczi Sz., Maros G., Szabó Sóki L., Varga T.: „A naprendszer anyagai” (2001) videofilm anyagából, ELTE TTK, Általános Fizika Tanszék, Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, (KAVÜCS)
<http://planetologia.elte.hu/nyomtat.phtml?cim=hold-irassal.html>)

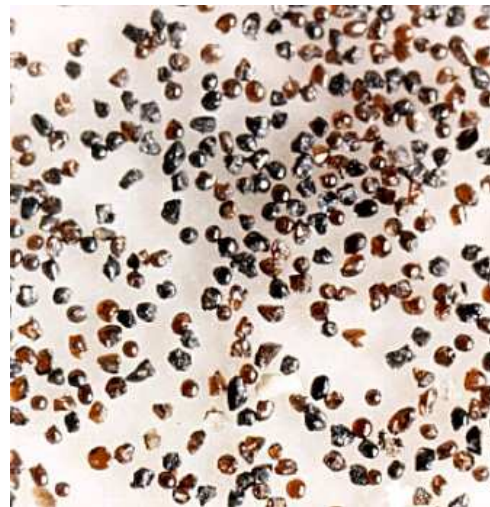
Az egyetlen színes kőzetminta a narancs színű talajminta volt. Élénk narancs színüket a nagy titántartalom okozza. (74420 minta.)

Nagy mélységből a felszínre tört láva szökőkútjából csapódtak ki az üvegszemcsék.

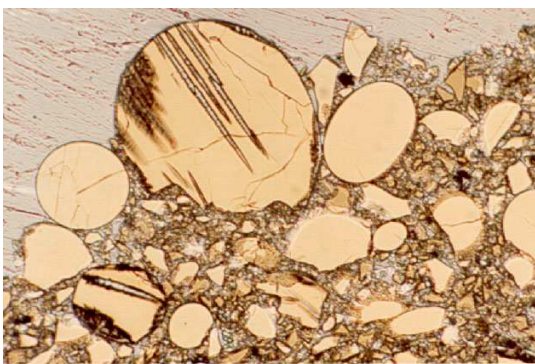
(forrás: Charles Meyer: The Lunar Petrographic, Educational, Thin Section Set, NASA Lyndon B., Johnson Space Center, 2003.

curator.jsc.nasa.gov/education/lpets/documents/CMEYER_booklet2003.pdf)





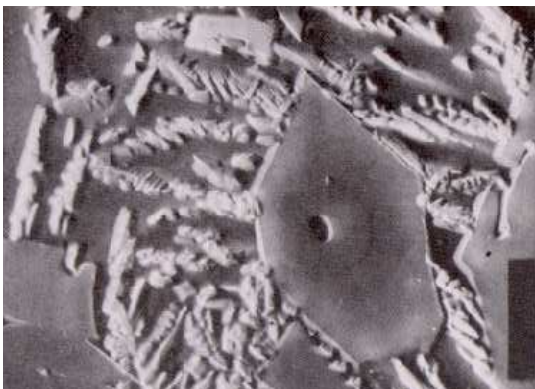
Az Apollo 17 legénysége a Shorty kráter környékén a Taurus-Littrow völgyben fedezte fel a narancssárga vulkáni üveg gömböcskéket tartalmazó talajt, mely a mare bazalttal egyidős 3,6 milliárd éves (talajminta 74220).



A 74220 talajminta vékonycsiszolat fotomikrográfon látható a narancssárga üveggyöngyök és töredékek.

A narancssárga üveg részben kristályosodott olivin tűk finom ilmenit szegéllyel.

A nagy gyöngy a képen ~1 mm. (NASA photo S79-27295).



A 74220 talajminta pásztázó elektronmikroszkópos képe.

A „fekete üveg” csepp részben apró hirtelen lehült „quench crystals” (átmenet néhány fokkal a kristályosodás előtt) olivin, ilmenit és króm kristályok vannak az üveg mátrixban. Az ilmenit „tollak” (világos csíkok a képen), okozzák fekete megjelenését az üveggyöngyöknek.

(Heiken és McKay 1977.). Lépték (fekete csík a kép jobb szélén) 10 mikron.

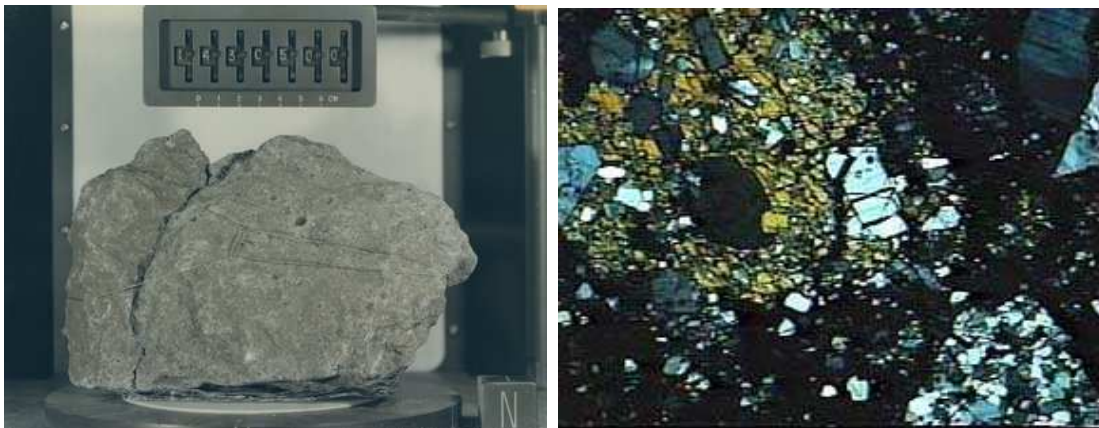
(forrás: NASA photo AS17-137-20990, S73-15085, és S79-27295.

Charles Meyer, Lunar Sample Compendium, Astromaterials Research and Exploration Science (ARES), OU-NASA Virtual Microscope, www.open.ac.uk/earth-research/tindle/AGT/AGT_Home_2010/NASA_74220A.html
<http://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/74220.pdf>)

A két nagy holdi differenciálódási korszak a hold kialakulásának első másfél milliárd évében zajlott le. Azóta csak az ütközések nyomán tördelt, majd újracementált szilánkokból létrejövő breccsák keletkeznek.

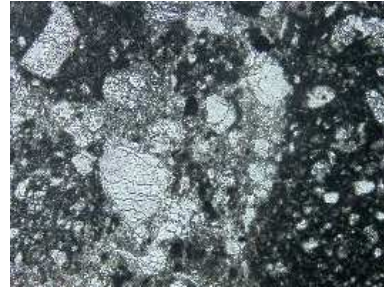
A breccsák még az anortozitoknál is tördeltebb ásványok.

A meteoritbecsapódások ütése összetett átalakító folyamatokat indít el a felszíni kőzeteken, amelyeket szögletes törmelékké apróz, egymáshoz tapaszt vagy összeolvasztot, végül újrakristályosodván, megszilárdulnak. Az összes holdi breccsa viszonylag sok Al_2O_3 -at foglal magába. A breccsák némelyike sokszor átesett ezen a folyamaton, ezért alakulhatott ki soknak a „breccsa-a-breccsában” szövete (például a 14305, és a 72275 minták).



(forrás: Lunar Sample 14305, Apollo 14 Mission, Photo Number: S-71-31391 www.lpi.usra.edu/lunar/samples/atlas/lab_view/?mission=Apollo%2014&sample=14305&side=n, és Bérczi Szaniszló: Holdi fejlődéstörténet a Holdről gyűjtött kőzetminták alapján, ELTE TTK, Általános Fizika Tanszék, <http://planetologia.elte.hu/1cikkek.phtml?cim=egitestfejlodesek-2.html>)

Sok breccsában különböző eredetű kőzetszilánkok és töredékek keveredtek össze (polimikt breccsák), míg más breccsák egyetlen megelőző kőzet (protokőzet) összetördeléséből alakultak ki (monomikt breccsa). Sok breccsában a mátrix anyaga megolvadt és újrakristályosodott. A becsapódási kráter közepén találjuk azokat a kőzeteket, amelyek a megolvadt kőzetekből és a rájuk visszahullott törmelékekből alakultak ki. A breccsákban nagyméretű kőzettöredékeket, kőzetszilánkokat találunk beágyazva. A breccsákban található kőzetszilánkokat, nagyobb méretű szövetelemeket fölhasználhatjuk a breccsák jellemzésére, osztályozására. Ha a kőzetszilánkok, szemcsék egymást szinte érintik, mondhatjuk úgy, hogy egymáson támaszkodnak, akkor szemcsevázú szövetről beszélünk. Ha ezek a nagyobb szemcsék teljesen körül vannak véve apróbb szemcsékkel, szinte úsznak az aprószemcsés mátrixban, akkor mátrixvázúnak nevezzük a szövetet. A holdi breccsákban mindkét szövettípus és a már említett breccsa-a-breccsában szövet is előfordul.



(forrás: www.lpi.usra.edu/lunar/samples/atlas/thin_section/?mission=Apollo%2014&sample=14306&source_id=JSC03277)

Vékonycsiszolat (14306)
10x-es nagyításban.

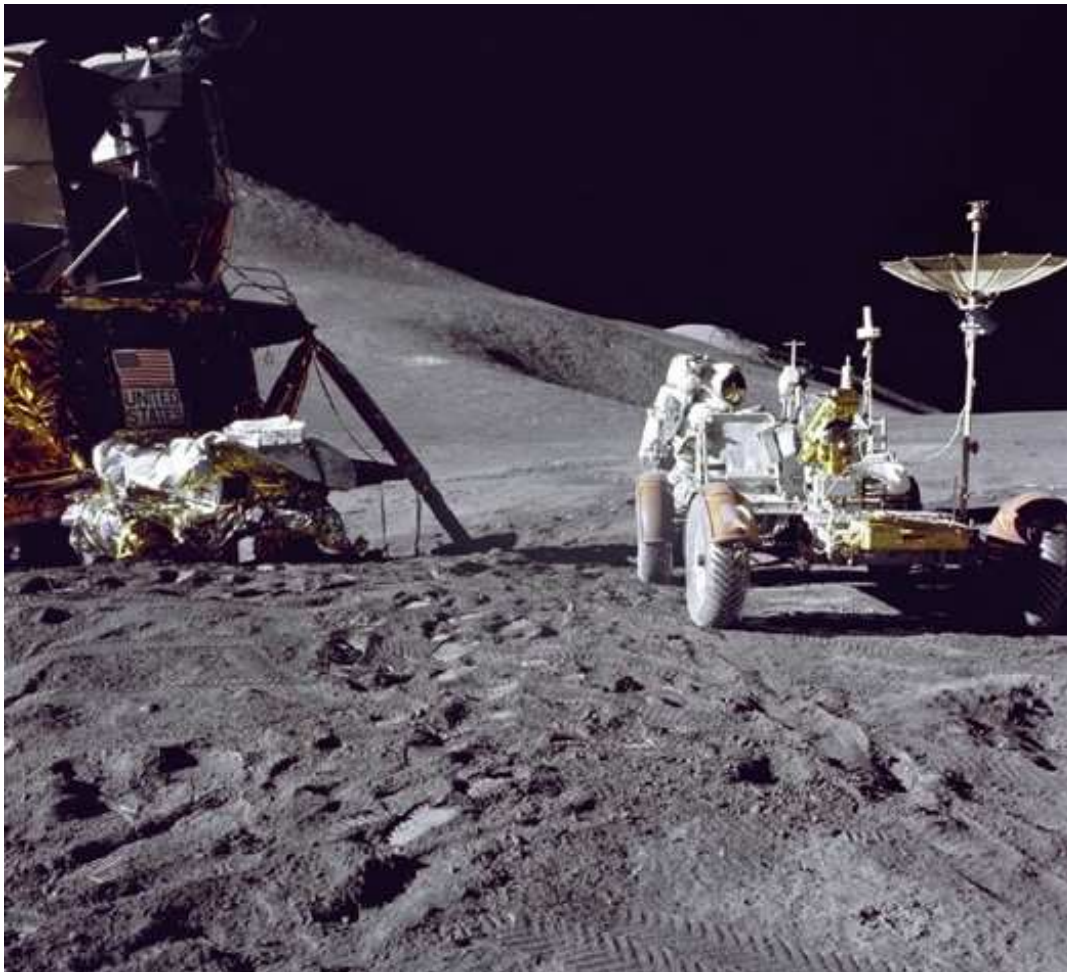
Durvaszemcsés holdi polimikt breccsa (14306) „Fra Mauro Formation”, tipikus vulkánikus anyag. A mintát az Apollo 14 legénysége (Alan Shepard és Edgar Mitchell) gyűjtötte Fra Mauro kráter környékéről (NASA, 72-22103). A leggyakoribb típus, amely megfigyelhetően két fázisból álló összetett kőzet; a durvaszemcsés, éles szélű törmelékreszecskéket finom kőzetszövet cementálja egybe. Ezek egyes alkotórészei általában különböző helyeken, eltérő módon keletkeztek, s később elkeveredtek, azután egy-egy meteorit okozta hó hatására összesültek.



Holdi breccsa, az Apollo 17 legénysége fényképezte. (NASA, AS-17-164-5954)

(forrás: Charles Meyer: The Lunar Petrographic, Educational, Thin Section Set, NASA Lyndon B., Johnson Space Center, 2003. szeptember, <http://curator.jsc.nasa.gov/education/lpetss/index.cfm>, http://curator.jsc.nasa.gov/education/lpetss/documents/CMEYER_booklet2003.pdf)

A holdi regolithban (szilárd kérgű égitestek felszínén fizikai aprózódás, kémiai mállás, stb hatására képződött törmelékes összlet) mindhárom alapkőzet megtalálható, a magmatikus eredetű, a holdpor, és a breccsák. Ez a viszonylag vastag por és törmelékréteg a hegyek kivételével a Hold egész felületét borítja. A regolithszemcsék mérete széles határok között változik, általában 2 mm-nél kisebb, de méteres darabok is vannak. A becsapódások okozta erózió hatására alakult ki az eredeti felszíni kőzetrétegekből. Ezeket a sorozatos becsapódások feldarabolták, breccsásították, felolvasztották, gyakran megüvegesítették. Ez a folyamat természetesen ma is tart.



(forrás: Apollo 15: Regolith breccia, www.open.ac.uk/earth-research/tindle/AGT/AGT_Home_2010/NASA_15299A.html)

A regolith rétegesen helyezkedik el, az egyes eltérő szemcseméretű és vegyi összetételű sávok egy-egy kráterképző esemény eredményei. Így a vastagság lépcsőzetesen nőtt, és mivel két nagyobb ütközés között hosszú idő is eltelt, ezalatt a felszíni réteget a napszél és a mikrobecsapódások jelentősen átformálhatták. Így alakult ki a felszíni jellegzetes, finom porból álló, tapadós „holdtalaj”. (Herrmann, 1992).



Regolith breccia 15299,67 minta
vékonycsiszolat fotomikrográf, és
OU-NASA Virtual Microscope,
<http://projects.kmi.open.ac.uk/microscope/sections/15299/>

(forrás: Apollo 15: Regolith breccia, (sample # 15299) www.open.ac.uk/earth-research/tindle/AGT/AGT_Home_2010/NASA_15299A.html, és <http://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/15299.pdf>)

A Holdon eddig - a különböző módosulatokat és kísérő fázisokat is figyelembe véve - összesen alig 30, igen egyszerű ásványfajtát találtak, míg a Földön közel 3000-et ismerünk, melyek legtöbbje sokkal összetettebb.

A holdfelszín ásványainak 95 tömegszázaléka a következő egyszerű anyagokból épül fel (Bérczi, 1994): SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , FeO és TiO_2 (ez utóbbi inkább egyes Mare-bazaltokban fordul elő).

A fontosabb kőzetalkotó ásványok ezekből az anyagokból kombinálódnak: Olivin $(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{SiO}_4$, ez a bazaltok egyik legfontosabb összetevője; sárgászöld színű, rombos kristályai vannak.

Piroxén $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ca})_2\text{Si}_2\text{O}_6$, fényes, általában sötétzöld vagy sötét, a barna-fekete közötti szilikát, a Földön pl. a vulkáni tufában megtalálható.

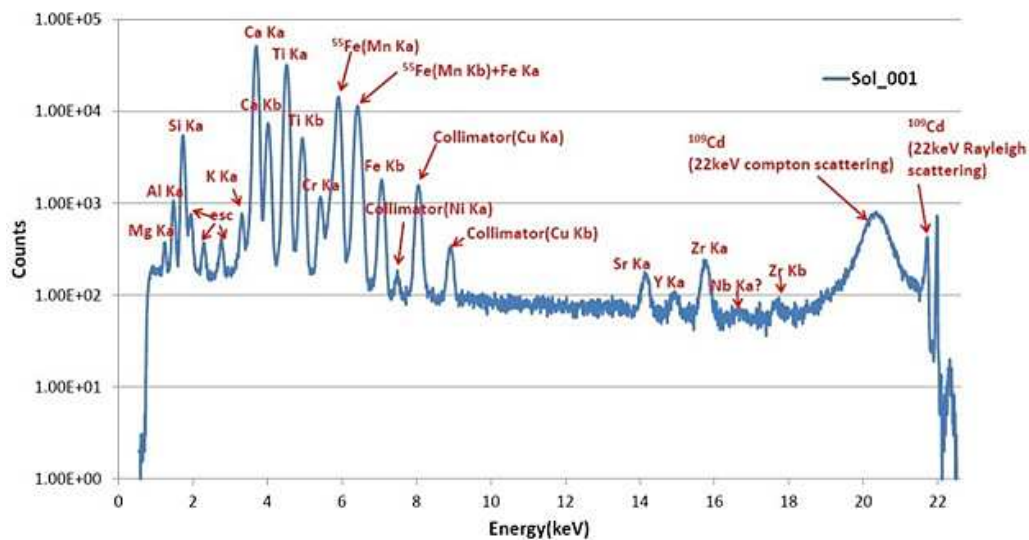
Plagioklász $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, ez egy földpátféle ásvány.

Ilmenit (FeTiO_3) , és kísérőfázisai: vas (Fe), triolit (FeS), ez utóbbi az egyetlen szulfid, amit eddig találtak a Holdon.

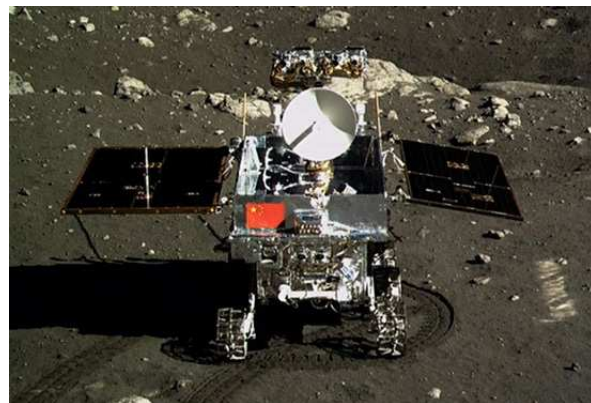
Négy új ásványt is találtak a Holdon, az Armalcolit-ot $[(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})\text{Ti}_2\text{O}_5]$, a Tranquillityit-ot, $[\text{Fe}^{2+}_8(\text{ZrY})_2\text{Ti}_3\text{Si}_3\text{O}_{24}]$ a Pyroxferroit-ot $[(\text{Fe}^{2+}, \text{Ca})\text{SiO}_3]$ és a Yttrobetafit-ot $[(\text{Ca}, \text{Y})_2(\text{Ti}, \text{Nb})_2\text{O}_7]$, amely egy piroklor oxidásvány.

Az elemeloszlás más a Holdon felszínén, mint a Földön. A Holdon is sok a Si és az Al, még több a Fe, a Ca, és a Mg, ugyanakkor a Ni és a Ti is igen gyakori; a magas titántartalom okozza a felszín sötétszürke színét is. Viszont alkálifémekből, mint a Ba, vagy az illékonyabb Na, K, amelyek a Földön bőven előfordulnak, a Holdon csak nagyon kevés van, ugyanígy a Cu-ból és az U-ból is (Herrmann, 1992).

A kínai holdjáró első tudományos eredményei közül kiemelkedik, hogy első ízben határozta meg közvetlenül holdfelszíni regolit elemgyakoriságát az APXS (Active Particle-induced X-ray Spectrometer) műszerével. A felszínt radioaktív forrás alfa-részecske és röntgen sugaraival besugározzák, és a kapott fluoreszcens röntgensugarak energiaspektrumából a felszínt alkotó kémiai elemek gyakorisága meghatározható. Az első eredmények szerint a nyolc fő kőzetalkotó elem (Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr és Fe) és legalább 3 kisebb gyakoriságú elem (Sr, Y és Zr) azonosítható volt. A Chang'e-3 leszállóhelyén a holdi mare bazalt „kék” (kevésbé „vörös”) változatát találták, amelynek nagy a titán tartalma és mintegy 3 milliárd éves. A leszállóhelytől 10-20 kilométerre északabbra a mare bazalt „vörös” változata várható, ahol a terület kora mintegy 3,5 milliárd év. Már bekapcsolták a holdfelszín alá mintegy 30 méter mélységig „belátó” radart is, amelytől rendkívül érdekes eredmények várhatók. A holdjáró a tervek szerint három hónap alatt mintegy 10 kilométeres utat jár majd be. (Csillagászat.hu – MCSE)

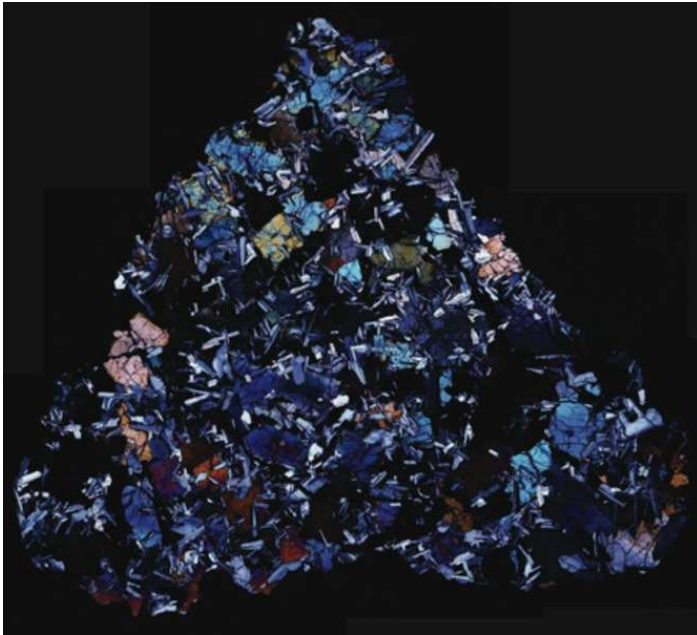


(forrás: Institute of High Energy Physics, IHEP, Kínai Tudományos Akadémia Nagyenergiás Kutatóintézete, www.moondaily.com/reports/Chang_e_3_satellite_payload_APXS_obtained_its_first_spectrum_of_lunar_regolith_999.html és Chinese National Space Administration (CNSA)/China Central Television (CCTV), 2013. http://planetary.s3.amazonaws.com/assets/images/3-moon/20131215_yutu_on-moon.jpg)



Yutu rover fedélzeti APXS műszerével a Hold felszínén, a fotót a Chang'e 3 lander készítette (2013. December 14.)

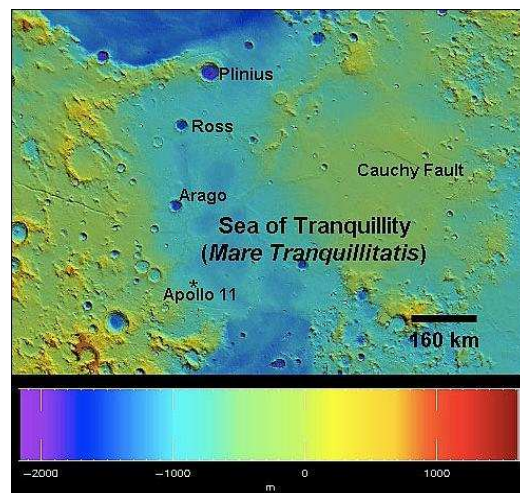
Az első Holdraszállás a Mare Tranquillitatisban (Nyugalom tengerén) történt. Az Apollo-11 űrhajósai 1969 júliusában jártak a Holdon és 58 mintát, 21,6 kilogrammnyi holdkőzetet gyűjtöttek. A kőzetminták között olyan ásványok is szerepeltek, amelyek ebben az összetételben a Földön még nem fordultak addig elő. Az egyik ilyen vas-titán oxidásványt a három Apollo-11 űrhajósról nevezték el úgy, hogy nevük első szótagjából összeolvasva áll elő az ásvány neve: armalcolit (Armstrong, Aldrin és Collins)



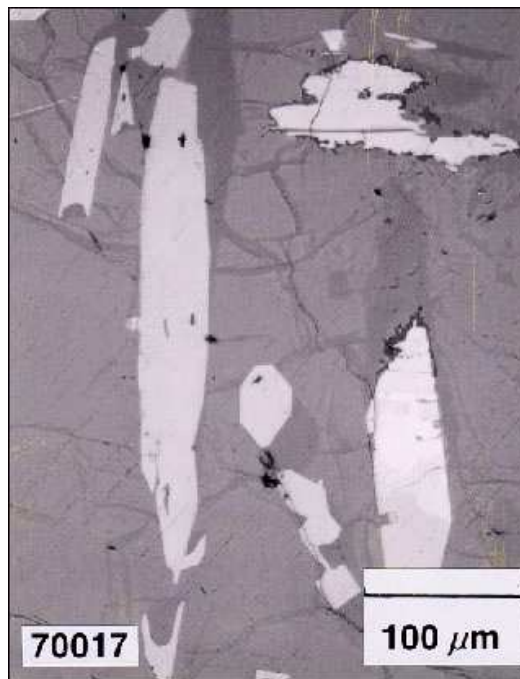
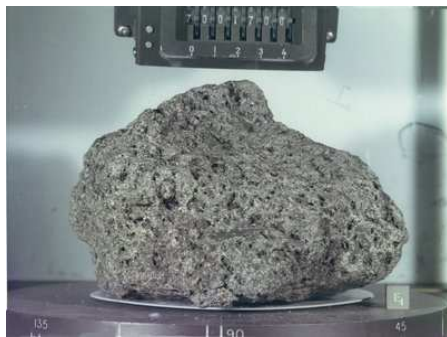
(forrás: Birger Rasmussen, <http://theconversation.com/moon-rocks-made-here-tranquillityite-discovered-in-western-australia-4956>)

A mikroszkópos kép egy durva-szemcsés bazalt vékonycsiszolata, amelyet a Nyugalom tenger területén az Apollo 11 űrhajósai gyűjtöttek.

A durvaszemcsés bazalt minták között, talált Földön addig nem ismert ásványi anyagok a pyroxferroit $[(\text{Fe}^{2+}, \text{Ca})\text{SiO}_3]$, az armalcolit $[(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})\text{Ti}_2\text{O}_5]$ és a tranquillityit $[\text{Fe}^{2+}_8(\text{ZrY})_2\text{Ti}_3\text{Si}_3\text{O}_{24}]$.



(forrás: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/1/lro>, és www.lpi.usra.edu/lunar/missions/apollo/apollo_11/surface_opp/)



(forrás: Apollo 17 Mission, Sample 70017, Photo Number S-73-15721, www.lpi.usra.edu/lunar/samples/atlas/lab_view/?mission=Apollo%2017&sample=70017&side=e, és alatta a mikroszkópi kép 20x –os nagyításban: High-titanium mare basalt, lunar thin section, Kurt Hollocher, 2003, http://minerva.union.edu/hollochk/c_petrology/moon_rocks/70017.htm, az ábra jobboldalán: NASA, Lunar and Meteorite Petrographic Thin Section Program, <http://curator.jsc.nasa.gov/education/LPETSS/70017.cfm>)

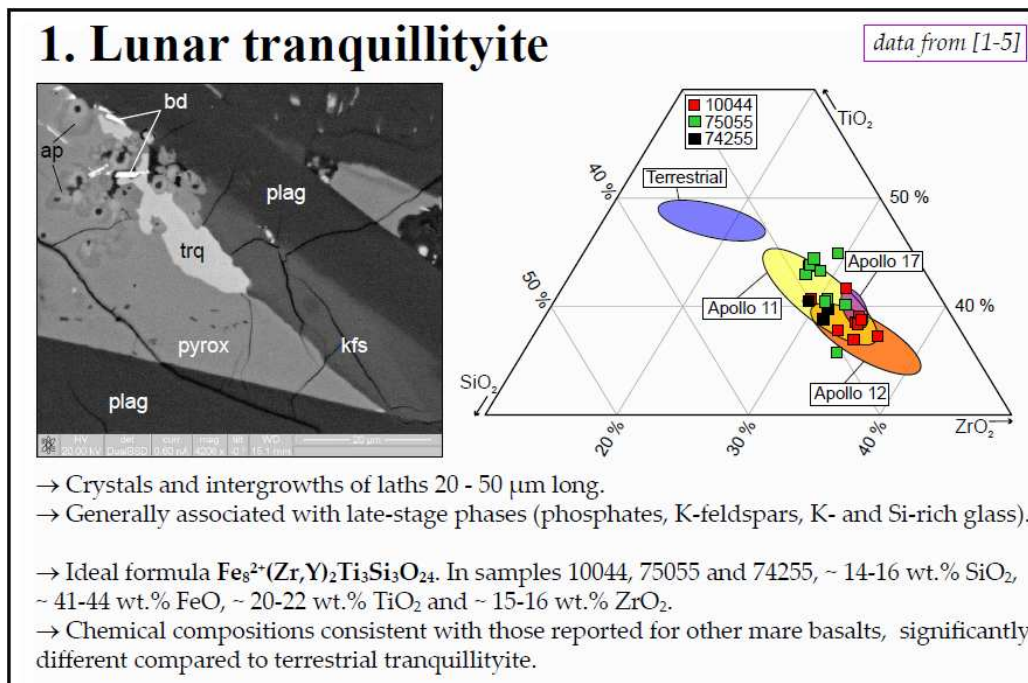
Hold kőzet (Lunar sample 70017), „mare” bazalt vénykonycsiszolat mikroszkópi képe. Ez a szikla tartalmaz bőségesen piroxént, plagioklászot és Fe-Ti oxidokat, amelyek magukban foglalják az ilmenitet, ulvospinelt és armalcolitet, és van még kevés olivin is a kőzetben. Hordó alakú armalcolite, amelyet nagyon nehezen megkülönböztethető az ilmenittől, jellemzően hatszög keresztmetszetű, de hosszúkás kúpos.

Később azonosítottak a Földön is ezeket az ásványokat. Az armalcolitot egyik földi lelőhelye a Disko szigetén (Grönland) fémvasban talált armalcolit, a bazaltláva széntartalmú rétegeken át tört utat a felszínre és a szén a lágában lévő vas egy kis részét redukálta. A holdi környezet szintén redukáló, míg a Földön csak rendkívüli körülmények között jöhet csak létre.

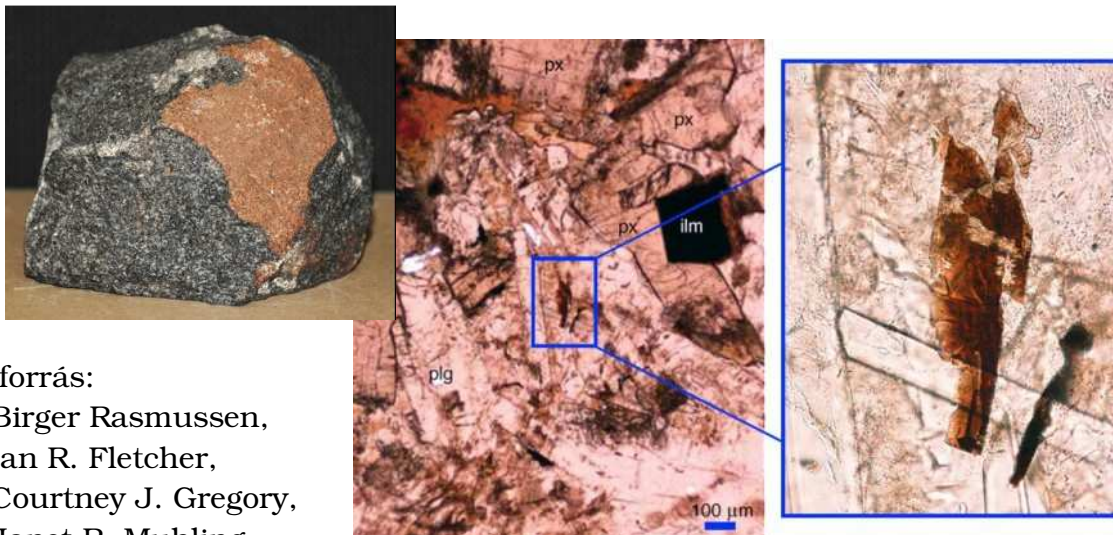
(forrás: Thomas Witzke, http://tw.strahlen.org/fotoatlas1/armalcolite_foto.html)

Armalcolite szemcse, 5 mm (Wat Lu mine, Mogok, Sagaing District, Mandalay, Myanmar (Burma).





(forrás: Romain Tartèse, Mahesh Anand, Thomas Delhaye: NanoSIMS Pb/Pb dating of tranquillityite in high-Ti basalts (#1274), The Open University, Milton Keynes, / The Natural History Museum, London / Université de Rennes, Rennes, www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2013/eposter/1274.pdf)



(forrás:
Birger Rasmussen,
Ian R. Fletcher,
Courtney J. Gregory,
Janet R. Muhling,

Alexandra A. Suvorova: Tranquillityite: The last lunar mineral comes down to Earth, *Geology* 2011. 11 23, geology.gsapubs.org/content/40/1/83.abstract, The Geological Society of America, Moon rocks' made here: tranquillityite discovered in Western Australia, <http://theconversation.com/moon-rocks-made-here-tranquillityite-discovered-in-western-australia-4956>)

Nyugat Ausztrália, Pilbara régió 1 milliárd éves dolerit kőzetében talált tranquillityit.

A washingtoni Carnegie Intézet és a NASA Sugárhajtómű Laboratóriuma (JPL) kutatóinak vezetésével egy nemzetközi kutatócsoport ismét laboratóriumi vizsgálatnak vetette alá az Apollo-17 űrhajósai által a Holdról a Taurus-Littrow vidékről 1972-ben a Földre hozott kőzetminták egy részét. Már a hetvenes évek óta kérdés, hogy a holdkőzetekben talált szén honnan származik. Korábban úgy gondolták, hogy a napszélben levő szén ágyazódott be a holdi sziklás anyagba atomos formában, de a modern kutatási eszközökkel és módszerekkel elvégzett friss laboratóriumi vizsgálatok ennél sokkal nagyobb, többmikronos méretű kristályos szerkezetű grafitot mutattak ki az Apollo-17 által hozott becsapódási eredetű breccsában.



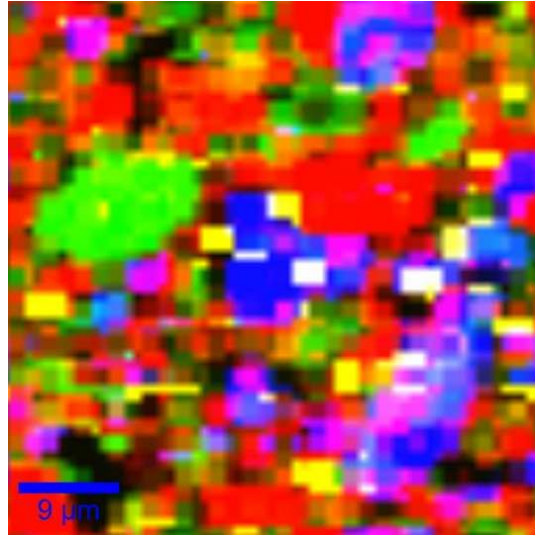
(forrás: NASA AS17-137-20900) (forrás: 72255,23 NASA S84-3718072255)
Aphanitic Impact Melt Breccia 461.2 grams

Az új vizsgálatokat inspiráló 72255 számú kőzetminta lelőhelye (jelzővel) a leszállóhely közelében lévő Déli Masszívum lábánál egy nagyobb sziklatömb közelében.

A most elvégzett laboratóriumi vizsgálatok során a kőzetmintát az infravörös tartományban konfokális Raman-féle két- és háromdimenziós korszerű képalkotó spektroszkópiával (CRIS) elemezték. A Raman-spektroszkópia alkalmas a molekuláris, illetve kristályos anyagokban az atomok finom rezgési (vibrációs) átmeneteinek vizsgálatára, amelyből a kémiai összetétel megállapítható és a kristályszerkezet is kimutatható, tanulmányozható. A vizsgált holdkőzet kristályos grafitot tartalmaz, ami elnyújtott alakú tömbökben, szemcsékben figyelhető meg. Az egyes grafit szemcsék átmérője 2-6 mikron és 9-10 mikron, de akár ennél hosszabbak is lehetnek. Jellemzőik alapján a szemcsék magas, mintegy 1273-3900 K hőmérsékleten alakultak ki, tehát sem a holdkőzetek begyűjtése, szállítása, tárolása, illetve laboratóriumi vizsgálatokra való előkészítése (szeletek, metszetek készítése) során nem képződhettek, hanem még a Holdon, természetes folyamatok által alakultak ki. A napszél is kizárható a holdi grafit szemcsék forrásai közül.

Egyébként a vizsgált kőzetminta kora 3,84 milliárd év, ami a Taurus-Littrow leszállóhely szomszédságában levő nagy holdi becsapódási medence, a Mare Serenitatis kialakulásának ideje is egyben.

(forrás: NASA/JPL és A. Steele, F. M. McCubbin, M. Fries, M. Glamoclija, L. Kater, H. Nekvasil: Graphite in an Apollo 17 Impact Melt Breccia, Science, 2010. július 2., Vol. 329 no. 5987 p. 51, DOI: 10.1126/science.1190541)



A holdi kristályos grafit többmikronos hosszúságú sárga színű tömbökben látszik a mesterségesen átszínezett képen. A zöld a feldspar ($KAlSi_3O_8 - NaAlSi_3O_8 - CaAl_2Si_2O_8$), a vörös a piroxén $[SiO_4]^4$, a kék az olivin $(Mg,Fe)_2SiO_4$.

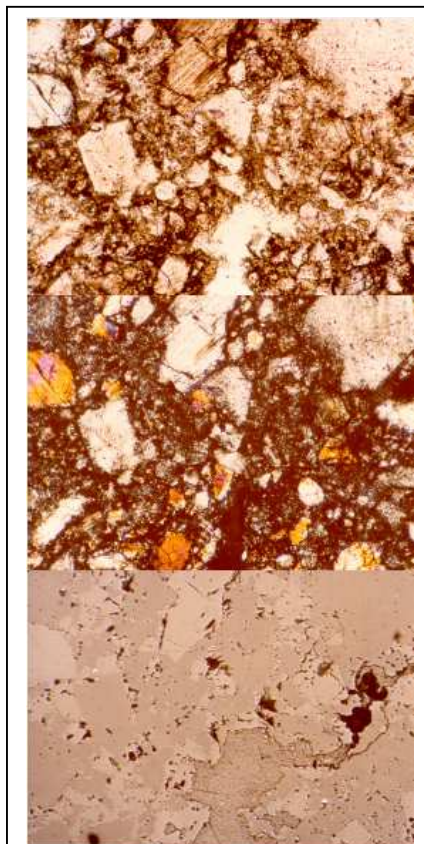


Figure 4: Photomicrographs of thin section 72255.108. Top is with plane-polarized, middle is crossed-polarized and bottom is reflected light. NASA S79-27771, 27772, 27770. Field of view is 1.3 mm.

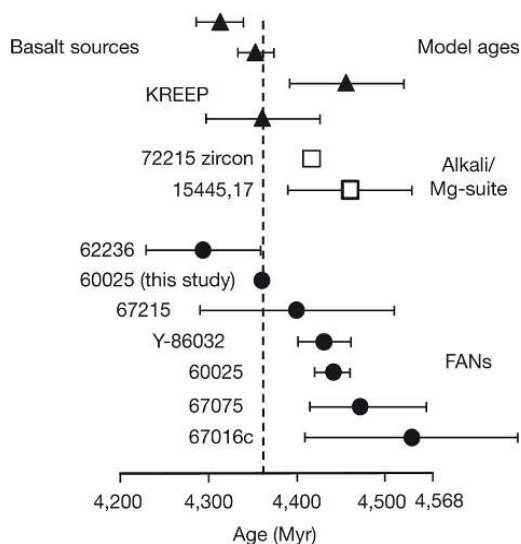
A kutatók eredményei szerint a holdi kristályos grafit magas hőmérsékleten való keletkezése becsapódási eseményre utal, amelynek következményeként a Serenitatis-medencét létrehozó becsapódott égitest széntartalmú eredeti kristályos anyaga épült be az holdkőzetbe, vagy a becsapódáskor keletkezett magas hőmérsékletű és széntartalmú gáz lehűlésével kristályosodott ki a grafit.

A vizsgált holdkőzet 3,8 milliárd éves kora egybeesik a Naprendszer „Kései Nagy Bombázási” (Late Heavy Bombardment – LHB) időszakával, amikor kisbolygók, sőt magas széntartalmú kis égitestek nagy számban ütközhetek a bolygókba és holdjaikba. A most kimutatott holdi grafit erről tanúskodik.

(forrás: Lunar and Planetary Institute, Lunar Sample 72255 Compendium, curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/72255.pdf)

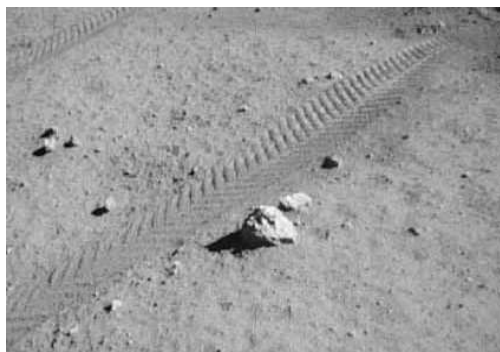
72255 Aphanitic Impact Melt Breccia, holdkőzet csiszolat fotomikrográf képek

Lars Borg, a kaliforniai Lawrence Livermore Nemzeti Laboratórium geokémikusa kutatócsoportjával abból a holdkőzetből vett mintákat vizsgálta, amelyet az 1972 áprilisában indított Apollo-16 legénysége gyűjtött össze. A kutatók az ólom, szamárium és a neodímium izotópjait vizsgálták a gondosan megtisztított kőzetmintákban. Ugyanazon vegyi elem összes izotópja ugyanannyi protont tartalmaz, amiben különböznek egymástól az a neutronok száma. Az úgynevezett instabil izotópok radioaktív bomlás során más izotóppokká alakulnak át az idők folyamán. Ily módon a különböző izotópok arányát meghatározva az anyagban, megállapítható a minta kora.



A legutóbbi vizsgálat tárgya, az Apollo-16 által gyűjtött 60025-ös minta pedig váratlan eredményt hozott: a korábbi analízisek 4,43 milliárd éves korához képest 70 millió évvel fiatalabbnak, csak 4,36 milliárd évesnek bizonyult. Bár a különbség nem tűnik nagyknak, a fiatal, éppen kialakuló Naprendszerben ennyi idő alatt is jelentősen megváltozhattak a viszonyok: például 70 millió évvel később jóval kevesebb potenciális protobolygó maradt, ami becsapódhatott volna az ősföldre, valószínűtlenebbé téve az egész folyamatot.

(forrás: Lars E. Borg, James N. Connelly, Maud Boyet, Richard W. Carlson „Chronological evidence that the Moon is either young or did not have a global magma ocean” Nature, 2011. szeptember 01. 477, 70–72 doi:10.1038/nature10328)



(Forrás: Lunar Orientation of N,T , NASA/JSC „S72-44019”)

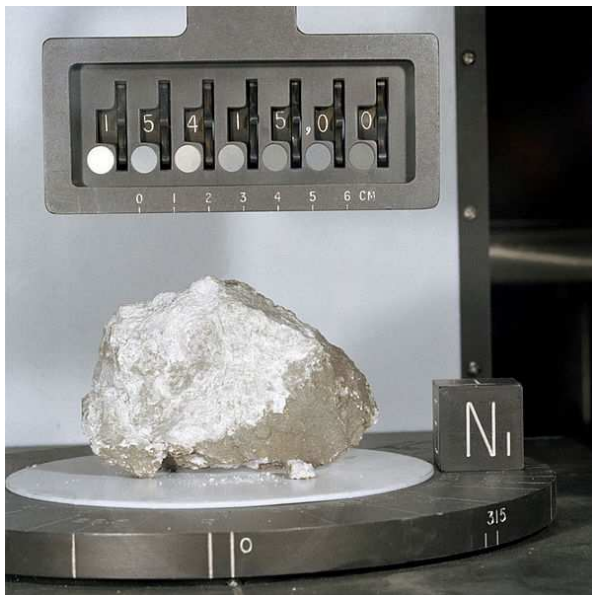
Az Apollo-16 által begyűjtött 60025-ös kőzetminta, még a Holdon.

és ugyanaz a kődarab, már a Földön. (Lunar and Planetary Institute)



(forrás: Lunar and Planetary Institute, 2013, (NASA)
www.lpi.usra.edu/lunar/missions/apollo/apollo_16/)

Apollo 16 kapitánya John Young fényképezte űrhajós társáról Charles M. Duke Jr.-ről ki mintákat gyűjt a Descartes leszállási területen (1972. április) Duke a Plum kráter szélén áll.



Az anortozit az ősi holdkéreg legkorábban kikristályosodott, legősibb kőzetének számít. A földi kormeghatározó vizsgálatok 4,5 milliárd évesnek jelölték meg a kődarabot. Egy újságíró később a „Teremtés Köve” néven említette a leletet, és az elnevezést a tudósok is átvették, és ma ezen a néven ismert a 15415. számú minta.

Apollo-15 gyűjtése,
 „Genesis” holdkőzet

(forrás: www.hq.nasa.gov/alsj/a15/ap15-S71-42951.jpg)

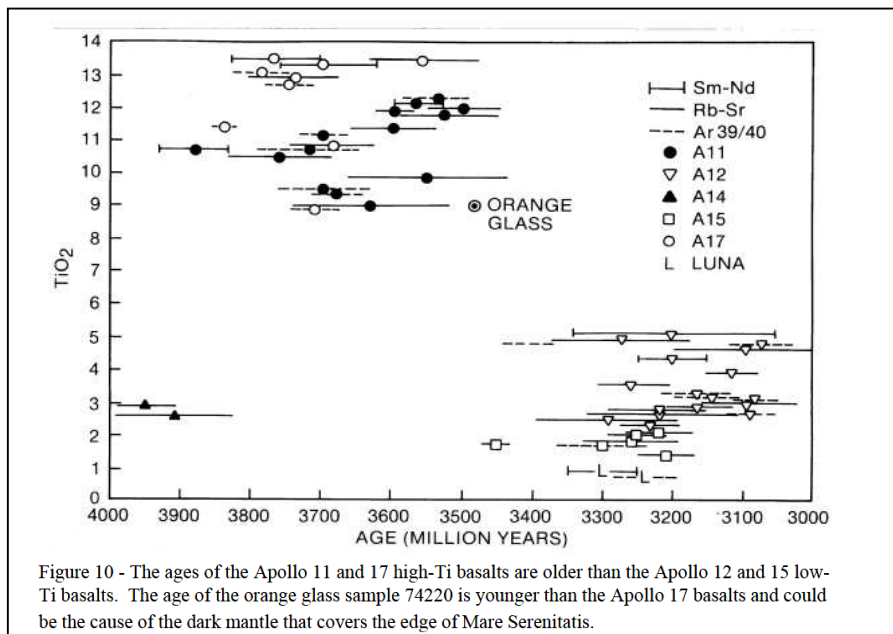
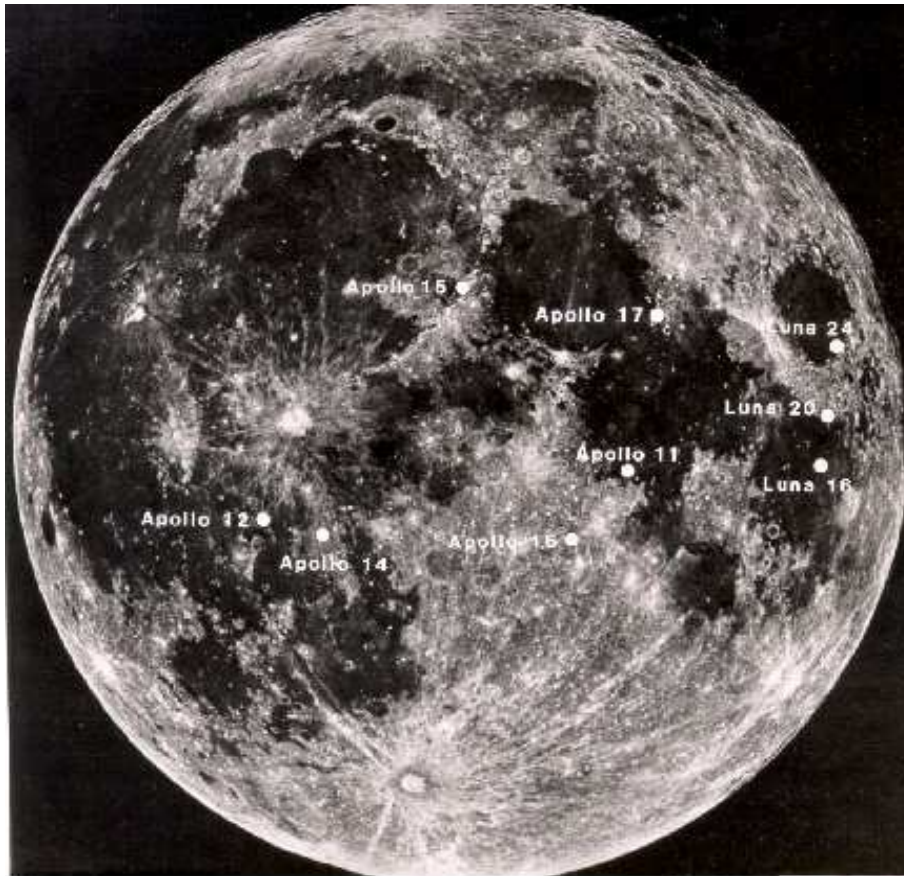


Figure 10 - The ages of the Apollo 11 and 17 high-Ti basalts are older than the Apollo 12 and 15 low-Ti basalts. The age of the orange glass sample 74220 is younger than the Apollo 17 basalts and could be the cause of the dark mantle that covers the edge of Mare Serenitatis.

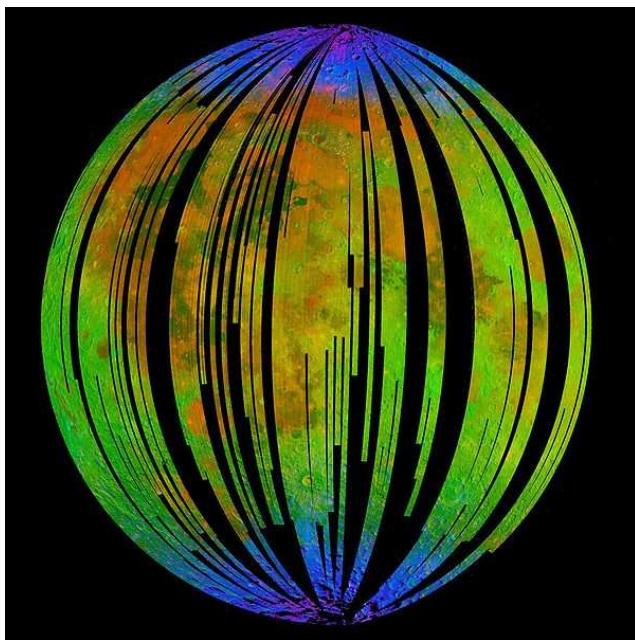
(forrás: Charles Meyer: The Lunar Petrographic, Educational, Thin Section Set, NASA Lyndon B. Johnson Space Center, 2003. szeptember, http://curator.jsc.nasa.gov/education/lpetss/documents/CMEYER_booklet_2003.pdf)

A Hold felszínét az Apollo kőzetminták alapján még igen száraznak találták. Ennek magyarázata az lehet, hogy az 1969-1972 közötti Apollo holdra szállások az egyenlítő közelében történtek. Az Apollo expedíciók után merült föl az a gondolat, hogy a poláris vidékek nap nem látta krátereit mégis őrizhetnek valamennyi vízjeget (például az üstökös-beszállításokból).

Későbbi kutatások során azonban a holdi víz számos formáját mérték az űrszondák radarral, infravörös visszavert színeképi spektroszkópiával, neutronsugárzással. Legutóbb az amerikai űrkutatási hivatalnak (NASA) a Hold ásványait feltérképező műszere akadt a víz nyomára. (MTI-2013.08.28.)

A Hold egyenlítője közelében fekvő Bullialdus-kráter vizsgálata során Magmás, azaz a Hold belső kőzetrétegéből származó víz nyomát fedezték fel a bolygó felszínén - jelentették be amerikai kutatók.

„Ezt a kőzetet, amely általában mélyen a felszín alatt található, az a becsapódás hozta felszínre, amelynek következtében a kráter is létrejött.



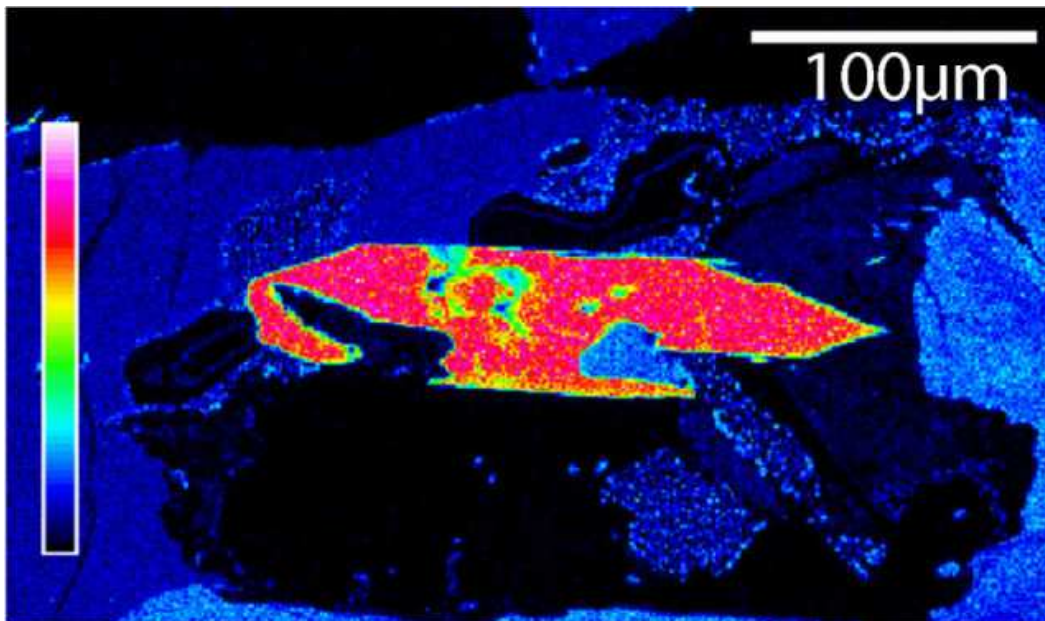
A környező kőzetekkel összehasonlítva a középső rész jelentős mennyiségű hidroxil - egy oxigénatom egyszeres kovalens kötéssel kapcsolódik egy hidrogénatomhoz - tartalmaz, ez pedig azt bizonyítja, a kráter szikláiban a holdfelszín alól származó vizet tartalmaznak” - olvasható Rachel Klima, a Johns Hopkins Egyetem Alkalmazott Fizikai Laboratóriumának geológusa, a Nature Geoscience című szaklapban megjelent tanulmány vezető szerzője közleményében.

(forrás: ISRO/NASA/JPL-Caltech/Brown Univ./USGS, 2009., www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1478.html)

Az indiai Csandraján-1 űrszondán lévő Moon Mineralogy Mapper, M3 műszer által készített kép, melynek színezésén a kék jelenti a víztartalmat, a zöld pedig a visszavert fényesség intenzitását az infravörösben. A vörös szín a vas tartalmú piroxén-ásványok mennyiségét jelzi. 2009-ben megerősítette az infravörös tartományban korábban már megfigyelt vízmolekula és hidroxil-molekula méréseket.

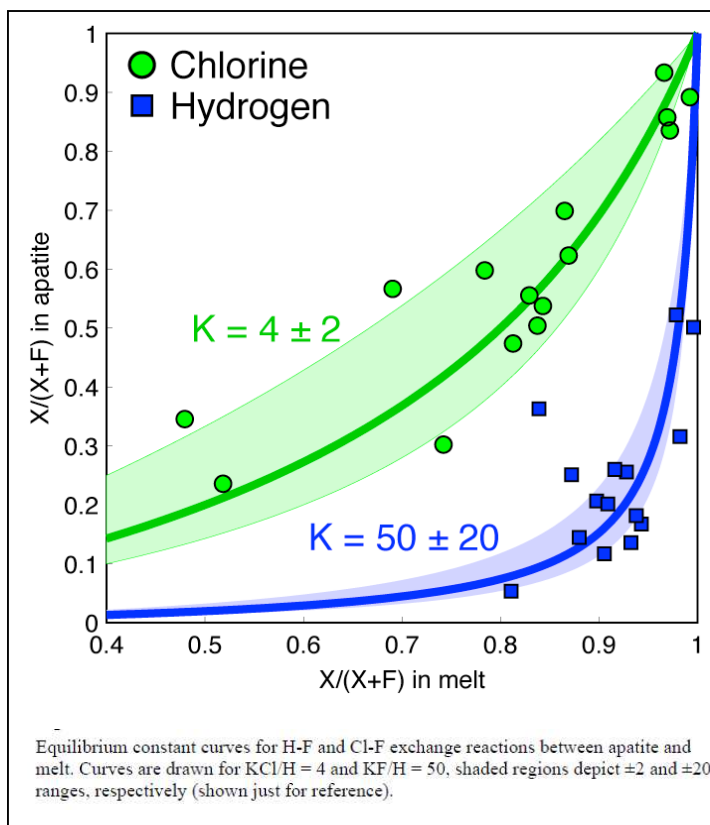
Jeremy Boyce (University of California Los Angeles) és kollégái számítógépes modellt készítettek annak vizsgálatára, hogy a Hold korai történetében a hűlő magmából hogyan kristályosodott ki az apatit nevű foszfát. A szimulációk eredményei azt mutatják, hogy a holdi kőzetmintákban észlelt, szokatlanul sok hidrogént tartalmazó apatitkristályok mégsem vízben gazdag környezetben keletkeztek, mint azt korábban feltételezték. A felfedezés megkérdőjelezi azt a régi elgondolást, hogy az apatitban található hidrogén jó indikátora a holdi víz globális mennyiségének. Modellezés alapján a kutatók úgy vélik, hogy a Hold kőzeteibe zárt víz mennyisége kisebb lehet, mint azt az elmúlt években feltételezték.

Boyce és kollégái úgy gondolják, hogy ha víz is jelen van az olvadt kőzetek hűlésekor, akkor az apatit kristályszerkezetébe hidrogén épülhet be. Ez azonban csak akkor következhet be, ha az apatitot egyébként felépítő elemek, a fluor (fluorapatit) és a klór (klórapatit) lényegében hiányoznak. Boyce szerint a Hold történetének korai időszakában kialakult apatit a magmából gyakorlatilag minden fluort és klórt kiszívott, így a később létrejövőnek már csak a hidrogén maradt, ezért a hidroxapatit nem tükrözi pontosan a magma eredeti víztartalmát.



(forrás: Kim DeRose: Misleading mineral may have resulted in overestimate of water in moon, ScienceDaily, 2014. április 01., University of California - Los Angeles, www.sciencedaily.com/releases/2014/04/140401131137.htm)

Egy holdi kőzetminta vékonycsiszolatának mikroszkópi képén látható a kalcium eloszlása, a rózsaszín és a vörös magas, a kék és a fekete szín alacsony kalciumtartalmat jelent. A víznek a magtól a peremig tartó sávos eloszlása az ehhez hasonló kristályokban a frakcionálódás folyamatára utal, ami az egyébként száraz Holdon létrehozhatta a hidroxapatitot.



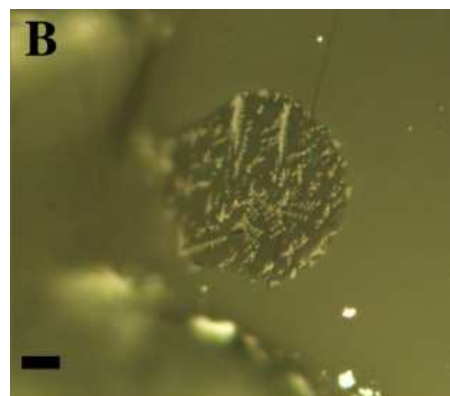
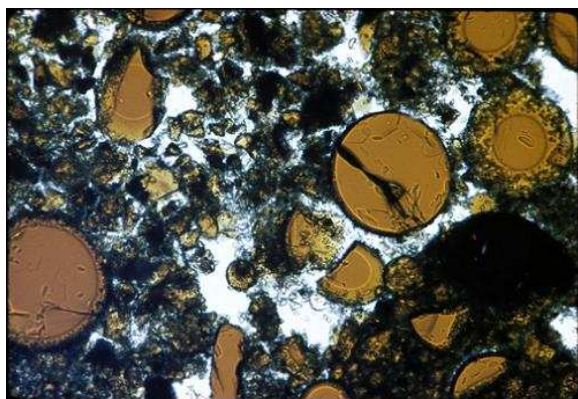
(forrás:
 J. W. Boyce,
 S. M. Tomlinson,
 F. M. McCubbin,
 J. P. Greenwood,
 A. H. Treiman:
 The Lunar Apatite
 Paradox,
 Science, 2014;
 DOI: 10.1126/
 science.1250398,
 és
[www.sciencemag.org/
 content/early/2014/
 03/19/science.1250398](http://www.sciencemag.org/content/early/2014/03/19/science.1250398),
 és
[www.sciencemag.org/
 content/suppl/2014/03/
 19/science.1250398.DC1](http://www.sciencemag.org/content/suppl/2014/03/19/science.1250398.DC1))

Egyensúlyi állandó görbék H-F és Cl-F csere reakciók apatit és olvadék között.

A Hold kialakulására vonatkozó, ma leginkább elfogadott elmélet (mely szerint a Hold anyaga több mint 4 milliárd évvel ezelőtt a Földből szakadt ki egy gigantikus ütközés következtében) következményeként a holdi kőzetekben egyáltalán nem fordulhatnak elő könnyű elemek. Ha ez a modell helytálló, akkor a később Holddá összeálló törmelék teljes egészében megolvadt, a könnyű elemek – mint a hidrogén – pedig felbugyogtak a felszínre, és onnan az űrbe szöktek. Mivel a hidrogén a víz alapvető összetevője, így a Holdnak száraznak kell(ene) lenni.

A holdi kőzetminták nagy része valóban száraz is és a könnyű elemek is hiányoznak belőlük. A hidroxiapatit azonban minden mintában előfordul, komoly fejtörés elé állítva az ezzel foglalkozó kutatókat. A kezdet tüzes fázisában némi víznek és valamennyi könnyű elemeknek valahogyan mégis meg kellett maradnia, bár kevesebbnek, mint azt az apatit eredetileg sejtette. Boyce arra figyelmeztet, hogy a száraz Hold negyven éves ideája után nem szabad átesnünk a ló túloldalára: minden részletet és bizonyítékot alaposan meg kell vizsgálni, mielőtt a holdi kőzetek által tartalmazott víz mennyiségéről nyilatkoznánk.

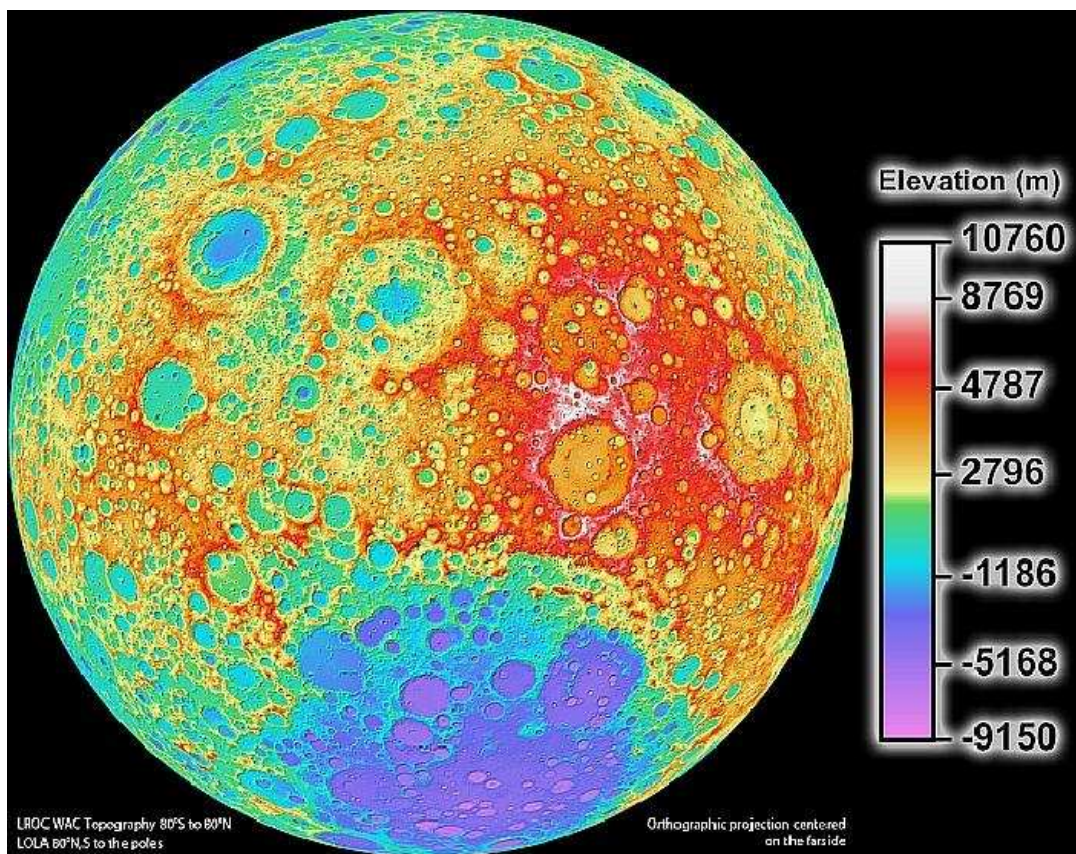
A becsapódási elmélet és a Hold korai kőzeteiben található víz ellentmondására hívja fel a figyelmet Alberto Saal, aki 2008-ban az Egyesült Államokbeli Brown Egyetemen munkatársaival parányi, körülbelül 50 ppm mennyiségű vizet fedezett fel az Apollo 15 és 17 küldetések által összegyűjtött vulkanikus üveg apró buborékjainak belsejében. Ezek a kőzetek megközelítőleg 3 milliárd évvel ezelőtt alakultak ki a Hold vulkánjaiból kilökődött magmából.



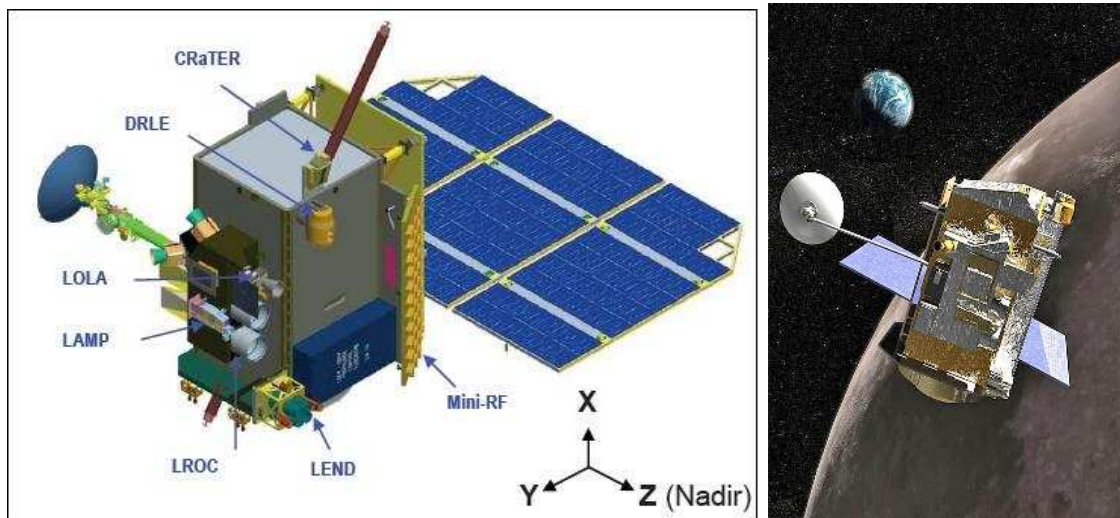
(forrás: Erik H. Hauri, Thomas Weinreich, Alberto E. Saal, Malcolm C. Rutherford, James A. Van Orman: High Pre-Eruptive Water Contents Preserved in Lunar Melt Inclusions, Science 8 July 2011. július 08. Vol. 333 no. 6039 pp. 213-215, DOI: 10.1126/science.1204626, és Apollo 17 moon rocks are surprisingly wet, www.newscientist.com/article/dn20511-apollo-17-moon-rocks-are-surprisingly-wet.html)

A 74220 Holdkőzet (Apollo 17) minta vékonycsiszolat mikroszkópos felvétel, amiben az olvadék zárványokat felfedezték (a legnagyobb gömb 0,2 mm átmérőjű), és olvadék zárványok az olivin kristályban (fekete csík 10 μm).

Ezúttal Erik Hauri, a washingtoni Carnegie Intézet kutatója elemezte a kőzetet, az úgynevezett olvadék zárványokra összpontosítva. A kristályok megvédték a gömböcskéket és a bennük rekedt vizet a kőzetek kilökődésekor kialakult nagy nyomásbeli változásoktól, amik egyébként minden vizet és gázt kiszívtak volna. Thomas Weinreich, a Brown Egyetem hallgatója több ezer üveggömböt vizsgált át egy titániumban gazdag mintában, amit Harrison Schmitt űrhajós fedezett fel az Apollo 17 küldetés során. Weinreich végül tizet talált, ami olvadék zárványt tartalmazott. A bennük rekedt vizet egy fókuszált cézium ionsugárral vonták ki, majd egy tömeg spektrométerrel megmérték mennyiségüket. Most ugyanannak a mintának az elemzése arról árulkodik, hogy a kőzetek valójában legalább tízszer annyi vizet tartalmaznak, mint amit Saal csapata megállapított. Az értékek 615 és 1410 ppm között mozognak, ami nagyon hasonló a Föld felső köpenyének 500-1000 ppm szintjeihez.

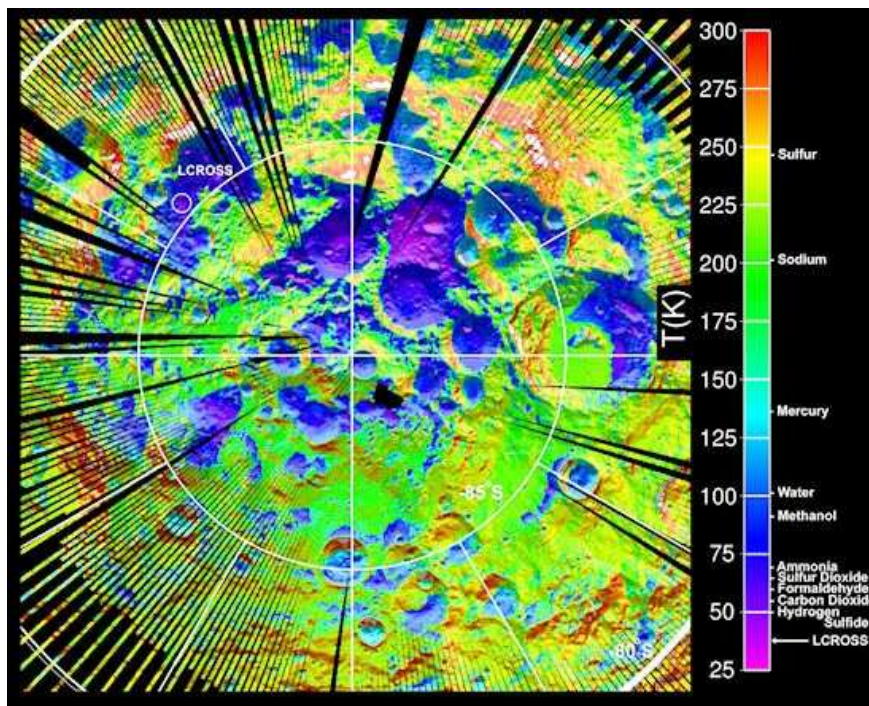


A LOLA (Lunar Orbiter Laser Altimeter) lézeres magasságmérő adatai alapján készített domborzati térkép a Holdnak a Földről nem látható oldaláról. A topográfiai képen piros területek jelzi a magas kiemelkedéseket, a kék vagy lila jelzik az alacsony területeket, mint a Déli-sark, Aitken-medence.



(illusztráció: LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter) + LCROSS,
NASA/GSFC, NASA/ARC, CDR (Critical Design Review), lunar.gsfc.nasa.gov/
<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/lro>)

Az amerikai Lunar Reconnaissance Orbiter-űrszonda (LRO) minden idők legfejlettebb űreszköze, amelyet a Hold vizsgálatára indítottak. Műszerezettsége sokrétű felderítésre alkalmas: a Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA) a lézeres magasságmérő berendezéssel a Hold pontos háromdimenziós modelljét állítják elő, a Lunar Reconnaissance Orbiter Camera (LROC) nagy felbontású az ultraibolya és a látható fény tartományában dolgozó kamera, fekete-fehér üzemmódban az 50 kilométeres magasságról felbontása eléri az 1 métert, a Lunar Exploration Neutron Detector (LEND) a neutrondetektor fő feladata a (víz formájában megjelenő) hidrogénről szóródó kozmikus sugárzás érzékelése, így a Holdon található víz feltérképezése, a Diviner Lunar Radiometer Experiment a hőkamera, mellyel a felszín és a felszín alatti rétegek hőmérséklete mérhető, a Lyman-Alpha Mapping Project (LAMP) a távoli ultraibolya-kamera képes a folyamatosan napárnyékban lévő, csak a csillagfény és a Naprendszerben lévő hidrogénfelhők által szórt fény által megvilágított területek leképezésére is, a Cosmic Ray Telescope for the Effects of Radiation (CRaTER) a kozmikus sugárzás holdfelszíni erősségét vizsgáló műszer (elsősorban annak biológiai hatásait kívánják felmérni), a Mini-RF Technology Demonstration a szintetikus apertúrájú radar, a felszín alatti jéglerakódások keresésére (Technológiai kísérlet, a berendezés részben megegyezik az indiai Csandrajään-1 szondán repülő, szintén amerikai Mini- SAR berendezéssel.).

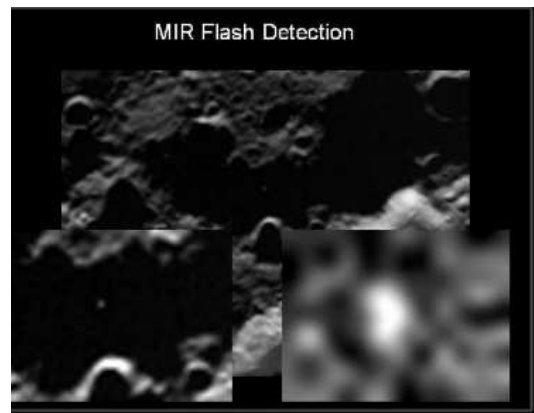
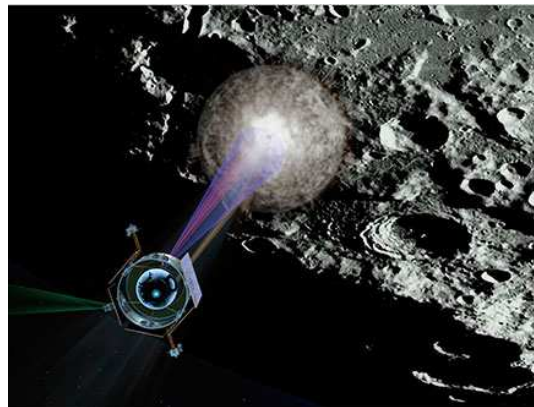
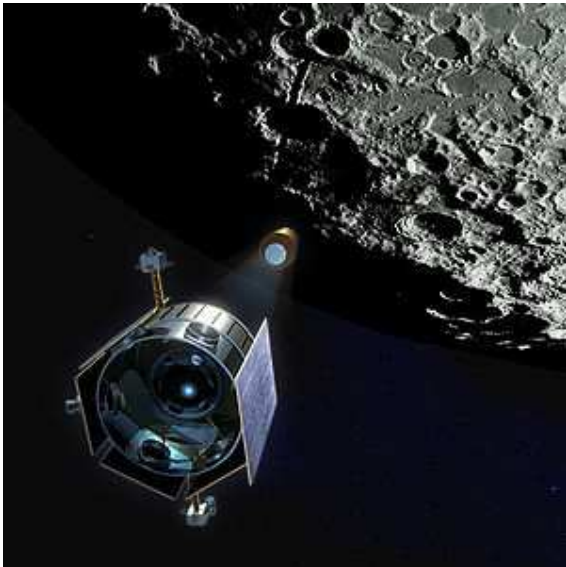


(forrás:
UCLA/NASA/
Jet Propulsion
Laboratory,
Pasadena,
California/
Goddard,

[www.nasa.gov/
mission_pages/
LCROSS/main/
oct_21_media_
telecon.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/LCROSS/main/oct_21_media_telecon.html))

Felületi hőmérséklet térkép a Hold déli pólusa környékén az LRO's Diviner Lunar Radiometer Experiment műszerrel felmérve.

Az űrszonda célja elsősorban a későbbi holdexpedíciók számára történő adatgyűjtés, leszállóhelyek keresése, holdexpedíciók esetén felhasználható erőforrások feltérképezése. Különös hangsúlyt kapott a Hold pólusainak vizsgálata, mert itt találhatóak folyamatosan megvilágított területek, másrészt, mert a pólusok közelében lévő kráterekben tartósan lehet fagyott vízjég, melyet felhasználhatnak az ott tartózkodó űrhajósok. Az LRO űrszondát 2009. június 18-án indították a Kennedy Űrközpontból Atlas-5 rakétával, és június 23-án állt Hold körüli pályára. Az LRO magával vitte a LCROSS (Lunar Crater Observation and Sensing Satellite) egységet, amely a felső Centaur rakétafokozat becsapódását figyelte meg, mely kísérletnek a célja a víz felkutatása volt a Hold felszíne alatt.

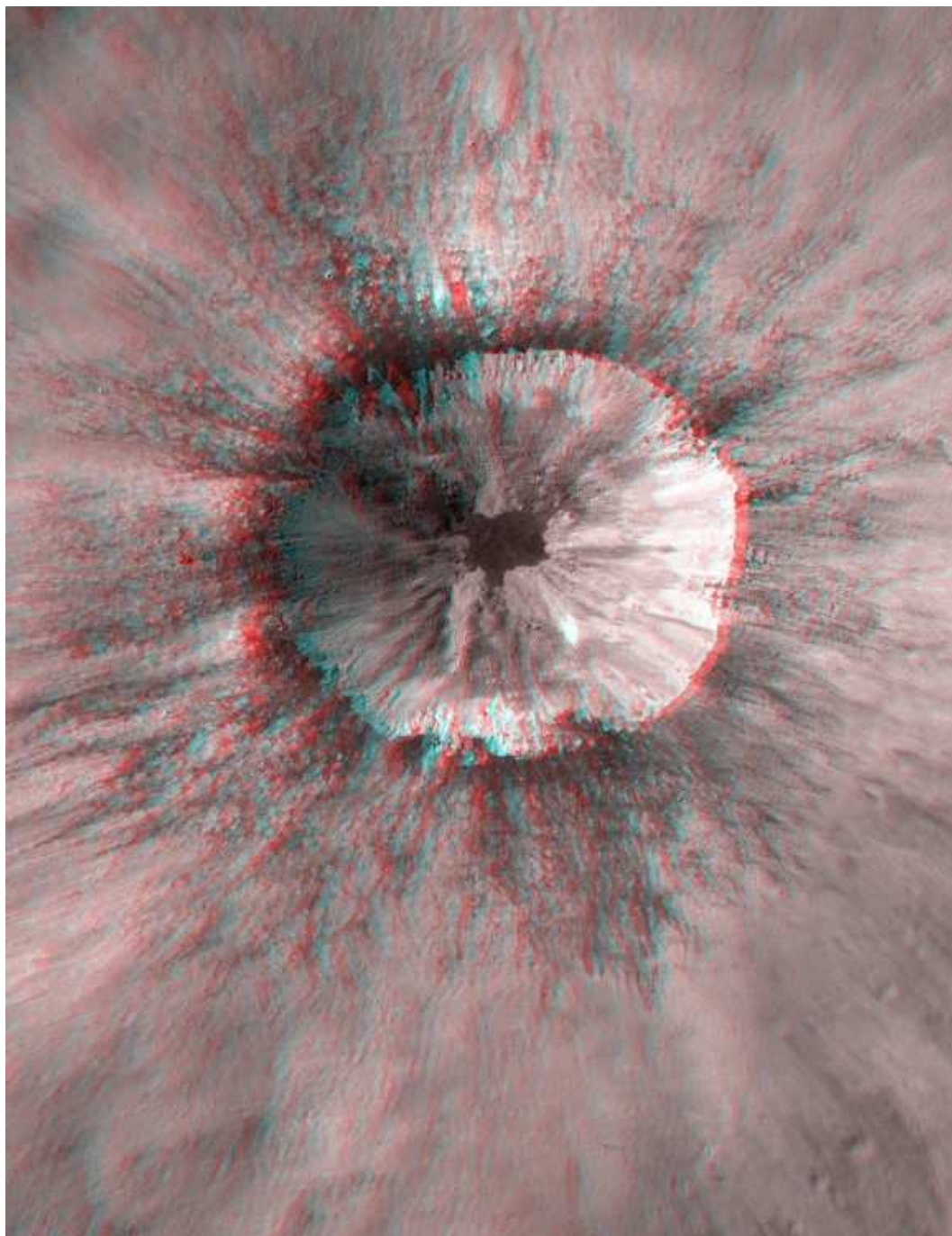


(illusztráció: www.nasa.gov/centers/ames/multimedia/images/2006/lunarorbiter.html)

(forrás: <https://sites.google.com/site/larrygerstman/lro-lcross>)

A New York Times 2009. november 13-ai számában a sajtókonferenciáról szóló tudósításban a kutatásvezető Anthony Colaprete (NASA Lunar Crater Observation) bejelentette, hogy vizet találtak a Holdon. A Cabeus kráter közelében a Hold déli pólusán mesterségesen előidézett becsapódás egy ~60-100 méter széles krátert eredményezett, és legalább 120 liter vizet szórt szét.

A Hold jég, nem csak ivóvizet és levegőt biztosít a jövőbeni űrhajósok, telepések számára, de bontható is oxigénre, hidrogénre, és mindkettő értékes rakéta üzemanyag - mondta Gregory T. Delory (University of California, Berkeley).



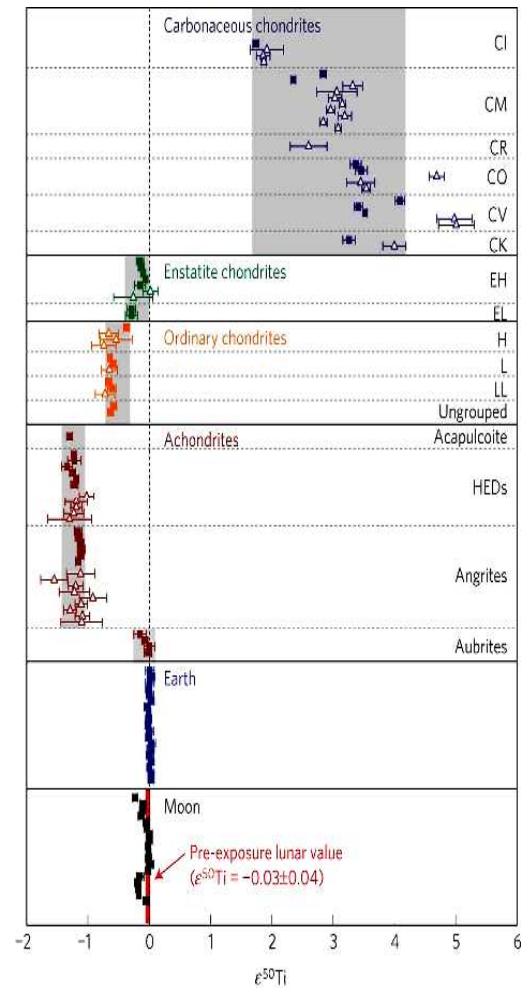
(forrás: NASA/GSFC/Arizona State University; Anaglyph by Nathaniel Burton-Bradford, www.universetoday.com/94998/moon-craters-3-d/)

Egy új kráter az Isaev kráter nyugati részén (17.682°S, 144.408°E). A Lunar Reconnaissance Orbiter űrszonda háromdimenziós felvétele. Az LRO kamerája a térhatású felvételekhez két, részben átfedő nézőpontból készített képeket, és ezeket utólagosan, számítógépen alakították egy felvétellé az Arizona Egyetemen. (A kép megtekintéséhez piros-kék 3D szemüveg szükséges.)

Junjun Zhang, a Chicagói Egyetem geokémikusa és kollégái a Berni Egyetem kutatóival közösen végzett kutatásukról a Nature Geoscience (2012. március 25.) oldalain számolnak be.

A kutatás során a titán különböző izotópjait vizsgálták összesen 24 holdról származó mintában. A titán 47-es és 50-es tömegszámú izotópjainak aránya a mintákban szintén jó indikátora annak, hogy egy kőzet a Földről származik-e. Az eredmények azt mutatták, hogy a földi és holdi minták azonos eredetűek, és eltérnek a Naprendszer másterületeiről származó kőzetektől.

(forrás: Junjun Zhang, Nicolas Dauphas, Andrew M. Davis, Ingo Leya, Alexei Fedkin: „The proto-Earth as a significant source of lunar material” Nature Geoscience, 2012 március 25., 5, 251–255 doi:10.1038/ngeo1429)



A brit Royal Society égi kísérőnkkel foglalkozó konferenciáján (2013.09.) Rick Carlson bolygókutató bejelentette, hogy a legújabb vizsgálatok alapján a Hold 100 millió évvel fiatalabb, mint eddig gondolták. Ez a tény pedig komoly befolyással lehet a Föld keletkezésével kapcsolatos elméletekre is. Rick Carlson elmondása szerint a kutatócsoportja által lefolytatott újfajta kormeghatározási módszerek alapján a Hold 4,4–4,45 milliárd éves, holott a korábbi hasonló elemzések 4,56 milliárd évvel ezelőttre tették keletkezését. A holdi felszín legrégebbi részeinek korát $4,36 \pm 0,003$ milliárd évben állapították meg a kutatók. Ezek azok a területek, amelyek az égítést lehűlése során, a magmaóceán megszilárdulásával jöttek létre.

Az elmúlt évtized kutatásainak köszönhetően két területen is sikerült olyan kőzeteket azonosítani a Földön, amelyek ugyanezen időszak előtt közvetlenül megolvadtak, majd újra megszilárdultak. A Nyugat-Ausztráliában, illetve Kanadában megtalált kőzetek mellett egyre több nagyon régi kőzeteket tartalmazó lelőhely mutatja jelét annak, hogy 4,45 milliárd évvel ezelőtt valami jelentős geológiai esemény –feltehetően egy becsapódás – történt a Földön, amelynek köszönhetően a kéreg nagy része megolvadt.

Meteoritok szállíthatták a földre a vizet és a szerves összetevőket az élethez

A Naprendszer keletkezésének pillanatától az egyes bolygókra folyamatosan záporoznak a törmelékek, miközben krátereket hoznak létre a felszínen. Ez legintenzívebben a bolygók összeállása után történt, majd átmenetileg csökkent az aktivitás. A nagyobb égitestek kialakulásának befejező fázisában újra megnőtt a becsapódások gyakorisága, amit „Kései Nagy Bombázási Időszak”-nak neveznek. Közel 3,9-4,0 milliárd évvel ezelőtt sok hatalmas becsapódás történt. Robert Strom (University of Arizona) és kollégáinak vizsgálatai alapján a kérdéses kataklizmára 3,9 milliárd évvel ezelőtt egy igen rövid, 20 és 150 millió év közötti periódusban került sor.



(illusztráció: <http://formenost.deviantart.com/art/archean-77208044>)

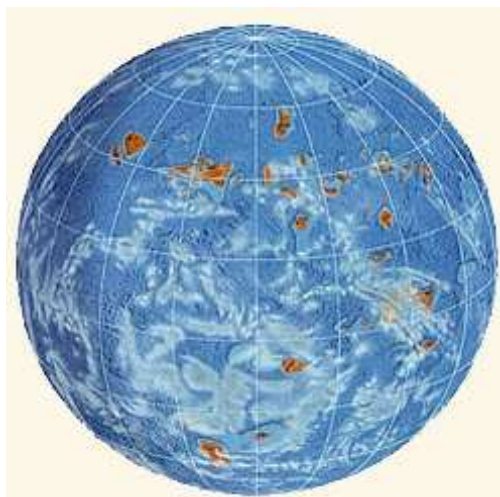
A Föld korai fejlődéstörténetben, különösen az élet kialakulása (és fennmaradása) szempontjából legfontosabb a külső réteg, a földkéreg kialakulásának folyamata. A „Kései Nagy Bombázás” során a Földre hullott anyag legnagyobb része a felszínen maradt, mert a Föld egésze már nem volt annyira olvadt állapotban, hogy jelentős átrétegződés következhesse be. A becsapódások esetleg többször is elpárologtathatták a kialakuló óceánok vizét, és kipusztíthatták a talán már többször is kialakult életet.

Számítógépes szimulációk eredményei viszont azt mutatják, hogy a bombázás legintenzívebb időszakában is a földkéreg maximum 25%-a volt olvadt, és védett helyeken a hőkedvelő mikroorganizmusok fennmaradhattak. A földkéreg széntartalmának jelentős része nem mészkő formájában volt jelen (mint ma), hanem szabad szén-dioxidként.

A 10–20 bar szén-dioxid üvegházhatása a légkörben az akkori napsugárzás mellett (a jelenleginek csupán kb. 75%-a volt és csak fokozatosan erősödött fel mai értékére) 85–110 °C-os átlagos hőmérsékletet jelenthetett a Föld felszínén. Ilyen nyomás mellett a víz 100 °C felett is folyékony halmazállapotban van (10 bar nyomáson a víz forrponjtja ~181 °C).

A megszilárdult Holdra a „Kései Nagy Bombázás” időszakában ugyanúgy záporoztak a befogott törmelékdarabok, mint a Földre, ezeknek a becsapódásoknak a nyomait azonban a Hold nagyrészt megőrizte a ma is látható kráterek formájában. Ez utóbbiak száma és mérete alapján a „Kései Nagy Bombázás” alatt a Földre érkező anyag mennyiségét $1,5 \cdot 10^{19}$ tonnára becsülik, ami – figyelembe véve a módszerben rejlő sok bizonytalanságot – meglepően jól egyezik a földkéreg tömegével.

A „Kései Nagy Bombázás” során a Földre érkező kozmikus anyag összetételére is vannak támpontok, amely lényegében azonos lehetett egyrészt a Földre érkező mai meteoritok, másrészt az üstökösök összetételével. A meteoritoknak kb. a fele kondritos típusú (kőmeteorit), amelyek általában 13–20% vizet és 2–3% szenet (részben széntartalmú szerves vegyületek formájában) tartalmaznak. Ezekből az adatokból megint felállíthatunk egy közelítő anyagmérleget. Ha elfogadjuk azt az értéket, hogy a „Kései Nagy Bombázás” idején $1,5 \cdot 10^{19}$ t anyag érkezett a Földre és ennek fele kondritos meteoritok formájában, akkor ez $1-1,5 \cdot 10^{18}$ t vizet és $1,5-2,2 \cdot 10^{17}$ t szenet jelent. Ezek az adatok is meglepően egybevágóak azzal, hogy az óceánok tömege $1,4 \cdot 10^{18}$ t és a földkéreg széntartalma $0,9 \cdot 10^{17}$ t. A „Kései Nagy Bombázás” során érkezett víz és szén tömege azonban még nagyobb is lehetett, ha számottevő volt a becsapódott üstökösök aránya. Ezek ugyanis a meteoritoknál lényegesen több vizet (akár 50%-ot is jég formájában) és szenet tartalmazhatnak (szerves vegyületek formájában). A földfelszín akkor még igencsak forró volt és az illékony anyagok (víz, széndioxid, metán és egyéb szerves vegyületek) egy része bizonyára megszökhetett. Ebben az időszakban a Földön szerves vegyületek gyűlhetnek össze nagy molekulatömegű főleg aromás polimer, aminosavak, továbbá kis molekulájú szénhidrogének, karbonsavak és nitrogénbázisok. (Markó László: Miért „balkezesek” a fehérjéket felépítő aminosavak?, Természet Világa 1999)



(illusztráció: David A. Hardy, www.astroart.org)

Földünk naponta több 100 tonna - egyes becslések szerint több 1000 tonna - kozmikus eredetű anyaggal gyarapszik. A szporadikus (szórványos, elszórtan jelentkező) és rajmeteorok (az év egy időszakában térnek vissza mindig) meglepően nagy anyagmennyiséget juttatnak a Földre. A nagyobb, lehullott darabok száma aránylag csekély, száma 30-50 közé tehető. Sokkal nagyobb azonban az az anyagmennyiség, amely bolygóközi (interplanetáris) por alakjában (összetevőit üstökösök és kisbolygók porladása adja) jut a Földre. A parányi porszemcsék felismerhetők a mély tengerek iszapjában és a sarki hómezők anyagában, sőt megtalálhatók a lehulló csapadékvízben is.

A meteoroidok nagyjából az üstökösökből származnak. Az üstökös napközelsége idején a felszínéről elszabadult porrészecskék nem térnek vissza az üstökösre, hanem önállóan keringenek tovább a Naprendszerben. Arányaiban kisebb részben hoz létre meteoroidokat a kisbolygók ütközésekor keletkező törmelékanyag. A főövbeli és a földsúroló kisbolygók egyaránt lehetnek meteorrajok forrásai, mivel a naprendszerbeli kaotikus mozgások és a szekuláris perturbációk (A latin „saeculum” = évszázad, és a perturbáció = megzavarás, pályaháborgás. Csillagászati fogalomban: Égitestek az idő múlásával egyre jelentősebb változásokat okoznak valamilyen bolygórendszer felépítésében.) miatt ezek a földpályát keresztező pályára is állhatnak.



(illusztráció: solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?IM_ID=11764)

A kisbolygók becsapódása nagyobb égitestek felszínébe szintén meteoranyag forrása. Például a Corvidák meteorraj pályája 1178-ig visszakövetve a Holdból indul. A marsi eredetű meteoroidok mint az ALH 84001 meteorit, szintén égitest becsapódás következményeként került a Marsról a Földre. Meteoroidok származhatnak akár más csillagok környezetéből is. Egy csillag erős csillagszele kifújhat a csillagközi térbe apróbb meteoroidokat, amelyek aztán bejuthatnak a Naprendszerbe. A gammakitörések erős sugárzása, a szupernóvák lökéshullámai egyaránt bejuttathatnak a Naprendszer belső tartományaiba Naprendszeren kívüli eredetű meteoroidokat.



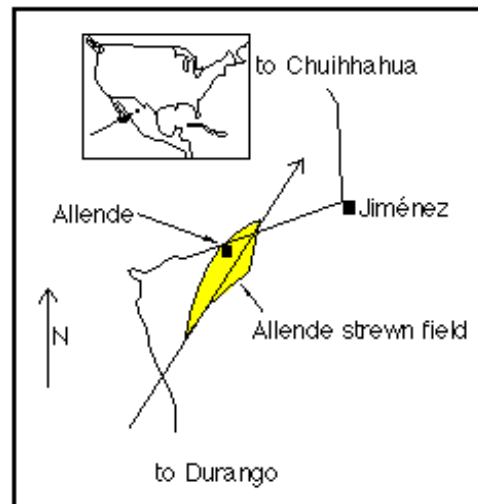
(illusztráció: Dana Berry, és Stephen Mojszis, University of Colorado és NASA Lunar Science Institute; William Bottke, Southwest Research Institute, ngm.nationalgeographic.com/2013/07/125-solar-system/image-gallery)

Először az apollóniai Diogenész vetette fel i.e. 467-ben Aigospotamoiban történt meteorithullás nyomán, hogy a meteoritok a világűrből érkeznek, ám elmélete kétezer éves feledésbe merült. Az i.e. 300-as években Arisztotelész a meteorjelenséget légköri eredetűnek tartotta, az által adott elnevezés, a meteor szó is „ég és föld között lebegőt” jelent.

A meteoritika tudományának megalapozása Ernst Florens Friedrich Chladni (1756–1827) német fizikus, akusztikus, feltaláló nevéhez fűződik, aki a 18. század végén az „Über den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderen ähnlichen Eisenmassen” [On the Origin of the Pallas Iron and Others Similar to it, and on Some Associated Natural Phenomena] (Leipzig és Riga, 1794.) című könyvben, foglalta össze az addig hullott (falls – megfigyelt meteorit hullásból származó darabok), és talált (finds – a meteorit hullásról nincs megfigyelés) meteoritokat és kimutatta azok kozmikus eredetét.

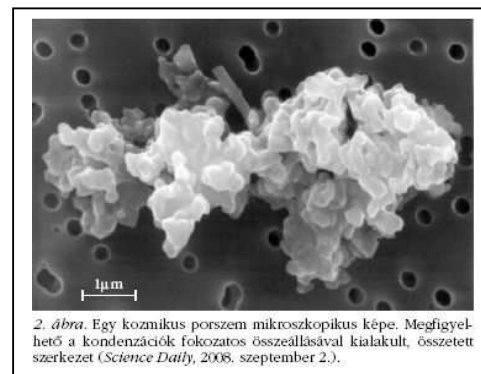
A meteoroidok a Nap körül keringő apró porszemcsék, törmelék. Jelentős részük mindössze 0,001 – 1 g tömegű, méretük 0,01 mm-től a néhány cm-ig terjed. Kicsinységük miatt a világűrben láthatatlanul keringenek, ugyanis rendkívül kevés a róluk visszavert napfény. A meteoroidot erős fékező hatás éri a Földfelszín felé haladva az egyre sűrűsödő levegőrétegekben. Ennek hatására a levegő és maga a részecske is erősen felizzik: meteorjelenséget látunk. A meteor szó kimondottan a légkörben feltűnő látványra utal - a Föld légkörébe hatoló meteoroid által okozott fényjelenség, a meteorit pedig a Föld felszínét elért meteoroid. Jelentős részük a Föld légkörében teljesen elég, vagy finom porrá esik szét, nem is éri el a földfelszínt.

A lehullott darabok, az érkezés irányának és földfelszínhez viszonyított szögének megfelelően többé-kevésbé elnyúlt elliptikus területen szóródnak szét. Néha a meteoroid egy tömegben hatol a légkörbe és csak utóbb robban szét, de sok esetben már a légkör határát is egy-egy meteoroidcsoport éri el. Allende meteorit hullási területe 150 km² -en (Pueblito de Allende, Chihuahua State, Mexikó) 1969. február 8., helyi idő szerint 01:05.



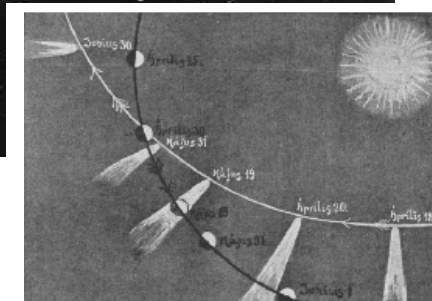
A meteorrajok az űrben keringő törmelék-áramlatok, amelyeket üstökösök vagy kisbolygók szórják szét pályájuk mentén. Az általánosan elfogadott elképzelés alapján a meteorrajok főként üstökösökből keletkeznek. A november közepén jelentkező Leonidák, az 1866-I üstökös maradványai. Fred Lawrence Whipple (1906–2004) amerikai csillagász már 1951-ben megállapította, hogy az üstökösből kiszakadt por tömegegységre vonatkoztatott mozgási energiája és perdülete nem tér el jelentősen az üstökösétől, következésképpen a távozó por lényegében az üstököséhez hasonló pályán halad tovább a Naprendszerben.

Az üstökösökből kiszabaduló por szétoszlik az üstökös pályája mentén, melyek a Napköri keringésük idején hidegek és sötétek. Ha Földünk áthalad egy ilyen poráramon, az abban található részecskék belépnek a légkörbe és kb. 100 km magasan elégnak - meteort, népies nevén hullócsillagot látunk.



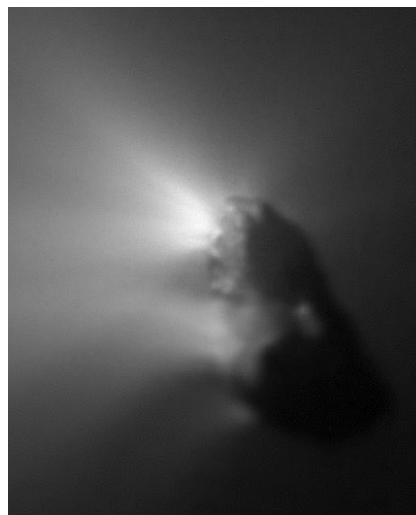
2. ábra. Egy kozmikus porszem mikroszkopikus képe. Megfigyelhető a kondenzációk fokozatos összeállásával kialakult, összetett szerkezet (Science Daily, 2008. szeptember 2.).

Halley-üstökösről leszakadó részecskék két permanens rajt is alkotnak: a májusi Aquaridák és az október végi Orionidák rajait. A keringésenként bekövetkező tömegvesztése az űrszondák mérései szerint 0,03%. Az 1P/Halley üstökös a Kuiper-övből származó rövid periódusú üstökösök legismertebb és legfényesebb példánya. Nevét Edmond Halley angol csillagászról kapta, aki kiszámította pályáját, elsőként a periodikus üstökösök közül. Keringési periódusa 76 év, legutoljára 1986-ban járt a Naprendszerünkben, így legközelebb 2061-ben fog visszatérni.



A Halley-üstökös megfigyeléséről, első ékírásos agyagtábla i.e. 164. szeptember 22 - 28, Babilon, (Irak. British Museum),

Halley üstökös 1910. május

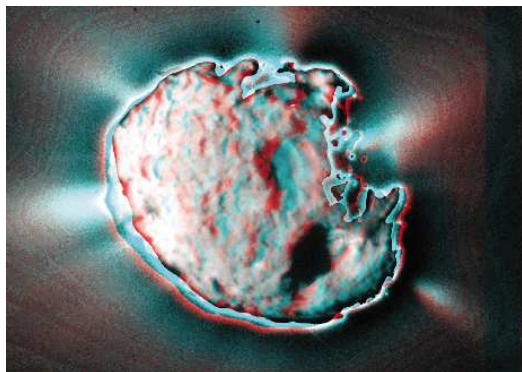


Halley üstökös 1986.március 14.

(forrás: ESA/MPAE, 1986)

(forrás: en.wikipedia.org/wiki/Halley%27s_Comet, és sci.esa.int/giotto/)

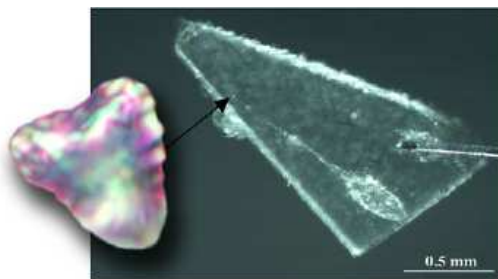
A NASA Discovery Programja keretében a Stardust űrszonda 2004-ben a Jupiter üstököscsaládjához tartozó 81P/Wild 2 ekliptikai üstökös magját megközelítve pormintát gyűjtött be a kómából. A minta 2006-ban jutott vissza a Földre egy kapszulában. Az Apollo holdexpedíciók óta ez az első, űreszközzel a Földre hozott szilárd anyagminta.



Wild 2 üstökös magja
(Piros-kék szemüveggel 3D-os)

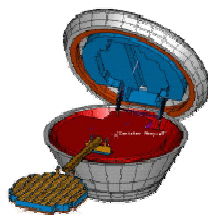


Illusztráció a Stardust és a Wild 2 találkozásáról. (forrás: NASA/JPL).



Peter Tom, NASA / JPL Stardust Mission

Wild 2 üstökös
részecske, és a
befogó „aerogél”.



Befogó szerkezet.



(Photo by Neal Lord, University of Wisconsin.)

Cameca 1280 secondary ion mass spectrometer (ion microprobe) at the University of Wisconsin, Madison (Wisc-SIMS). Pictured left to right are Taka Ushikubo, Wisc-SIMS Research Scientist; John Valley, Professor and Chair of the Wisc-SIMS Oversight Board; and Noriko Kita, Director of the Wisc-SIMS Lab. Taka Ushikubo and Noriko Kita made the oxygen isotopic measurements of the Wild 2 particles. Click the image for more information about

Az amerikai Wisconsin Egyetem nagy érzékenyséű ion-tömegspektrométerével végezték a vizsgálatokat.

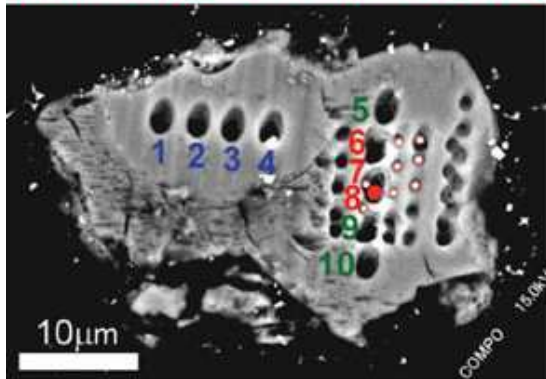
(forrás: G. Jeffrey Taylor and Linda M. V. Martel: Wee Rocky Droplets in Comet Dust, www.psrd.hawaii.edu/Dec08/PSRD-cometDust.pdf)

Japán és amerikai kutatók a 81P/Wild 2 üstökös közelében begyűjtött üstökös-poranyag laboratóriumi vizsgálatából kimutatták, hogy az ^{17}O -es és ^{18}O -as izotóp tartalma a szenes kondrit meteoritok, a fő kisbolygóövezet kisbolygói, és a Nap oxigén összetételével egyezik meg.

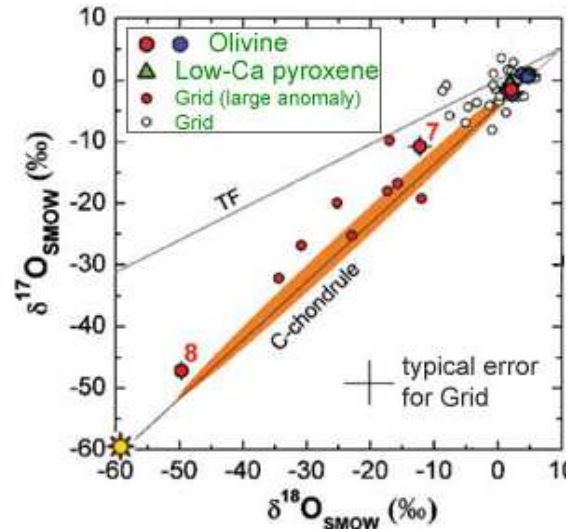
A mintákban sok a kalcium-alumínium zárvány (CAI) is. Az elemzések alapján a Wild 2 teljességgel ősi összetételűnek tűnik.

Wild 2 üstökös részecske,

PARTICLE "GOZEN-SAMA"



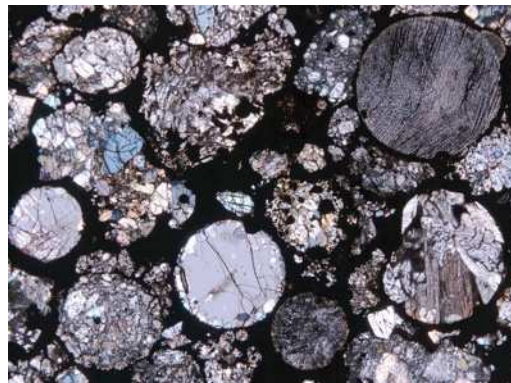
(After Nakamura et al., (2008) *Science*, v. 321, fig. 2.)



(forrás: Nakamura, T., Noguchi, T., Tsuchiyama, A., Ushikubo, T., Kita, N. T., Valley, J. M., Zolensky, M. E., Kakazu, Y., Sakamoto, K., Mashio, E., Uesugi, K., and Nakano, T. (2008) Chondrulelike Objects in Short-Period Comet 81P/Wild 2. *Science*, v. 321, doi:10.1126/science.1160995.)

A vizsgálatokat japán és amerikai kutatók végezték: a kísérletek vezetője Tomoki Nakamura, a japán Kyushu Egyetem bolygókutatási intézetének professzora, míg a vizsgálatokban a Wisconsin-i Egyetem kutatócsoportja is részt vett, benne Michael Zolenskivel, a NASA kozmikus anyagokat vizsgáló világhírű szakértőjével.

A Wild 2-üstökös pormintájában a gömb alakú szemcsék rövid ideig magas hőmérsékleten átalakult ásványi cseppek, kondrulák. A legnagyobbak átmérője ~40 mikron, a legtöbbjük ~10 mikronos. (forrás: Noriko Kita, Nakamura és munkatársai, NASA, Wisconsin Egyetem, Kyushu Egyetem).



A Stardust pormintában lévő gömböcskék, kondrulák magas hőmérsékleten alakultak ki, amikor a kristályos anyag rövid átmeneti időtartamra teljesen vagy részlegesen megolvadt. A folyamat többször is megismétlődhetett az ősi Naprendszerben, és mindez bolygórendszerünk Naphoz közeli belső térségeiben történt. A Wild 2-üstökös poranyagának kondritos része tehát a fiatal bolygórendszerünk belső térségeiből történő anyagáramlással kerülhetett ki a külső Naprendszerbe és épült be az üstökösök, illetve azok őseinek anyagába.

A tudósok régóta szeretnék megfejteni annak titkát, hogyan kerülhettek a rendkívül forró hőmérsékleten keletkező apró szilikátkristályok a Naprendszer külső peremvidékén kialakuló fagyos üstökösökbe. Ezek a kristályok valószínűleg amorf szilikátszemcséként kezdték életüket ugyanabban a gáz- és porfelhőben, amelyből Naprendszerünk is kialakult

Korábban kétféle elképzelés létezett arról, hogy a hó hatására hogyan jöhetnek létre az üstökösökben és a fiatal csillagok korongjában megfigyelhető kristályok. Egyrészt, ha sokáig vannak hóhatásnak kitéve egy újszülött csillag forró környezetében, akkor a por egy része a korong belső részén átkristályosodhat. Másrészt a korongban mozgó nagyobb égitestek lökéshullámokat kelthetnek, amelyek képesek az útjukba eső porszemcséket rövid időre a kristályosodáshoz szükséges magas hőmérsékletre fűteni, utána viszont a szemcsék gyorsan visszahűlnek korábbi hőmérsékletükre.

Egy nemzetközi kutatócsoport, melyben meghatározó szerepet játszottak az MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézetének munkatársai, új magyarázatot talált arra, hol és hogyan keletkeztek az üstökösök kristályai. Elképzelésüket egy fiatal, a korai Naphoz hasonló csillagnak a NASA Spitzer űrtávcsővével végzett megfigyeléseire alapozzák.

A kutatók 2008-ban a Spitzer-űrtávcső infravörös színeképelemző berendezésével olyan jellegzetességeket fedeztek fel a csillag infravörös sugárzásában, amelyek az EX Lupi-t körülvevő por- és gázkorong felszínén szilikátkristályok jelenlétére utaltak.

2005-ben a csillag korongjának felszínét amorf szerkezetű szilikát por alkotta. 2008-ban azonban a színekép az amorf porszemcséken kívül szilikát kristályok jelenlétét is kimutatta. A kristály valószínűleg forszterit, mely gyakran megtalálható üstökösökben és fiatal csillagok körüli korongokban is. A színekép alapján a kristályok forróak, mely azt bizonyítja hogy magas hőmérsékleten alakultak ki. Biztosra vehető azonban, hogy nem lökéshullám hatására keletkeztek, ebben az esetben ugyanis már sokkal hidegebbek lennének, mint azt a 2008-ban megfigyelt színeképük sugallja.

Az EX Lupi sok szempontból hasonlít arra, amilyen a Nap lehetett 4-5 milliárd évvel ezelőtt.

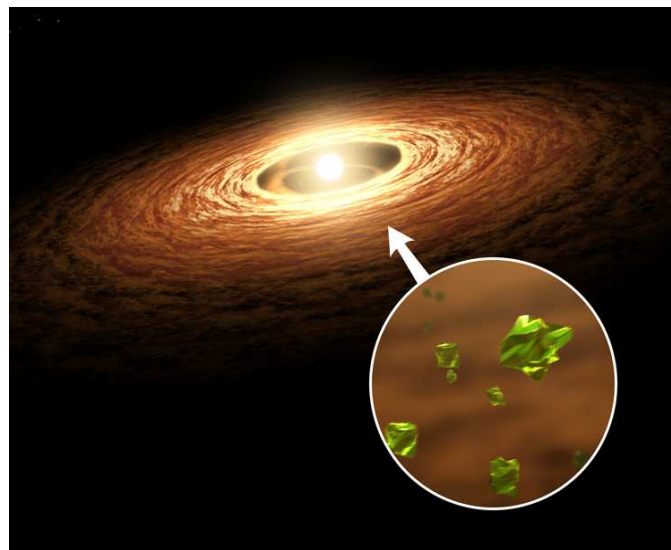
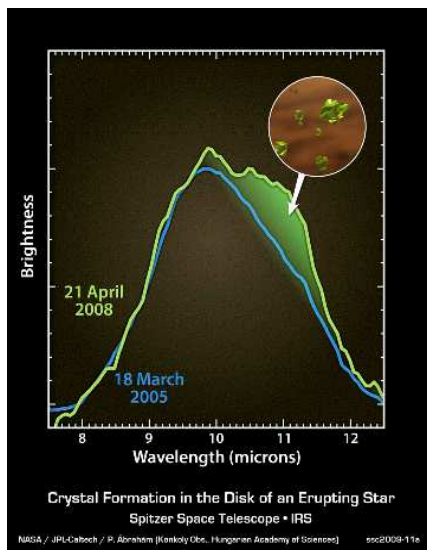


(illusztráció: NASA/JPL-Caltech, konkoly.hu/news/EXLup/kristaly.shtml)

A csillag néhány évente rendszeresen kifényesedik, ami azzal magyarázható, hogy a csillagkörüli korong belső peremén fokozatosan felhalmozódó anyag rövid idő alatt rázúdul a csillagra. „A kitörés során az EX Lupi körülbelül százszor lett fényesebb – mondja Juhász Attila.

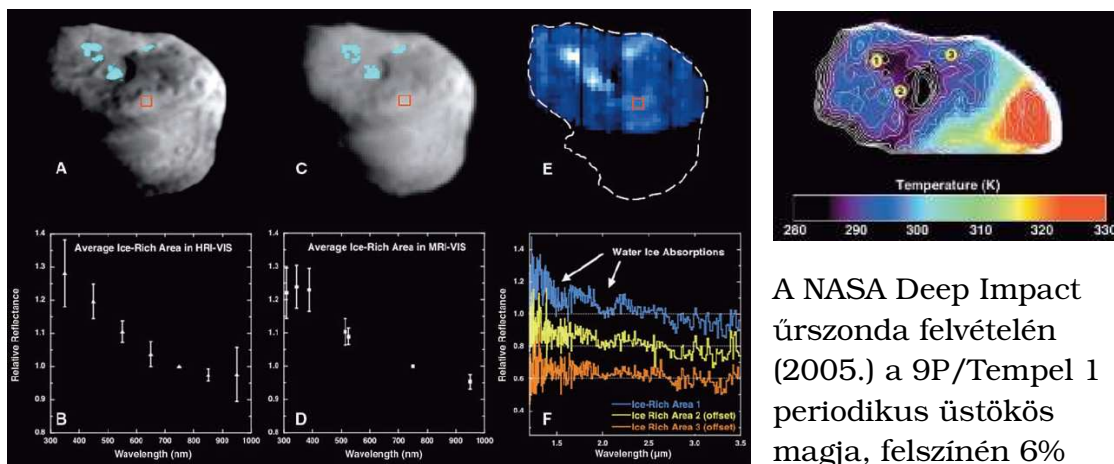


A kristályok a korong felső rétegében jöttek létre, de csak a csillagtól olyan távolságra, ahol a hőmérséklet 700 és 1200 °C közé esik. Ebben a tartományban a hőmérséklet elég magas volt ahhoz, hogy a szilikátszemcsék átkristályosodjanak, de még nem párologtak el. Az a tartomány ahol a kristályok keletkeztek, megfeleltethető annak, ahol a föld-típusú bolygók elhelyezkednek Naprendszerünkben.”



(illusztráció: P. Abraham, A. Juhász, C. P. Dullemond, Á. Kóspál, R. van Boekel, J. Bouwman, Th. Henning, A. Moór, L. Mosoni, A. Sicilia-Aguilar, N. Sipos: „Episodic formation of cometary material in the outburst of a young Sun-like star”, Nature 2009. május 14., és <http://konkoly.hu/news/EXLup/kristaly.shtml>)

„Tudomásunk szerint ez az első eset, hogy közvetlenül megfigyelhettük a kristályképződés folyamatát” - emelte ki Juhász Attila (Magyar Tudományos Akadémia, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet).



A NASA Deep Impact űrszonda felvételén (2005.) a 9P/Tempel 1 periodikus üstökös magja, felszínén 6% vízjég található.

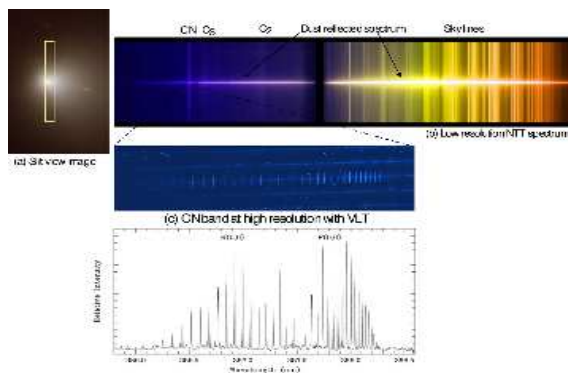
(forrás: J. M. Sunshine, M. F. A'Hearn, O. Groussin, J.-Y. Li, M. J. S. Belton, W. A. Delamere, J. Kissel, K. P. Klaasen, L. A. McFadden, K. J. Meech, H. J. Melosh, P. H. Schultz, P. C. Thomas, J. Veverka, D. K. Yeomans, I. C. Busko, M. Desnoyer, T. L. Farnham, L. M. Feaga, D. L. Hampton, D. J. Lindler, C. M. Lisse, D. D. Wellnit: Exposed Water Ice Deposits on the Surface of Comet 9P/Tempel 1, Science 311, 1453 (2006); DOI: 10.1126/science.1123632, <http://planetary.brown.edu/pdfs/3779.pdf>)



(kép: NASA/JPL és CALTECH/R.HURST, és Dr. George Rossman California Institute of Technology's Geology and Planetary Sciences department, www.spitzer.caltech.edu/images/1471-ssc2005-18c-Ingredients-of-a-Comet)

(forrás: Mitch Jacoby: A Comet's Chemical Composition, Space-based IR telescope reveals assortment of substances in Tempel 1, Space Science 2006. július 17, Volume 84, Number 29. p. 7, és Chemical & Engineering News, pubs.acs.org/cen/news/84/i29/8429notw1.html)

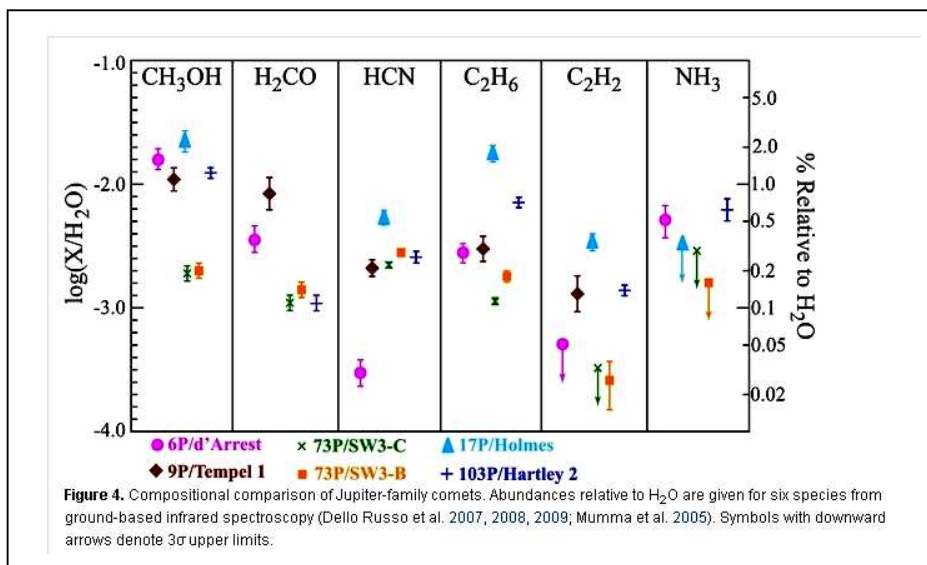
Az „üstökös leves” alkotórészek: a jég és a szárazjég, olivin, szmektitagyag, policiklikus aromás szénhidrogének, spinell, fémes vas, enzstatit szilikát, karbonát dolomit, valamint a vas-szulfid markazit.



A 9P/Tempel 1 üstökös 2005 júniusi szinképe. A spektrumok vizsgálata során kimutatott molekulák:

víz (H_2O),
 ciklohexán (C_6H_{12}),
 szén-dioxid (CO_2),
 szén-monoxid (CO)

(forrás: Linda Moulton Howe: Deep Impact Spectra, Carbonate, PATHs and Some Amilo Precursors in Comet Tempel 1, 2005.,
 bibliotecapleyades.net/ciencia/ciencia_asteroids_comets_deepimpact14.htm,
 és Carey Michael Lisse, Ph.D., Prof. of Physics, University of Maryland, a Deep Impact Science Team, a kutatásvezető Chandra X-Ray és a Spitzer teleszkóp Deep Impact spektrométer eredmények.)



(forrás: N. Dello Russo, R. J. Vervack Jr, C. M. Lisse, H. A. Weaver, H. Kawakita, H. Kobayashi, A. L. Cochran, W. M. Harris, A. J. McKay, N. Biver: The volatile composition and activity of comet 103p/hartley 2 during the epoxi closest approach, The Astrophysical Journal Letters, 2011., Volume 734, Number 1, ApJ 734 L8 doi:10.1088/2041-8205/734/1/L8, <http://iopscience.iop.org/2041-8205/734/1/L8/article>, és iopscience.iop.org/2041-8205/734/1/L8/pdf/2041-8205_734_1_L8.pdf)

A Jupiter-család üstökösök hat komponensének infravörös spektroszkóp mérési eredményei összehasonlítva.

Metanol (CH_3OH vagy metil-alkohol), formaldehid (H_2CO), hidrogéncianid gázt (HCN vagy hidrocian sav), Etán (C_2H_6), Etin (C_2H_2), ammónia (NH_3).

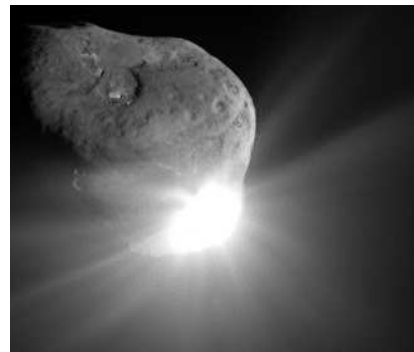
A Stardust űrszonda új feladatot kapott, a 9P/Tempel 1 felé vette útját, azzal a céllal, hogy a NASA Deep Impact űrkísérlete során az üstökös mag felszínén 2005-ben mesterségesen előidézett becsapódás kráterét megkeresse, illetve az üstökös mag eddig még nem látott felét feltérképezze.

A kutatók ezzel a kísérlettel is a Naprendszerben fellelhető legősibb anyagot kutatták, mivel az elméletek szerint az üstökös magok valamelyest megváltozott külső rétegei alatt 4,5 milliárd éve változatlan jég- és por található, amely a legközelebb áll a Naprendszerünk születéskori állapotához.

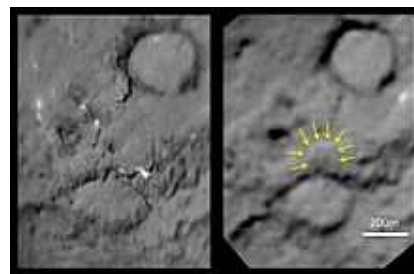
A becsapódás során kidobódott anyagot Carey Lisse (University of Maryland) kutatócsoportja a Spitzer űrteleszkóppal vizsgálta infravörös tartományban. A törmelékben karbonátok és agyag jelenléte volt kimutatható.

Két olyan anyagfajta, amelyek a Földön általában folyékony víz jelenlétében képződnek. Bár az üstökösök is nagy mennyiségben tartalmaznak vizet, ez esetben talajvízre, illetve vízgőzre kell gondolni, amely a múltban a belső részeken átszivárogva, elpusztíthatta vagy megváltoztathatta a magba bezárt anyagot.

Jelenleg a Tempel 1 az egyetlen ismert üstökös, melynél karbonátokra és agyagra utaló jeleket észleltek. Deep Impact becsapódása a 9P/Tempel 1 periodikus üstökös magjába (2005. július 04.) (forrás: Selby Cull: How Pure Is the Comet?, Sky & Telescope. 2006., skyandtelescope.com/news/3491846.html, és NASA/JPL)



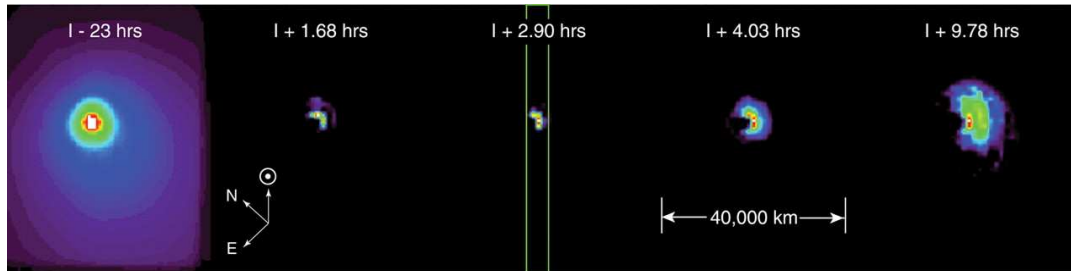
A Tempel 1 becsapódási kráterekkel tarkított, ami esetleg a karbonátok és agyakok forrása lehet a kutatók feltevései szerint. A Deep Impact ugyanis éppen két becsapódási kráter között érte el a felszínt. Lehetséges, hogy ezen a területen egy ősi becsapódás hatására vízgőz jött létre, amely képes volt megváltoztatni az anyagösszetételt, így a kidobott anyag nem volt teljesen ősi.



Becsapódás előtt, és után.

Ugyanakkor Lisse és csoportja emlékeztet rá, hogy bár a planetáris geológiában jelenleg elfogadott nézet szerint folyékony vízre van szükség a karbonátok és agyakok keletkezéséhez, de nem a víz az egyetlen anyag, ami szerepet játszhat kialakulásukban. Az elmúlt évben Alice Toppani (Lawrence Livermore National Laboratory) és csoportja felfedezték, hogy karbonátok képződhetnek gázból is, folyékony víz jelenléte nélkül. Más kutatók pedig kimutatták, hogy néhány fajta ásványból hőkezelés hatására agyag képződik- megint csak víz nélkül.

A Deep Impact anyaszonda és a becsapódó egység (lövedék) kamerái együttesen 4500 képet rögzítettek. A földkörüli pályán keringő és a földfelszíni nagyobb távcsövek szinte mind a kométát figyelték.



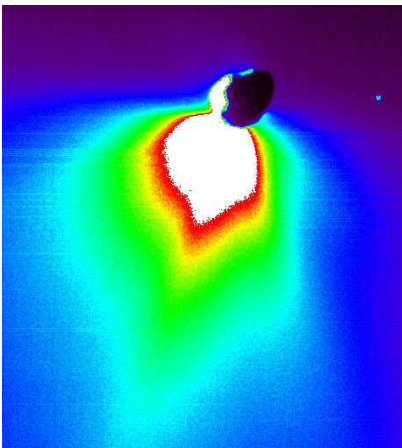
Az ESA rövid hullámhosszakon üzemelő XMM Newton űrteleszkópjának optikai képrögzítője a becsapódást követő percekben jelentős felfényesedést észlelt, ami a kómába került por és gáz megnőtt mennyiségét mutatja.

A becsapódás után kb. 1,5 órával a vízmolekulák lebomlásával keletkező hidroxil-ionok emissziója a korábbiak közel ötszörösére nőtt.

A SWIFT űrtávcső. ultrabolya megfigyelései alapján a robbanás a kirepült anyagot kb. 2000 fokra hevítette. Az ultrabolya sugárzás erős növekedése arra utal, hogy a lövedék a finom por alatt viszonylag kemény felszínbe ütközött. A becsapódás után több napos időskálán a röntgensugárzás is erősödött, ennek mértékéből kiindulva néhányszor 10 ezer tonnára becsülik a kirepült anyag mennyiségét.

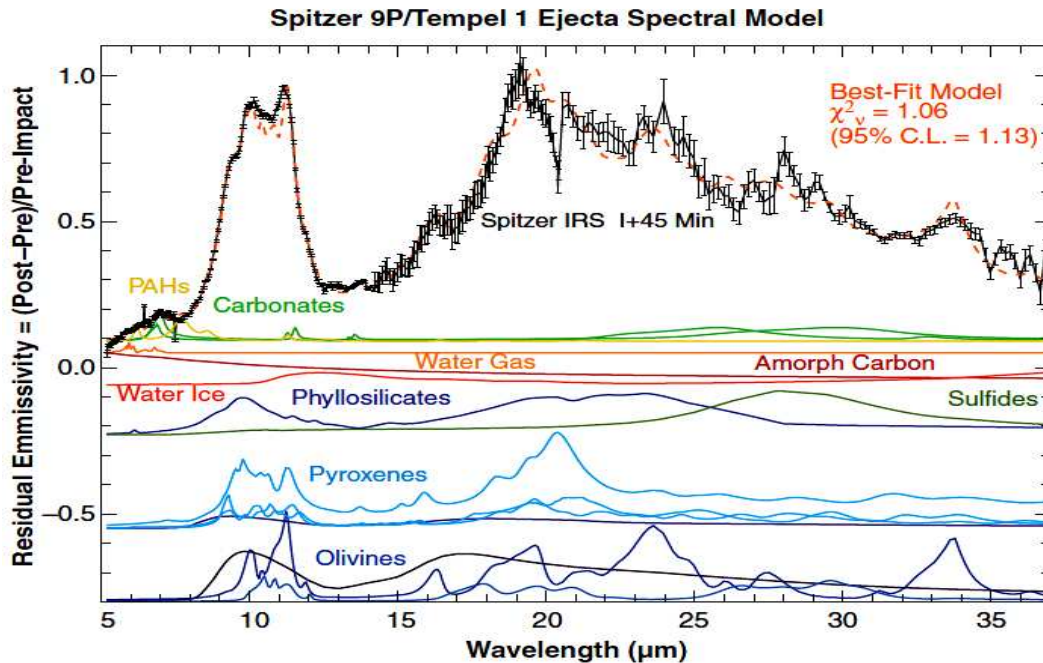
A földfelszíni 3,8 méteres UKIRT infravörös teleszkóp a becsapódás után másodpercenként 20 fényességmérést végzett. Adatai szerint a robbanást követő órában az üstökös mag hősugárzása közel tízszeresére emelkedett.

A Gemini-teleszkóp megfigyelései alapján pedig a kirepült finom port valamilyen kristályos szerkezetű szilikátos anyag alkotta. Mindezek mellett sok távcsővel azonosították a robbanás után a mag napsütötte oldalán kiterjedő felhőt.



A Deep Impact anyaszonda hamisszínes felvétele (az eredeti felvétel számítógéppel színezett változata, annak érdekében, hogy az apró részletek az emberi szem számára sokkal feltűnőbbek legyenek) a Tempel-1 magjáról 50 perccel a becsapódás után. A fehér szín a legfényesebb, a kék a leghalványabb és így legritkább anyagot jelöli.

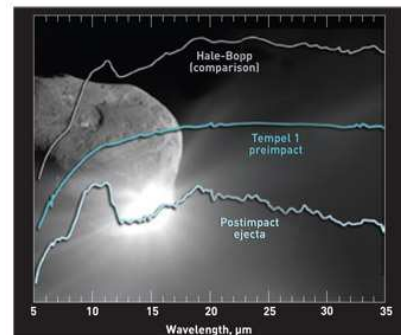
(forrás: NASA/JPL-Caltech/UMD, www.nasa.gov/mission_pages/deepimpact/multimedia/pia02139.html, és deepimpact.umd.edu/gallery/313_635_F1.html)



(forrás: C. M. Lisse, J. VanCleve, A. C. Adams, M. F. A'Hearn, Y. R. Fernández, T. L. Farnham, L. Armus, C. J. Grillmair, J. Ingalls, M. J. S. Belton, O. Groussin, L. A. McFadden, K. J. Meech, P. H. Schultz, B. C. Clark, L. M. Feaga, J. M. Sunshine: Spitzer Spectral Observations of the Deep Impact Ejecta, *Science* 313, 635 (2006); DOI: 10.1126/science.1124694)

A Tempel 1 üstökösre irányított NASA Deep Impact űrszondájának becsapódása utáni kiövelés színekéből megállapított ásványanyagok: amorf olivin (MgFeSiO_4), forsterit (Mg_2SiO_4), fayalit (Fe_2SiO_4), amorf piroxén ($\text{MgFeSi}_2\text{O}_6$), ferroszilit ($\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$), diopszid ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$), ortoensztatit ($\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$), szmektit notronit, ($\text{Na}_{0.33}\text{Fe}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), magnezit (MgCO_3), sziderit (FeCO_3), ningerit ($\text{Mg}_{50}\text{Fe}_{50}\text{S}$), policiklusos aromás szénhidrogének PAH ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}$), ionizált, vízjég (H_2O), vízgőz (H_2O), amorf szén (C).

(forrás: Mitch Jacoby: A Comet's Chemical Composition, *Space-based IR telescope reveals assortment of substances in Tempel 1* *Space Science*, July 17, 2006 Volume 84, Number 29. p. 7, és *Chemical & Engineering News*, <https://pubs.acs.org/cen/news/84/i29/8429notw1.html>)



Az ábra mutatja az infravörös spektrális adatok elemzése alapján a Tempel 1 üstökös felszínéről kilövellő anyag és a Hale-Bopp üstökös kémiai összetételének hasonlóságát.

A csillagászati színeképelemzés (spektrumanalízis az összetevőire bontott elektromágneses sugárzás vizsgálata) során megvizsgálják az egyes hullámhossz-tartományok intenzitását, erősségét illetve fényességét, továbbá a Fraunhofer-vonalak helyzetét és szélességét. Ez utóbbiakat a földi anyagok színeképelemzési eredményeivel összehasonlítva bizonyos elemeknek és vegyületeknek az előfordulására következtethetünk az üstökösök kifúvásában, kilövellésében, a kómában és a csóvában. A fényintenzitás folytonos színeképbeli eloszlása a hőmérséklettől és az anyagi összetételtől függ, így ebből meghatározható az égítést felszíni hőmérséklete. A színeképvonalak Doppler-eltolódásának vizsgálatával információt nyerhetünk a látóirányú (radiális) sebességéről.

A spektrumban megfigyelhető a gerjesztett elemek emissziója, ezek alapján lehet következtetni a disszociációban részt vevő molekulákra. Ezek jellemzően víz, szén-monoxid, szén-dioxid, hidrogén-szulfid, metanol, hidrogén-karbonát, ammónia, metán, etán, hidrogén-cianid, kén-dioxid, acetilén, ecetsav, acet-aldehid, hidrogén-cianát és egyéb szerves molekulák 1 ezrelék koncentráció alatt (Biver és mtsai, 1999).

A Giotto szonda olyan polimer szerves molekulákat is kimutatott, amelyek elsősorban a víz és a szén-monoxid alacsony hőmérsékletű polimerizációjával jöttek létre. (Thomas, 2001).

A kóma spektrumának jellemző emissziós sávjai H, O, S, C, CO, C₂ CS, CO₂⁺, OH, NH az ultraibolya tartományban, CN, CO⁺, C₃, CH, C₂, NH₃ a látható tartományban (Weaver & Feldman, 1992), OH, C₂H₂ és HCN rotációs-vibrációs átmenetek az infravörösben (Brooke és mtsai, 1996), az OH, metanol és egyéb, kisebb koncentrációjú szerves molekulák rotációs-vibrációs átmenetei a mikrohullámú tartományban (Lis és mtsai, 1999). Napközelen megjelennek az alkáli földfémek emissziói is. A vonalak intenzitását befolyásolja az üstökös sebessége, hiszen a Nap ultraibolya-színeképe kis vöröseltolódással is más arányú disszociációt kelt (Swings-jelenség), és ugyanezen okból befolyásolja a kóma sebességdiszperziója is (Greenstein-jelenség).

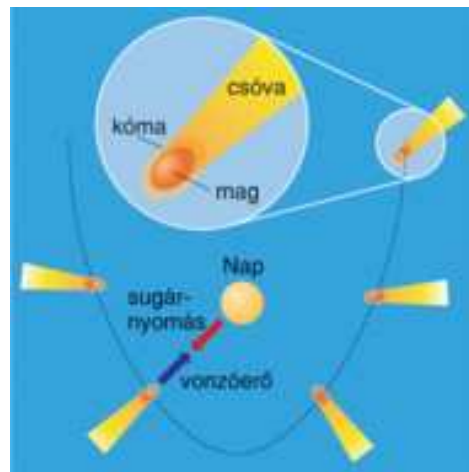
A por fő összetevője magnézium gazdag kristályos olivin (Crovisier és mtsai, 1997). Az üstökösök por- és jég anyaga a csillagközi por- és jég anyagához igen hasonló.

Az üstökösök aktivitásának motorja a gázkibocsátás; ez napközelen a vízjég, 3 csillagászati egységnél távolabb (180 K-nél hidegebb mag esetében) valamely más, könnyebben szublimáló elem, ez lehet a szén-monoxid. Az előzetes várakozásoknak megfelelően sikerült kimutatni a Hale-Bopp-üstökös naptávolban CO-dominált aktivitásának elfejlődését napközeli víz-dominált kómává (Biver és mtsai, 1999).

Meglepő módon az üstökösök a Naprendszer ismert objektumai közül a legsötétebbek közül valók. A Giotto űrszonda megállapította, hogy a Halley-üstökös magja körülbelül a ráeső fény 4%-át veri vissza, albedó 0,04 (fehérség, egy felületre érkező elektromágneses sugarak visszaverődési képességének mérőszáma), a Deep Space-1 mérései szerint a Borely-üstökös esetében ez az érték 2,4% - 3% közötti (az aszfalt a ráeső fény 7%-át, a szén, 2-4%-át, a Hold 4-14%-át a Föld átlagosan 39%-át veri vissza). Feltételezik, hogy a sötét felszíni anyagok összetett szerves vegyületek. A Nap hője elpárologtatja az illékony vegyületeket, a nehéz hosszúláncú anyagokat meghagyva, melyek gyakran nagyon sötétek. Az üstökös felszínének ezen sötétsége lehetővé teszi a gázkibocsátás fenntartásához szükséges mennyiségű hó elnyelését.

A távolban ez a jég fagyott állapotban van, ám a Nap felé közeledve, az óriásbolygók térségében a napsugárzás hatására szublimálni kezd. A felszabaduló gáz és a kiszabaduló porszemcsék hatalmas, több százezer km átmérőjű, ám rendkívül ritka felhőt képeznek a mag körül (kóma). Ez az üstökös feje, amelyből a Naphoz közeledve egyre több anyag sodródik le.

Kialakul a csóva, amely a napszél hatására mindig a Nappal ellentétes irányba mutat, hossza pedig elérheti a 100 millió km-t.



A legfényesebb kométáknál két, különböző színű és megjelenésű csóva figyelhető meg. A kék színű, vékony szálakból álló csóva a kiszabadult gázból létrejövő ionokat tartalmazza, a sárgás, szétterülő pedig a porszemeket - nevük ioncsóva, illetve porcsóva.

Ezen a Hale-Bopp üstököséről 1997-ben készített felvételen az ioncsóva (balra) és a porcsóva (jobbra).



(forrás: John Gleason, Celestial Images, Astronomy Picture of the Day, apod.nasa.gov/apod/ap050522.html)

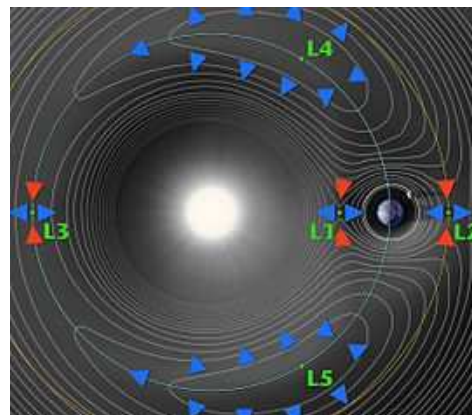
Az üstökösöket a kóma vagy a csóva jelenléte különbözteti meg a kisbolygóktól, bár egyes nagyon öreg üstökösök, melyek összes illékony anyagukat elvesztették, kisbolygóra emlékeztető objektummá válhatnak.

A Patroclus kisbolygó részletes vizsgálata arra utal, hogy inkább üstökös-mag, mint kisbolygó lehet, és nem mai helyén jött létre. Ha ez a Trójai kisbolygókra is igaz, új elmélet szükséges ezen égitestek kialakulásának magyarázatára.

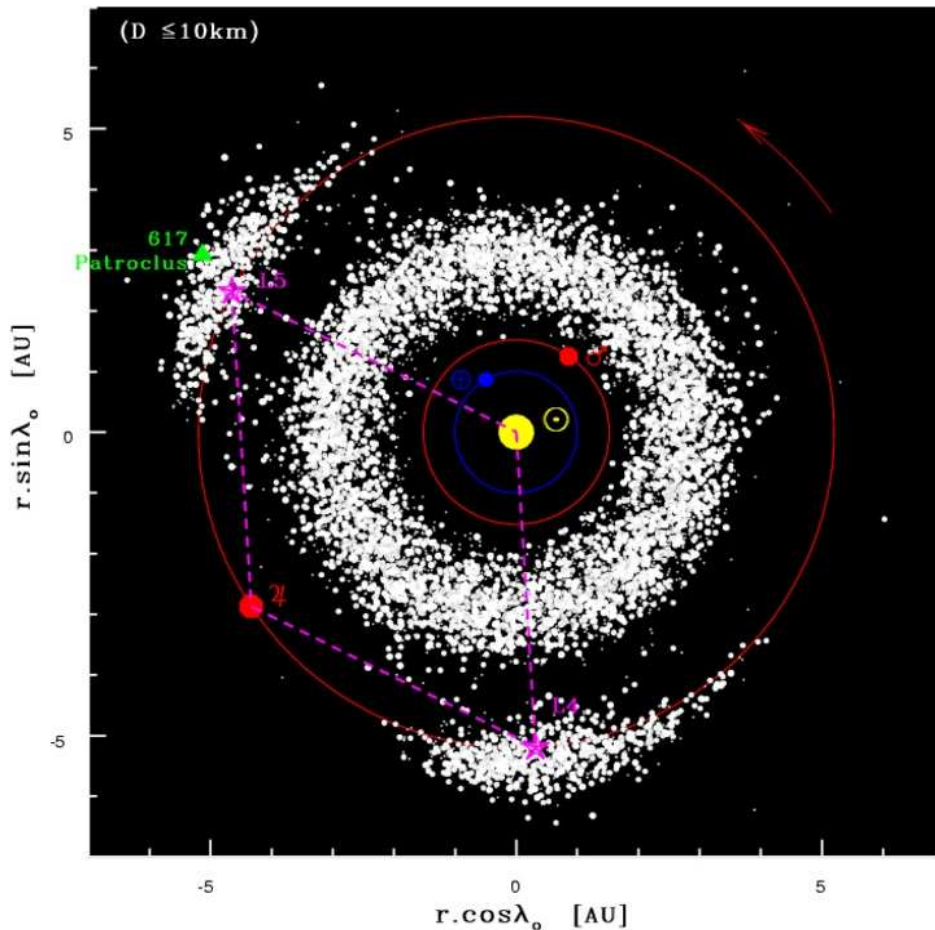


(illusztráció: Lynette Cook (W. M. Keck Observatory), Study of Patroclus and Menoetius. A Double Trojan System, <http://astro.berkeley.edu/~fmarchis/Science/Asteroids/Patroclus/>)
Fantáziarajz a Patroclus párosról

Trójai csoportnak azokat a kisbolygó- (aszteroida-) halmazokat nevezik a Naprendszerben, amelyek a bolygók L4, L5 Lagrange-pontjai (librációs pontjai) környékén csoportosulnak. Az öt Lagrange-pont a tér azon öt pontja, amelyben egy kis test két, egymás körül keringő nagyobb test együttes gravitációs vonzásának hatására azokhoz képest közelítőleg nyugalomban maradhat.



(forrás: hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:Lagrange_very_massive.svg)



(forrás: Franck Marchis, Daniel Hestroffer, Pascal Descamps, Jérôme Berthier, Antonin H. Bouchez, Randall D. Campbell, Jason C. Y. Chin, Marcos A. van Dam, Scott K. Hartman, Erik M. Johansson, Robert E. Lafon, David Le Mignant, Imke de Pater, Paul J. Stomski, Doug M. Summers, Frédéric Vachier, Peter L. Wizinovich, Michael H. Wong:

„A low density of 0.8 g cm⁻³ for the Trojan binary asteroid 617 Patroclus”,
in: Nature 439, 565-567 (02 02. 2006) doi:10.1038/nature04350, IMCCE-
Observatoire de Paris,

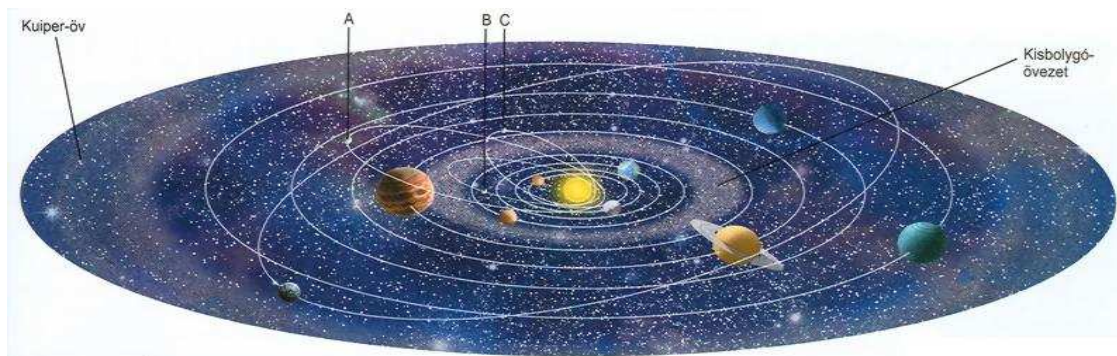
www.nature.com/nature/journal/v439/n7076/abs/nature04350.html, és
astro.berkeley.edu/~fmarchis/Science/Asteroids/Patroclus/figTrojans.jpg)

A trójai kisbolygók többségének saját pályaelemei igen stabilak, ezért mozgásuk több millió évig periodikusnak tekinthető. A Jupiter kisbolygói jeges és igen sötét felszínű, egy inaktív üstököshöz hasonló égitestek. Ezek az égitestek a Jupiter pályáján, két csomóban keringenek. A Jupiter előtt kering (a Nap felől nézve 60 fokkal) az L4 Lagrange-pontban összesűrűsödött kisbolygók csoportja, az L5 Lagrange-pontban lévők pedig követik a Jupitert. Egyes feltételezések szerint számuk nagyságrendileg megközelítheti a fő-kisbolygóövben lévő társaikét - tehát fontos égitestcsoportot képviselnek

A 617-es sorsszámú Patroclus kisbolygó egy viszonylag nagy méretű tagja a Trójaiak csoportjának. Sokáig egy kb. 150 km átmérőjű, magányos égitestnek tartották, de 2001-ben a Gemini teleszkóppal végzett megfigyelések rámutattak, hogy valójában két aszteroidából áll. Egy 76 és egy 70 km-es objektumot tartalmaz, amelyek 680 km-re keringenek egymás körül 4,3 napos periódussal. Feltehetőleg egy nagyobb égitest kettészakadásával jöttek létre, amelyet talán a Jupiter árapály ereje tépett darabokra.

A Mauna Keán található Keck Observatóriumból a 10 méteres Keck II. teleszkóppal és annak NIRC2 detektorával vizsgálták a Patroclust a közeli infravörös tartományban. A 2004 novemberében és 2005 májusában készült megfigyeléseket egy nemzetközi kutatócsoport végezte, Franck Marchis (University of California, Berkeley) vezetésével. Céljuk a két aszteroida fizikai jellemzőinek minél pontosabb megállapítása volt.

Kiderült, hogy sűrűségük mindössze $0,8 \text{ g/cm}^3$ körüli, azaz kisebb a vízjégnél. Eszerint anyaguk az üstökösök laza, leginkább a porózus hóra emlékeztető anyagához hasonlíthat, ahol a térfogat felét-harmadát üregek teszik ki. A Patroclus kis sűrűsége arra utal, hogy anyaga inkább nagyobb naptávolságban állt össze, nagyjából abban a régióban, ahol az üstökösök születnek.



(forrás: www.vilaglex.hu/Csillag/Html/Kisb.htm)

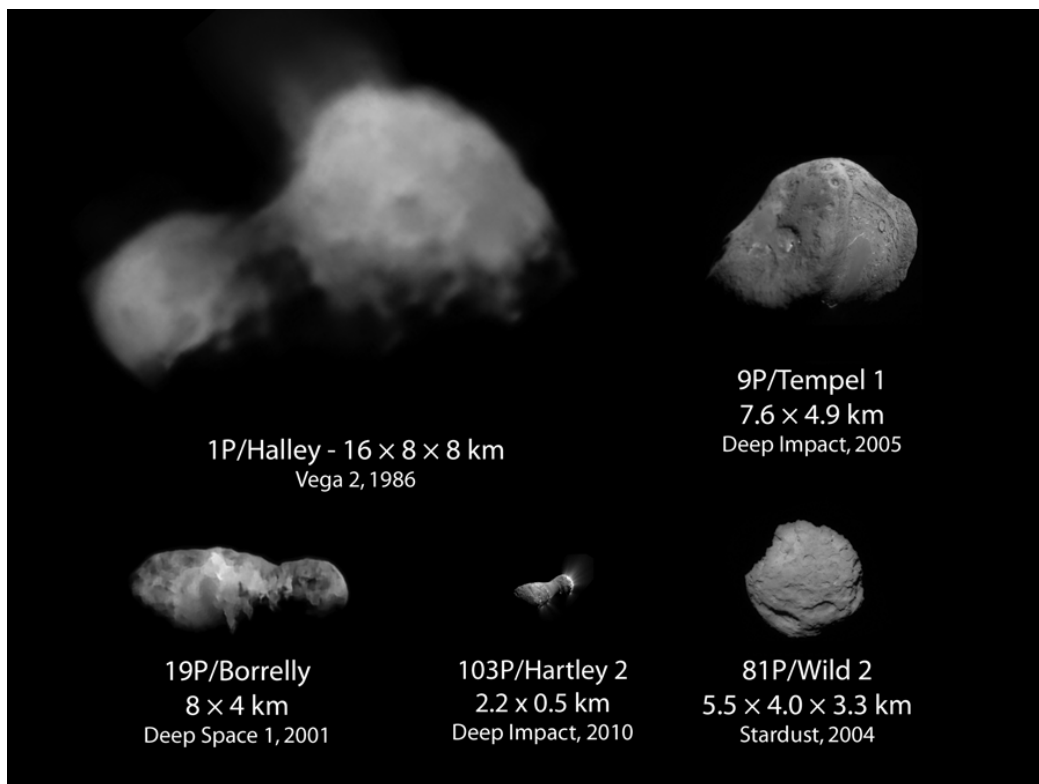
Elképzelhető, hogy egykor a Naphoz közelebb vándorolt és a Jupiter által befogott Kuiper-objektumokkal van dolgunk.



(forrás: <http://lpb.fieldofscience.com/2009/11/solar-systemto-scale.html>)



(forrás: Chris Schur, Payson, Arizona, www.csillagaszat.hu/wp-content/uploads/2007/12/20071227_holmes_ujra_kitorhet_5.jpg)
A Holmes-üstökös nagy kiterjedésű kómája 2007. december 27/28-án.



(forrás: Russian Academy of Sciences/Ted Stryk. Tempel 1 and Hartley 2: NASA/JPL/UMD. Borrelly: NASA/JPL/Ted Stryk. Wild 2: NASA/JPL., és <http://discovery.nasa.gov/images/missions/next/comets-comparison.png>)

A Rosetta nevű műhold 2004. március 2-án, egy Ariane-5 rakéta orrán indult útnak, és négy, a gyorsítást segítő bolygóközeli manőver és hároméves hibernációt követően tízéves utazás után a küldetés 218 napjának kilencedik órájában 2014. 08. 06-án pályára állt a Csurjumov-Geraszimenkó (67P) üstökös körül. A Rosetta eddig összesen 6,4 milliárd kilométert „barangolt” a Naprendszerben, és az eddigi 12, különböző üstökösökkel való sikeres találkozássorozat folytatásaként pontosan meg tudta közelíteni az üstökös pozícióját és felvette pályá mentü sebességét. A Rosetta az első olyan űrszonda, amely együtt repül egy üstökössel, hosszú időn át megfigyeléseket végez, majd leszállóegységet bocsát a felszínére.



(illusztráció: European Space Agency (ESA), Európai Űrügynökség, <http://www.livecometdata.com/wp-content/uploads/2014/01/Rosetta-and-Philae.jpg> és http://mta.hu/mta_hirei/jelentes-reszt-vallaltak-akademiai-kutatok-a-rosetta-urszonda-fejleszteseben-133432/)

A Rosetta és a Philae-egység leszállás közben és az üstökös magján, felette a keringő egység.

A Rosetta hónapokon keresztül a lehető legközelebb marad majd az üstököshöz, hogy pontosan felmérje a gázból, jégből, kőzetből és porból összeálló égitest felszínét. Ez egyrészt tudományos szempontból is fontos, másrészt a küldetés végső célja, hogy a 67P felszínére juttassa a Philae nevű leszállóegységet. A háromszög alakú pálya után nagyjából szeptemberben lesz harminc kilométer magas kör-, majd két héttel később 10 kilométer magas elliptikus pálya. A háromszög alakú pályának azért is van jelentősége, mert a háromszög csúcsai közti szakaszon tapasztalt elhajlás alapján számolják ki az üstökös tömegét, amiből már következtetni tudnak a gravitációs környezetre.

A 400 millió kilométer távolságban lévő műhold sok megapixeles képeit hatvan-hetven kilobites másodpercenkénti sebességgel tudja visszaküldeni.

A képekről az derül ki, hogy az üstökös felszínén vannak sík területek, komoly ütközésnyomok, lekerekedett sziklák és éles peremű részek. A leszállóegység tervezésében és két nagyon fontos műszerének fejlesztésében magyar kutatók vettek részt. Három intézet fogott össze a Philae központi vezérlő és adatgyűjtő rendszerének kifejlesztésére. A finn kutatók fejlesztették és gyártották a nagy kapacitású tárolót, a KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézetének kutatói a fedélzeti számítógép és szoftverrendszerét fejlesztették, a német tudósok a számítógép űrminősítéssel rendelkező alkatrészeit szerezték be és magának a repülőnek a számítógépét építették meg.

A Philae energiaellátó egységét egy másik magyar kutatócsoport, a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtechnika Tanszék Űrkutató Csoportja fejlesztette. Az energiaellátó egységet is egy német kutatócsoporttal együttműködve építették meg.

Az üstökös magjára meglepő alakját feltáró felvételeket az űrszonda OSIRIS (Optical, Spectroscopic and Infrared Remote Imaging System, azaz optikai, sztereoszkopikus és infravörös távérzékelő képalkotó rendszer) nevű műszerével készítették.

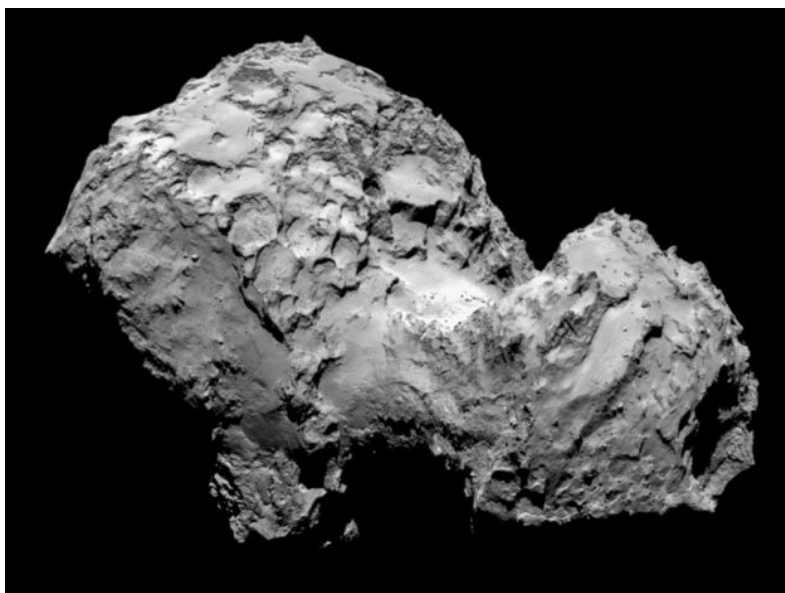
Az OSIRIS-t nemzetközi konzorcium fejlesztette, a németországi Naprendszer-kutatási Max Planck Intézet vezetésével. A munkába olasz, francia, spanyol és svéd intézetek is bekapcsolódtak. A kamera egy kis- és egy nagylátószögű egységet foglal magába. Fontos szerepe lesz a leszállóhely kiválasztását megelőző térképezés során.

Az OSIRIS kislátószögű kamerájának látómezeje 2,2 fok, felbontóképessége 3,8 szögmásodperc/pixel. Ha a szondának sikerülne 1 km-re megközelítenie az üstökös felszínét, akkor 2 cm-es részletek is megkülönböztethetők lennének.



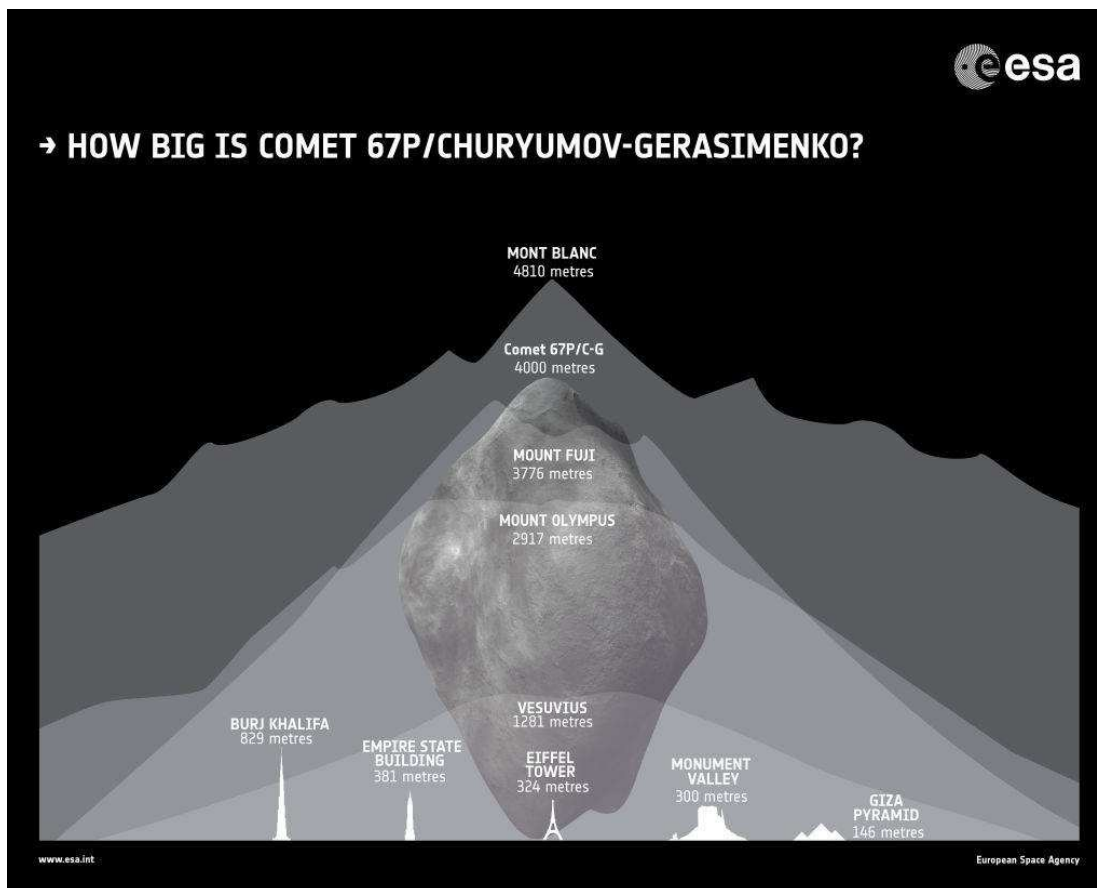
(forrás: ESA/ROSETTA/MPS FOR OSIRIS TEAM
MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA)

„Az üstökös magjának közvetlen vizsgálata a leszállás után, 2014. november 11-én indul. Ekkor kezdi meg érdemi működését a magyar fejlesztésű központi számítógép, amely a közel kétnapos, első mérési szekvenciát vezérli. Sorra bekapcsol minden műszer, amelyek mérési adatai a keringőegységen keresztül jutnak el a földi vevőállomásra. Ezután kezdődik annak a megfigyelése, hogy miként változik a Nap hatására az üstökös aktivitása” – sorolta a kutatási feladatokat Szalai Sándor az MTA doktora, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont professor emeritusa az mta.hu-nak.



(forrás: ESA/Rosetta/
NAVCAM
Collage/Processing:
Ken Kremer/Marco
Di Lorenzo,
[http://rosetta.esa.int
/images/Comet_on_3
_August_2014.jpg](http://rosetta.esa.int/images/Comet_on_3_August_2014.jpg))

A 67P üstökös
3–5 kilométer
kiterjedésű magjáról a
navigációs kamerával
(NAVCAM)
készült felvétel.



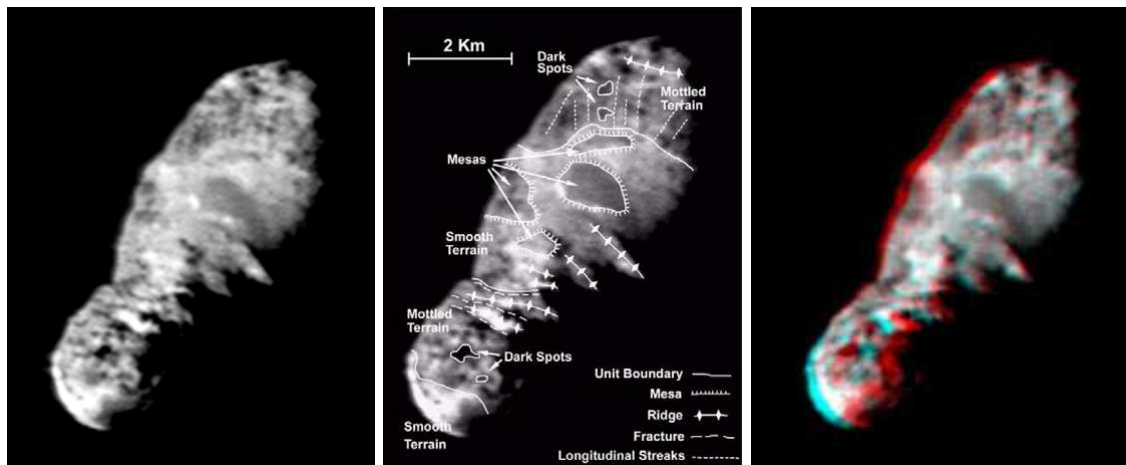
(forrás: <http://blogs.esa.int/rosetta/2014/07/01/four-complete-six-to-go-burning-down-to-comet-rendezvous/>)

Csurjumov-Geraszimenkó (67P) üstökös méret összehasonlító illusztráció.

Az üstökös magok mérete szerint ~100 méter és ~40 kilométer között lehetségesek. 1950-ben Fred Lawrence Whipple felvetette, hogy az üstökösök ahelyett, hogy némi jeget tartalmazó sziklás objektumok lennének, inkább jeges objektumok, melyekben némi por és szikla is megtalálható. Ez a „piszkos hólabda” modell hamar elfogadottá vált, bár a friss megfigyelések száraz, poros vagy sziklás felszínt mutattak, ami arra utal, hogy a jég a kéreg alatt rejtőzik.

Az üstökös magok meglehetősen szabálytalan alakúak, sima és durva felületek, benyomódások, hegygerincek, dombok, becsapódási kráterek és robbanási tölcserék egyaránt előfordulhatnak, mivel tömegük (és így gravitációjuk) nem elégséges a gömbalak kialakulásához. A mag szerkezete porózus, térfogatának 60%-a lehet légüres tér.

2001-ben a NASA Jet Propulsion Laboratory (Pasadena), Deep Space-1 csapata, nagy felbontású képeket készített a Borrelly-üstökös felszínéről. Megállapították, hogy az üstökös különálló sugarakat lövell ki, de a felszíne forró és száraz. A feltételezés alapján, hogy az üstökösök vízjeget és más típusú jeget tartalmaznak, Dr. Laurence Soderblom kijelentette: „A színek alapján a felszín száraz és forró. Meglepő, hogy nem találtuk nyomát vízjégnek. A jég valószínűleg a kéreg alatt rejtőzik, mivel a felszínt a Nap hője kiszárította, vagy esetleg egy nagyon sötét koromszerű anyag borítja az üstököst, ami a felszíni jég minden nyomát elrejtí”.

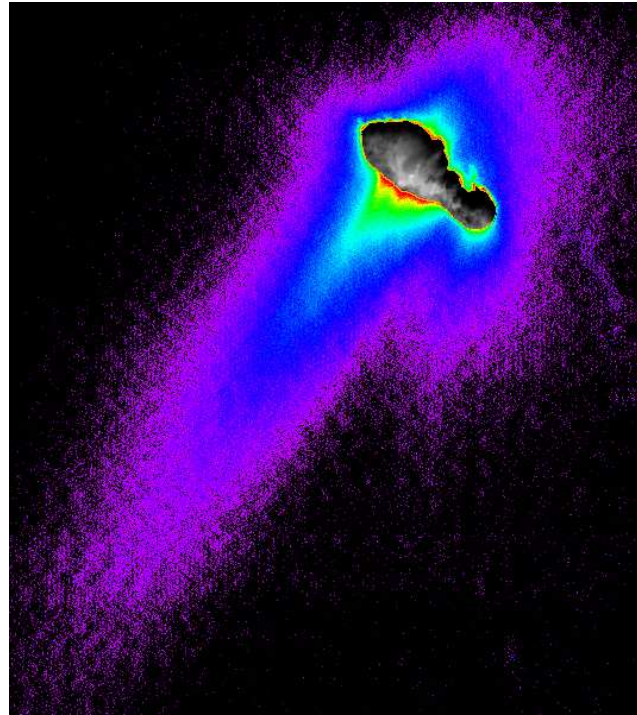


(forrás: J. Kelly Beatty: Comet Borrelly: Dry and Hot, Sky & Telescope, 2003. www.skyandtelescope.com/news/3305961.html?page=1&c=y, Laurence Soderblom, USGS és NASA/JPL) (Piros-kék szemüveggel 3D-os)

Borrelly üstökös magja, a Deep Space 1 felvételein 2001. szeptember 22-én. A kép 3417 km-es távolságból készült. Az üstökös magjának hosszúsága 8 km, a legkisebb megkülönböztethető részletek 45 méter átmérőjűek.

A sziklás, jeges felszín közepén lévő világos területek valószínűleg azok az aktív vidékek, ahonnan a porkilövellések erednek.

Az égitest két szélén számos magas gerinc és mély árok húzódik (ez különösen a bal oldalon figyelhető meg). A tagolt terep szembeutó alakzatai azok az igen sötét foltok, amelyek feltehetően magasabban helyezkednek el környezetüknél.



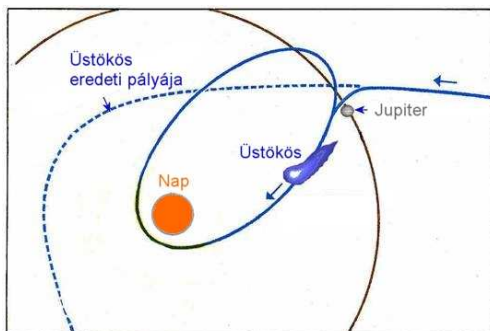
(forrás: www.geol.umd.edu/~jmerck/geol212/lectures/25.html, és explanet.info/images/Ch14/14_04.jpg, és http://nmp.jpl.nasa.gov/ds1/borrelly_1002.html)

A Deep Space-1 űrszonda (NASA New Millennium-program) által készített képen (2001.) a 19P/Borrelly üstökös a gáz és por csóvával.

A Deep Impact szonda eredményei is arra utalnak, hogy az üstökösök vízjegének nagy része a felszín alatt található, és ezen tárolók táplálják a porlasztott vízből álló kilövelléseket, melyek a Tempel 1 kómáját alkotják. Mindazonáltal a Stardust által szolgáltatott legfrissebb adatok azt mutatják, hogy a Wild 2 kómájából vett anyagminták kristályosak voltak. A begyűjtött anyagok alapján az üstököspor kisbolygók anyagára emlékeztet.

Az üstökösök magukon viselik a Naprendszer kialakulásának nyomait is, amit mutat az üstökösporban megtalálható kristályos szilikát, amely csak 1000 K fölötti hőmérsékleten keletkezhet (Bockelée-Morvan, 2001). Az üstökösök összetétele általában igen hasonló, csak a rövid periódusú kométák egy csoportja mutat földúsulást szénben (C₂ és CO) (A'Hearn, 1984).

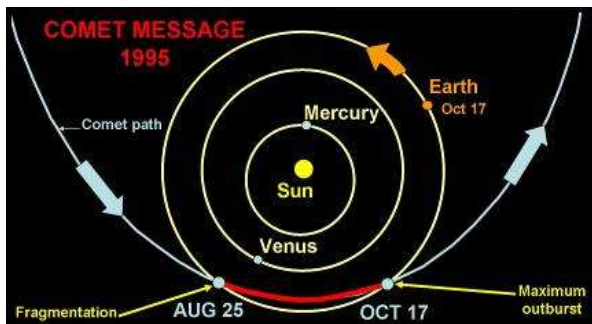
A 73P/Schwassmann-Wachmann 3 jelzésű üstököst 1930. május 2-án fedezte fel Arnold Schwassmann és Arthur Arno Wachmann a Hamburg Obszervatóriumból. A Napot 5,4 éves periódussal megkerülő kométa napközben a Földnél is beljebb jár, míg naptávolban a Jupiter messzeségében mozog.



A számítások szerint az 1800-as években került a Jupiter gravitációs hatása révén mai, rövid periódusú pályájára.

Az égitestet felfedezése után közel 50 évre, 1979 augusztusáig szem elől tévesztették.

1995-ös napközelségekor azonban látványos kitöréssel hívta fel magára a figyelmet, amikor váratlanul közel ezerszeresére fényesedett.



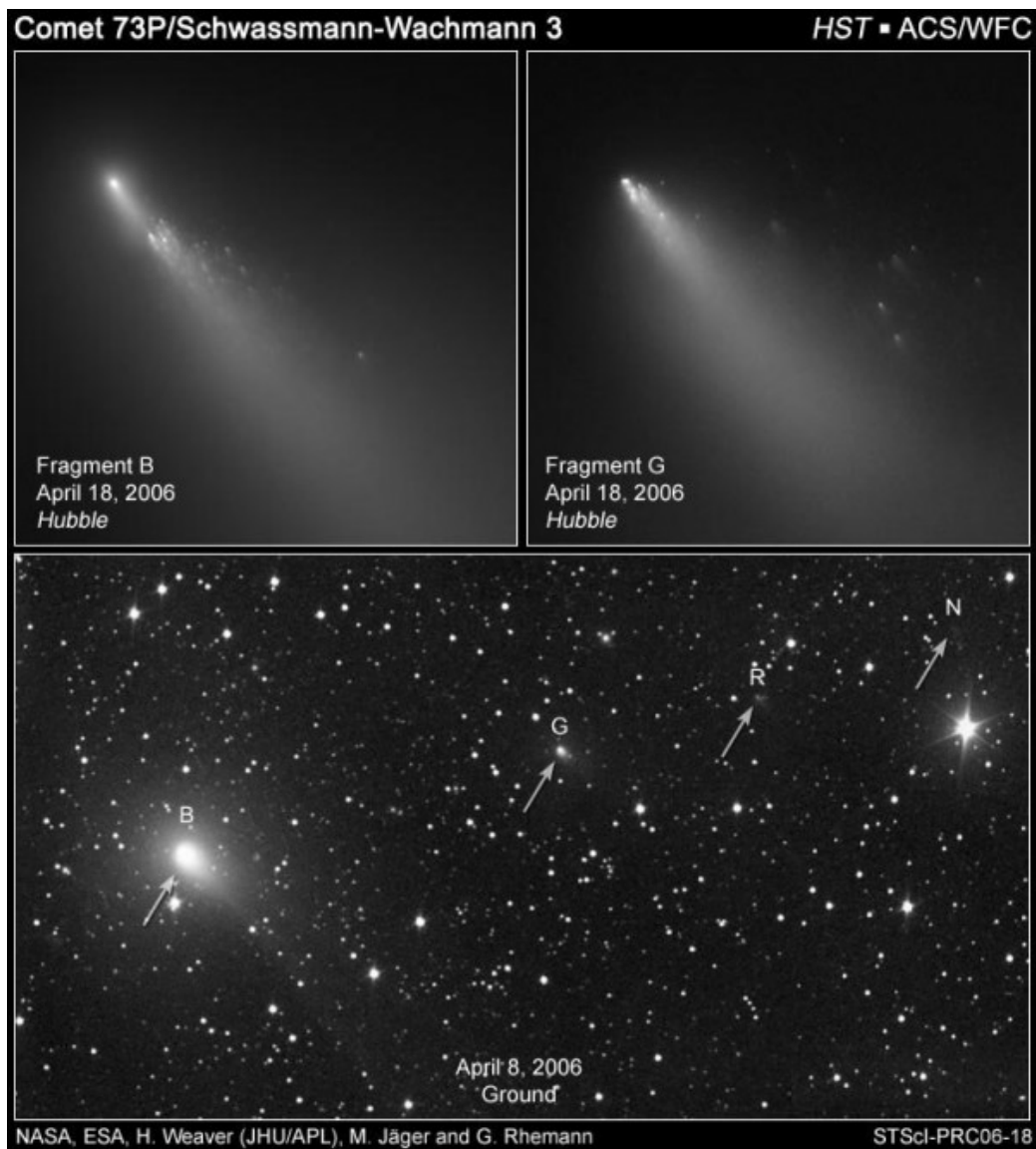
(forrás: www.greatdreams.com/comets/comet-73p.htm)

Schwassmann-Wachmann 3 üstökös.

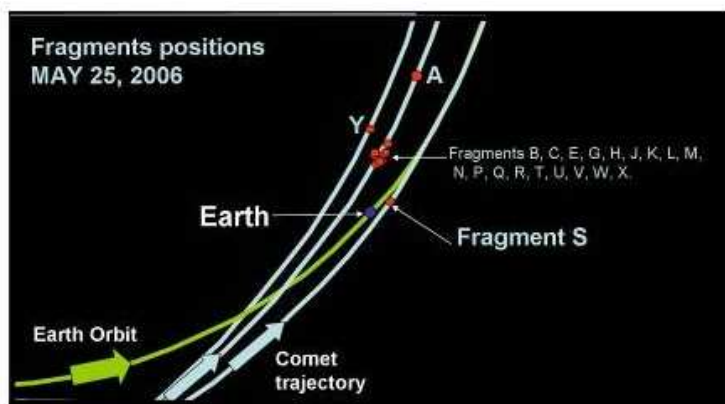
(forrás: Tim Puckett, Villa Rica, <http://neo.jpl.nasa.gov/images/sw3.html>), 1995. 12. 14.

A kitörést az okozta, hogy az objektum magja négy darabra szakadt, így ugrásszerűen megnőtt a mag felszíne és az onnan eltávozó gázok és por mennyisége. 1996 decemberében két további töredékét sikerült azonosítani. Mindezek után 2001-es visszatérésekor az öt fragmentumból csak hármat: a C, a B és az E jelűt találták meg.

A 2006. márciusi megfigyelések során azonban már hét töredék mutatkozott, majd április elején a B jelű darab is kisebb kitöréssel ment keresztül, hat újabb töredéssel gazdagítva az együttest. A továbbiakban újabb darabolódások történtek, így a hónap második felére a korábbi események nyomán keletkezett töredékek együttes száma már 40 körülire nőtt. A csillagászati megfigyelések története során eddig közel 30 üstökös szétDarabolódását sikerült megfigyelni, amelyek mindegyike kifényesedéssel járt.

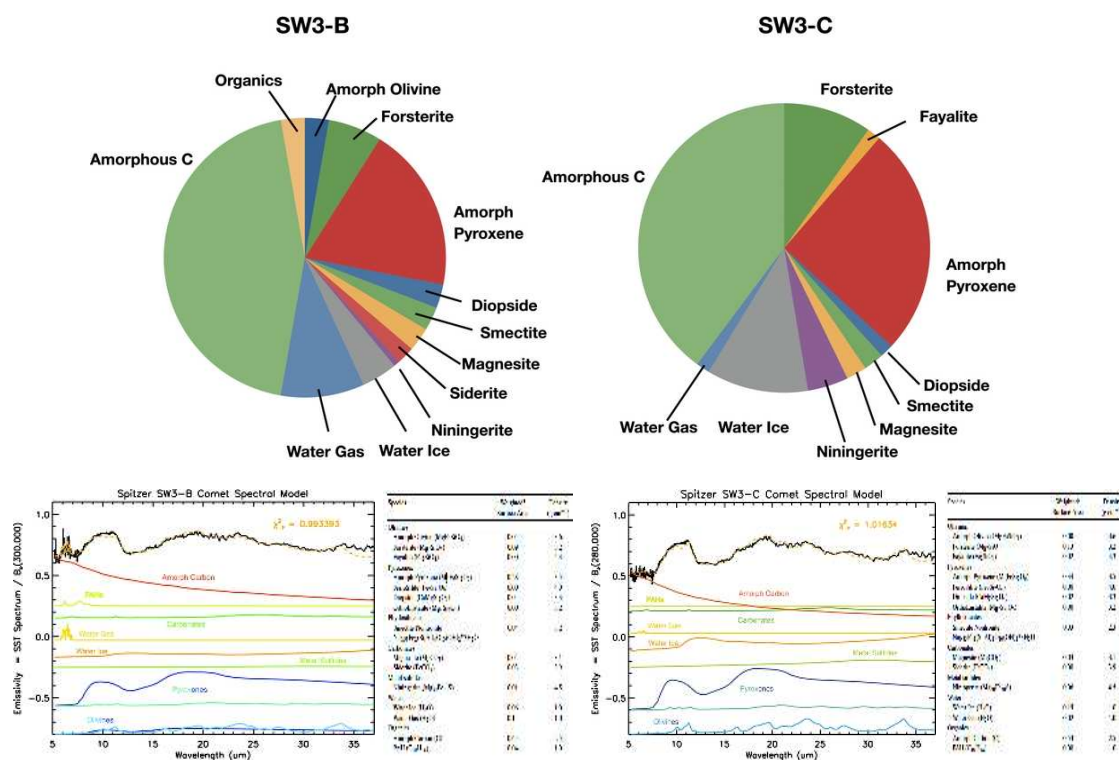


(forrás: NASA, ESA, H. Weaver (JHU/APL), M. Mutchler and Z. Levay (STScI)
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2006/18/>)



A HST felvételei az ACS és WFC detektorokkal az üstökösről. A képeken a B és G jelű töredék és a róla levált kisebb darabok láthatók.
 (forrás:
www.greatdreams.com/comets/comet-73p.htm)

Az megfigyelések sok érdekességre mutattak rá, köztük az egyik legmeglepőbb, hogy egyes mérések szerint a fragmentumok összetétele között érezhető eltérés mutatkozik.



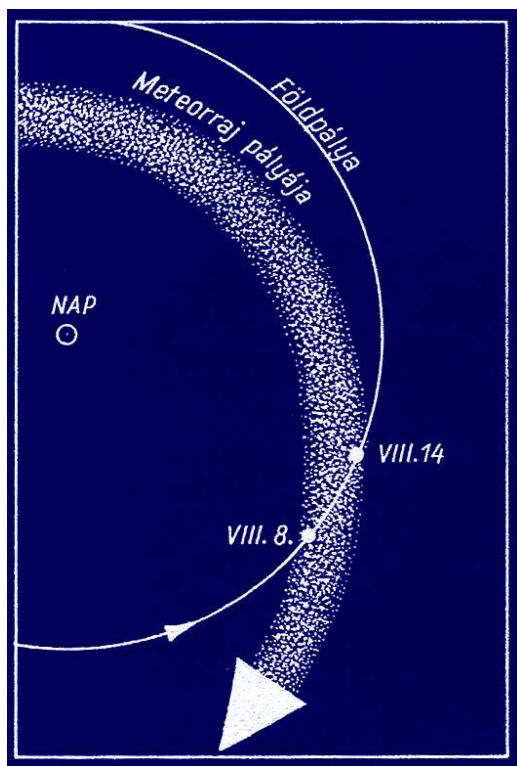
(forrás: Michael L. Sitko, Carey M. Lisse, Michael S. Kelley, Elisha F. Polomski, David K. Lynch, Ray W. Russell, Robin L. Kimes, Barbara A. Whitney, Michael J. Wolff, and David E. Harker: Infrared spectroscopy of comet 73p/schwassmann-wachmann 3 using the spitzer space telescope, *The Astronomical Journal*, 2011., Volume 142, Number 3, 142 80, doi:10.1088/0004-6256/142/3/80, <http://iopscience.iop.org/1538-3881/142/3/80/article>, és iopscience.iop.org/1538-3881/142/3/80/pdf/1538-3881_142_3_80.pdf)

A HST képein jól látható, amint az egyes darabok az idő előrehaladtával további, még kisebb fragmentumokra esnek szét. Elképzelhető, hogy egy üstökös mag nem úgy darabolódik, mint pl. egy homogén mészkő- vagy homokkötömb, sokkal inkább úgy, mint egy konglomerátum (kavicskő, lekerített szemcsékből álló, cementálódott üledék, különböző eredetű elemek halmaza, conglomeration = összeállás, halmaz) vagy breccsa (törmelékkő, szögletes-sarkos törmelékdarabokból álló, finomabb szemű anyaggal cementált kőzet), amelyben a keményebb kavicsok között lazább kötőanyag van. Lehetséges, hogy egy üstökös mag azokká az ősi építőelemekké esik szét, amelyekből élete elején összetapadt. Hasonló, apró építőelemekből (bolygócsírákból) jött létre a Nap többi kísérője, így a Föld is, de a hasonló nagyobb testek belseje megolvadt és anyaguk részben homogenizálódott.

Cuno Hoffmeister (1892–1968) német csillagász felosztása szerint planetáris és üstökös eredetű, kometáris rajokat különböztethetünk meg. Az utóbbiak, amint nevük is mutatja, az üstökösök magjának felbomlása és szétszóródása révén keletkezhetnek. Ezt a folyamatot Giovanni Virginio Schiaparelli (1835–1910) olasz csillagász mutatta ki, a széteső Biela-üstökös esetében. Azóta számos meteorrajt sikerült üstököspályákkal azonosítani.

A planetáris rajokban nem sikerült a meteorfelhőhöz tartozó üstököst fellelni. Figyelmet érdemelnek azonban a planetáris rajok csoportjába tartozó ekliptikai meteorrajok, amelyek gyakran igen hasonló pályát mutatnak egyes kisbolygókéhoz. Mivel nem kizárt, hogy egyes, nagyon excentrumos pályán keringő kisbolygók voltaképpen egykori üstökösök kicsiny, tömör anyagdarabkába összezsugorodott magjai, nem zárható ki, hogy a meteorraj ugyanennek szétszóródott részeiből áll. Mivel az ekliptikai rajok pályasíkja közel egybeesik a földpályával, bolygónk évente kétszer is metszi e felhőket.

A meteorrajok másik felosztása az állandó (permanens) mint a Perseidák, és a visszatérő (periodikus) típus, például a novemberi Leonida-meteorraj. A planétákról további részleteket olvashatunk Kulin György (1905–1989) csillagász „A távcső világa” című könyvében.

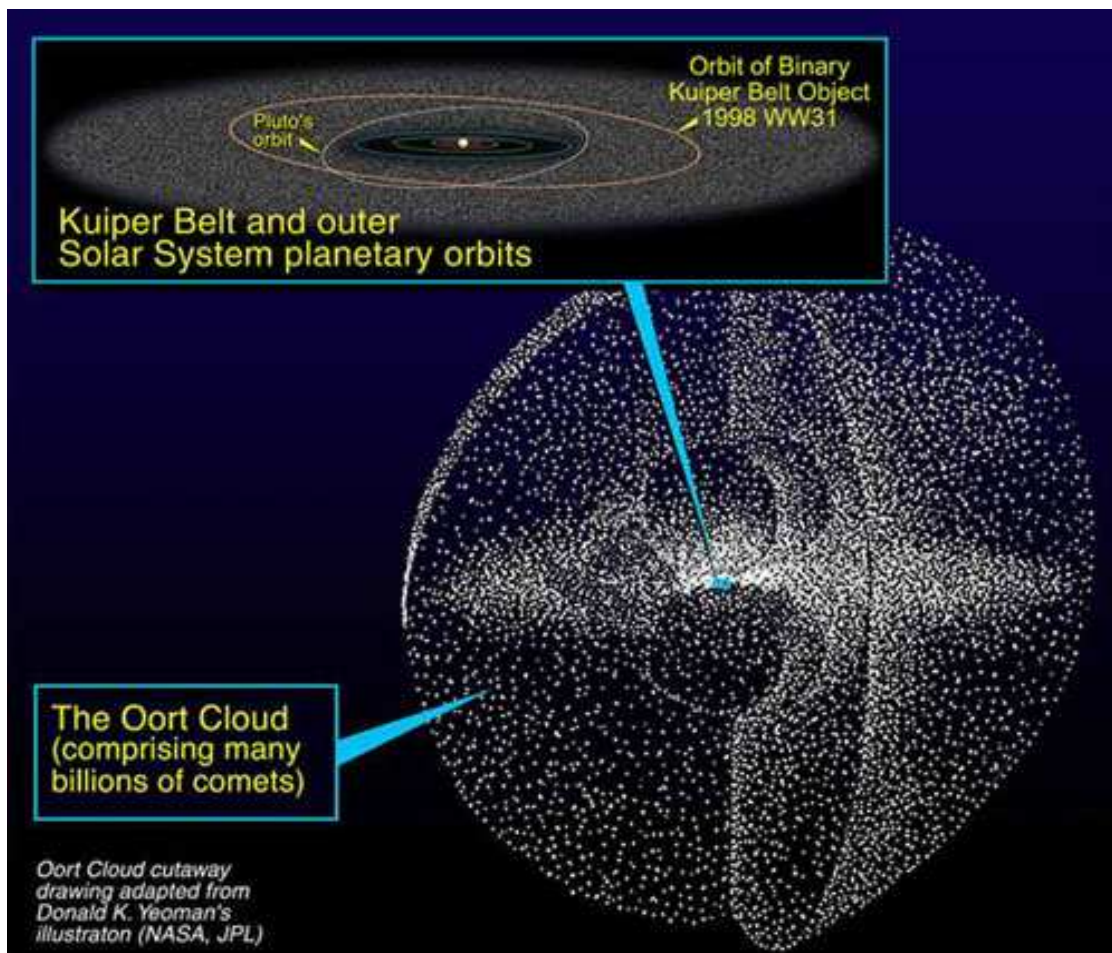


(Forrás: www.csillagaszat.hu/wp-content/uploads/2008/07/20080724_per_meteor.jpg)
Perseida a Cygnus-Tejút előtt. A meteor nyoma fölött az Észak-Amerika-köd és a Deneb látható, jobb oldalon pedig a Lyra csillagkép.

(forrás: Gauser Károly, Sztokay Kálmán: Az ember és a csillagok)

A Föld mindig augusztus 8. és 14. között keresztezi a Perseida meteorraj pályáját.

Az üstökösöket pályájuk alapján két csoportba soroljuk. A rövidperiódusúak a Kuiper-övből érkeznek, kezdeti keringési idejük néhány 100 év, amely akár 3-4 évre is lecsökkenhet. A hosszúperiódusú kométák a Kuiper-övnél is távolabb, a Naprendszer végvidékeit kijelölő Oort-felhőből érkeznek, kezdeti keringési periódusuk pedig több millió év is lehet.



(illusztráció: hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:Kuiper_oort.jpg, és herschel.jpl.nasa.gov/solarSystem.shtml, NASA)

A Naprendszer üstökösfelhői, az Oort-felhő és a Kuiper-öv.

Jan Hendrik Oort holland csillagász (1900–1992) abból indul ki, hogy az üstökösök jelentős hányada hosszan elnyúlt pályán kering, naptávolban akár 20-100 ezer csillagászati egységre is eltávolodhatnak (0,3-1,6 fényévyire). Számításai szerint kb. 0,5-1 fényév távolságban valóságos üstökösfelhő övezi gömbhéjszerűen a Napot, vagy 100 milliárd taggal és igen lassan keringenek a Nap körül, közelítőleg körpályákon.

A Naprendszer keletkezésekor a bolygókká alakuló protoplanetáris koronganyagának maradékából alakultak ki az Oort-felhőt alkotó üstökösök. A Kuiper-öv és a szórt korong, a másik két Neptunuson túli objektumcsoport kevesebb, mint egy ezredrésze van az Oort-felhő távolságának. Az Oort-felhő két különálló régióra bontható: egy gömb alakú külső Oort-felhő és egy korong alakú belső Oort- vagy Hills-felhő. Az Oort-felhő külső kiterjedése meghatározza Naprendszerünk gravitációs határát.

Az egyre inkább előtérbe került az üstökösök és kisbolygók űrszondás kutatása. Ezek az égitestek tartalmazzák a legkevésbé átalakult állapotban azt az őanyagot, amiből a Föld-típusú bolygók kialakultak. Emellett nemcsak a Föld, de rajta az élet keletkezése szempontjából is fontosak, az egykori becsapódások által szállított szerves anyag és víz fontos szerepet játszott az „ősleves” kialakításában. A kisbolygók az és üstökösök az égitestek kialakulásának olyan stádiumait képviselik, amely a hiányzó láncszemnek is tekinthető a Naprendszer fejlődésének megértésében.

Minden nap milliószámra hull a Földre az apró meteor, de legtöbbször roppant kicsiny, viszont, ha a kozmikus porszem átmérője csak egy milliméter is, már fényes nyomot hagy az égen, és egy-két másodpercig úgy ragyog, mint elsőrendű csillag.

Az év bizonyos szakaszaiban, amikor egy-egy sűrűbb meteorfelhő haladunk át, meteorhullás látható. A legfontosabbak ezek közül: január 2-3-án Herculesben; április 9-11-én a Lyrában; április 12-én a Lyrában; július 25-30-án a Hattyuban; augusztus 8-12. a Perseusban (Szt. Lőrinc raja); október 15-23-án az Orionban s bikában; november 12-14. az oroszánban; november 27-29-én az Andromedában; december 6-13-án az ikrekben.

A csillagászok már régen kiszámították, hogyha évente 10 üstökös kerül egy csillagászati egységnél közelebb a Naphoz, akkor átlagban 40 millió évenként történhet egy-egy ütközés. A Föld 4-5 milliárd éves múltjában legfeljebb 100 üstökös fejezte be pályafutását a Föld felszínén.

Robert Strom (University of Arizona) és kollégáinak kutatás keretében az égitestek felszínén megfigyelt krátereloszlást a kisbolygókra a Mars és a Jupiter közötti kisbolygóövben megfigyelt méreteloszlásával hasonlították össze. A vizsgálataik alapján modellel rámutatnak, hogy a holdi becsapódások túlnyomó része (kb. 80%-a) kisbolygóktól és nem üstökösökötől származott.

Annak ellenére, hogy meteoroidok nagyjából az üstökösökből származnak, ritka esemény a üstökös hullásból meteoritot találni.



Körülbelül 28 millió évvel ezelőtt egy üstökös lépett be a Föld légkörébe és a mai Egyiptom területe fölött felrobbant.



(forrás: Mark A. Garlick, space-art.co.uk, University of Warwick, and University of Cambridge, www.sciencenews.org/article/water-seen-rubble-around-star)

(forrás: Terry Bakker, Wits University, www.wits.ac.za/newsroom/newsitems/201310/21649/news_item_21649.html)

Fantáziarajzok az üstökösről

A Szahara homokotját 2000 Celsius fokra hevítette, melynek következtében jelentős mennyiségű sárga kvarc kristály keletkezett. A líbiai sivatagi üvegnek is nevezett ásvány a Szahara 6000 négyzetkilométeres területén lelhető fel, és az ókorban nagyon értékes ékszeralapanyagként szolgált.



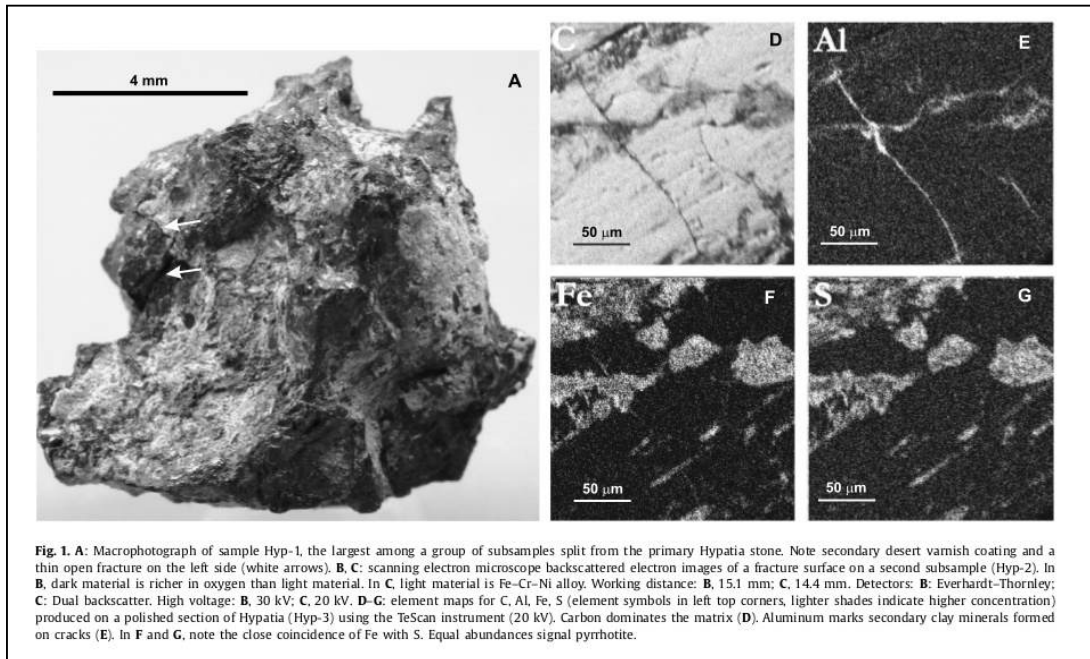
(forrás. www.b14643.de/Sahara/LDG/index.htm)

Többek közt ebből az anyagból készült Tutanhamon fáraó nyakláncának szkarabeusza.



A maradványokra egy fekete kődarabka irányította a dél-afrikai tudósok figyelmét, amit ezen a területen találtak évekkel korábban, amelyről laboratóriumi vizsgálatok során kimutatták, hogy egy üstökösfragról van szó, ami az első ismert ilyen lelet.

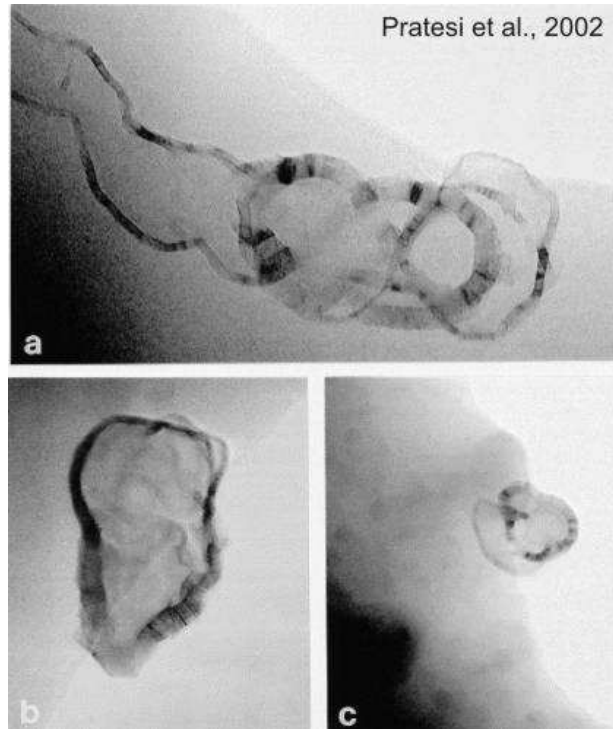
Az üstökösök anyaga valódi ritkaság a Földön. Mikroszkopikus méretben megtalálható a felső légkörben, porszemcsék formájában, és az Antarktisz jegében. Ez az első kézzelfogható üstökösmaradvány. ” – mondja David Block, a johannesburgi Wits Egyetem kutatója.



(forrás: Jan D. Kramersa, Marco A.G. Andreolib, Maria Atanasovad, Georgy A. Belyanina, David L. Blocke, Chris Franklynb, Chris Harrisf, Mpho Lekgoathib, Charles S. Montrossg, Tshepo Ntsoaneb, Vittoria Pischeddah, Patience Segonyaneb, K.S. (Fanus) Viljoena, Johan E. Westraadtg: Unique chemistry of a diamond-bearing pebble from the Libyan Desert Glass strewnfield, SW Egypt: Evidence for a shocked comet fragment, Earth and Planetary Science Letters, Volume 382, 15 November 2013, Pages 21–31, és www.b14643.de/Sahara/LDG_Hypatia/piece_large.jpg)

A fekete kő a „Hypatia” (az első női matematikus, csillagász és filozófus, az Alexandriai Hüpatia) nevet kapta. Vizsgálata során az is kiderült, hogy az üstökös magon mikroszkopikus gyémántok is fellelhetők, amelyek feltehetően a becsapódás eredményeként keletkeztek az üstökös széntartalmú anyagából.





(forrás: C. Patuelli, R. Serra, S. Coniglione, M. Chiarini: Crystalline microstructures in Libyan Desert Glass: Effect of microgravity environment, Microgravity and Space Station Utilization, vol. 3, no. 4, 2002, www.b14643.de/Sahara/LDG/index.htm)

Polimorf („több alakúak”, azonos kémiai összetétellel, de kettő vagy többféle kristályszerkezettel rendelkeznek) grafit.

A líbiai-sivatagi üveg minták röntgen mikro-diffrakciós technikával történt elemzése során nanoméretű kristályos LDG (Libyan Desert Glass) fázisokat azonosítottak: Coesit, tridimit, sztisovit, baddeleyit, huttonit, ittrium, moissanit, platina, polimorf gyémánt és grafit.

A baddeleyit (ZrO_2 vagy zirkónia) cirkon-oxid ásványi $1775^\circ C - 1900^\circ C$ -on jön létre. A moissanit (SiC) egy természetes szilícium-karbid. A huttonit ($Th^{4+5}[SiO_4]$) egy alacsony hőmérsékletű és alacsony nyomású torit-polimorf. Az LDG ásványban nagynyomású és magas hőmérsékletű fázisokat is felismerhetők mint: szamárium, germánium 12T, tórium-béta (a béta fázis csak akkor következik be ha $1350^\circ C$ feletti a hőmérsékleten) és sztisovit (magas hőmérsékleten és nyomáson kialakult SiO_2). (Patuelli, 1997). A hatszögletű gyémánt, grafit polimorfok, valamint baddeleyit megerősítik, hogy az LDG -t egy „sokk metamorfózis”, nagyon magas nyomás és hőmérséklet eredményeként egy „becsapódási esemény” („impact event”) okozhatta. A nano-méretű kristályos fázisokból kiderült, hogy a LDG gyorsan megszilárdult.



Nagyon ritkán akár a teleholdnál is fényesebb tűzgömbökként láthatók a meteorok. Ilyen volt megfigyelhető például 2013 februárjában az oroszországi Cseljabinszk felett, ahol közel 70 ezer km/h sebességgel légkörbe belépő – a Space.com szerint – körülbelül 15 méteresre és 7000 tonnásra becsült égitest felrobbant, hatalmas lökéshullámot idézve elő, amely a földkéregben is rengést okozott (a Richter-skálán 2,7-est). Az 1908-as Tunguzka-esemény óta ez a cseljabinszki robbanás volt a legnagyobb ismert meteor-robbanás.



(forrás: www.bbc.co.uk/news/science-environment-27039285)

(forrás: MTI/AP/Nasa Gazeta, Oroszország, Yekaterinburg)

Csebarkul-meteor. A robbanás ereje körülbelül 600 kilotonna TNT robbanóanyagénak felelt meg, ez negyvenszerese az 1945-ben Hirosimára ledobott atombomba erejének. A robbanás pillanatában kb. 30-szor volt fényesebb a Napnál, és darabokra esett szét. A Földre leérkező legnagyobb darab csak egy 7 méter átmérőjű lyukat ütött a Csebarkul-tó jegén. A meteorit korát 4,452 milliárd évesre becsülik, azaz mindössze 115 millió évvel fiatalabb a Naprendszerénél.



(forrás: Nature, Science és MTI, www.erdekesvilag.hu/kiemelttek-a-tobol-a-cseljabinszki-meteorit-fel-tonnas-darabjat/)

A nukleáris robbantásokat figyelő globális szervezet 26 aszteroidát mutatott ki, melyek a Föld légkörébe csapódtak 2000 és 2013 között. A robbanások adatait az atomcsend-egyezmény betartását felügyelő szervezet a Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO) gyűjtötte.



(forrás: www.economist.com/news/science-and-technology/21601232-skyfalls, és <https://b612foundation.org/list-of-impacts-from-impact-video/>)

„Népszerű tévhit, hogy a meteorit-becsapódások szélsőségesen ritkán következnek be” - mondta Ed Lu, egykori űrhajós, aki most a kaliforniai székhelyű B612 Alapítványt vezeti. A szervezet honlapján közzétett egy videót, amely a vizsgált időszakban a Földnek ütköző meteoritokat mutatja be. Az animáció célja, hogy a felhívja az emberek figyelmét a veszélyre. Egy 40 méteres meteorit is teljesen le tud tarolni egy várost a Föld színéről. „Olyan lehet, mint egy hatalmas társasház, amely a hangsebesség ötvenszeresével, körülbelül ~60 ezer kilométeres óránkénti sebességgel száguld” - magyarázta Lu. Az amerikai űrkutatási hivatal (NASA) már rendelkezik olyan programmal, amely az egy kilométeresnél nagyobb meteoritokat figyeli. Egy ekkora, körülbelül hegynagyságú objektummal való ütközésnek világméretű következményei lennének.

A Föld mintegy 65 millió évvel ezelőtt ütközött össze egy nagyjából 10 kilométeres aszteroidával, a katasztrófa megváltoztatta a bolygó éghajlatát, és feltehetően a dinoszauruszok - valamint az élőlények többségének - kipusztulását okozta. A városokat elpusztító aszteroidák az előrejelzések szerint százévenként egyszer érnek a Föld közelébe, ám az előrejelzések alapjául szolgáló adatok Lu szerint nem kielégítőek.

A Naprendszerben milliárdnyi kisebb-nagyobb kődarab kering, ezek elég gyakran keresztezik a Föld útját. A legtöbb annyira apró, hogy nem vesszük észre még a legkifinomultabb műszerekkel sem, a nagyobbakat hullócsillagként látjuk. Ezek sem érik el soha a Föld felszínét. Labdaméterű meteorok naponta becsapódnak a légkörbe, autóméretűek egy-két havonta keresztezik a Föld pályáját.

A körülbelül 400 méteres, 2013 TV135 jelű aszteroida 2013. szeptember 16-án húzott el a Föld közelében. Bolygónktól mért távolsága 6,7 millió kilométer lehetett, azaz 15-ször messzebb volt, mint a Hold. Bár a 2013 TV135 aszteroida csak egy az eddig katalogizált 10332 darab földsúroló kisbolygó (near-Earth object, NEO) közül.

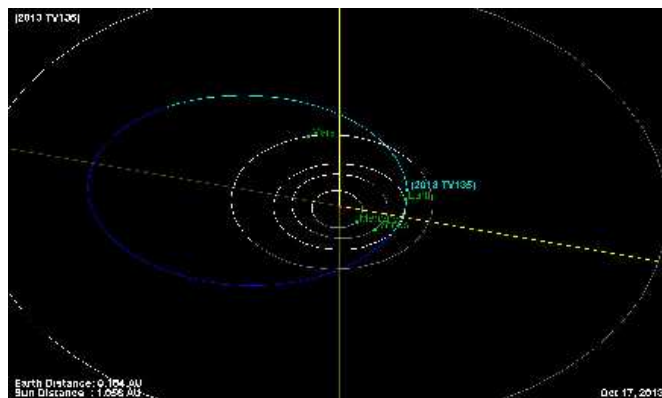
Az előzetes röppályamérések alapján az aszteroida 2032. augusztus 26-án csapódhat a Földnek.

A NASA JPL Near-Earth Object Program Office részlegének számításai szerint ennek a valószínűsége viszont csak egy a 63 ezerhez, így a Torino-skálán egyes fokozatúnak minősítették a kisbolygó veszélyességét. Ha az ütközés esélye túllépi az egy ezreléket, az aszteroida mérete pedig a húsz métert, az az egyes szint; a skála végén a tízes fokozat legalább egy kilométeres objektumot és biztos találatot jelent. Ilyen esemény a statisztika szerint százezer évente következik be, és jó eséllyel lerombolná a civilizációnkat. Kevés az esélye, de nem kizárható, hogy a kisbolygó tényleg eltalálja a Földet. Az égitestet ugyanakkor a potenciálisan veszélyes aszteroidák osztályába sorolták, mivel a Föld és a kisbolygó röppályája közötti minimális távolság 1,7 millió kilométer.

Ha a becsapódásra tényleg sor kerül, a becslések szerint a robbanás ereje 2500 megatonna lesz –ez a Hirosimára ledobott atombomba, a Little Boy robbanóerejének több mint 150 ezerszerese.

Sem az Európai Űrügynökség, sem a NASA nem gondolja, hogy az aszteroida komoly veszélyt jelentene a Földre, de dolgoznak egy olyan rendszeren, ami megvédi bolygónkat a potenciálisan veszélyes meteoroktól. Most éppen egy elhárító műholdat építenek, amit egy teszt célra használt aszteroidába fognak vezetni 2015-ben, hogy megfigyeljék, az ütközés eltéríti-e a pályájáról az objektumot.

(forrás: NASA/JPL-Caltech,
<http://www.jpl.nasa.gov/asteroidwatch/newsfeatures.cfm?release=2013-300> és
<http://www.jpl.nasa.gov/images/asteroid/20131017/asteroid20131017-full.jpg>)



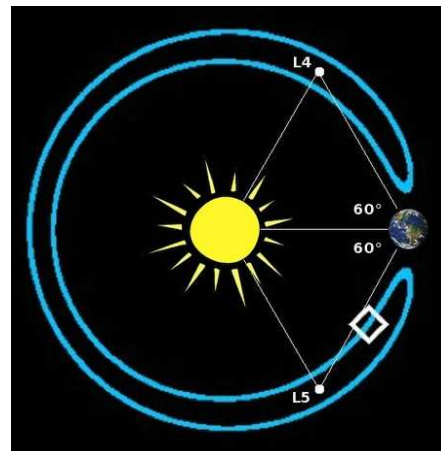
Január közepén egy nagyjából tíz méteres aszteroida közelítette meg a Földet, a 2010AL30 kódnevet kapott objektum pályája legközelebbi pontján a Föld-Hold távolság egyharmadára volt bolygónktól. Bár méreteinél fogva nem okozott volna katasztrófát, ha 130 ezer kilométerrel közelebb jön (a 25 méternél nagyobb aszteroidáknál van esély arra, hogy ne semmisüljön meg, vagy legalább törjön darabokra a légkörben a súrlódás hatására). A Föld pályáját keresztező nagyobb (legalább 30-50 méteres) aszteroidák nagy részét a mai technikával már jó eséllyel felfedezik a csillagászok, mielőtt a Föld közelébe érnének (más kérdés, hogy jelenleg semmit nem tudunk tenni egy esetleges ütközés elkerüléséért).

Egy másik földközeli aszteroidák közé sorolt égitest a 2010 SO16. A Föld immár a negyedik bolygó Naprendszerünkben, amelynek társául szegődött egy úgynevezett trójai aszteroida. Korábban a tudósok kimutatták, hogy a Marsnak és a Neptunusznak is van néhány társaszteroidája, míg a Jupitert közel ötezer követi a Nap körüli útján.

A fényessége alapján 200-400 méter átmérőjűnek becsült, 2010 SO16 katalógusjelzéssel ellátott aszteroidát a WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer) infravörös műhold felvételei alapján fedezték fel 2010. szeptember 17-én. Az Armagh Observatory két munkatársa, Apostolos Christou és David Asher által elvégzett numerikus szimulációk azt mutatják, hogy a kisbolygó nagy biztonsággal lópatkó alakú pályán mozog, ez a Nap-Föld rendszerben a negyedik ilyen objektum.

A 2010 SO16 jelű kisbolygó az L4 és L5 Lagrange-pontokat is körbefogó lópatkó alakú pályája librációs mozgásának periódusa körülbelül 350 év.

„A most felfedezett kisbolygó a Napnak a Földdel ellentétes oldalán halad közös keringési pályán” - magyarázta Martin Connors. A 2010 SO16 jelenleg a lópatkó csúcsának környékén van (mostani pozíciójában utoljára az 1660-as években járhatott) és 175 év alatt jut el a lópatkó egyik csúcsából a másikba.



(forrás: Armagh Observatory, [Hirek.csillagaszat.hu](http://www.csillagaszat.hu), <http://www.csillagaszat.hu/hirek/nr-egyeb-naprendszer/apro-objektumok/nr-apro-kisbolygok/lopatko-alaku-palyan-kiseri-a-foldet-egy-uj-kisbolygo/>)

Eközben a kisbolygó a Nap körül is kering, mégpedig a Földével nagyjából megegyező paraméterű pályán, a lópatkó alakú mozgást egy, a Földdel együtt forgó koordináta-rendszerben írja le.

Bár a kisbolygó Nap körüli pályája nagyon közel van a Földéhez, az égitest 50 Föld-Hold távolságnál sohasem kerülhet közelebb bolygónkhoz. Christou és Asher szerint a szimulációs vizsgálatok alapján kisbolygó 200 és 500 ezer év közötti időtartamig megmaradt a lópatkó alakú pályán.

Az L4-gyel és L5-tel jelölt, a Nappal és a Földdel egy egyenlő oldalú háromszöget alkotó pontok környezetében egy kistömegű égitest, például egy kisbolygó hosszú ideig stabil pályán maradhat, a pontok körül kis amplitúdójú mozgást végezve.

A NASA már közel két évtizede igyekszik detektálni azokat a kisbolygókat és üstökösöket, melyek valamikor veszélyes mértékben közelíthetik meg bolygónkat. A „Spaceguard” program keretében végzett koordinált észlelések mind a Földről, mind a világűrben zajlanak. A potenciálisan veszélyes objektumokat katalogizálják, osztályozzák, meghatározzák a pályájukat, ez alapján pedig figyelemmel kísérik őket. Az aszteroidát feltérképező Osiris Rex misszió 2016 őszen indulhat, és 2018-ban érheti el a Bennu becenevű, 1999 RQ36 katalógusjelű, 500 méter átmérőjű aszteroidát, és öt tudományos műszerrel feltérképezik az égitest felszínét. Az űrhajó 2023-ban visszatér a Földre, a fedélzetén 60 grammnyi mintával.

A kisbolygó 2182-ben komoly veszélyt jelenthet a Földre, még így is, hogy az összeütközés esélye csupán 1 az 1800-hoz. A NASA az emberiség számára legveszélyesebb aszteroidaként tartja számon a Bennut. A NASA űrhivatal úgy tervezi, hogy a küldetés után befognak egy hét és tíz méter közötti az átmérőjük aszteroidát és a Hold pályájára állítják. A robotűrhajó legkorábban 2017-ben, legkésőbb 2019-ben indulhat a kisbolygó foglyul ejtésére. A kiválasztott aszteroidáig tartó út másfél év, elszállítása a Hold felé további három és fél évet vesz igénybe. Asztronauták is landolhatnak rajta, legkorábban 2025-ben.



Nagyjából mindegyik Földet fenyegető aszteroidát röptében szét tudnánk lőni egy atombombával, még abban az esetben is, ha csak néhány nappal az érkezése előtt észlelnénk, állítja egy kutatócsoport, amely a védelmi rendszer kifejlesztésével foglalkozik.

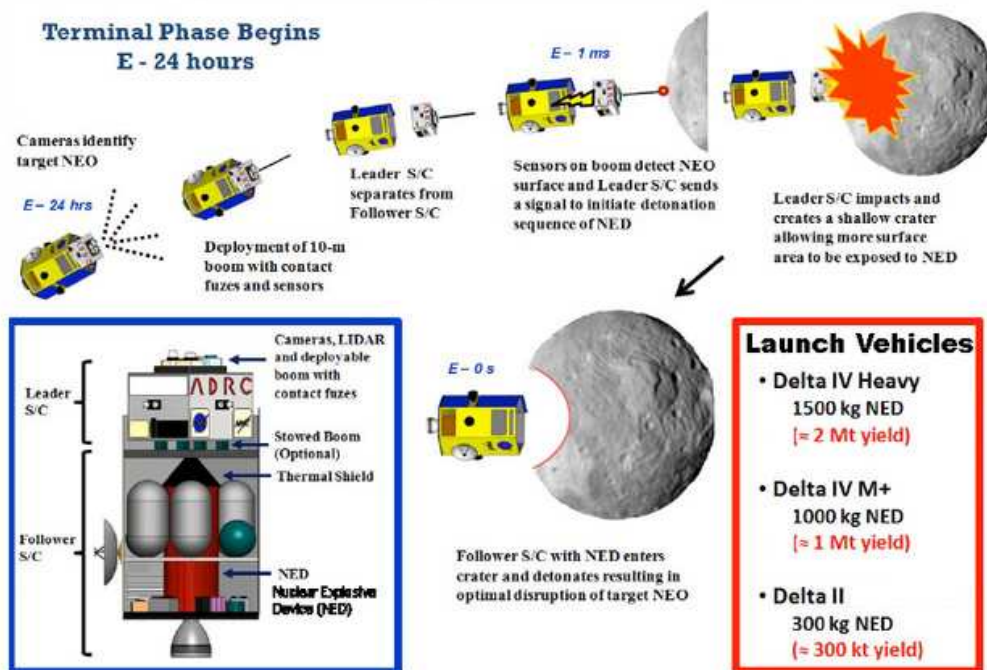
(forrás. <http://thetechjournal.com/science/nuclear-bomb-can-save-earth.xhtml/attachment/collision-of-asteroid?PageSpeed=noscript>)

Az Iowai Állami Egyetemen dolgozó Bong Wie körülbelül egy évvel a cseljabinszki meteor becsapódása után, 2014 február 6-án mutatta be megoldásukat a NASA szakmai konferenciáján.

Wie és kollégái a NASA támogatásával olyan űrhajó kifejlesztésén is dolgoznak, amellyel célba tudják majd juttatni a nukleáris töltetet.

A Hypervelocity Asteroid Intercept Vehicle (HAIV) elnevezésű jármű a mély űrben randevúzna a célponttal és először egy krátert robbantana rajta. Ezt követően, alig egy ezredmásodperccel később a nukleáris bomba is megérkezne, és a lyuk mélyén robbanna fel, milliónyi darabra szaggatva az űrbéli sziklát. A kráterre azért van szükség, mert az 20-szorosára növeli a bomba pusztító erejét.

Hypervelocity Asteroid Intercept Vehicle (HAIV) Mission Architecture

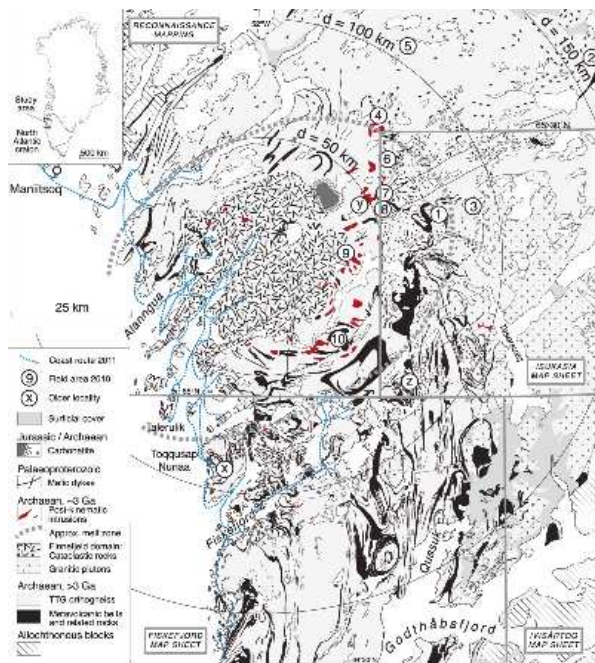


(forrás: <http://popularsciencewriting.blogspot.hu/2012/11/nasa-mission-to-destroy-earth.html>)

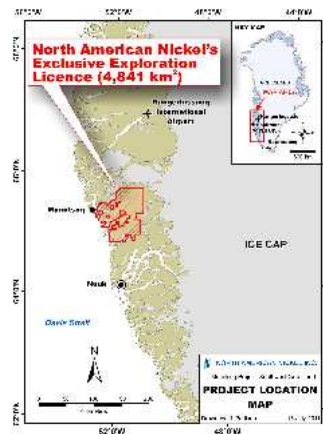
Wie szerint egy 300 méteres aszteroida akár száz cseljabinszkihez hasonló eseményt meteorbecsapódást eredményezne.

Wie úgy véli, a HAIV koncepciót össze lehetne kötni a Hawaii Egyetemen kifejlesztett ATLAS megfigyelőrendszerrel. A NASA által támogatott aszteroida-figyelő rendszer 2015-ben elindul, és egy nappal a becsapódás előtt észleli majd a 8 méteres sziklákat, egy héttel előtte a 45 métereseket, és három héten belül a 140 métereseket. Ez elegendő idő lenne a HAIV beindításához. A kutatók már az elhárítás költségét is kiszámolták, a robbantás nagyjából 500 millió dollárba kerülne.

Egy skandináv, ír és orosz kutatókból álló csoport egy 3 milliárd éves meteoritkráter nyomait vélik megtalálni Nyugat-Grönlandon.



Az ősi kráter Grönland nyugati partjainál található. A Maniitsoq nevű település közelében található nikkell és platina lelőhelyek vizsgálata közben vett észre Adam A. Garde.



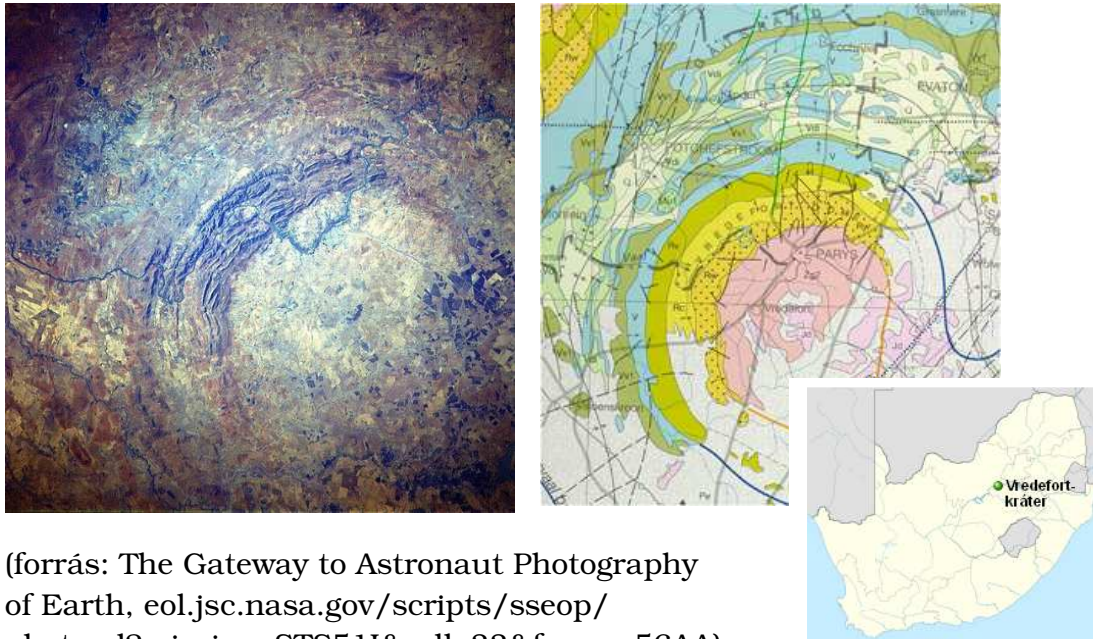
(forrás: Adam A. Garde, Iain McDonald, Brendan Dyck, Nynke Keulen: Searching for giant, ancient impact structures on Earth: The Mesoarchean Maniitsoq structure, West Greenland. – Earth Planet. Sci. Let., vol. 337-338)



(forrás: www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2166589/The-oldest-biggest-asteroid-crater-discovered-Greenland--suggesting-huge-impact-billion-years-ago.html)

Az eredeti kráter már régen eltűnt a felszínről, ami azonosítható volt, az a földkéregbe behatoló hatalmas lökeshullám nyomai. A modellek szerint a jelenleg 100 km átmérőjű Maniitsoq-struktúra eredetileg 500-600 km átmérőjű lehetett, vagyis ez nem csak a legöregebb, de egyben a legnagyobb ismert becsapódás bolygónkon.

Dél-Afrikában, a Dél-afrikai Köztársaság Free State tartományában helyezkedik el a Vaal folyó völgyében a Vredefort-kráter, a Föld legnagyobb átmérőjű, igazoltan becsapódásos eredetű krátere, amely a második legrégebbi is. Átmérője legalább 300 km, egy 5–10 km átmérőjű meteorit ütötte. Körülbelül 2,023 milliárd éve keletkezett a paleoproterozoikum közepén.



(forrás: The Gateway to Astronaut Photography of Earth, eol.jsc.nasa.gov/scripts/sseop/photo.pl?mission=STS51I&roll=33&frame=56AA)



(forrás: blog.naver.com/bleskynd/90113262885)





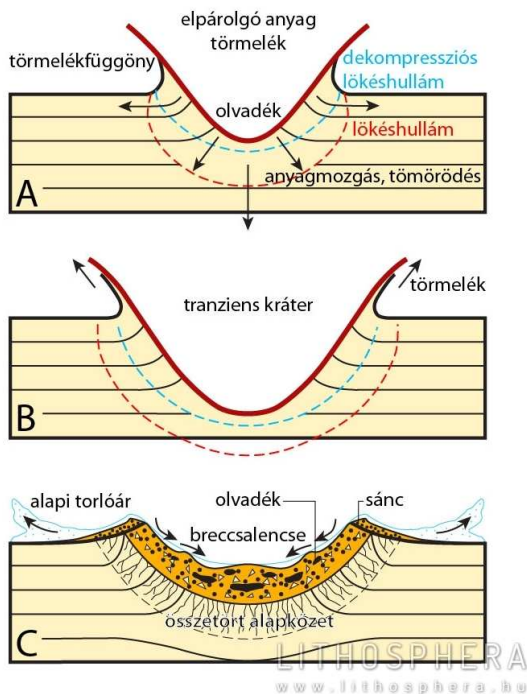
(Illusztráció: David A. Hardy, arts-humanities.squidoo.com/space-art)

(forrás: <http://ex-maulana.blogspot.hu/2011/06/meteor-crater.html>)



Az északi arizonai sivatagban található a Barringer Crater (1,2 km széles és 173 méter mély). Az újabb becslések szerint 70000 tonna súlyú és 25 méter átmérőjű volt a vas-nikkel meteorit amely ~50 ezer éve becsapódott.

(forrás: Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, en.wikipedia.org/wiki/File:M%C3%A9t%C3%A9rite_Canyon_Diablo.JPG)
A Canyon Diablo meteorit (IIIAB) darab (360 kilograms) 4,55 milliárd éves.



(forrás: Baráz Csaba: Koszmos sebhely (asztroléma) a Bükkben. Nyomozás egy 20 millió évvel ezelőtti meteoritbecsapódás után. (2013), Zöld Horizont 8. évf. 1-2. szám (24-25.) 8-9., <http://lithosphaera.hu/2013/06/koszmos-sebhely-asztrolema-a-bukkbent/> és http://lithosphaera.hu/wp-content/uploads/2013/06/x18783_Hipotezis_print.pdf

French B. M. 1998 alapján)

A becsapódás folyamatának három mozzanata.

Az ütközés és az ekkor létrejövő kompressziós lökés-hullám („shock wave”) hatására rövid időre magas hőmérséklet (2000 °C) és magas nyomás (10–500 gigapascal, 1 GPa=10 000 atm) keletkezik, mely sokk-metamorfózist okoz. Egy-egy kőzetdarab többször is átélheti ezt az eseményt.

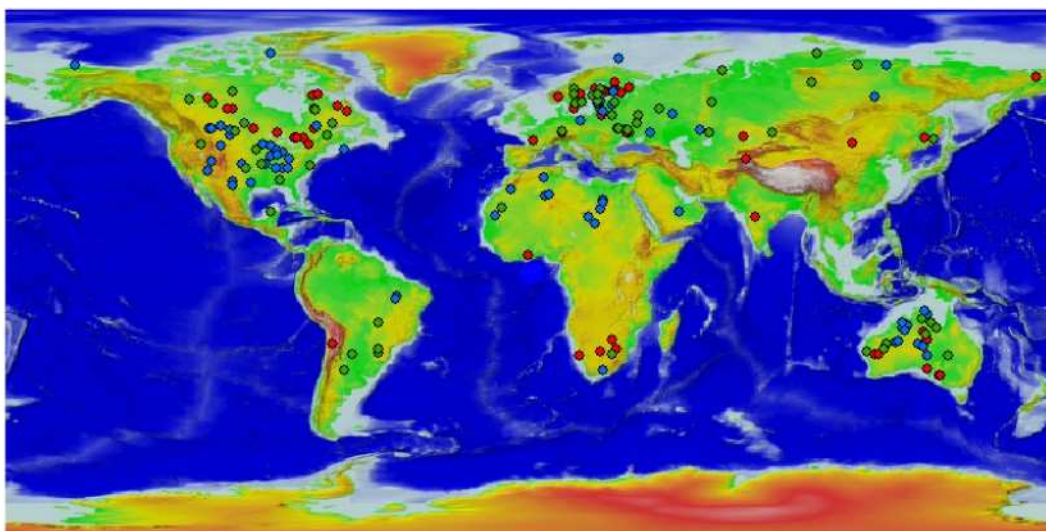
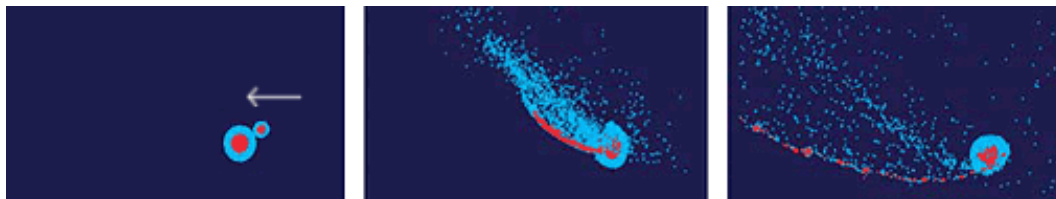


Fig. 15. Distribution of the 174 recognized terrestrial impact structures superimposed on a digital elevation map of the Earth. The red dots represent structures formed entirely in crystalline target rocks; blue dots represent structures formed entirely in sedimentary target rocks; and green dots represent mixed crystalline-sedimentary targets. Location of structures from the Earth Impact Database [2] (see Appendix 1).

(forrás: Gordon R. Osinski: The geological record of meteorite impacts, www.psi.edu/sites/default/files/images/epo/explorecraters/Osinski-ESASP06.pdf)

A meteoritek többsége kicsiny égitestek letörött darabja. Kozmikus események, becsapódások szakították ki őket az anyaégitestből és a Naprendszerben pályáikon mozogva hosszabb idő után csapódtak a Földre.

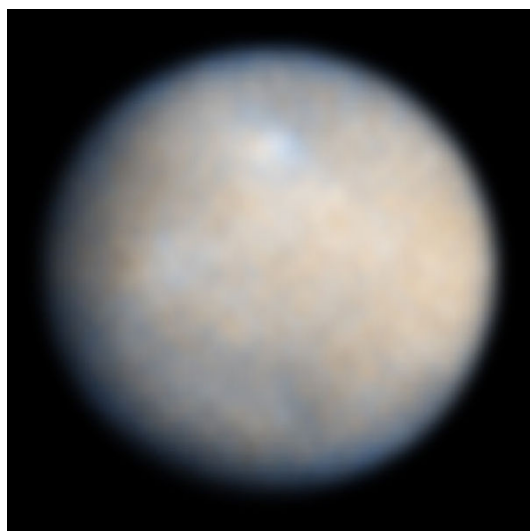


(forrás: Asphaug et al., 2006. Nature, v. 439, p. 155-160.)

A szülő égitest néhányszor 10 km-től néhány 100 km-ig terjedő átmérőjű kisbolygó lehetett. A meteoritek töredékként is magukban hordozzák a szülő égitest fejlődéstörténetét, általában kisbolygók (aszteroidák), bolygócsírák (planetezimálok) maradékának tartják őket. A Mars és Jupiter közt található többségük.

Az első kisbolygót, a Ceres-t 1801. január 1-jén fedezte fel Giuseppe Piazzi (az égitestet 2006-ban az IAU törpebolygóvá minősítette).

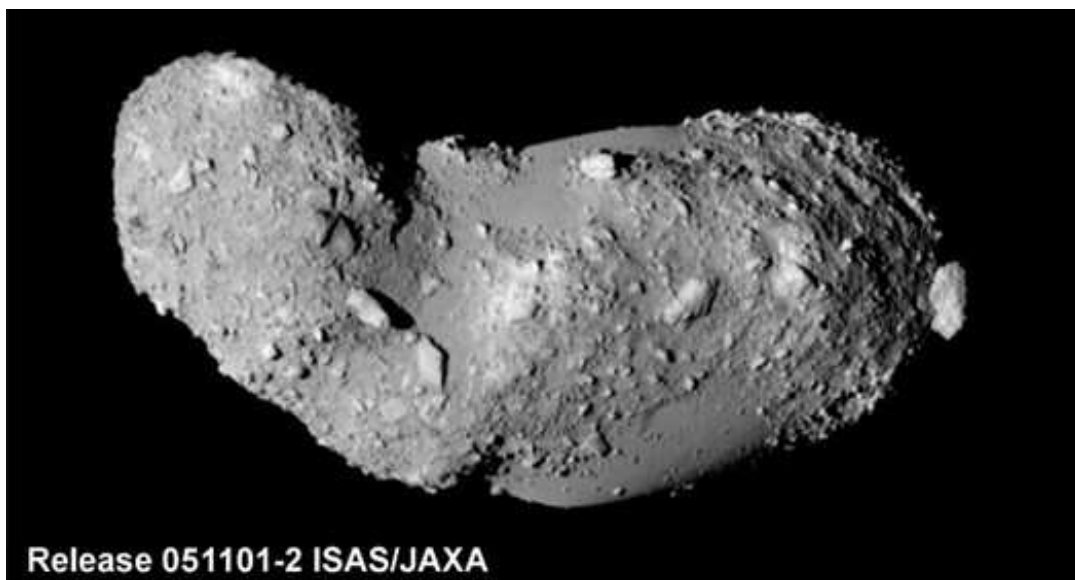
Körülbelül 950 km-es átmérőjével a legnagyobb és legnehezebb test az aszteroidaövben (az aszteroidaöv össztömegének körülbelül egyharmadát a Ceres adja). A legújabb megfigyelések felfedték, hogy a kisebb, szabálytalan alakú, gyengébb gravitációval rendelkező aszteroidákkal szemben a Ceres gömb alakú.



(forrás: NASA, ESA, J. Parker (Southwest Research Institute), P. Thomas (Cornell University), and L. McFadden (University of Maryland, College Park), imgsrc.hubblesite.org/hu/db/2005/27/images/d/formats/print.jpg Ceres a Hubble űrtávcső felvételén

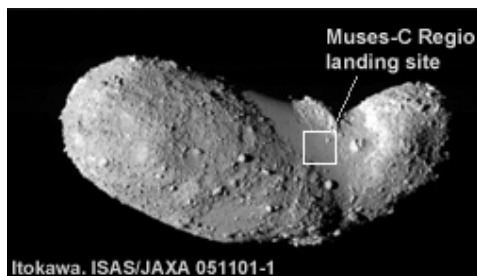
Felszíne vízjég és különböző hidratált ásványok, például karbonátok és agyagfélék keverékéből állhat. Belseje egy kőzetmagra és egy jégből álló köpenyre oszlik. Felszíne alatt folyékony vizet tartalmazó óceán rejtőzhet.

A megfigyelések arra utalnak, hogy a Ceres egy megmaradt ősbolygó – bolygócsíra, amely 4,57 milliárd évvel ezelőtt keletkezett a kisbolygóövben. Két további lehetséges ősbolygó a Pallas és a Vesta.



(forrás: Hayabusa's Scientific and Engineering Achievements during Proximity Operations around Itokawa, 2005 Topics index, Institute of Space and Astronautical Science, ISAS és Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA, www.isas.jaxa.jp/e/snews/2005/1102.shtml)

A japán Hayabusa-űrszonda felvétele a 25143 Itokawa kisbolygóról, amely egyetlen korábban meglátogatott kisbolygóra sem hasonlított. Az Itokawa felszíne tele van különböző méretű sziklákkal (sok a szögletes alakú), emellett finom por által felöltött vidékek is mutatkoznak.



(www.psrdr.hawaii.edu/CosmoSparks/Feb11/ItokawaSamples.html)

A landolásra 2005. november 15-én került sor a sima területek egyikén. De még ezt megelőzően, ledobta a szonda a MINERVA nevű felszíni „ugráló egységét”, amely hatalmas szökellésekkel mozgott a kisbolygón, miközben „reptében”, és a felszínen végzett méréseket.



(illusztráció: neo.jpl.nasa.gov/missions/hayabusa.html)

A Hayabusa-szonda az ionmeghajtást is tesztelte a Földdel végrehajtott hintamanőverekkel összekötve. Autonóm irányítórendszere földi segítség nélkül hozott döntéseket, és mindezeket túl, elsőként gyűjtött mintát egy aszteroida felszínéről, és 2010-ben azt a Földre hozta.

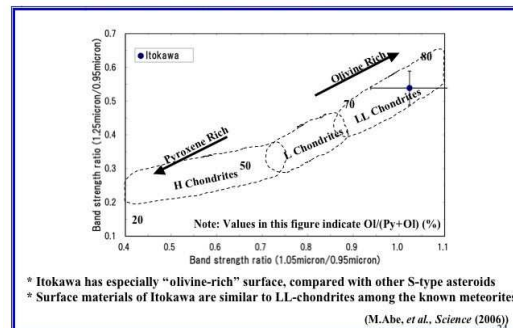
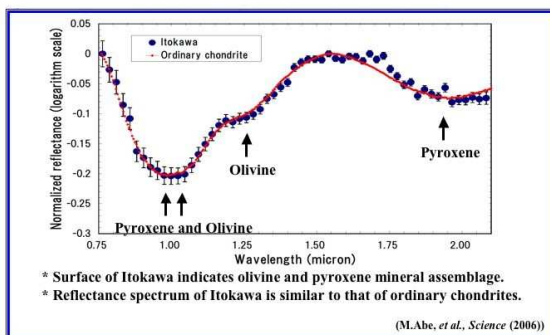


Retrieval team with the Hayabusa sample capsule shortly after landing in Australia. Courtesy of JAXA.

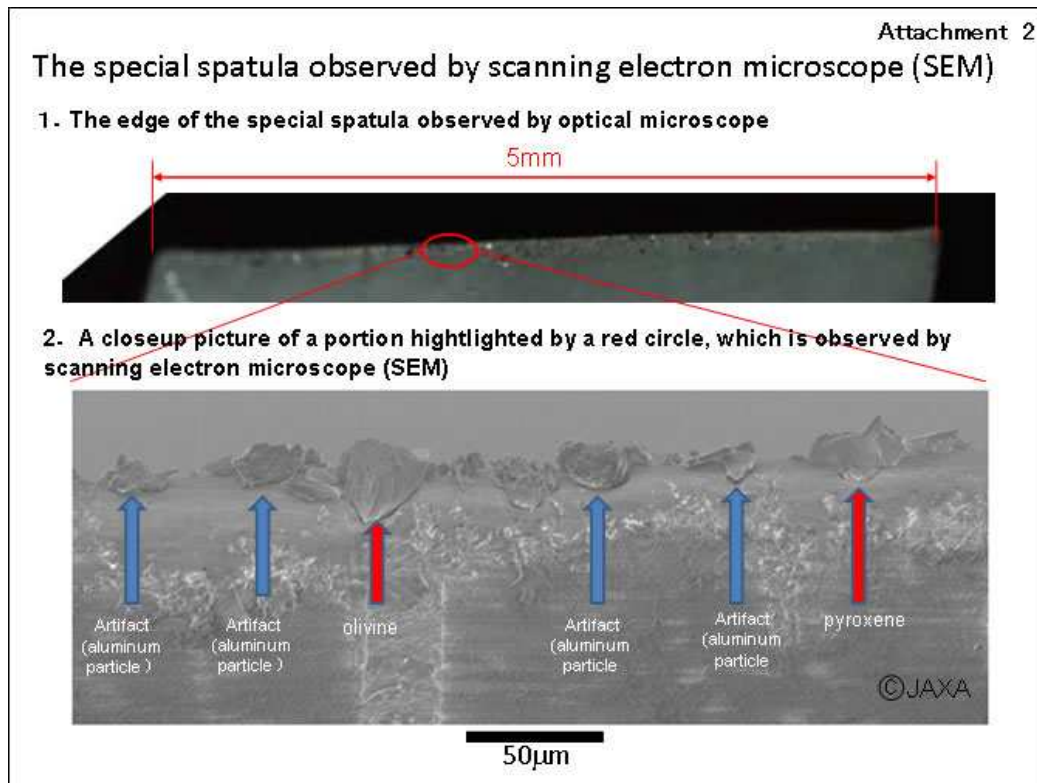
(forrás: JAXA, wandering.space.net/category/minor-bodies/asteroids/ és www.lpi.usra.edu/features/hayabusa/)

A Földre visszaérkezett kapszula a gyűjtött mintákkal (Woomera Prohibited Area, Ausztrália)

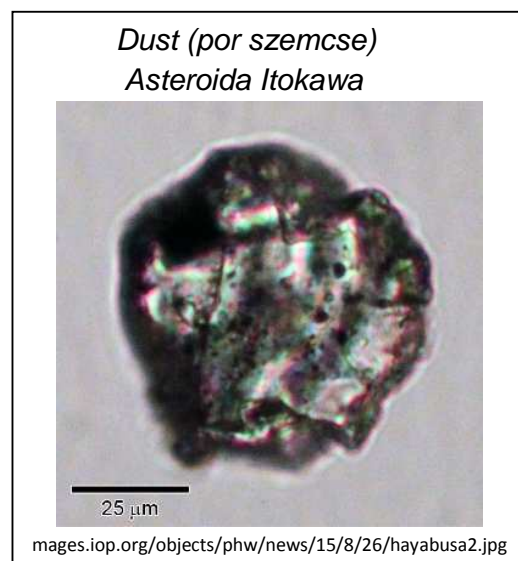
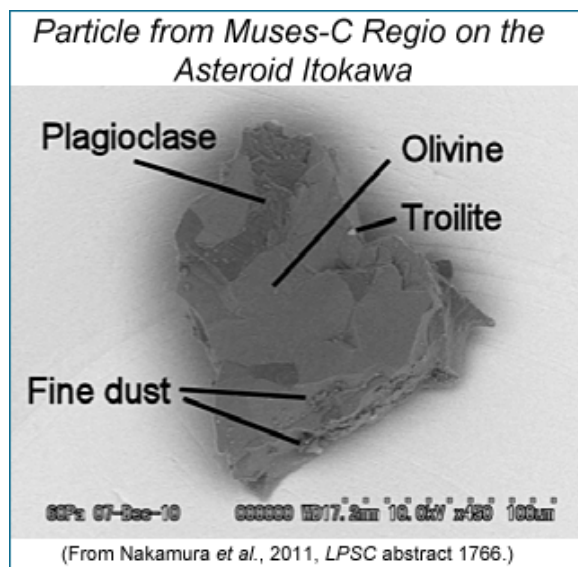
A fő képrögzítő kamerája, az AMICA detektor hét keskenyebb és egy szélesebb sávú szűrővel bír, ezek segítségével színeképi adatokat is szerez, amiből a felszíni összetételre lehet következtetni. NIRS spektrométer, a közeli infravörös tartományban több mint 75 ezer mérést végzett, a LIDAR lézeres távolságmérő pedig a kisbolygó felszínén 1,4 millió pont helyzetét, távolságát állapította meg. Az XRS nevű röntgenspektrométer összességében 700 órán keresztül rögzített színeképi adatokat, amelyekből eddig az olivin- és a piroxén-ásványokat sikerült azonosítani.



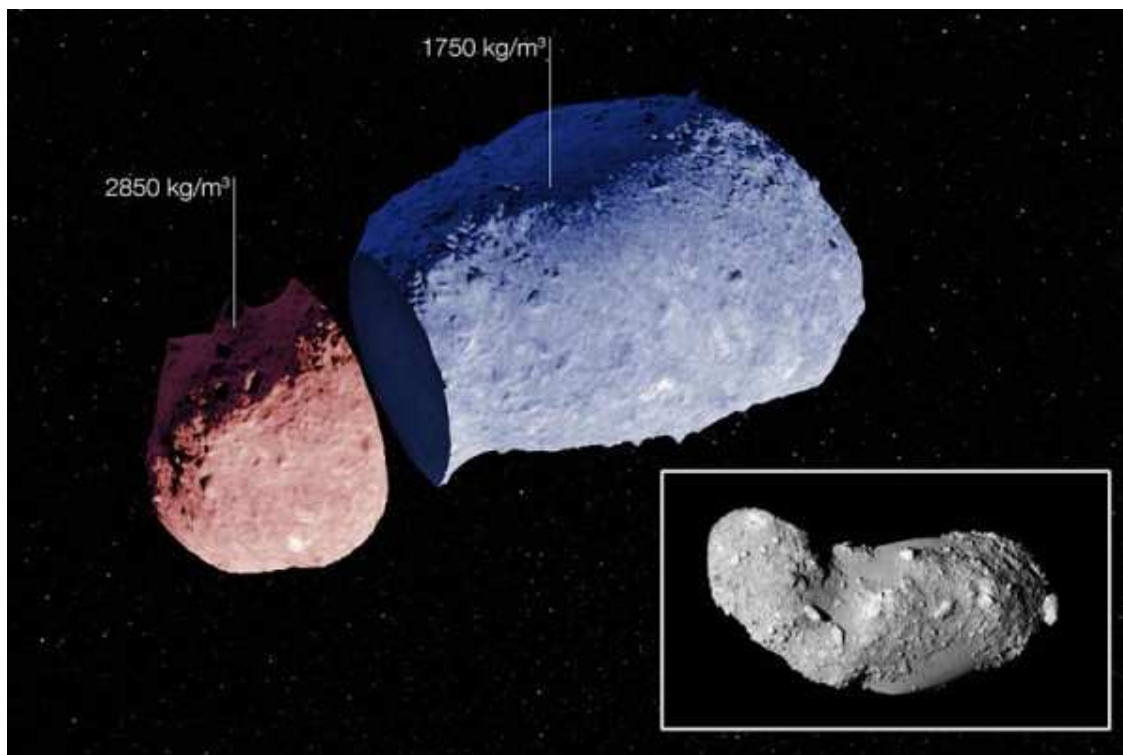
(forrás: www.isas.jaxa.jp/e/snews/2006/0602.shtml)



(forrás: Identification of origin of particles brought back by Hayabusa, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) 2010 november 16., (JST) www.jaxa.jp/press/2010/11/20101116_hayabusa_e.html)



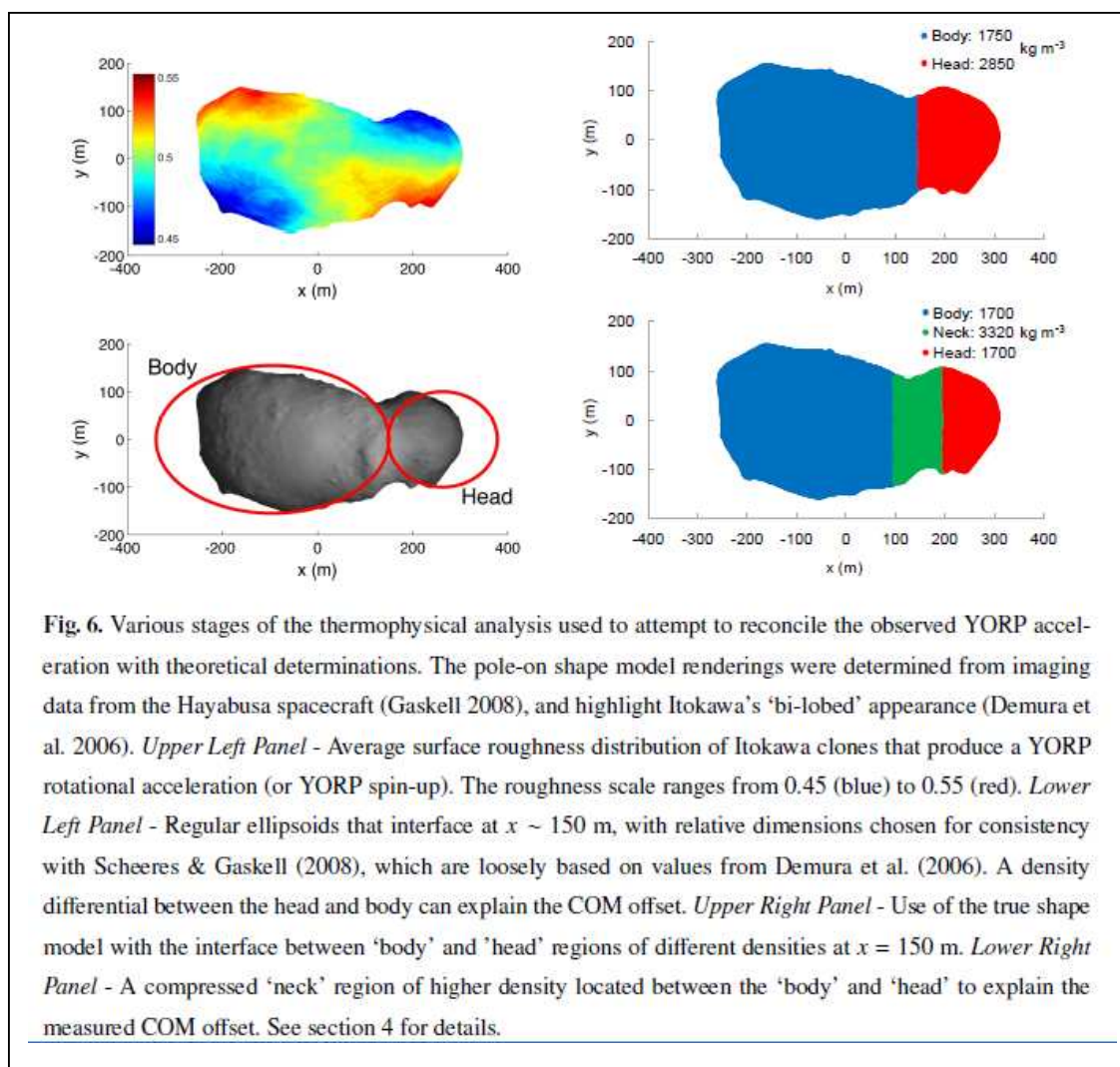
(forrás: Linda Martel: Asteroid Itokawa Samples, Planetary Science Research Discoveries (PSRD), és Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology 2011. www.psr.d.hawaii.edu/CosmoSparks/Feb11/ItokawaSamples.html, és <http://physicsworld.com/cws/article/news/2011/aug/25/peering-into-the-past-of-near-earth-asteroids>)



(forrás: Sid Perkins: ScienceShot: Anatomy of an Odd Asteroid, ESO/ JAXA, <http://news.sciencemag.org/physics/2014/02/scienceshot-anatomy-odd-asteroid>, és www.eso.org/public/news/eso1405/)

A kis égitest tanulmányozása tovább folytatódott, Földi csillagászati fotometriai módszerekkel a kisbolygó fénygörbét tovább figyelték. A Stephen Lowry által vezetett nemzetközi kutatócsoport precíz fotometriai megfigyeléseket végzett az Európai Déli Observatórium 3,6 méteres NTT (New Technology Telescope) műszerével az Itokawa kisbolygóról. A mérések célja a forgási periódus változásának kimutatása volt, a kisbolygó belső szerkezetére való következtetés céljából. A YORP (Yarkovsky-O'Keefe-Radzievskii-Paddack) hatásnak nevezett folyamat (elsősorban csak a kis méretű, elnyújtott, szabálytalan alakú égitestekre működik hatásosan), amikor egy kis égitest felszíne felmelegszik a Nap felőli oldalon, és így „délben, kora délután” a felszínről kisugárzott elektromágneses (hő) sugárzás „rakétaszerű” hatást fejt ki, amely fékezheti vagy gyorsíthatja a tengely körüli forgást (a pontos geometriától függően). Lowry és munkatársai a megfigyelésekből a forgási periódus csökkenését találták, évente 0,045 másodperccel rövidülő forgást. A mérési eredmény csak egy olyan belső tömegeloszlású test feltételezésével magyarázható, amely az Itokawa kisbolygót két különböző sűrűségű összetevőből állítja elő: egy kisebb méretű, 2,85 g/cm³ sűrűségű részből és egy hosszabb, elnyújtott, 1,75 g/cm³ sűrűségű komponensből. Ez alacsonyabb, mint amit egy ilyen, S-típusú kisbolygónál vártak a kőzetanyag (primitív kondrit, LL) alapján.

A két eltérő sűrűségű darab összeállításának egy lehetséges módja az, hogy eredetileg egy kettős kisbolygó volt az Itokawa és csak később közelítette meg egymást a két komponens annyira, hogy „összetapadtak”.



(forrás: S. C. Lowry, P. R. Weissman, S. R. Duddy, B. Rozitis, A. Fitzsimmons, S. F. Green, M. D. Hicks, C. Snodgrass, S. D. Wolters, S. R. Chesley, J. Pittichová and P. van Oers: The internal structure of asteroid (25143) Itokawa as revealed by detection of YORP spin-up, *Astronomy & Astrophysics*, 2014. január 07., doi.org/10.1051/0004-6361/201322602, www.eso.org/public/archives/releases/sciencepapers/eso1405/eso1405a.pdf)

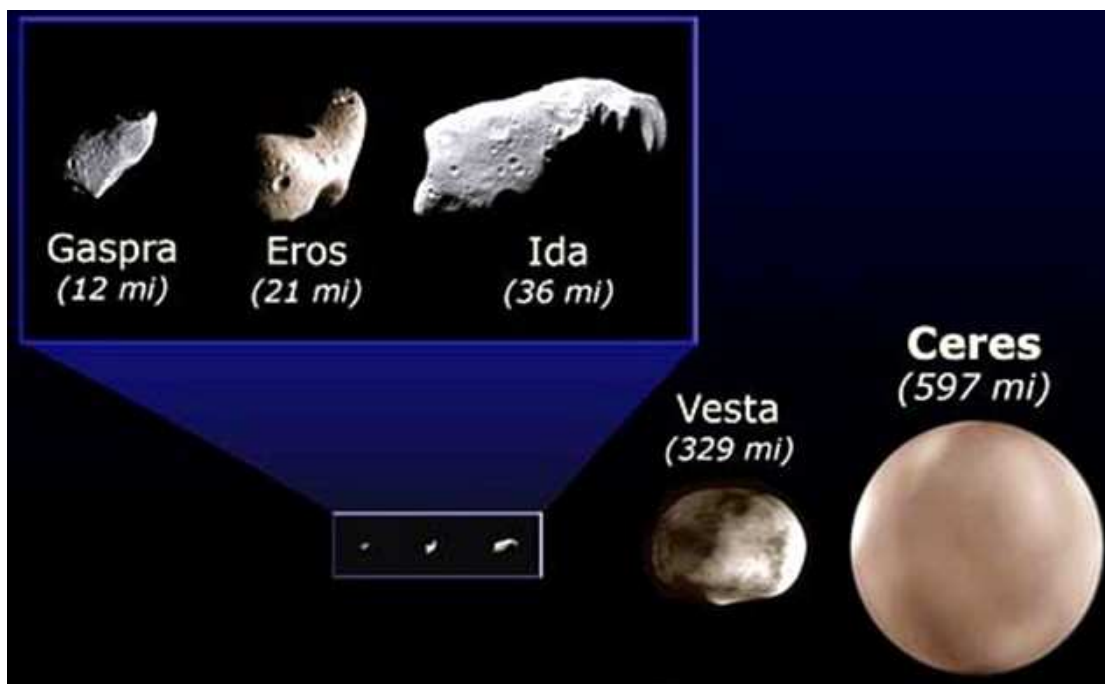
Az NTT nagy teleszkópon kívül a megfigyelő csoport még a Palomar-hegyi 5 méteres Hale-teleszkóppal, a Palomar Obszervatórium 1,5 méteres távcsövével, az arizonai Steward Obszervatórium 1,5 méteres és 2,2 méteres teleszkópjaival, a kanári-szigeteki 2,5 méteres Isaac Newton teleszkóppal is megfigyelte az Itokawa kisbolygót.

A kisbolygók általában szabálytalan alakú, szilárd anyagú égitestek, néhányuk saját holddal is rendelkezik.



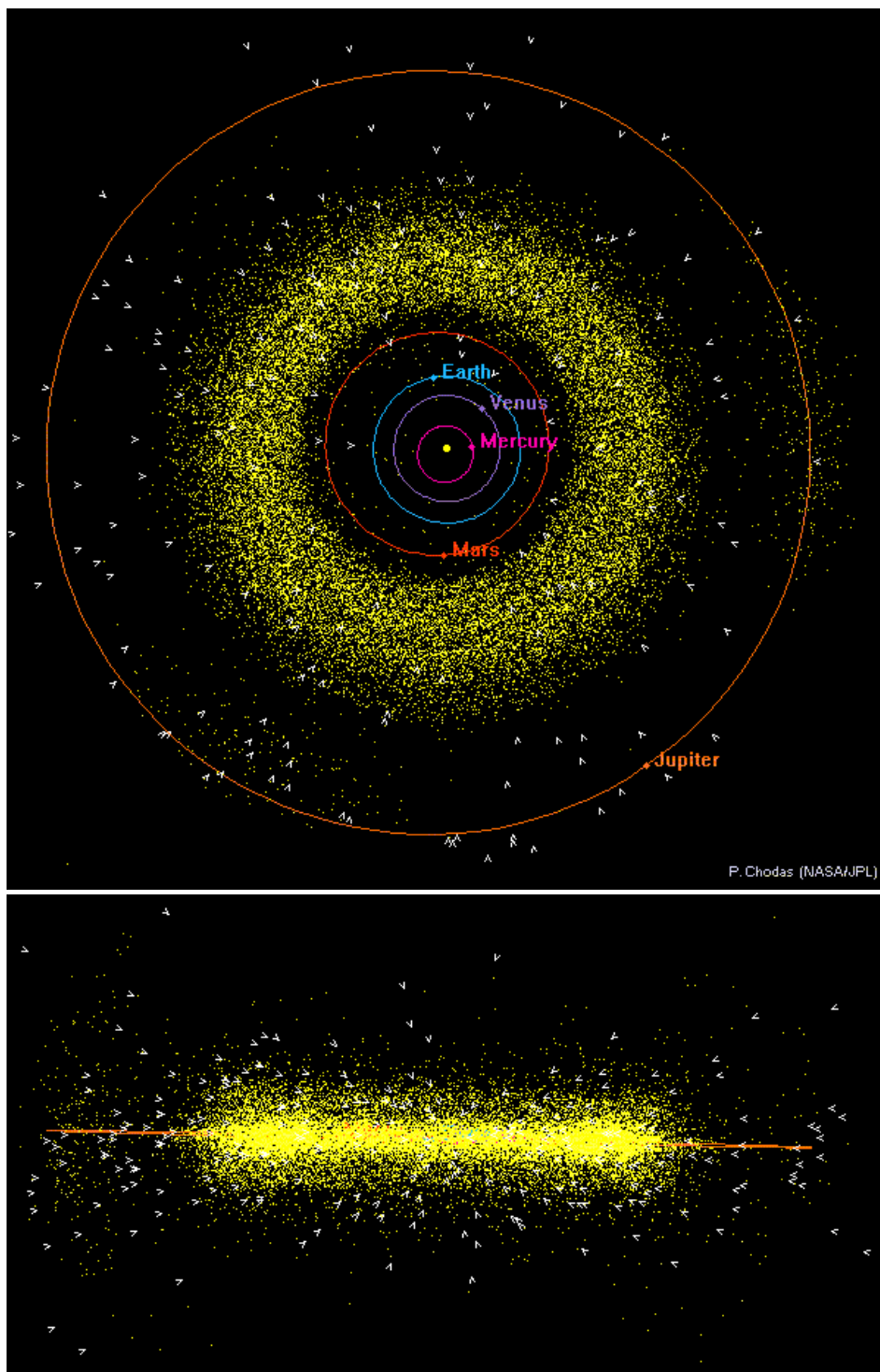
(Forrás: NASA planetary, photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA00069.jpg)

243 Ida kisbolygó és holdja, a Dactyl.



(forrás: www4.nau.edu/meteorite/Meteorite/Book-GlossaryA.html)

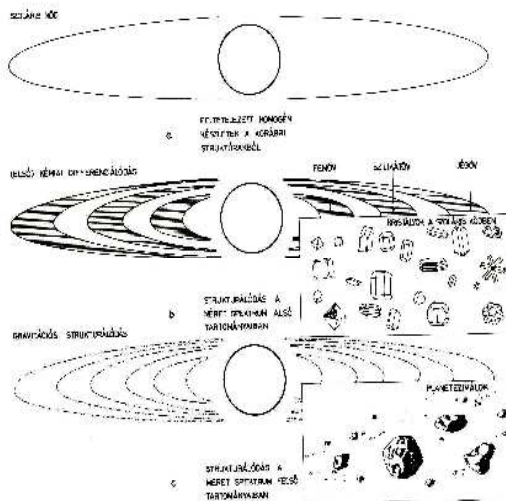
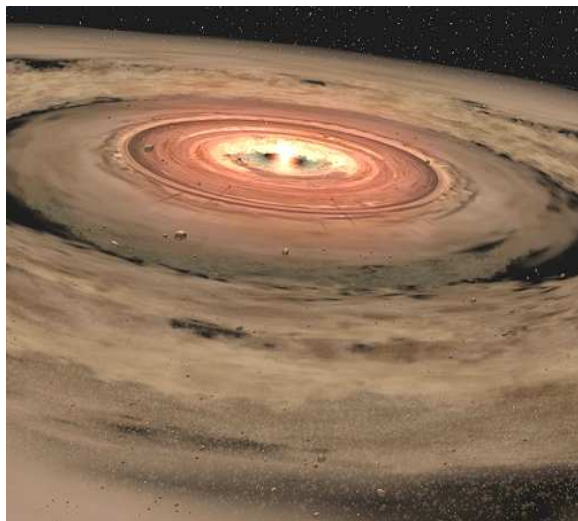
A mi Naprendszerünkben a kisbolygok többsége a kisbolygóövben található; ellipszis alakú pályán keringenek a Nap körül, a Mars és a Jupiter pályája között illetve a Kuiper-övben azaz a Pluto környékén helyezkednek el.



(forrás: ssd.jpl.nasa.gov/?ss_inner és www4.nau.edu/meteorite/Meteorite/Book-GlossaryA.html)

A leggyakoribb meteoritok a kondritok, amelyek kicsi égitestek töredékei, ütközések leszakították őket a szülő égitestről és a Naprendszerben pályákra kerülve, hosszabb-rövidebb idő alatt eljutottak a Földre.

A kondritos meteoritok esetében kétféle felmelegedési szakaszt tudunk megkülönböztetni. Az első felmelegedési (és lehülési) szakasz akkor történt, amikor a Naprendszer kialakult. Ekkor fejlődtek ki a Nap körüli ásványi anyagok s alkottak öveket a Naptól távolodva csökkenő hőmérsékletük szerinti elrendeződésben.



(forrás: NASA, JPL-Caltech,
jpl.nasa.gov/news/news.php?)

(forrás: Bérczi Szaniszló,
hu.wikipedia.org/wiki/
Fájl:NRKETTOSXX.JPG)

Egy protoplanetáris korong illusztráció, hasonló ahhoz, amint a Naprendszer kialakult.

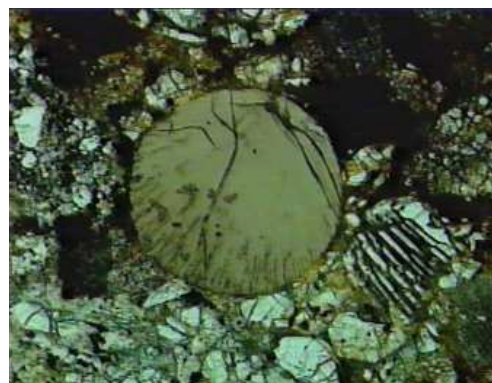
A Naprendszerben zajló kettőskristályosodás modellje. Ásványok, majd bolygótestek keletkezése.

A fő közetalkotó szilikátok alkották a belső bolygók övében kiváló ásványok nagy részét. Ezek olvadékcseppeket alkottak egykor, mert a korai Nap kitörései egyes tartományokban úgy fölforrósították a por- és gázködöt, hogy az addig már kialakult és összetapadt kristályok megolvadtak, majd lehültek. A tizedmilliméteres-milliméteres nagyságú gömböcskékre (a kondrumokra) fokozatosan tapadt rá a körülöttük található por is.

A kondrumok és a maradék poranyag összetapadással és ütközésekkel egyre nagyobb égitestekbe halmozódott. A mai kondritos meteoritok azokból a kisebb méretű kondritos égitestekből származnak, amelyek nem melegedtek föl a Naprendszer elmúlt 4,5 milliárd éve alatt, mert a rövid felezési idejű radioaktív elemek termelte hő gyorsan szétsugárzódott felszínükről.



A hat fő kondrumtípus vékonycsiszolati szöveti képe. A típusok balról sorolva őket a következők: üveges, excentro-radiális, lemezes, porfiros, szemcsés és poikilites.



(forrás: Bérczi Szaniszló Naprendszer-anyagokról készült rajz és forrásgyűjteménye, <http://hu.wikipedia.org/wiki/Kondritok>)

Kondritos meteorit vékonycsiszolata

Üveges kondrum vékonycsiszolata

A kondritos szövet két fő összetevőből áll: kondrumokból és mátrixból.



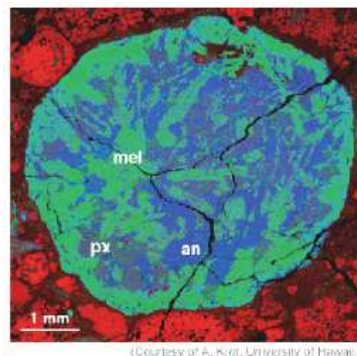
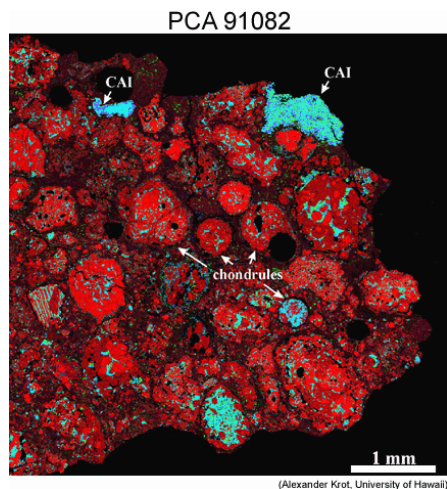
A kondrumok, között a finomszemcsés mátrix található, tehát ősi, különféle eredetű anyagokból összetapadt kőzet.

NWA 2892
Kondrit H/L3
meteorit

Ez az ősi anyag a Naprendszer születése körüli idők anyagait hordozza.

(forrás: <http://www.meteorites.com.au/favourite/august2005.html>)

Előfordulnak kisebb mennyiségben jelen lévő összetevők is, mint például a „fehér zárványokat” a CAI-kat (CAI = Ca-Al-Inclusions), melyek a spinellhez hasonlóan nagy olvadáspontú ásványokból állnak, vagy a kondrumokat körülvevő peremeket alkotnak. A naprendszer legkorábbi ásványai.



CAI az
Efremovka
meteoritból

A röntgenképen
a vörös Mg,
a zöld Ca,
a kék Al.

(soest.hawaii.edu/soest/facilities/Lapidary/)

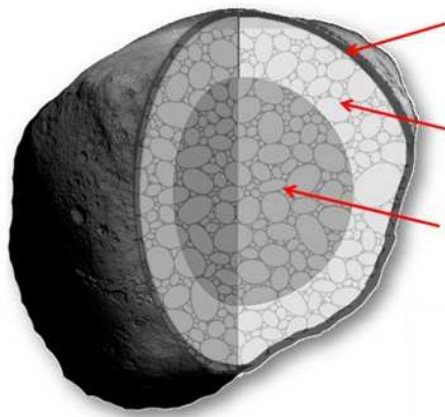


A kondritok tizedmilliméterestől a centiméteres méretig terjedő nagyságú kicsiny gömböket (görögül kondrumokat, magokat) tartalmazó meteoritek, s ezekről kapták nevüket. Ezek általában 0,5-2 mm átmérőjű, vas, alumínium vagy magnézium szilikátok formájában fordulnak elő az olivin és piroxin ásványokban. Ezek majdnem a legidősebb objektumok a Naprendszerben a 4,57 milliárd évükkel.

(forrás: hu.wikipedia.org/wiki/Kondrumok)
Szeparált kondrumok a Bjurböle meteoritból

A kőmeteoritok (aerolitok) két részre bonthatók, kondritokra és akondritokra. Az akondritokban már nincsenek kondrumok.

Azok a meteoritok, amelyek nagyobb méretű kisbolygókról származnak, távolabb jutottak az átalakulásban. A kisbolygó fölmelegedése során fokozatosan átkristályosodik az anyaga. Az idők során egyre több olyan – viszonylag ritka – meteoritot találtak és tanulmányoztak, amely még kondritos kémiai összetételűek voltak, de már teljesen elveszítették kondrumos szövetüket. Ezeket primitív akondritoknak nevezték el. A primitív akondritokban meginduló kiolvadási folyamatokat két fő anyag távozik el belőle: a vas és vasszulfid „lefelé”, a kis égitest belsőbb övei felé, és a bazaltos magma „felfelé”, a kis égitest felszínére is kiömölve.



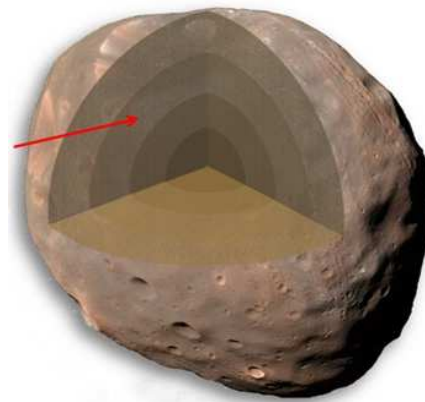
Sötét szervesanyagokban gazdag poros réteg.

Szenes kondritok, víz-, metán-, ammónia- és széndioxid-jég.

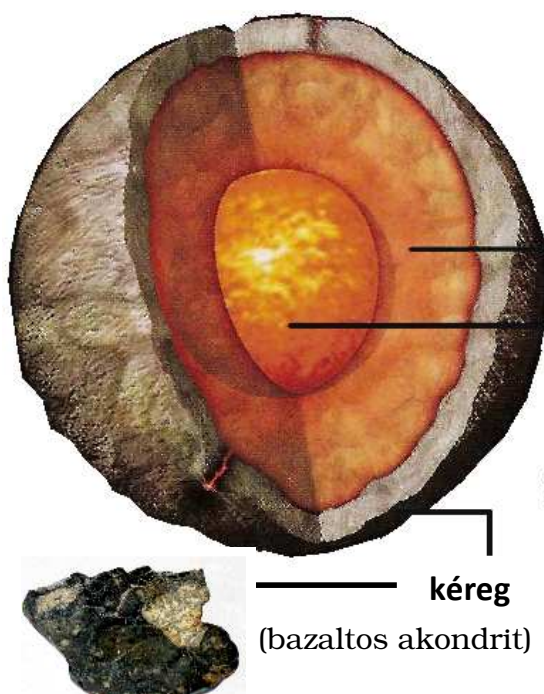
Átalakult szenes kondritok, agyagásványok, karbonátok, víz. Nagyobb mélységben nagyobb a nyomás. A jég megolvad, a kőzetek kémiai máláson mennek keresztül, de nem melegsznek fel.

Nagyobb mélységben nagyobb a hőmérséklet és a nyomás. Ennek megfelelően a kondritos kőzetek átalakulnak, átkristályosodásodnak (termális metamorfózis) felmelegednek, de nem olvadnak meg, ilyenek a nem differenciálódott (Földnél kisebb) égitestek.

(forrás: Balogh Gábor: Meteoritok Tűzgömbök Világa, <http://tuzgomb.blogspot.hu/p/meteoritok-uj.html> és http://www.ehman.org/meteorite_origins_ed.html nyomán)



A kondritumok szétbomlásáig, a szövet átkristályosodásáig eljutott kondritos anyag (primitív akondrit) differenciálódni kezd.

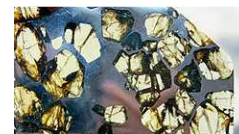


A vas- és a vasszulfid-összetevők a kis égitest mélyebb rétegei felé, a nátriumban és kalciumban gazdag összetevők bazaltos parciális olvadékai a kis égitest felszíne felé vándorolnak.

köpeny
(peridotit)



mag és köpeny határán
(pallazit)



A differenciálódott aszteroida szerkezete.

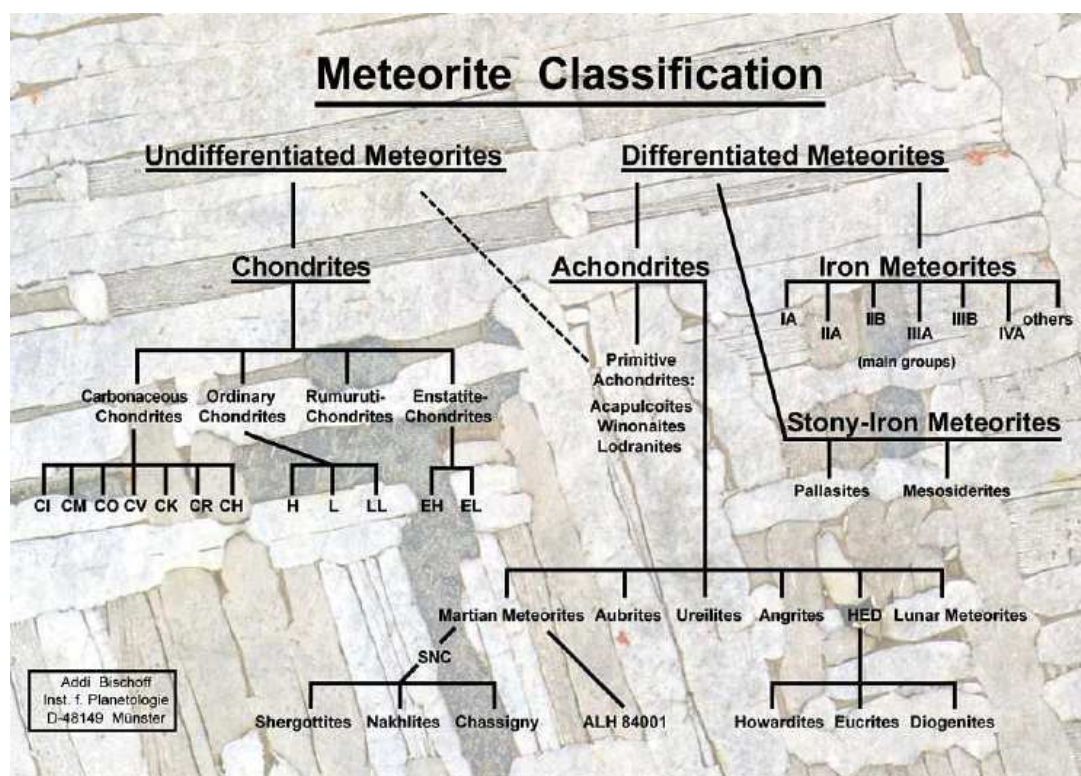
A meteoriteket elsődleges osztályozás a teljes kőzet kémiai összetétel, és a kőzetszövet alapján történik.

Az első csoportba a nem differenciált (primitív) meteoritok (Undifferentiated Meteorites) tartoznak: összetételük hasonlít a Nap fotoszférájának összetételéhez, koruk 4,5 milliárd év. Ezért feltételezik, hogy ezek a kőzetdarabok a Naprendszer legősibb képződményei, amelyek a napkőd anyagából képződtek, abból az anyagból, amiből a Föld is kialakult. Vizsgálatukkal bepillantunk a Naprendszer és a bolygók kialakulásának folyamataiba.

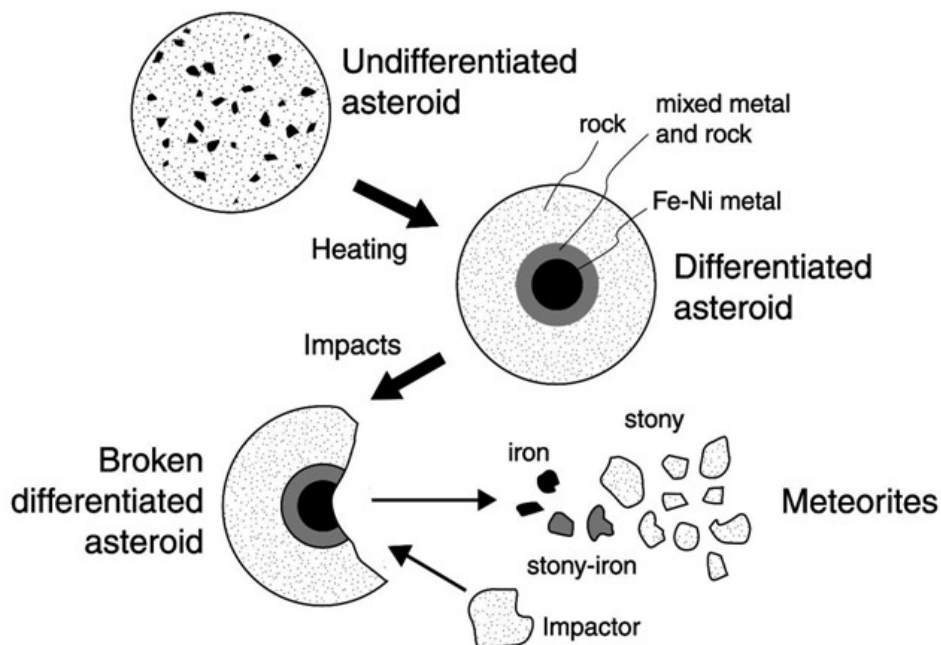
A második csoportba a differenciált meteoritok (Differentiated Meteorites): olyan égitestekből származnak, amelyek fejlődésük során részleges olvadáson mentek keresztül és különböző összetételű egységekre (fémes, szilikátos) különültek el.

A további osztályozás alapja: az oxigénizotóp összetétel, a kémiai összetétel, az ásványtani jellemzők, és a kőzettani jellemzők.

A három nagy anyag típusba sorolva további csoportokat alkotnak: a kőmeteoritok (Stony) kondritos és akondritos (Chondrites, Achondrites), a kő-vas (Stony-Iron) meteoritok, a vasmeteoritok (Iron).



(forrás: Harangi Szabolcs: Bevezetés a kőzettanba 2. Földtudományi BSc szak, ELTE FFI Kőzetan-Geokémiai Tanszék, ppt diaképek, http://elte.pene.hu/e107_files/downloads/download.php?fname=.%20felev/bevezetes_az_asvany_es_kozettanba/kozettan/jelszo_nelkuli/Bevezetes_kozettanba_BSc_2.pdf.)

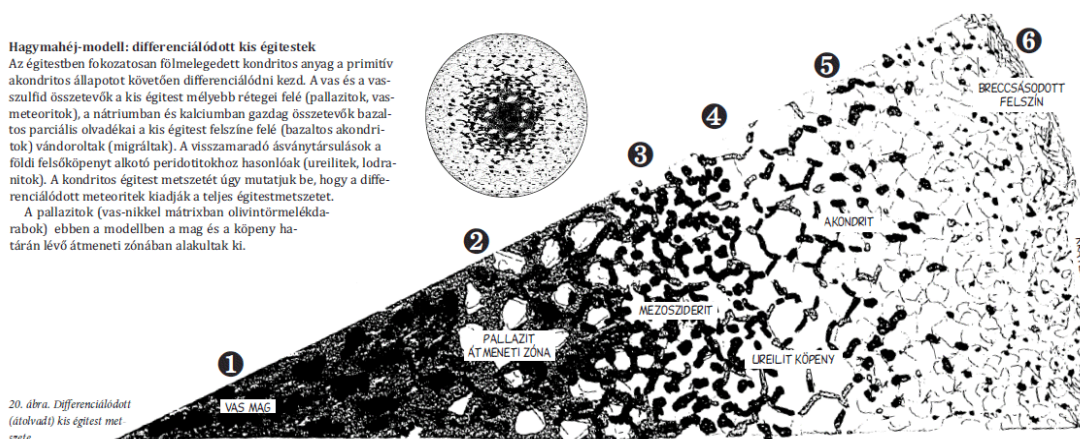


(forrás: www4.nau.edu/meteorite/Meteorite/Book-GlossaryA.html)

A kőmeteoritok sűrűsége tipikusan $3,6 \text{ g/cm}^3$ ($2,2 \text{ g/cm}^3$ a nagyon ritka szenes kondritoké), a vasmeteoritok sűrűsége $7,9 \text{ g/cm}^3$, a kő-vas meteoritoké pedig $4,9 \text{ g/cm}^3$. A természetes kövek sűrűsége kisebb, mint 3 g/cm^3 .

Differenciálódott szerkezetű kiségitest metszetén láthatók a meteoritokat alkotó főbb kőzetek.

Hagymahéj-modell: differenciálódott kis égitestek
Az égitestben fokozatosan fölmelegedett kondritos anyag a primitív akondritos állapotot követően differenciálódni kezd. A vas és a vas-szulfid összetevők a kis égitest mélyebb rétegei felé (pallazitok, vasmeteoritok), a nátriumban és kalciumban gazdag összetevők bazaltos parciális olvadáskor a kis égitest felszíné felé (bazaltos akondritok) vándoroltak (migráltak). A visszamaradó ásványtársulások a földi felsőkőpenyét alkotó peridotitokhoz hasonlóak (ureilitok, lodranitok). A kondritos égitest metszetét úgy mutatjuk be, hogy a differenciálódott meteoritok kiadják a teljes égitestmetszetet. A pallazitok (vas-nikkel mátrixban olvintörmelekedarabok) ebben a modellben a mag és a köpeny határán lévő átmeneti zónában alakultak ki.



20. ábra. Differenciálódott (átolvadt) kis égitest metszete

(forrás: Bérczi Szaniszló, Gucsik Arnold, Hargitai Henrik, Józsa Sándor, Kereszturi Ákos, Nagy Szabolcs, Szakmány György: Kis Atlasz A Naprendszerrel (11), Kőzetek a naprendszerben, ELTE TTK/MTA Geonómia Bizottság Koszmosz Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Budapest _ 2008, planetologia.elte.hu/atlasz/atlasz11.pdf)

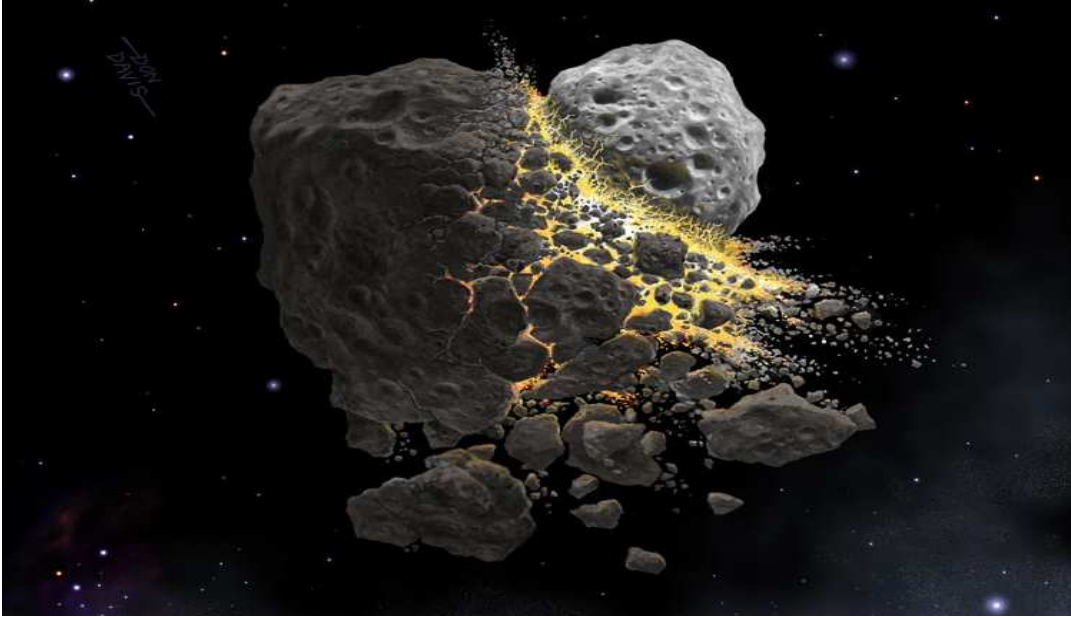


Ensisheim Meteorite (fametszeten ábrázolva). Ensisheim tartományban (Elzász, Franciaország), 1492 November 16-én hullott, a búzamezőre a falu közelében egy 127 kg-os kő meteorit. Egy fiatal fiú volt a szemtanúja.



(forrás: www.meteoritecollector.org/)

A legrégebbi megmaradt meteorit az Ensisheim-i, amelynek legnagyobb darabja ma is a Regency palotában tekinthető meg Ensisheimben.



(forrás: Don Davis, d1jqu7g1y74ds1.cloudfront.net/wp-content/uploads/2008/03/dinosaur-killer_large.jpg) Kisbolygók (Aszteroidák) ütközése.



A Willamette (IIIAB) vas meteoritot (sziderit), 1902-ben találták az Amerikai Egyesült Államokban (Willamette Valley, Oregon). A Földön talált legnagyobb meteorok egyike, 15,5 tonna. (American Museum of Natural History)



A vasmeteoritok csiszolatlan állapotban feketék, „rozsdásak” vagy sötét szürkék. Laguna Manantiales meteorit darab metszetén, jól megfigyelhetők a Widmanstätten-féle mintázat sávjai.

(forrás: www.encyclopedia-of-meteorites.com/collection.aspx?id=2637)

A legnagyobb meteorit a világon Afrikában, Észak-Namíbiában, egy Hoba nevű kis farm mellett található. Kutatók szerint a Hoba-meteorit mintegy 80 ezer évvel ezelőtt zuhanhatott le a mai Hoba farm közelében.

1920-ban, a meteorit tömege 66 tonna volt. Jacobus Hermanus Brits akadt rá, amikor ökrével felszántotta a földet.



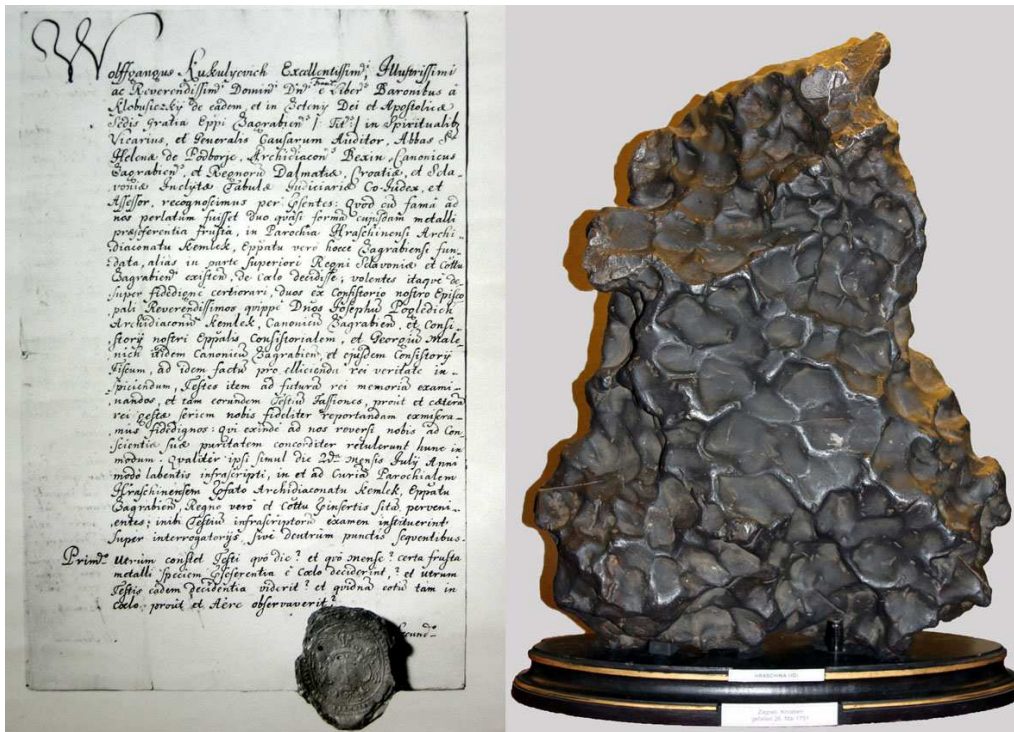
(forrás: www.wondermondo.com/Images/Africa/Namibia/Otjozondjupa/HobaMeteorite.jpg)

Meglepő, hogy nem hagyott nagy becsapódási krátert, valószínűleg azért, mert a légkör annyira lelassította, hogy kis sebességgel csapódott a Földre. A Hoba, a legnagyobb ismert, egy darabban maradt meteorit a Földön.

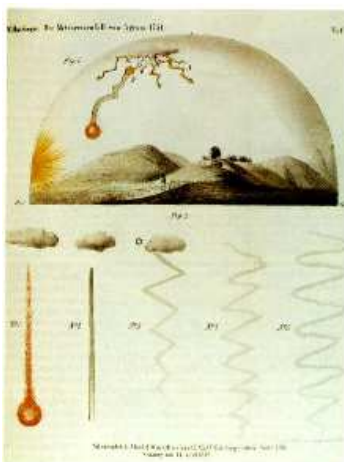


A meteorit, melynek 82,4 %-a vas, 16,4 %-a nikkell és 0,76 %-a kobalt, több mint 3 méter hosszú és 1 méter magas. Nyomokban szén, cink, kén, króm, réz, gallium, irídium, és germánium is felfedezhető benne. A kőzet alakja is igencsak furcsa: két oldalán sima, ami arra enged következtetni, hogy úgy siklott bolygónk atmoszférájában, mint a lapos kő a vízen.

A Hrasinai vasmeteorit 1751-ben hullott a Magyar Királysághoz tartozó Horvátországban, Varasd vármegyei Hrasina községben.



(forrás: Bishop Klobuczecky and Curate-General Wolfgang Kukuljevic & the Hraschina meteorite, Naturhistorisches Museum Wien, <http://www.nhm-wien.ac.at/en?null>)



A hullás május 26-án este 6 órakor történt, Zágrábtól északra, a Hrasina nevű község határán, vasárnapon, a sétáló közönség szeme láttára. Két darab tiszta vastömeg hullott le, melyek egyike csaknem 40 kg, a másik pedig 9 kg tömegű volt.

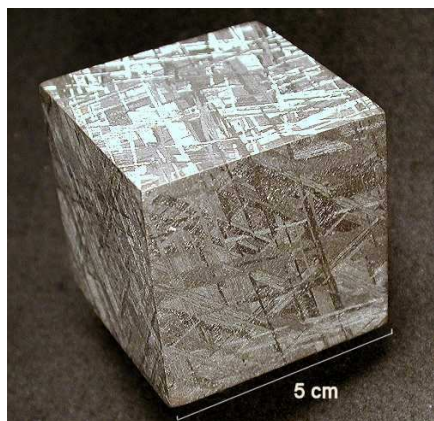
A hrasinai hullás azért jelentős, mert egyike volt azon két első európai meteorithullásnak, melyek alapján a meteoritika tudománya kifejlődött.

(forrás: Kaiserliche Akademie der Wissenschaften, Vienna, <http://en.wikipedia.org/wiki/Hraschina>)

Ebben a fejlődésben E. F. F. Chladni meteoritokról szóló könyvének a megjelenése mérföldköv volt. Egy korabeli rajz is fennmaradt róla. Ezen a rajzon megfigyelhető az a kis felhő, amelyből a tűzgolyóvá váló meteorit előtör, és láthatók a villámok is, amelyek a felhőből villannak szét, végül az utolsó fázisban láthatók a közeledő tűzgolyóból kirepülő tűzcsóvák is.

A vasmeteoritok túlnyomórészt nikkkel-vas ötvözetekből álló meteoritok. Bár a kőmeteoritokhoz képest igen ritkák, kb. a megfigyelt meteoritok 5,7%-át teszik ki, mégis a meteorit-gyűjteményekben vasmeteoritok adják az összes ismert meteorit 90%-át (megközelítőleg összesen 500 tonnát), mivel légkörbe való belépést nagyobb eséllyel élik túl, jobban ellenállnak az ilyenkor fellépő párolgásnak, és kőmeteoritokkal ellentétben még laikusok számára is könnyen felismerhetők.

Kémiai és izotópelemzések azt mutatják, hogy legalább ötven különböző égitestből származnak. Ez azt jelzi, hogy korábban legalább ennyi nagy aszteroida létezett az aszteroida-övben – sokkal több, mint napjainkban. A vasmeteoritok többsége M típusú aszteroidákból származik, melyek olyan nagyobb ősi aszteroidák magjának maradványai, melyeket becsapódások törtek szét.



A láthatóvá vált fémes szövetszerkezetnek a vasnikkel fázis esetén külön nevet is adtak. Widmannstadten mintázatnak nevezik első leírójának nevével. A nikkeldús fázis a gamma vas, taenit, (kohászati nevéen austenit), melynek kristályrácsát laponcentrált köbös elemi cellák alkotják. A nikkelszegény fázis az alfa vas, kamacit, melynek kristályrácsát tércentrált köbös elemi cellák alkotják. (www.meteorlab.com/METEORLAB2001dev/labphoto/cube.htm)

Lehülés és lassú kristályosodás során oktaéder lapok szerint elrendeződő lemezek alakjában válik ki az alfa vas, peremén pedig a gamma vas, s ez a mintázat jelenik meg különböző irányú termetszetekben a levágott és lecsiszolt vasmeteorit felületeken. Minél nagyobb a nikkeltartalom, annál vékonyabbak az alfa vas rétegek.



(forrás:
<http://maps.unomah.edu/maher/geo117/part2/meteorites/MeteoriteImages.html>)

Canyon Diablo
vasmeteorit
Arizonából.

(Chicago Field
Museum).

A kő-vas meteoritok, rendkívül ritkák, két különböző csoportot alkotnak. Az egyik a pallasit, olyan kő-vas meteoritok, melyekben több a fémes összetevő, mint a szilikátos. A vasnikkel fázis folytonos mátrixot alkot, melyben olivin (és néha piroxén) kristályok helyezkednek el. Vékonycsiszolatban a fémes fázis átlátszatlan (opak), s ezért a beágyazott, (fémmel körbevett) szilikátok jól megfigyelhetők. A szilikát ásványok lehetnek lekerekítettek, máskor pedig kristálylapokkal határoltak, vagy éles töréses pereműek. Metszetben az is megfigyelhető a fémes fázison, hogy kisebb nagyobb vasszulfid tartományok szintén be vannak ágyazva a fémes vasnikkel fázisba. Még olvadt állapotában ez a két fázis, a vasnikkel és a vasszulfid, egymással nem elegyedő (nem keveredő) olvadékot képez. A vasszulfid színe sárgásabb, a vasnikkel fázisé ezüstszerű.



Fukang a legnagyobb ismert pallasit típusú kő-vas meteorit, sziderolit (szilikát-vasmeteorit). A kínai Fukangban találták 2000-ben (1050 kilogramm).

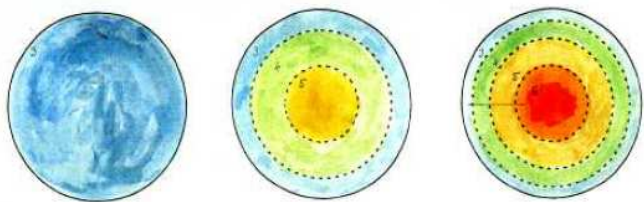
(forrás: zmescience.com/other/great-pics/shorties-pictures-of-fukang-pallasite/)

A másik formájuk a mesosiderit, mely a fényes vas-nikkel darabok és a szilikátok („kő”) kaotikus keverékéből áll.



(forrás: Meteorites Australia Collection www.meteorites.com.au/collection/stonyirons.html)

Vaca Muerta is ritka kő-vas meteorit. 1861-ben találták az Atacama sivatagban.



ÉGY KÖNDRITOS SZÜLŐÉGITEST RÉTEGZŐDÉSE, METAMORFÓZISA ÉS DIFFERENCIÁCIÓJA JELLEGZETES HAGYMAHÉJ-SZERKEZETTEL

A fokozatosan fölmelegedő kisbolygó övezeteinek képe. A felső sorban a kisbolygó kondritos övei figyelhetők meg, az alsó sorban már a vas kiolvadása és a bazalt felszínre kerülése van ábrázolva.



VASMAG ÉS BAZALTOS AKONDRITOS RÉTEGEK DIFFERENCIÁCIÓJA

(forrás: Bérczi Szaniszló (szerkesztette): Kőzetszövetek a naprendszerben, planetologia.elte.hu/atlasz/atlasz11.pdf)

Ennek eredményeként a primitív akondritos összetételű kőzetből egy kiürült, de még mindig sok kondritos vonást őrző akondrit típus marad meg (ureilit és lodranit), a földi felsőköpenyt alkotó peridotitokhoz hasonlóak (földpát nélküli eruptív [kitöréses, magmás] kőzet, csak színes elegyrészekből álló, ultrabázikus, mélységi kőzetek összefoglaló elnevezése, a 40%-nál nagyobb olivin-tartalmú kőzetcsoporthoz nevének alternatív elnevezéséből [peridot] származtatják), amely a kis égitest köpenyét alkothatja. Két fontos akondrit (kondritos szövet nélküli) meteorit csoportot találtak eddig: ezek az ureilitok és a lodranitok.



UREILITE



LODRANITE

Vékony-csiszolati képek.
(NIPR antarktisi meteorit gyűjtemény)

(forrás: Bérczi Szaniszló: Naprendszer anyagokról készült képgyűjtemény)

Jellegzetes az ureilitok szövetében az, hogy a nagyméretű olivin és piroxén ásványokat fekete perem határolja. Az ásványok közötti hézagokat szén, fémes vasnikkel és vasszulfid tölti ki. A szén főleg grafit, amely kissé redukálta is az ásványok peremvidékét, s ennek hatására parányi vasszemcsék váltak ki az olivin és piroxén ásványok peremén.

A lodranit olyan akondrit, amelyben már megindultak a parciális kiolvadások, összességében azonban ásványos összetétele még őrzi a kondritos komponenseket.



(forrás: www.meteorites.com.au/collection/achondrites.html#Ureilites)

NWA 2634, ureilite akondrit meteorit,



(forrás: www.meteorites.com.au/favourite/october2002.html)

Londran, londranite akondrit



(forrás: www.pinterest.com/myrtaceae/meteoriten-in-museen/)

Millbillillie, bazaltos akondrit (eukrit) meteorit, (Nyugat Ausztrália-i hullás). (meteorite-times.com/Back_Links/2008/december/Meteorite_People.htm)

A bazaltos akondrit elnevezéssel a kőmeteoritek köréből származó néhány magmás szövettű közettípust jelölnek. Egy fejlett és differenciálódott kis égitest kérgének a kőzetszilánkjai ezek. De tisztán magmás szövete csak az eukrit-howardit-diogenit sorozat szélső tagjainak van, s persze ugyanezek előfordulnak breccsás szövettel is.

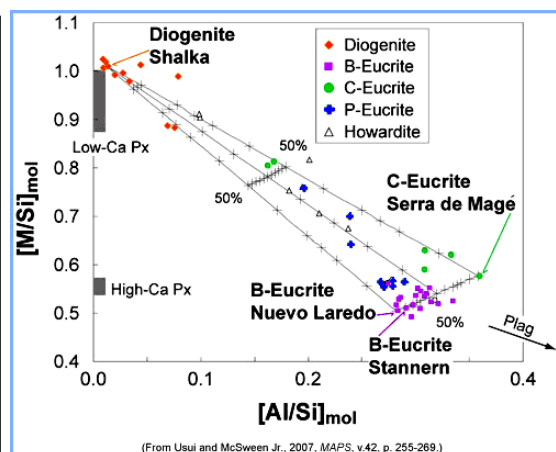
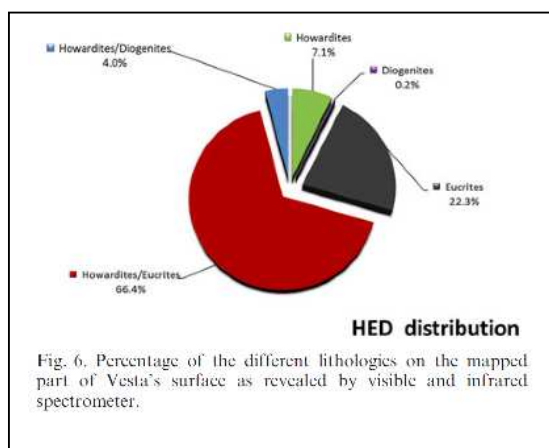
HED (Howardit, Eukrit Diogenit) meteoritoknak is nevezik, színeképe hasonlít a 4 Vesta kisbolygó színeképehez. Feltételezhető, hogy a HED meteoritok a Vesta kisbolygóról származnak. Ásványtani szempontból ezek a kőzetek piroxénből és földpátból állnak.

A HED meteoritok (korábbi osztályozásban: bazaltos akondritok) meteoritok, melyek az akondritok egy csoportját alkotják. Elnevezésük betűszó: a howardit, az eukrit és a diogenit nevéből összeolvasva.

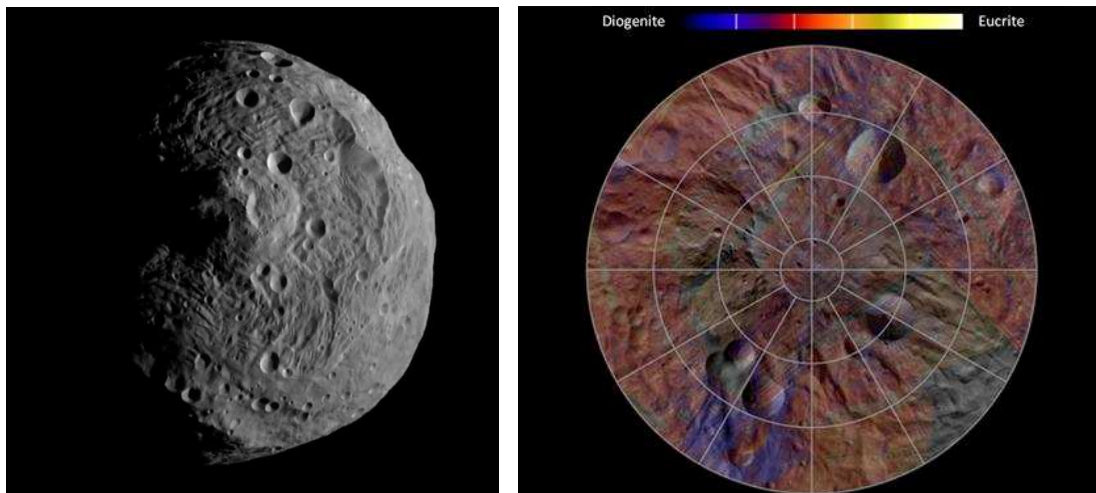


Egykori Vesta-darabok a Földön (HED-meteoritok). A howardit, eukrit, diogenit polarizációs mikroszkóppal megfigyelt metszetein a különböző ásványi kristályokat eltérő színek mutatják. A szerkezetük a magmából való kikristályosodás folyamatára utal.

(forrás: Univ. of Tennessee, www.urvilag.hu/nyomtat/tavoli_vilagok_kutatoj/20120514_egy_nagy_kisbolygo_titkai)



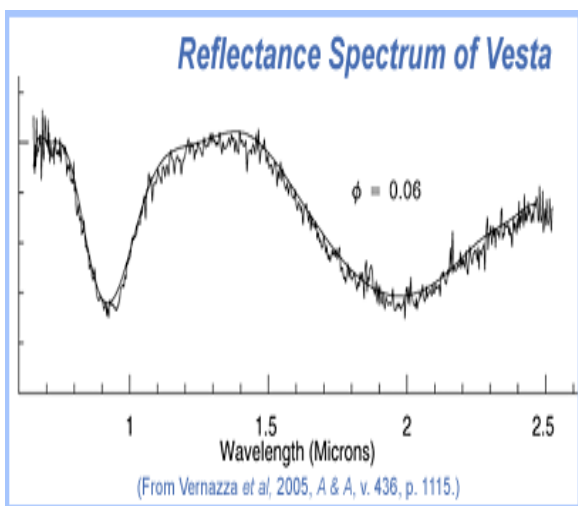
(forrás: M. Cristina De Sanctis, Eleonora Ammannito, M. Teresa Capria, Fabrizio Capaccioni, Jean-Philippe Combe, Alessandro Frigeri, Andrea Longobardo, Gianfranco Magni, Simone Marchi, Tom B. McCord, Ernesto Palomba, Federico Tosi, Francesca Zambon, Francesco Carraro, Sergio Fonte, Y. J. Li, Lucy A. McFadden, David W. Mittlefehldt, Carle M. Pieters, Ralf Jaumann, Katrin Stephan, Carol A. Raymond, Christopher T. Russell: Vesta's mineralogical composition as revealed by the visible and infrared spectrometer on Dawn, *Meteoritics & Planetary Science* 1–19 (2013), doi: 10.1111/maps.12138. 2013. július 08., www.planetary.brown.edu/pdfs/4782.pdf, és NASA RELAB facility at Brown University, és Linda M. V. Martel: Getting to Know Vesta, *Planetary Science Research Discoveries*, 2007. 11. 27., Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, www.psr.d.hawaii.edu/Nov07/HEDs-Vesta.html)



(forrás: NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA, és
 NASA/JPL-Caltech/UCLA/INAF/MPS/DLR/IDA
http://www.nasa.gov/mission_pages/dawn/multimedia/pia14313.html)

Vesta kisbolygó képe és az ásványi összetétel térképe a Vesta déli féltekéjének felszínéről. (Dawn űrszonda felvételei 2011. július 17-én)

A 4 Vesta a második legnehezebb objektum a kisbolygóövben, 530 km-es átlagos átmérővel. Az egész kisbolygóöv tömegének 9%-át foglalja magába. Becsapódások miatt tömegének körülbelül 1%-át veszítette el az utóbbi egymilliárd évben.



NASA Infrared Telescope Facility (NASA IRTF, Mauna Kea Observatórium, Hawaii-szigetek) által készített spektrális színekép. (forrás: Linda M. V. Martel: Getting to Know Vesta, Planetary Science Research Discoveries, 2007. 11. 27., Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, www.psrh.hawaii.edu/Nov07/HEDs-Vesta.html, www.psrh.hawaii.edu/Nov07/PSRD-HEDs-Vesta.pdf)

A HED akondritok színeképe hasonlít a 4 Vesta kisbolygó színeképehez. Ennek alapján régóta feltételezték, hogy a HED meteoritok a Vesta kisbolygóról származnak a becsapódások következményeként. Különösen a 0,9 és 1,9 mikrométer abszorpciós sávok a piroxén jelenlétére utalnak a Vesta spektrumában.

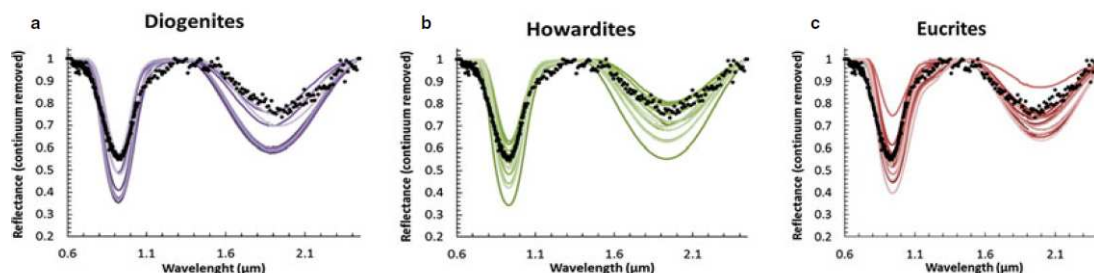


Fig. 3. a) Black: average Vesta spectrum, purple: laboratory spectra of diogenites. b) Black: average Vesta spectrum, green: laboratory spectra of howardites. c) Black: average Vesta spectrum, red: laboratory spectra of eucrites. The howardite-eucrite-diogenite data are from the RELAB database and are reported in Table 2.

(forrás: M. Cristina De Sanctis, Eleonora Ammannito, M. Teresa Capria, Fabrizio Capaccioni, Jean-Philippe Combe, Alessandro Frigeri, Andrea Longobardo, Gianfranco Magni, Simone Marchi, Tom B. McCord, Ernesto Palomba, Federico Tosi, Francesca Zambon, Francesco Carraro, Sergio Fonte, Y. J. Li, Lucy A. McFadden, David W. Mittlefehldt, Carle M. Pieters, Ralf Jaumann, Katrin Stephan, Carol A. Raymond, Christopher T. Russell: Vesta's mineralogical composition as revealed by the visible and infrared spectrometer on Dawn, *Meteoritics & Planetary Science* 1–19 (2013), doi: 10.1111/maps.12138. 2013. július 08., www.planetary.brown.edu/pdfs/4782.pdf, és NASA RELAB facility at Brown University)

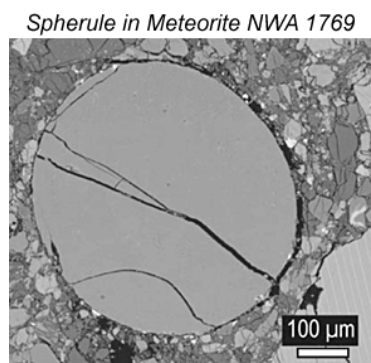
RELAB adatbázisból a különböző HED meteoritok spektrális területe.



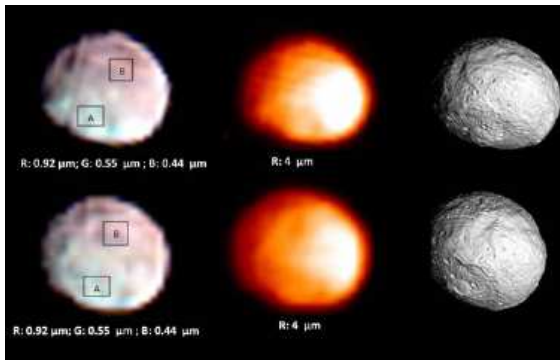
(forrás: www.psr.d.hawaii.edu/Nov07/PSRD-HEDs-Vesta.pdf)

Üveg gömböcske, amelyet ásványi töredékek vesz körül a howardite NWA 1769 meteorit mikroszkópi képen.

(forrás: G. Jeffrey Taylor: The Complicated Geologic History of Asteroid 4 Vesta, www.psr.d.hawaii.edu/June09/Vesta.granite-like.html, www.psr.d.hawaii.edu/June09/PSRD-Vesta.granite-like.pdf)

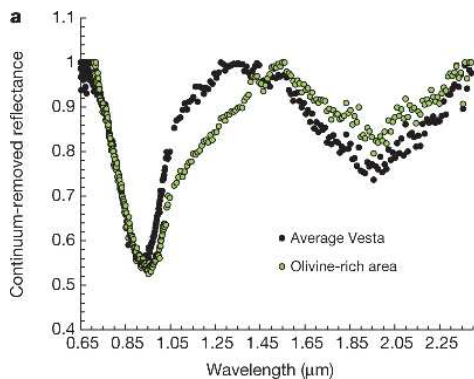


(From Barrat et al., 2009, *Meteor. & Planet. Sci.*, v. 44, p. 359.)

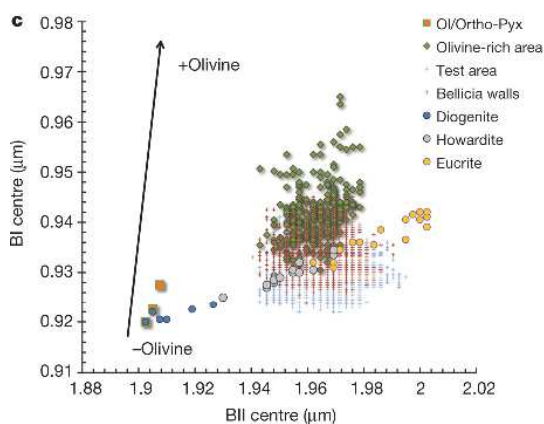
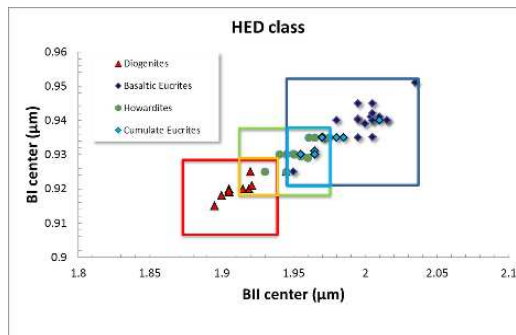
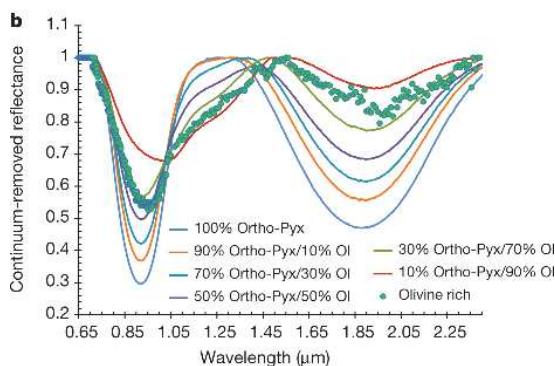


Az ábra baloldalán két infravörös spektrométer (VIR) színes kompozit kép, középen két (VIR) hamis színes kép, és jobb oldalon a Vesta kisbolygó alakja látható 25km/pixel felbontásban.

(forrás: www.planetary.brown.edu/pdfs/4782.pdf)



(www.unawe.org/kids/unawe1132/, NASA/JPL-Caltech/UCLA/McREL)



(forrás: E. Ammannito, M. C. De Sanctis, E. Palomba, A. Longobardo, D. W. Mittlefehldt, H. Y. McSween, S. Marchi, M. T. Capria, F. Capaccioni, A. Frigeri, C. M. Pieters, O. Ruesch, F. Tosi, F. Zambon, F. Carraro, S. Fonte, H. Hiesinger, G. Magni, L. A. McFadden, C. A. Raymond, C. T. Russell, J. M. Sunshine: Olivine in an unexpected location on Vesta's surface, *Nature* 2013. 12. 05., 504, 122–125, doi:10.1038/nature12665, nature.com/nature/journal/v504/n7478/fig_tab/nature12665_SF2.html)

A howarditok csoportját kb. 50 bazaltos akondrit alkotja. A howarditok breccsás szövetűek, főleg eukritos és diogenites töredékek fordulnak elő szenes kondritos szilánkokkal és a becsapdóáskor keletkezett szilikátolvadékkal együtt. Az ilyen kőzeteket regolit breccsának is nevezik. Légkör nélküli égitesteken fordulnak elő ezek a kőzetek. Mindezek arra mutatnak, hogy egy kis égitest felszínéről származnak.



(forrás: <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/hed/pdf/Bununu-final3.pdf>)

Bununu meteorit (Howardite, megfigyelt hullás)



(forrás: <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/hed/pdf/EET87503andEET87513-Final.pdf>)

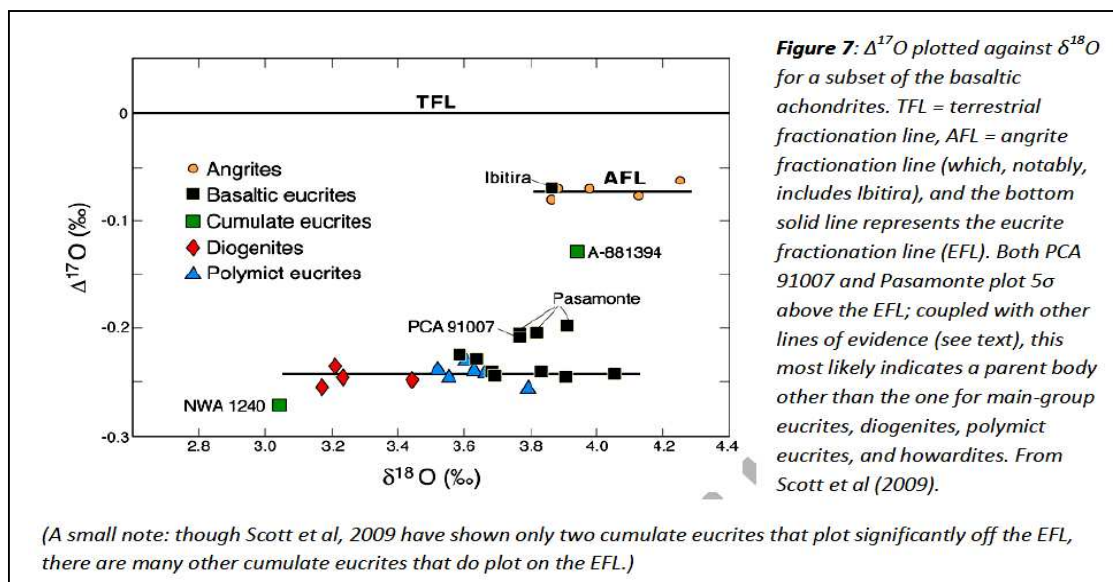
EET 87503 és EET 87513 meteorit (Paired Howardites, antarktisi gyűjtés)

Az eukritok csoportját kb. 100 bazaltos akondrit alkotja. Az eukritok alapvetően kétfélék: magmás szövetűek és breccsások. A magmás eukritok bazaltos kőzetek, melyek Ca-ban gazdag földpátból és kétféle piroxénből állnak (pigeonitból és Ca-szegény piroxénből). A magmás eukrit csoporton belül is különbséget tesznek: az egyik csoport kumulátos szövetű néhány meteoritból áll. Ezek egy magmakamrában szilárdultak meg és egymáson támaszkodó, orientált kumulát ásványokat tartalmaznak. A nem-kumulátos csoport tagjai a leggyakoribbak. A másik eukrit csoport a breccsás eukritoké. Ezek olyan regolit breccsák, mint a howarditok, de csak nagyon kis mennyiségben tartalmaznak (10%) diogenit törmelékeket.



(forrás: <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/hed/pdf/PCA91007-final.pdf>)

Pecora Escarpment (PCA) 91007 meteorit (Vesicular Eucrite, antarktisi gyűjtés)



(forrás: <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/hed/pdf/PCA91007-final.pdf>)

Figure 25: NIPR photos of ALH 78132

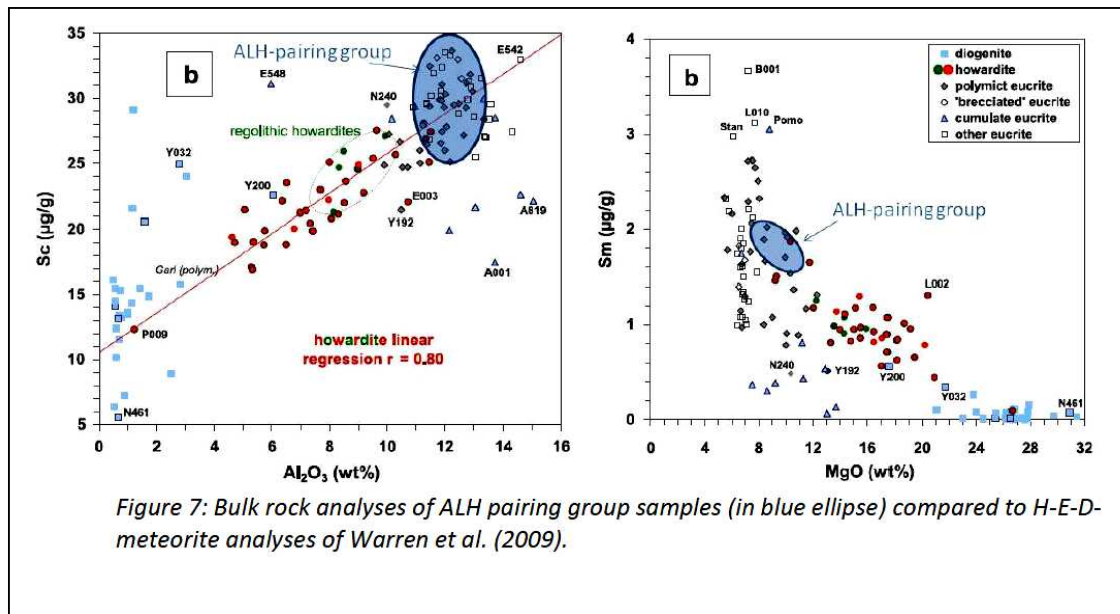


Figure 24: NIPR photos of ALH 78040



(forrás: <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/hed/pdf/ALH76005-final2.pdf>)

Allan Hills (ALH) pairing group 76005, 77302, 78040, 78132, 78158, 78165, 79017, 80102, 81006, 81007, 81008, 81009, 81010, 81012 meteorit (Polymict Eucrite, antarktiszi gyűjtés)



(forrás: <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/hed/pdf/ALH76005-final2.pdf>)

A diogenitek csoportját kb. 40 bazaltos akondrit alkotja. A diogenitek mélységi magmás kőzetek, amelyek egy kisbolygó kérgében, nagyobb mélységben, hosszú idő alatt kristályosodtak ki. Fő ásványuk a rombospiroxén, amely magnéziumban gazdag. Kis mennyiségben olivin és plagioklász is kísérheti a rombospiroxént.



(forrás: <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/hed/pdf/Johnstown-final.pdf>)

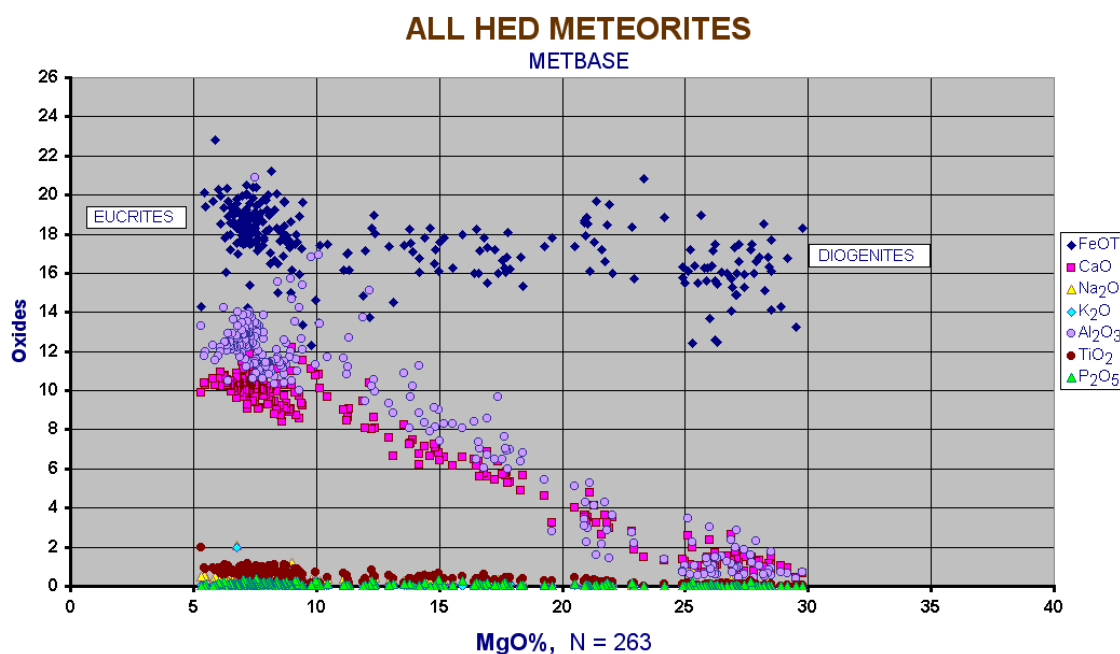
Johnstown meteorit
(Monomict Brecciated Diogenite,
megfigyelt hullás)



(forrás: curator.jsc.nasa.gov/antmet/hed/pdf/EETA79002-Final.pdf)

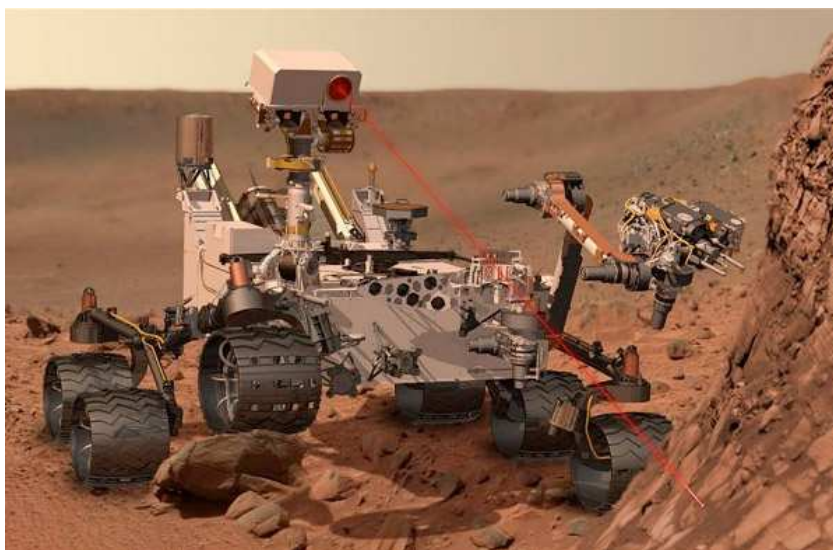
EET A79002 meteorit
(Olivine-bearing Diogenite,
antarktisi gyűjtés)

(forrás: http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/hed/hed_compendium.cfm)



(forrás: www.geokem.com/meteorites.html)

Az SNC akondritos meteoritok (Shergotty, a Nakhla és a Chassigni után) magmás kőzetek, már nem tartalmazzak a szövetükben kondrumokat. A magmás kőzetek az égitest belső folyamatai során jönnek létre. Az SNC meteoritok kémiai összetételük alapján feltehetően a Marsról származnak, azaz valamilyen hatásra az eredetileg a vörös bolygón lévő kövek a világűrbe lökődtek, majd hosszabb-rövidebb bolygóközi utazás után a Földre hullottak. 1815. október 3-án Franciaországban, Chassigny mellett becsapódott egy 4 kg-os meteorit. 1865-ben az indiai Bihar államban, Sherghatinál több kő esett az égből. Ezek össztömege 5 kg volt, anyaguk pedig vulkanikus bazalt. A csoportba tartozó 1911-ben hullott 40 kg-os meteoritot, El Nakhla el Baharia (Alexandria közelében) egyiptomban találták. Viszonylag friss keletkezésűek, mindössze 0,18–1,3 milliárd évesek. Wasson és Wetherill vetette fel 1979-ben, hogy az SNC meteoritok a Marsról érkezhettek, ahol a felszínen a nemrég még aktív bazaltvulkánosság nyomait látjuk. Egy további SNC meteoritot találtak az Antarktiszon, amelynek belsejében üvegszemcsék, és azokban gázzárványok voltak. A gáz laboratóriumi elemzése meglepő eredményre vezetett: összetételében a nitrogén izotópjainak arányában nagyon hasonló volt ahhoz, amit pár évvel korábban a Viking szondák a Mars légkörében mértek. 1982 óta gyakorlatilag minden kutató tényként kezeli, hogy az SNC meteoritok valamikor a Marsból szakadtak ki. A Curiosity (Kíváncsiság) sikeresen igazolta, hogy az úgynevezett marsi meteoritok valóban a vörös bolygóról érkeztek a Földre.



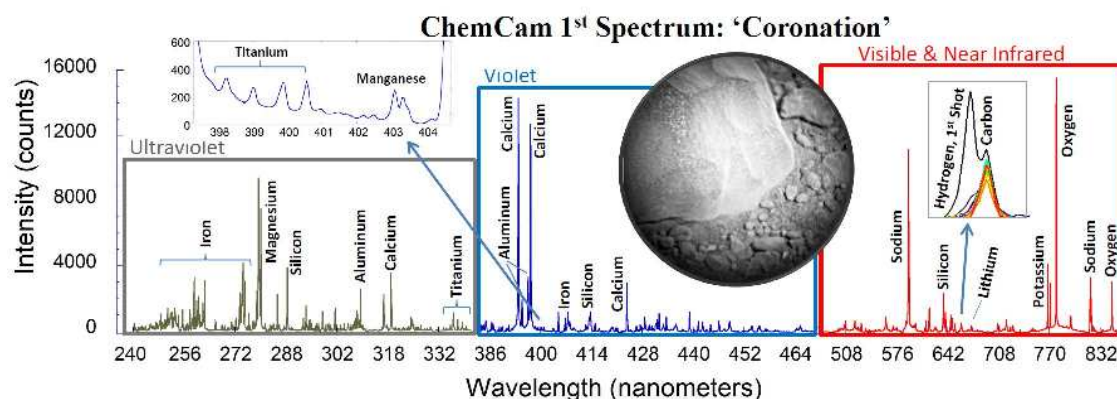
A Curiosity ChemCam egy precíziós lézer a molekulák ionizálására és elemzi azok összetevőit.

(illusztráció: www.engadget.com/2012/08/21/curiosity-rover-flaunts-its-battle-scar/)

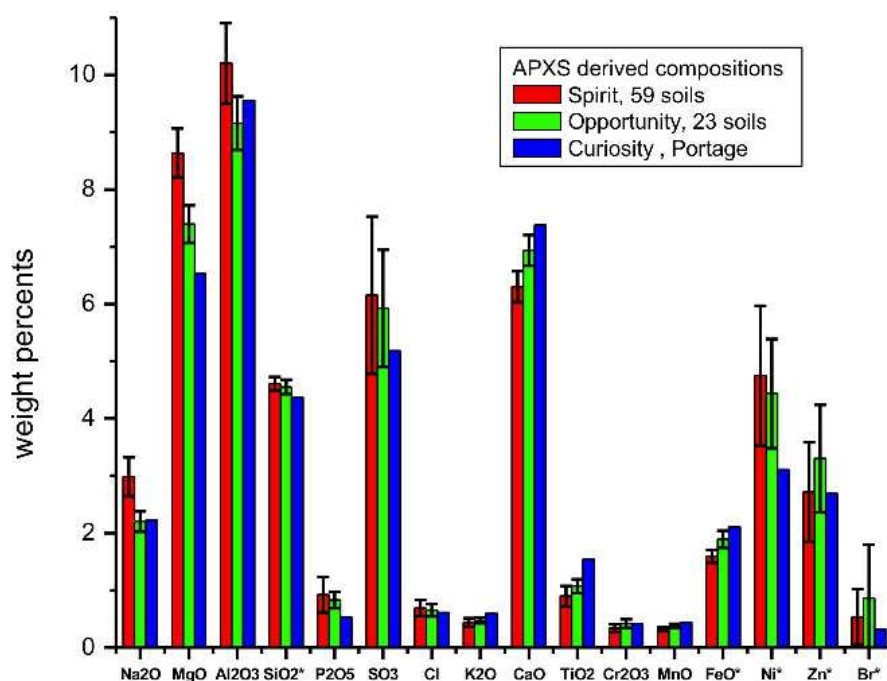
A marsjáró minden korábbinál alaposabb méréseket végzett a marsi légkör összetételével kapcsolatban, és többek közt megállapította az atmoszférában jelenlevő kétféle argonizotóp pontos arányát is. Az argon-36 és az argon-38 egymáshoz képesti mennyisége pontosan megegyezik azzal, amennyit az SNC meteoritoknak nevezett típus tagjaiban mértek.

A Gale-kráterben dolgozó Curiosity rover a Rockness nevű területen mintát is vett a felszíni törmeléktakaróból – az ugyancsak itt végzett légköri gáz mérései azonban a helyszíntől függetlenül, általános eredményként értelmezhetőek.

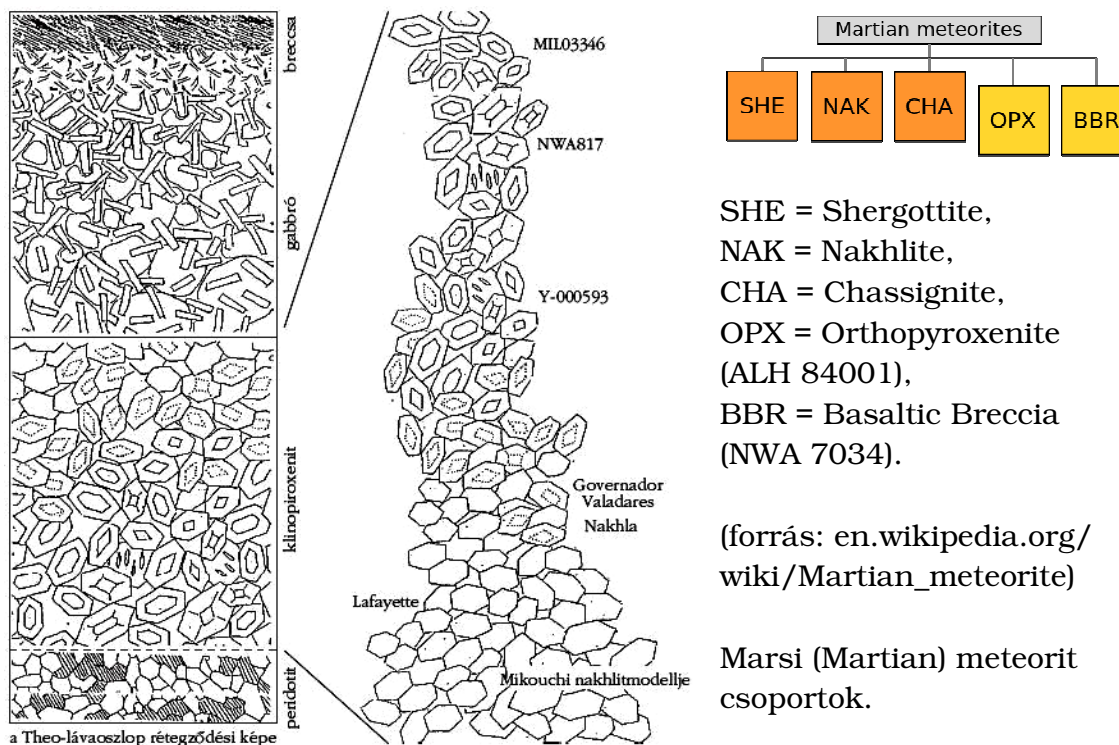
A mérések alapján a szén-dioxid koncentrációja 95,5%, az argoné 2,0%, a nitrogéné 1,9%, a szén-monoxidé 0,06% körülnek adódott. Az izotópokat tekintve közel 5%-kal magasabb a nehezebb szénizotópnak a könnyebbhez viszonyított aránya a Mars légkörében, mint ami a bolygónak a Naprendszerben elfoglalt helye alapján elméletileg várható.



(forrás: NASA/JPL-Caltech/LANL/CNES/IRAP, 2012. augusztus 19., <http://arstechnica.com/science/2012/08/curiositys-pit-crew-finishes-up/> és <http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA16089.jpg>)



(forrás: NASA/JPL-Caltech/University of Guelph, 2012, december 03., www.universetoday.com/98763/curiosity-update-no-definitive-discovery-of-organics-yet/ és <http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA16572.jpg>)

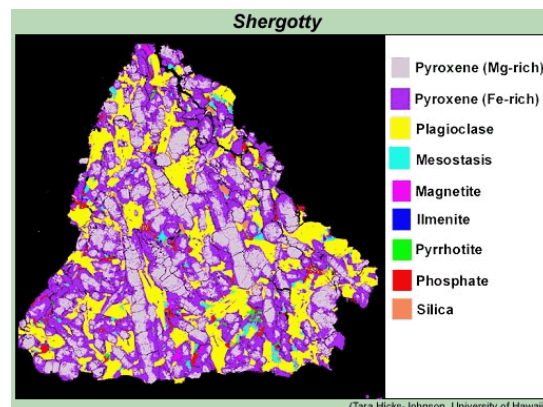


(forrás: Bérczi Szaniszló: A mars kőzetei a marsi meteoritok alapján, ELTE TTK Anyagfizikai Tanszék, Fizikai Szemle 2007/8. 260., http://epa.oszk.hu/00300/00342/00207/pdf/FizSzem_EPA00342_2007_08_260-264.pdf, <http://wwwold.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz0708/berczi0708.html>)

A hűlő lávaoszlopban elhelyezkedő nakhlitok (kumulátos piroxének) Mikouchi és társai, (2003) modelljében. A felsorolt 6 nakhlit lefelé haladva egyre tömöttebb kumulátos szövetet mutat: MIL03346, NWA817, Yamato-000593, Governador Valadares, Nakhla, Lafayette.

A marsi meteoritok ebben a magmás kőzet-osztályozási rendszerben a bázisos-ultrabázisos tartományba esnek. A marsi meteoritokat 6 típusba sorolják. Ortopiroxenit (ALH 84001), Klinopiroxenit (a nakhlitok), Dunit (chassignit), Bazaltos-shergottit (például a Shergotty maga is), Olivin-porfíros-shergottit (például a Northwest Africa 1068 – NWA 1068) és a Lherzolit, vagy Peridotitos-shergottit (például az ALHA 77005). A három leggyakoribb marsi meteorit típus a nakhlit, a bazaltos-shergottit és a lherzolit shergottit.

A bazaltos-shergottitok szürke színű magmás kőzetek, melyek monoklin piroxénekből (pigeonit, augit) plagioklász földpátból (amely azonban ütés hatására átalakult maskelynitté) és járulékos ásványokból áll. A peridotitos-(lherzolit)-shergottit a földi lherzolitokra-harzburgitokra hasonlít.

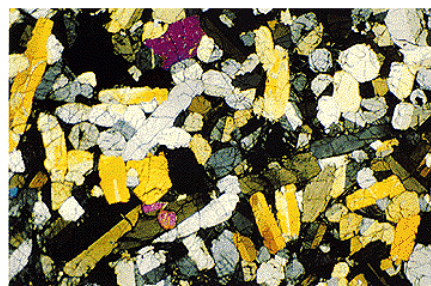


(forrás: www.encyclopedia-of-meteorites.com/meteorite.aspx?id=23530, és G. Jeffrey Taylor: Magma and Water on Mars, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, www.psr.d.hawaii.edu/Dec05/Magma-WaterOnMars.html, www.psr.d.hawaii.edu/Dec05/PSRD-Magma-WaterOnMars.pdf)

Shergotty Martian meteorit, és vékonycsizolat minta fotomikrográf.

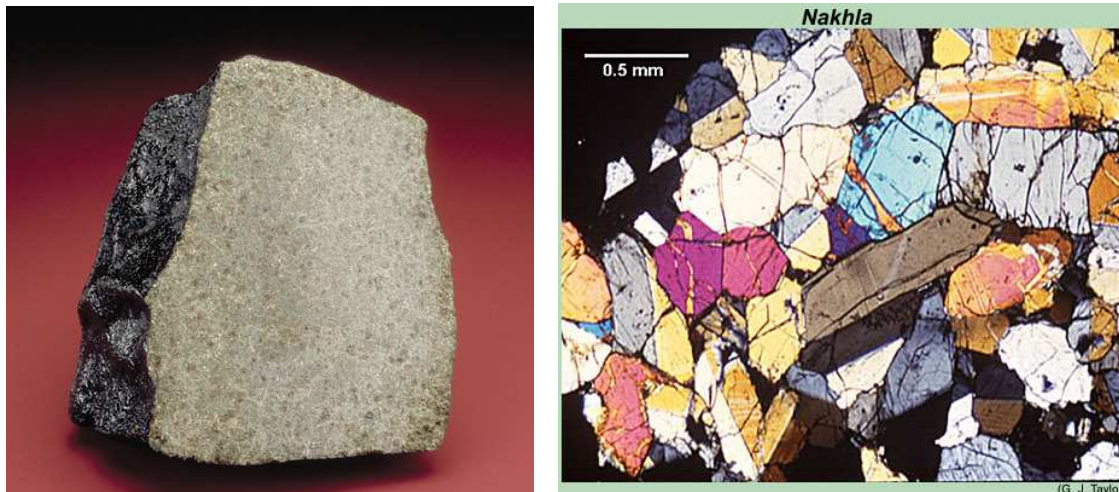
Szövetében nagy rombos-piroxén szemcsékbe vannak beágyazva az olivin és krómit kristálykák. Csak kevés földpátüveg (maskelynit) található bennük. A peridotit a Földön – és a Marson is - a köpeny anyaga, melyből parciális olvadások nyomán bazaltos, pikrites olvadékok ömlenek a felszínre vagy jutnak felszín közelbe és ott kikristályosodnak. A shergottitok egyes típusai ebbe a folyamatba illő kőzettípusok. Az olivin-porfíros shergottitok nagyméretű olivin kristályokból állnak, amelyek be vannak ágyazva a finomszemcsés bazaltos alapszövetbe.

A nakhlitok főleg monoklin piroxénből álló kumulátos kőzetek. Kisebb részben olivin és más ásványok is előfordulnak benne. A nakhlitok nagyméretű magmatesten belüli kristályosodás során jöttek létre. A már létrejött piroxén ásványok, a magmatestnél nagyobb sűrűségük miatt, lassan ülepedtek és a magmatest alá süllyedtek, ahol egymáson megtámaszkodtak. Az így létrejött kőzetszövet a kumulátos szövet.



Összetételében is és a nakhlitok szövetét tekintve is nagyon hasonlít a nakhlitokra a földi Theo-láva Kanadában (Treiman és munkatársai, 1996).

(www.psr.d.hawaii.edu/Dec96/Nakhlites.html)



(forrás: <http://newsdesk.si.edu/snapshot/nakhla-meteorite-fragment>, Smithsonian's National Museum of Natural History, (1911-ben hullott), és G. Jeffrey Taylor: Magma and Water on Mars, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, www.psr.d.hawaii.edu/Dec05/Magma-WaterOnMars.html, www.psr.d.hawaii.edu/Dec05/PSRD-Magma-WaterOnMars.pdf)

Nakhla meteorit és vékonycsiszolat fotomikrográf, polarizált fényben. A kék és vörös kristályok olivin, az összes többi magas kalcium tartalmú piroxén [augit, $(\text{Ca},\text{Na})_7\text{Fe}^{2+}\text{Mg}_6(\text{Al},\text{Fe}^{3+},\text{Ti})_2(\text{Si}_{14}\text{Al}_2\text{O}_{48})$].



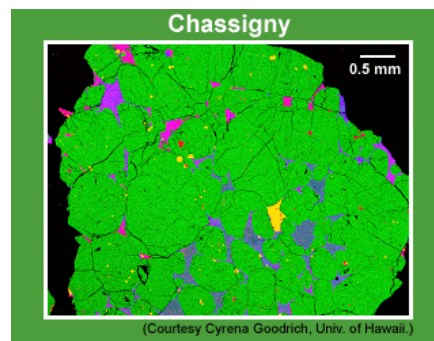
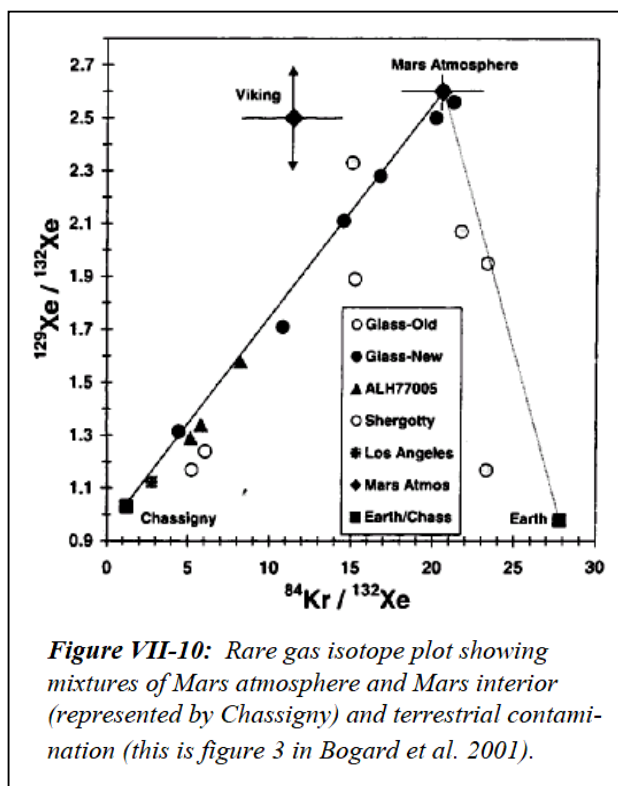
(forrás: www4.nau.edu/meteorite/Meteorite/Book-GlossaryC.html, www.meteoris.de/img/ncc-snc/Chassigny-0.456g.JPG, és NASA, Johnson Space Center, www2.jpl.nasa.gov/snc/chassigny.html, és Lunar and Planetary Institute, www.lpi.usra.edu/science/treiman/publications.shtml, www.lpi.usra.edu/science/treiman/Chassigny.jpg)

Chassigny meteorit vékonycsiszolat minta, kereszt polarizált fényben.

Chassigny hasonlít egy földfelszíni „dunit”, durva szemcséjű, mélységi magmás kőzetre. Összetétele ~91% Fe-gazdag olivin, 5% klinopiroxén, 1,7% plagioklász, 1,4%-kromit, 0,3% olvadék zárványok, és egyéb ásványi anyagok (A marsi meteoritok között a legtöbb olivint tartalmazza).

A Chassigny meteorit repedésekben sok karbonát és szulfát található, a víz hatására történt kémiai átalakulás a Földre érkezés előtt történt.

A kristályosodás kora 1,36 milliárd év. Az összetétele arra utal, hogy szoros kapcsolatban van nakhlitokkal és eredete ugyanazon magma a Marson. Azonban a Chassigny által tartalmazott nemesgáz értékek teljesen eltérőek más marsi meteoritoktól, illetve a marsi légkörben jelenleg találhatóól.



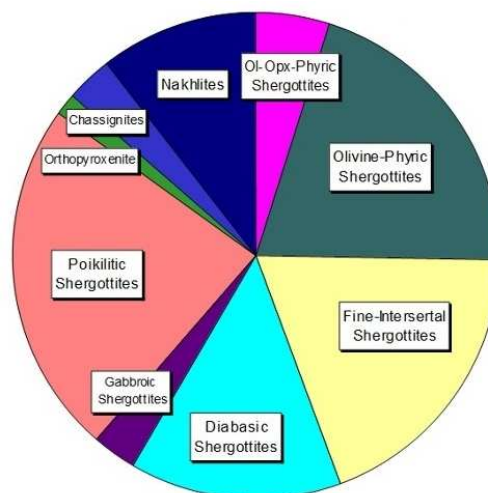
(forrás: Linda M.V. Martel: Pretty Green Mineral - Pretty Dry Mars?, PSRD, www.psr.d.hawaii.edu/Nov03/olivine.html)

Chassigny Martian meteorit ásványanyag elosztása látható fotomikrográfon, zöld olivin, kék piroxén, és lila földpát.

(forrás: Charles Meyer: Mars Meteorite Compendium: Chassigny, curator.jsc.nasa.gov/antmet/mmc/Chassigny.pdf)

Az ismert marsi meteoritok, egy kivételével magmás kőzetek. Csak egy (NWA 7034 Martian meteorite) breccsa annak ellenére, hogy sok becsapódási kráter borítja a Mars felületét.

(forrás: www.imca.cc/mars/martian-meteorites.htm)

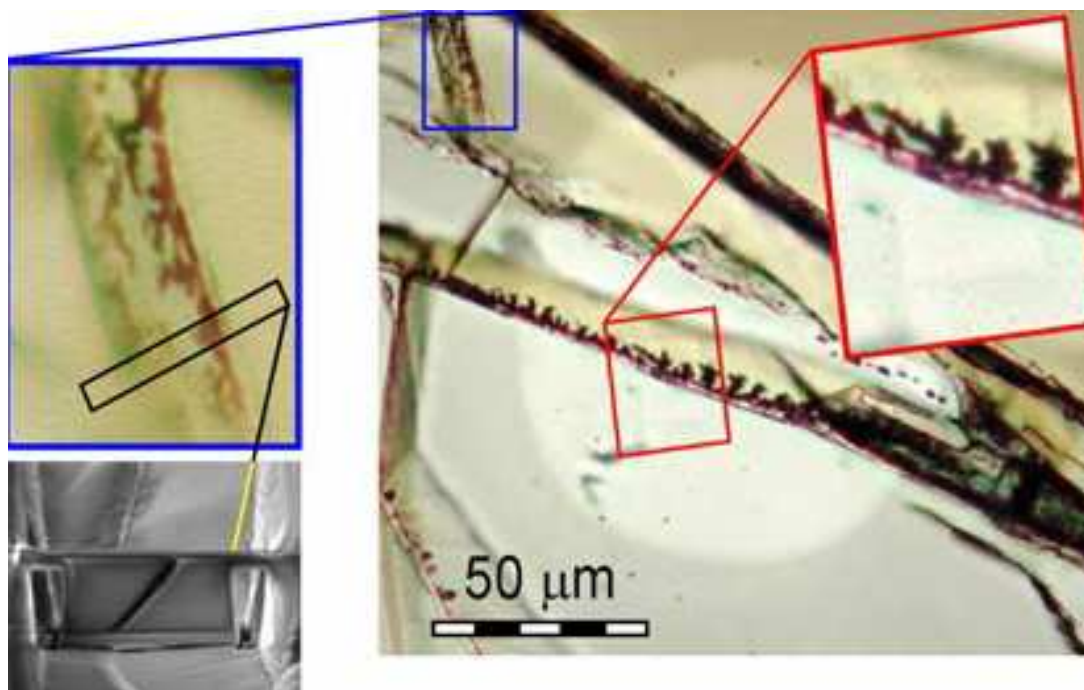


Az 1,3 milliárd éves Nakhla akondritos clinopyroxenite SNC (a három típusmeteorit „Shergottites”, „Nakhlites” és a „Chassigni” után elnevezve) meteorit, amely 1911-ben hullott El Nakhla el Baharia városban (Egyiptom). A kőzetekbe talált Ar és N gáz aránya megegyezik a Viking űrszonda Marson mért értékeivel, ami alapján feltételezik onnan való származásukat. Légkörünkben szétdarabolódott, közel 40 töredékének össztömege kb. 10 kg.

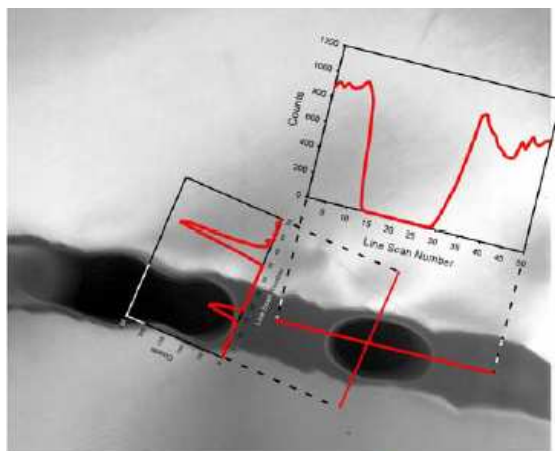
(Forrás: Ron Baalke 1995., www4.nau.edu/meteorite/Meteorite/Book-GlossaryN.html, és <http://www2.jpl.nasa.gov/snc/nakhla.html>, <http://www2.jpl.nasa.gov/snc/nak.gif> és Kereszturi Ákos: „Asztrobiológia – modern szintézis a természettudományok között, Magyar Tudomány, 2009/10.)



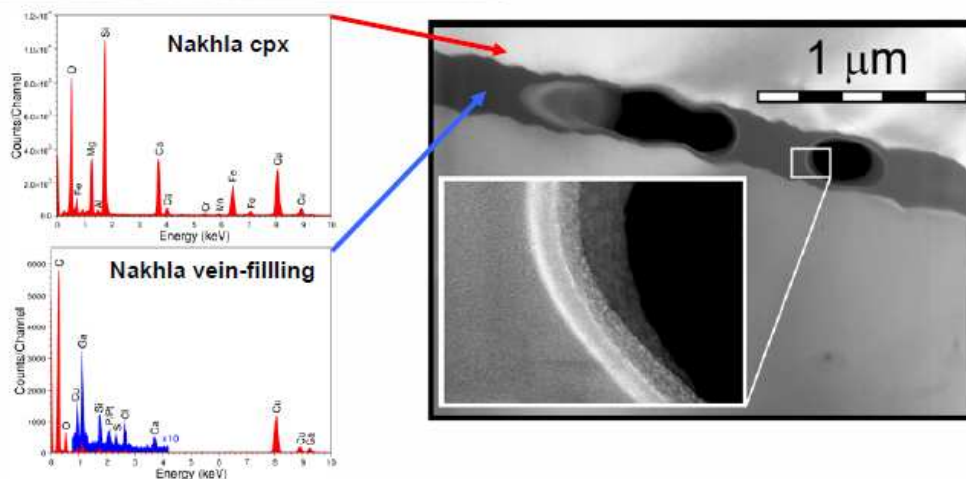
David McKay, Everett Gibson és munkatársaik (NASA Johnson Space Center) mikrométeres törések mentén barnás-fekete, széntartalmú anyagot találtak benne. A repedéseknél iddingsitet ($MgO \cdot Fe_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$) is azonosítottak, amely a Földön olivin vizes mállásával keletkezik.



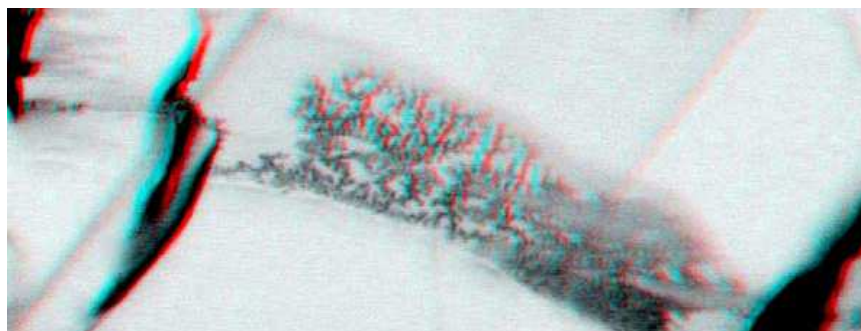
Nakhla meteorit vékonycsiszolati mikroszkópos képek kiemelt részletekkel, amelyeken a dendrites morfológiájú ezet töltelék látható.



Figures 2 (left) & 3 (below): TEM studies of dendritic vein filling. Element line scans (left) and EDX spectra (below) show that the vein-filling material is C-rich and contains minor S, Cl, P, and Si (Cu is from TEM grid; Ga and Pt from FIB section preparation). Nakhla cpx spectrum is shown for comparison. TEM diffraction (not shown here) demonstrates that this C-rich phase is amorphous.

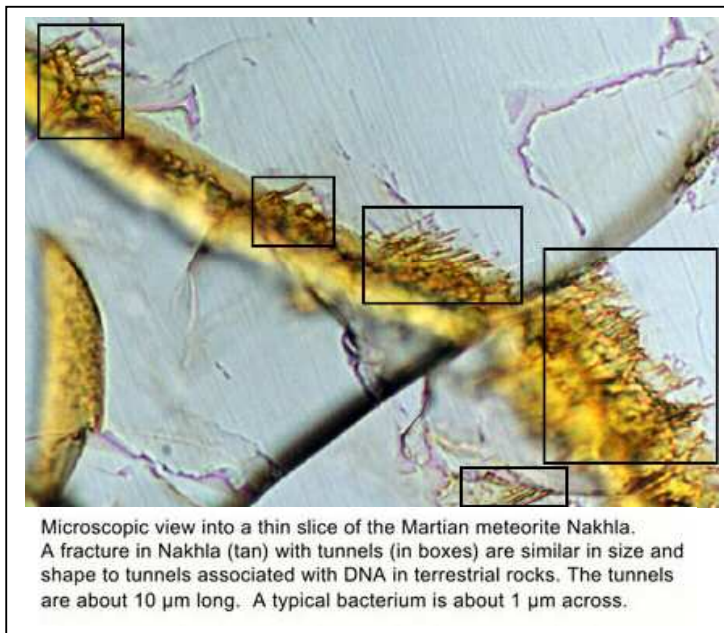


Az ábrákon a TEM (Transzmissziós Elektronmikroszkóp) vizsgálatok képein dendrites ereket töltelék látható. Az elem vizsgálati vonala (balra) és EDX (Energy Dispersive X-Ray Analysis) spektrumok (lent) azt mutatják, hogy a repedés-töltőanyag C-ben gazdag (TEM-diffrakciós vizsgálat szerint ez a C-ben gazdag fázis amorf), és tartalmaz kevés S-, Cl, P és Si elemeket is.



Bonyolult dendrites cső alakú hálózat formát alkotva kapcsolódik egy masszívabb töltelék erezethez.

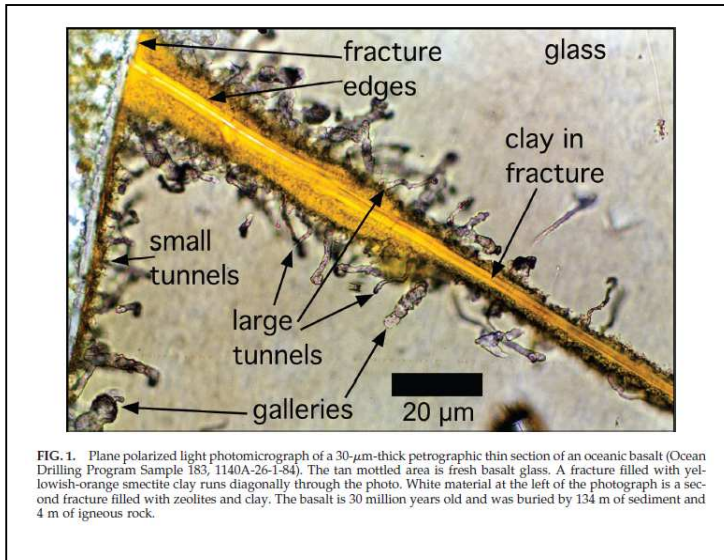
(forrás: D.S. McKay, S.J. Clemett, K.L. Thomas-Keprta, S.J. Wentworth, E.K. Gibson, Jr, F. Robert, A.B. Verchovsky, C.T. Pillinger, T. Rice, B. Van Leer: Observation and Analysis of in Situ carbonaceous matter in Nakhla: Part I., Lunar and Planetary Science XXXVII (2006), www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2006/pdf/2251.pdf)



(forrás: Martin Fisk, 2006., Oregon State University, <http://oregonstate.edu/ua/ncs/archives/2006/mar/study-martian-meteorite-reveals-markings-similar-bacteria-etched-rocks-earth>)

Nakhla meteorit vékonycsiszolati fotomikrográf (mikroszkópos kép).

A földi óceánfenéken keletkezett, üveges szerkezetű bazaltok repedésében Martin Fisk (Oregon State University, Corvalis) hasonló anyagot talált, amelyekben DNS-t azonosítottak. A földi anyag tehát biogén tevékenységgel kapcsolatban keletkezett.



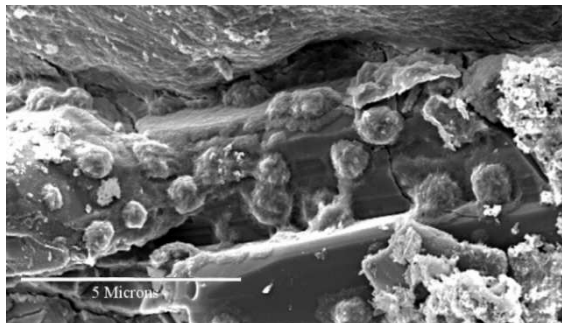
(forrás: M.R. Fisk, R. Popa, O.U. Mason, M.C. Storrie-Lombardi, E.P. Vicenzi: Iron-Magnesium Silicate Bioweathering on Earth (and Mars?), *ASTROBIOLOGY*, Volume 6, Number 1, 2006, Mary Ann Liebert, Inc.)

Óceáni bazalt (Ocean Drilling Program Sample 183, 1140A-26-1-84) vékonycsiszolati fotomikrográf.

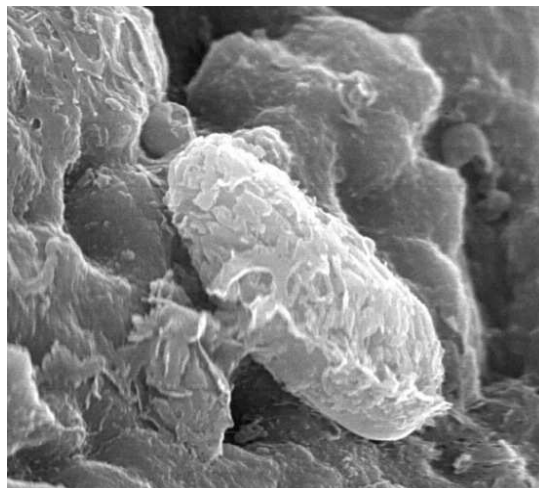
A rozsdabarna foltos terület friss bazalt üveg. A képen átlósan átfutó törés narancs sárgás szmektitaggyaggal töltött. A kép bal oldalán egy másik törésben fehér anyag, zeolit és agyag töltés. A 134 méter üledék és 4 méter magmás kőzettel betemetett bazalt 30 millió éves.

A hasonló megjelenésből kiindulva a kutatók elképzelhetőnek tartják, hogy a Nakhla meteoritban azonosított széntartalmú anyag korábban a Marson létezett élőlények tevékenysége nyomán maradt vissza. Egykor a kőzet repedéseit folyékony víz járta át, amelyben talán mikroszkopikus élőlények is voltak. Utóbbiak élettevékenységének nyoma lehetne a széntartalmú anyag.

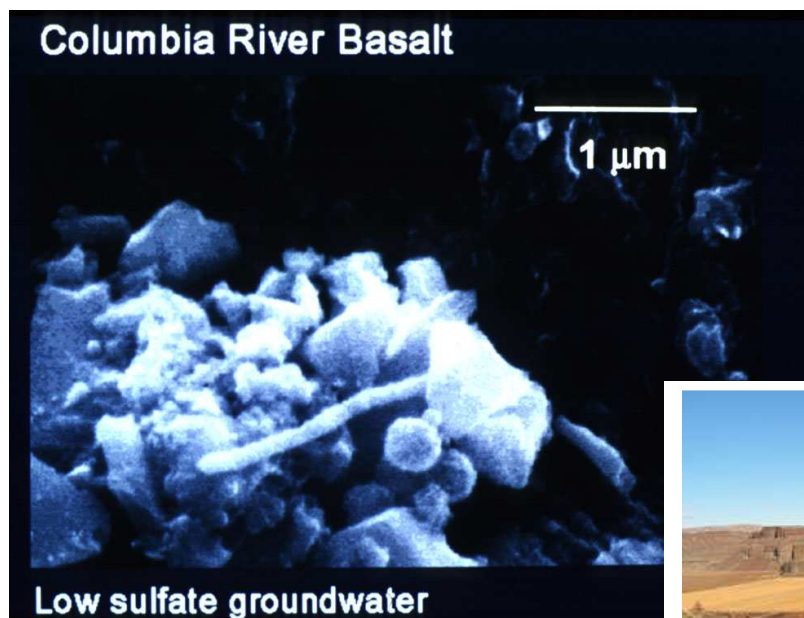
Ugyanakkor sok szakember szkeptikusan reagált a hírre, mivel egyelőre egyáltalán nem zárható ki, hogy a meteoritban abiogén, azaz élet nélküli folyamatok révén keletkezett a kérdéses anyag.



Gömszerű morfológiák a Nakhla, és az EETA 79001 Shergotty, marsi Martian meteoritban.



(forrás: Rhawn Joseph, Ph.D.: Life on Mars, Red Planet - God of War, Martian meteorites Nakhla and shergotty, <http://brainmind.com/Mars.htm>)

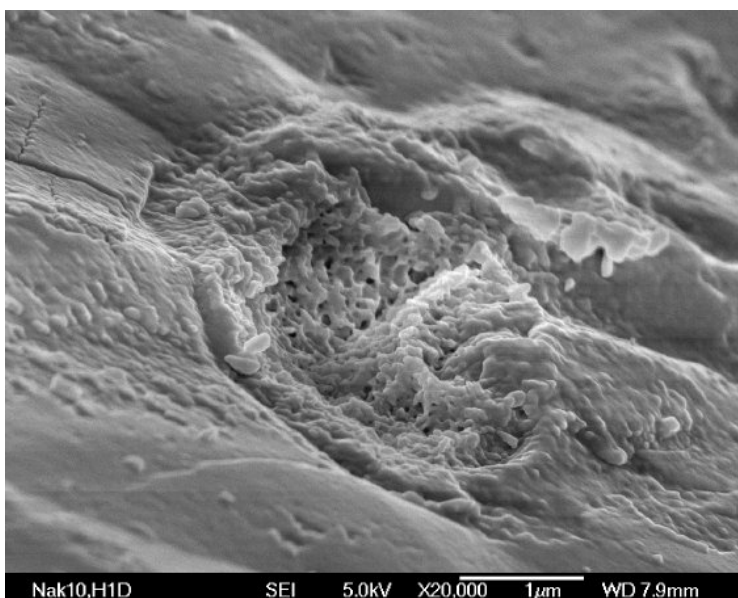


(forrás: http://fti.neep.wisc.edu/neep602/FALL97/LEC16/Batch_Two-04.JPG)



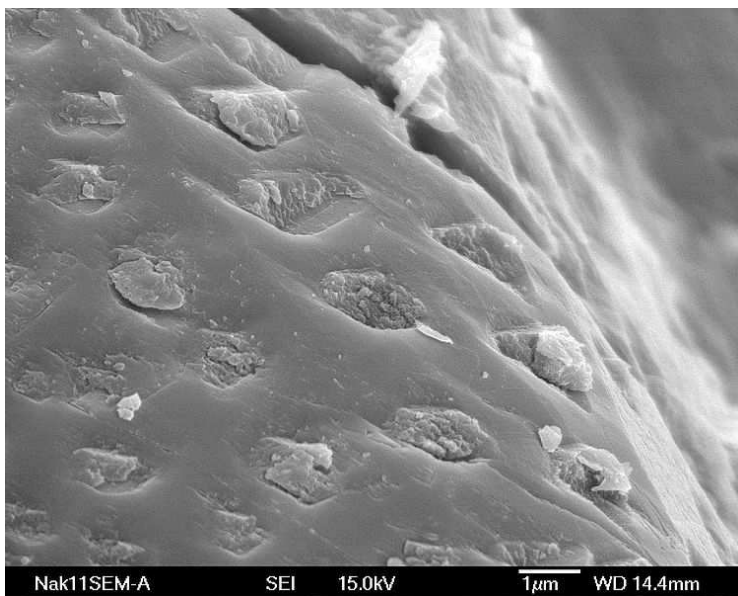
A két marsi meteoritban (Nakhla és Shergotty) lévő apró, karbonátos anyagú gömböcskék igen hasonlóak azokhoz a képződményekhez, amelyek a Columbia folyó völgyében mélyen a földfelszín alatt talált, baktériumokat tartalmazó bazaltokból származnak (Columbia River Basalts).

A meteoritokban lévő gömböcskék marsi eredete nem kétséges - vagyis nem földi szennyeződésről van szó -, mivel olyan agyagrétegekbe vannak beágyazva, amelyek bizonyíthatóan a Marson képződtek. Amennyiben a marsi kéregben jelenleg is van víz - márpedig erre több jel is egyértelműen utal - akkor a Földhöz hasonlóan akár ma is élhetnek benne baktériumok.



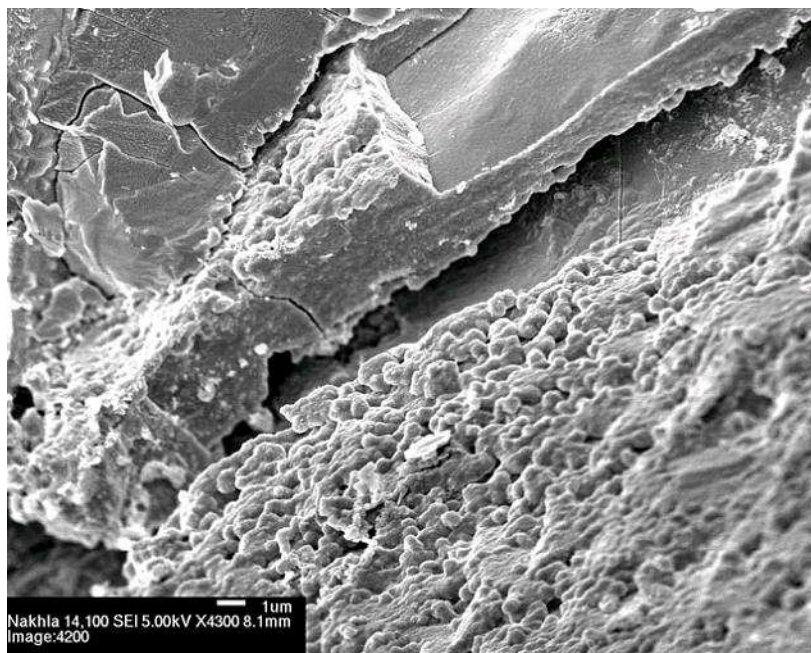
A Nakhla meteorit szemcséjének SEM (Scanning Electron Microscope) pásztázó elektronmikroszkóp felvételen biomorph struktúrák találhatók, amelyek lehetséges marsi mikrobák.

(forrás: NASA/David McKay, 2009. www.meteoritestudies.com/protected_NAKHLA.HTM)



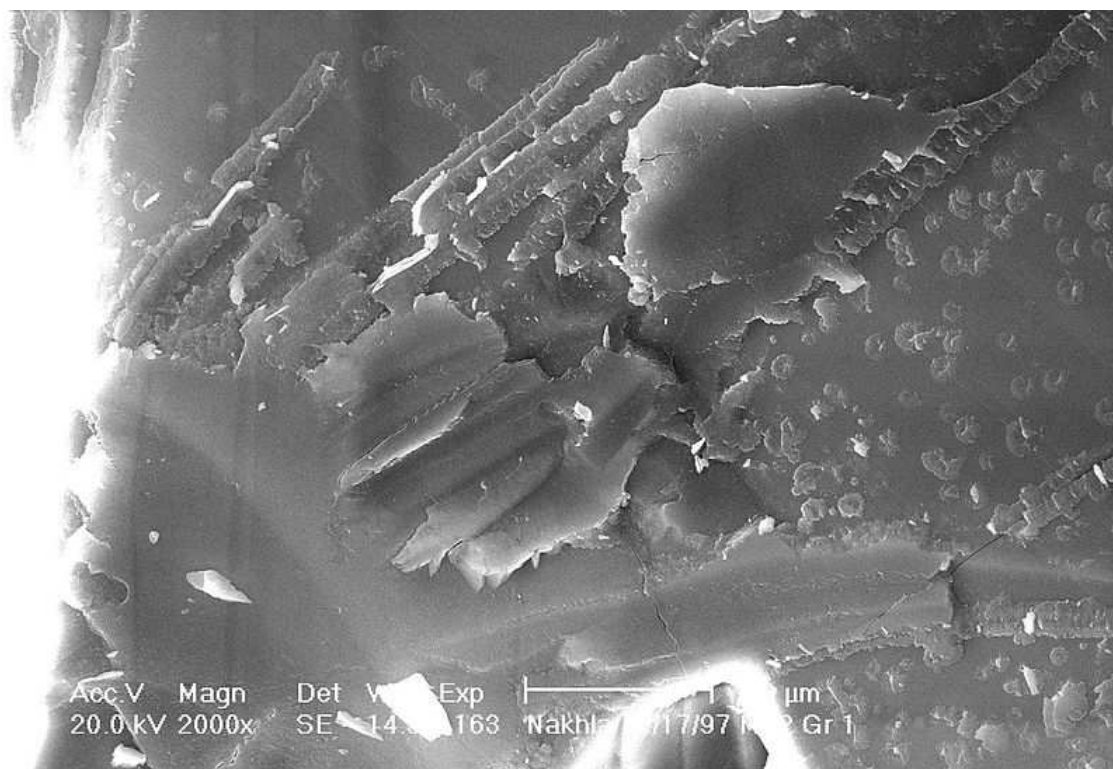
A felszínen látható gödrök hasonlítanak a földön baktériumok által kivájtakra, a bennük lévő megkövesedett anyagdarabok maguk a mikroorganizmusok vagy anyagcseretermékeik lehetnek.

(forrás: NASA/David McKay, 2009. www.thelivingmoon.com/43ancients/02files/Mars_Images_69_Martian_Meteorites.html)



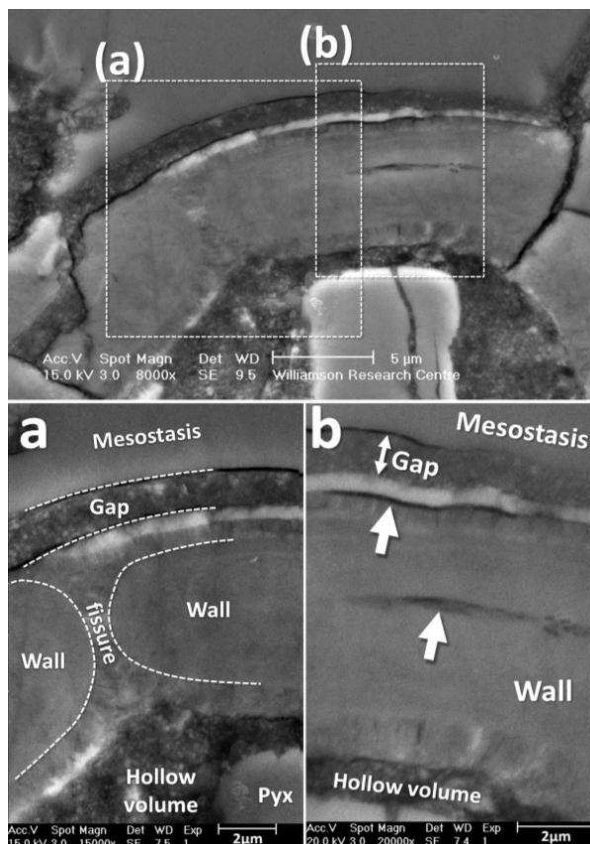
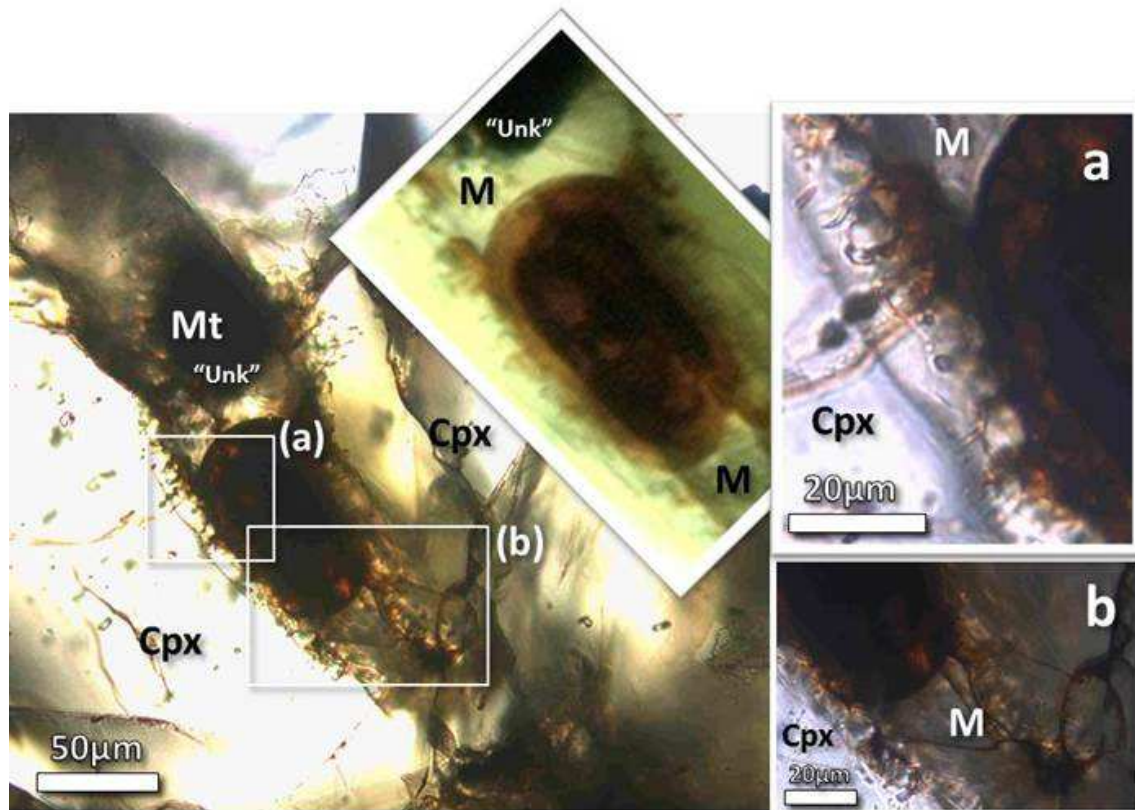
A pásztázó elektronmikroszkóp képen látható, dudorok hasonlítanak megkövesedett mikrobaktérium kolóniákra.

(forrás: NASA/JSC, <http://phys.org/news180264793.html> <http://cdn.phys.org/newman/gfx/news/hires/2009/martianmeteorite.jpg>)



(forrás: NASA/David McKay, en.wikipedia.org/wiki/File:407304main_jsc2009e243549.jpg)

Nakhla meteorit SEM képen látható lehetséges komplex biomorph anyag: a nagy, széles sima kés-szerű, a hosszúkás lekerekített végződésű, és a kis fánk alakúak, egyenként körülbelül 1 mikrométer átmérőjűek.



Egy érdekes vöröses-narancs színű tojás alakú struktúrát azonosítottak a kutatók, Chatzitheodoridis és kollégái a Nakhla meteorit vékonycsiszolat, optikai, valamint BSE SEM mikroszkóp kép vizsgálta során, amely jellemző lehet megkövesedett marsi élet morfológiára.

Erős hasonlóságot mutat földi analógiához, mely a biológiai eredetűséget igazolhatja.

(forrás: E. Chatzitheodoridis, S. Haigh, I. Lyon: Crystalline clays in an intriguing ovoid structure in Nakhla, 44th Lunar and Planetary Science Conference 2013., www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2013/pdf/2040.pdf és www.meteoritestudies.com/protected_NAKHLA.HTM)

Valaha a Mars szén-dioxidban gazdag, a mainál jóval sűrűbb légkörrel rendelkezhetett, de planetológusok szerint körülbelül 3-4 milliárd évvel ezelőtt történt valami.

Brit és holland kutatók egy, még 1931-ben az USA-ban talált ~3000 éve földet ért Lafayette (SNC, nakhlite) meteoritban találtak bizonyítékot marsi karbonátosodásra.

A meteorit a Mars felszínéből egy nagy energiájú becsapódás következtében robbant ki és állt Nap körüli pályára. Bazaltos összetételű kőzet alkotja, amely mintegy 1,3 milliárd éve keletkezhetett egy marsi vulkánban.

A kutatók cikkükben azt állítják, hogy valami történhetett a kőzettel keletkezése és űrbe való kirobbantása között. Ezt arra alapozzák, hogy sziderit (FeCO_3) keletkezett a kőzetben olivin ($(\text{Mg}_{+2}, \text{Fe}_{+2})_2\text{SiO}_4$) és földpátok ($\text{KAlSi}_3\text{O}_8 - \text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) közötti reakciók következtében.

Valószínűleg a folyamat karbonátosodás, azaz vízzel és szén-dioxiddal történő érintkezés hatására zajlott le.

A karbonátosodás szilikát ásványok víz jelenlétében történő átalakulása, illetve kicserélődése karbonátokra. Ez a folyamat szinte a teljes földkéregben jelen van. A légkörből szén-dioxidot von el és szilárd formában, karbonát ásványokként több száz millió évre leköti a szenet.

Mindez arra utal a a kutatók szerint, hogy a Mars bolygó ősi légköre nem elszőkött a világűrbe, mint számos kutató véli, hanem a felszíni kőzetekben csapdába esett. Eredményeiket a Nature Communication-ban tették közzé.



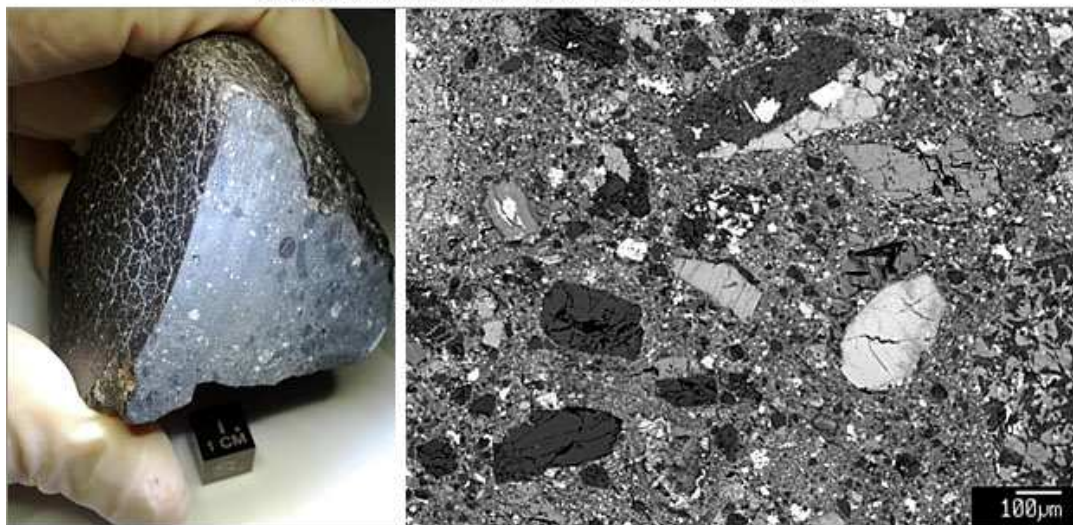
(forrás: Martian T. D. Swindle, D. A. Kring: „Studies of weathering products in the Lafayette meteorite: implications for the distribution of water on both early and recent Mars”, Workshop on Early Mars, 1997., és E. P. Vicenzi, K. Tobin, P.J. Heaney, T.C. Onstott, J. Chun: „Carbonate in Lafayette meteorite : A detailed microanalytical study”, 60th Annual Meteoritical Society Meeting, 1997., és Treiman A. H., Barrett R. A., Gooding

J. L.: „Preterrestrial aqueous alteration of the Lafayette (SNC) meteorite”, Meteoritics vol. 28, no. 1, p. 86-97, 03/1993, <http://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=12412>)

A marsi meteoritok SNC-típusúnak nevezett kőzetek kora néhány százmillió év és 1,3 milliárd év között változik, tehát az égitest fejlődéstörténetének késői szakaszában képződtek, és olyan vulkanikus eredetű anyagok, amelyek kőzettanilag eltérést mutatnak az űrszondák által mért felszíni összetétel-adatoktól, így nem határozható meg, hogy melyik térségből származnak, s előfordulásuk nem is lehet gyakori az égitesten. Valószínűleg akkor törtek le a bolygóról, amikor egy nagyobb aszteroida csapódott annak egyik régiójába. Kivétel ez alól a legismertebb marsi kőzetdarab, az ALH84001 jelzésű meteorit amely legalább 4 milliárd éves.

Szintén eltérő a 2011-ben Marokkóban megtalált 2,1 milliárd éves kőzet korábban ismeretlen osztályt képvisel, mely megadhatja a választ a Mars geológiai történetének eddig ismeretlen részleteire.

Martian Meteorite: Northwest Africa 7034



(Courtesy of Carl Agee, Univ. of New Mexico.)

(From Agee, et al., (2013) *Scienceexpress*, doi: 10.1126/science.1228858.)

(forrás: G. Jeffrey Taylor: New Martian Meteorite is Similar to Typical Martian Crust, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, PSRD,

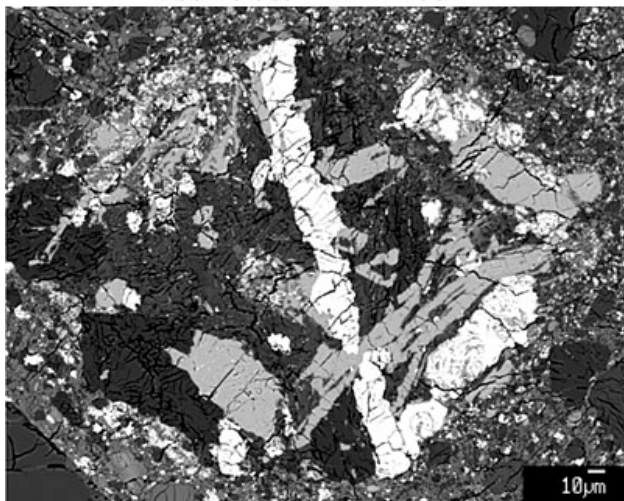
www.psrdr.hawaii.edu/Jan13/NWA7034.html,
www.psrdr.hawaii.edu/Jan13/PSRD-NWA7034.pdf, és <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/mmc/NWA7034.pdf>, Meyer 2012.)



NWA 7034 meteorit darabok: A töredéken látható, hogy a világos és sötét töredékek egy középszürke finom-szencsés mátrixba vannak ágyazódva, amely a breccsa tipikus textúrája. A külső egy fekete fúziós kéreg.

A „Back Scattered” (visszaszórt elektron) pásztázó elektronmikroszkópos kép az NWA 7034 vékonycsiszolat textúráját mutatja körülbelül 1 milliméter átmérőjű régióban. A nagy sötét töredékek földpát kristályok, a világosabb piroxén. A világos és a sötét területek szikla töredékek. (A „Back Scatter” képek területei fényesek, ha az átlagosnál magas atomszámú egy kristály, mint a vasat tartalmazó ásványok (például a piroxén), és sötétek, ha az atomszáma alacsony (mint a földpát, amely kevés a vasat tartalmaz).

Rock Clast in NWA 7034



(From Agee, et al., (2013) *Scienceexpress*, Fig. S2, doi: 1126/science.1228858.)

A visszaszórt elektron (BSE = Back Scattered Electron) pásztázó elektronmikroszkóp képen az az NWA 7034 meteorit kristályok láthatók, ilmenite (fehér), apatit (világosszürke kristályok), plagioklász földpát (szürke), és kálium-földpát (sötétszürke).

(forrás: www.psrdr.hawaii.edu/Jan13/PSRD-NWA7034.pdf)

Az Északnyugat-Afrikában talált 2,1 milliárd éves, 320 grammos, NWA 7034 (Northwest Africa 7034, Martian meteorite, Impact Melt Breccia) akondritos, porfíros (a kőzetben legalább kétféle nagyságrendű elegyrész különíthető el) bazalt breccsa határozottan különbözik minden más, a Marsról származó meteorittól. Tízszer több vizet tartalmaz, mint a többi, ez azt sugallja, hogy talán a marsi kéregből és a felszíni környezetből származik – mondja az Új-mexikói Egyetem kutatója, Carl Agee, a vizsgálat vezetője. Ezenkívül erősen emlékeztet azokra a felszíni kőzetekre és kibúvásokra, melyeket a Spirit és Opportunity valamint a marsi keringő egységek tanulmányoztak.

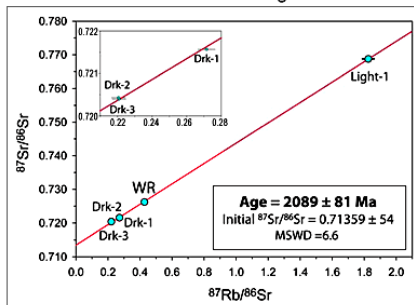
A kőzet kora és „nedvessége” alapján arra lehet következtetni, hogy nem csak a bolygó fejlődéstörténetének kezdeti szakaszában, hanem akár még kétmilliárd évvel ezelőtt is létezhetett vizes környezet a Mars felszínén, illetve felszínközeli rétegeiben. A kutatók úgy vélik, hogy a fekete kőzet a marsi felszínen ~2,1 milliárd évvel ezelőtt végbement vulkánkitörés maradványa, valamikor a kitörésből származó láva volt, mely a bolygó felszínén megszilárdult. A kőzetet összeállt bazalttöredékek alkotják, elsősorban földpátot és piroxént tartalmaznak.

A kutatók elemzése szerint más marsi meteoritoktól eltérő NWA 7034 nagy víztartalmát talán a marsi kőzetben lévő vízzel való kölcsönhatás, oxigénizotóp-tartalmát pedig a marsi légkörrel való kölcsönhatás eredményezhette.

A kőzet 2,1 milliárd éves kora szintén érdekes, mivel átmenetet képez az SNC-meteoritok nagy részt 1,3 milliárd éves, és a legidősebb minta ~4,5 milliárd éves kora között – mondja Agee.

(forrás: www.psrdr.hawaii.edu/Jan13/PSRD-NWA7034.pdf)

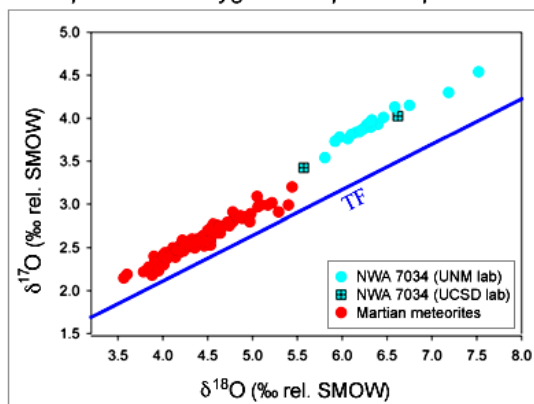
Rb-Sr Isochron to Determine Age of NWA 7034



(From Agee, et al., (2013) *Scienceexpress*, doi: 10.1126/science.1228858.)

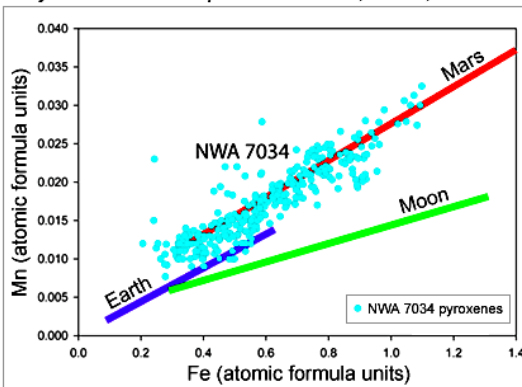
További érdekessége egyrészt a különböző hevítési hőmérsékleten felszabadult oxigén-készletek eltérő izotóparánya, másrészt hogy néhány ásványzárványában ásványi/vulkáni eredetű, tehát abiogén széntartalmú vegyületek is találhatóak (néhány SNC-meteorithoz hasonlóan), ám ezek keletkezési folyamatainak részletei még nem ismertek.

Comparison of Oxygen Isotopic Compositions



(From Agee, et al., (2013) *Scienceexpress*, doi: 10.1126/science.1228858.)

Comparison of Pyroxenes in NWA 7034 with Pyroxenes in Samples from Mars, Earth, & Moon

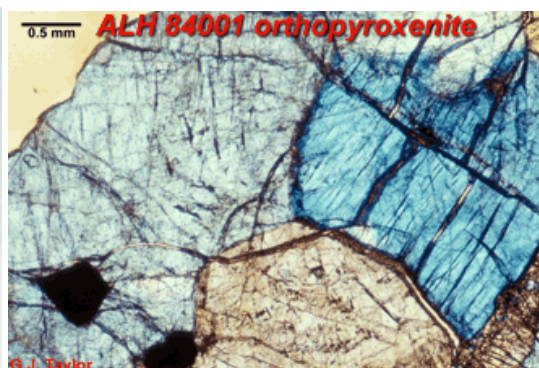


(From Agee, et al., (2013) *Scienceexpress*, doi: 10.1126/science.1228858.)

(forrás: Carl B. Agee, Nicole V. Wilson, Francis M. McCubbin, Karen Ziegler, Victor J. Polyak, Zachary D. Sharp, Yemane Asmerom, Morgan H. Nunn, Robina Shaheen, Mark H. Thiemens, Andrew Steele, Marilyn L. Fogel, Roxane Bowden, Mihaela Glamoclija, Zhisheng Zhang, Stephen M. Elardo: Unique Meteorite from Early Amazonian Mars: Water-Rich Basaltic Breccia Northwest Africa 7034, *Science* 15 February 2013: Vol. 339 no. 6121 pp. 780-785 DOI: 10.1126/science.1228858, www.sciencemag.org/content/339/6121/780, és <http://asmerom.unm.edu/Research/Papers/Agee%20et%20al%20Martian%207034%20Science%20%202013.pdf>)

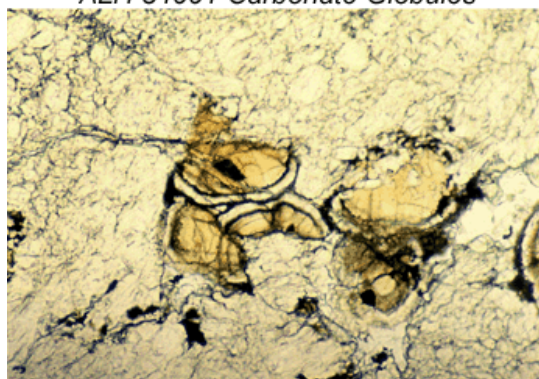
A legutóbbi kutatások azt bizonyították, hogy egykor volt víz a Mars felszínén, a bolygó felszíne hasonlított a Föld felszínéhez. A Curiosity a Gale kráteret kettészelő volt folyó medrében vizsgálódott, és olyan köveket talált, amelyeket valószínűleg víz csiszolt jelenlegi formájukra, de korábban találtak hordalékkúpra hasonlító képződményt is. Azt is tudjuk, hogy a marsi atmoszféra jóval vastagabb volt, mint most, de az idők folyamán a napszél miatt ez fokozatosan elvékonyodott.

Az ALH 84001 (Allan Hills, 1984 #001, Orthopyroxenite) egy, az antarktisz Allan Hillsben 1984 decemberében az ANSMET amerikai meteoritgyűjtő csoport által talált meteorit. Felfedezésekor 1,93 kilogrammot nyomott. A NASA szerint a Marson képződött olvadt lávából ~4 milliárd évvel ezelőtt. Körülbelül 3,6 milliárd évvel ezelőtt több becsapódás szétszabdalta, majd egy újabb meteorit lökte ki a Mars felszínéről körülbelül 15 millió éve, durván 13000 éve csapódott a Földre. Ezeket a dátumokat radiometrikus kormeghatározással: szamárium-neodímium; rubídium-stroncium; kálium-argon és C-14 (radiokarbon) datálással kapták. 2005 szeptemberében Vicky Hamilton (University of Hawaii, Manoa) a Mars Global Surveyor és a Mars Odyssey által szolgáltatott adatok alapján valószínűsítette a meteorit származási helyét az Eos Chasma területén a Valles Marineris-ben.



(forrás: G. Jeffrey Taylor: Magma and A Younger Age for the Oldest Martian Meteorite, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, Planetary Science Research Discoveries, 2010. május 12., www.psr.d.hawaii.edu/May10/YoungerALH84001.html, www.psr.d.hawaii.edu/May10/PSRD-YoungerALH84001.pdf)

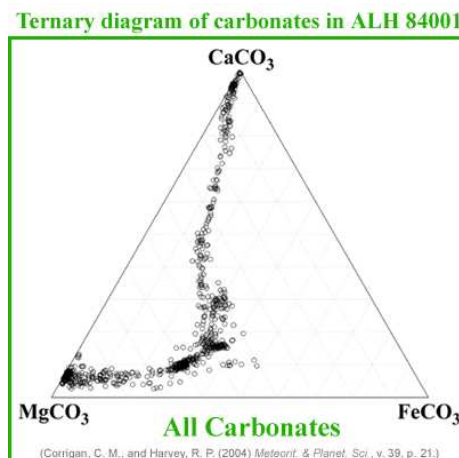
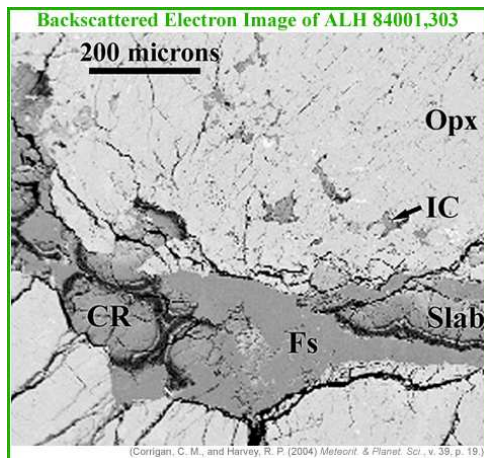
ALH 84001 Carbonate Globules



ALH 84001 meteorit, a vékonycsiszolat fotomiktoográfyon (felső képen) a nagy kristályok ortopiroxén (vas-magnézium-szilikát) azt mutatja, hogy ez a kőzet a föld alatti magma kamrában alakult a Marson. A sötét területek kromit (vas-króm-oxid, $\text{Fe}^{2+}\text{Cr}_2\text{O}_4$).

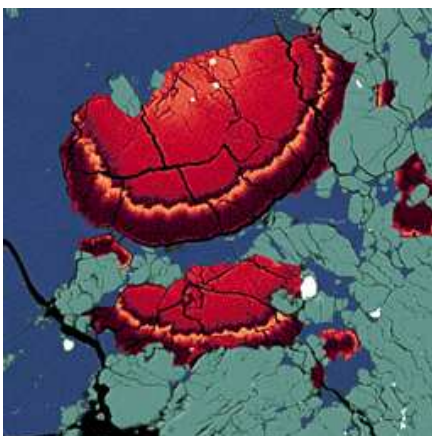
A következő vékonycsiszolat fotomiktoográfyon (alsó képen) karbonat-globulák látható. Karbonátok narancssárgák, világos és sötét. Környező anyag alacsony kalcium tartalmú piroxén (ortopiroxén). Látómező 0,4 milliméter átmérőjű.

A fő alkotó ásványa rombos piroxén. 1994-ben David Mittlefehldt vizsgálta meg részletesen a meteorit összetételét. Azt találta, hogy a benne előforduló ásványok oxidáltabbak, mint a bazaltos akondritok ásványai, a kémiai jegyek alapján marsi eredetűnek sorolták. A NASA-kutatócsoport megvizsgálta a meteoritban előforduló CaCO_3 ásványt és annak mikrozárványait. Vizsgálták a magnetitkristályokat, a biofilmeket, a bennük megtalálható polimerizált aromás szénhidrogéneket (PAH), ezek alapján történt a nevezetes bejelentés a marsi életnyomokról.



(forrás: Catherine M. Corrigan: Carbonates in ALH 84001: Part of the Story of Water on Mars, Smithsonian Institution, National Museum of Natural History, 2004. július 01., www.psr.d.hawaii.edu/July04/carbonatesALH84001.html, www.psr.d.hawaii.edu/July04/carbonatesALH84001.pdf)

Visszaszórt elektronmikroszkóp kép az ALH 84001,303 (a „303” jelzi a rész minta szám) egy területét mutatja ahol, karbonát rozetták (carbonate rosettes, CR), földpátos üveg (feldspathic glass, Fs), lemez-karbonátok (slab carbonates, Slab), zárvány karbonát (interstitial carbonate, IC) és ortopiroxén (OPX) látható, valamint az ALH 84001.302 és ALH 84001.303 meteorit darabok „Terner” diagramja az fontosabb elemkompozícióit mutatja.

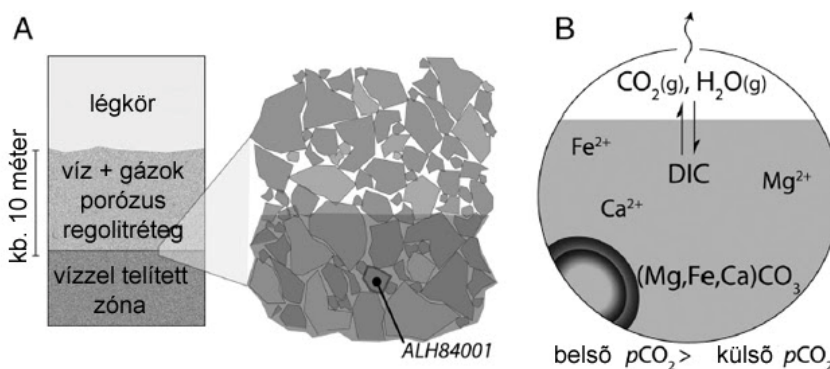


Az ALH 84001 meteorit vékonycsiszolatról, elektromikroszkóppal készült, színezett képenén a zöld terület ortopiroxén, a kék üveges plagioklász földpát, és a különböző árnyalatú piros és a narancssárga karbonát ásványok láthatók.

(forrás: Ralph Harvey, Case Western Reserve University, www.psr.d.hawaii.edu/Oct96/LifeonMars.html)

2011-ben végzett új mérések alapján 18 Celsius-fokon keletkeztek a másfél évtizede viták keresztüzében álló marsi meteoritban lévő karbonátásványok, amely egyértelműen bizonyítja, hogy egykor az élet számára jóval elviselhetőbb körülmények uralkodtak a Marson.

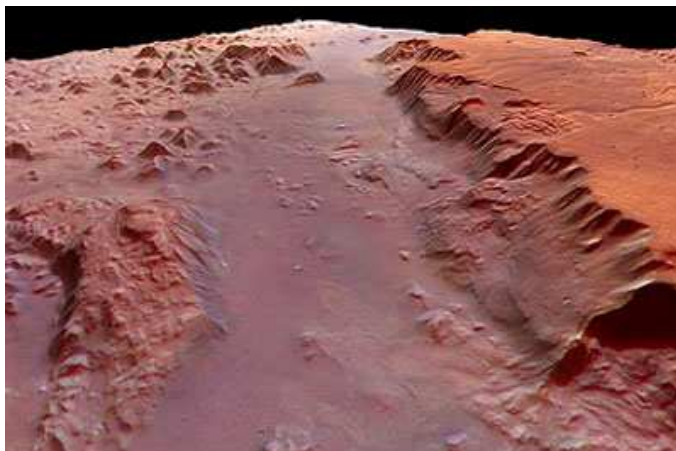
A Mars kutatásában régóta ismert probléma, hogy míg a felszín idős területein sok folyásnyom található, sőt egykori tengerek, óceánok létére utaló jelek is akadnak, az éghajlati modellekben nem sikerült meglehetősen pontosan prognosztizálni az ősi Marsra. Ennek egyik oka, hogy a Nap kezdetben halványabb volt, energiakibocsátása 4,5 milliárd évvel ezelőtt kb. 75%-a volt a jelenleginek, illetve nem tudni, milyen üvegházhatású gázok lehettek egykor a vörös bolygón, de feltehetőleg kezdetekben erősebb volt a felszínt melegítő üvegházhatás, mint napjainkban.



(forrás: Itay Halevy, Woodward W. Fischer, and John M. Eiler: Carbonates in the Martian meteorite Allan Hills 84001 formed at 18 ± 4 °C in a near-surface aqueous environment PNAS 2011 108 (41) 16895-16899; published ahead of print October 3, 2011, doi:10.1073/pnas.1109444108, nyomán, www.pnas.org/content/108/41/16895.full.pdf+html?sid=5066cd99-820e-4124-9d8d-6e5a909871bf és www.origo.hu/tudomany/)

A meteoritban talált karbonátok egyszerűsített keletkezési modellje:
 A: a felszín alatti térség szerkezete, ahol a vízzel és légköri gázokkal is átjárt térségben az ásvány kivált, B: a karbonátkiválás vázlata, ahol a párolgás miatt betöményedő szén-dioxid-tartalmú oldatból ásványok képződnek.

A kutatók az ALH 84001 meteoritban lévő szén- és oxigénizotópok elemzése alapján az elemeket tartalmazó ásványok keletkezési hőmérsékletére tudtak következtetni. „Ez az első közvetlen bizonyíték arra, hogy a Mars kezdetben meleg és nedves volt” - mondja Itay Halevy, a CALTECH szakembere. A most közölt eredmények alapján a meteoritban lévő karbonátásványok +18 Celsius-fok körüli hőmérsékletű vízben váltak ki. Eszerint tehát legalább egy helyen enyhe, kellemes hőmérséklet uralkodott a Marson kezdetekben. A vizes közegben képződött karbonátok környezete később egyre szárazabb lett, miközben a folyadék párolgott. A folyamat néhány méterrel a felszín alatt történhetett a feltételezések alapján.



A kutatók úgy vélik, hogy az Allen Hills meteor, amely az legelső bizonyíték, hogy a Marson életet találtak, ennek az ESA Mars Express képnek a távoli horizontján az „Eos Chasma” területhez közeli helyről robbant ki egy becsapódási esemény következtében.

A kanyon táplálja a nagyobb „Valles Marineris” kanyont.

(forrás: ESA, <http://spaceflightnow.com/news/n1001/09marslife/>)

1996. augusztus 7-én Bill Clinton amerikai elnök jelentette be, hogy a NASA az egyik marsi meteoritban egykori életre utaló nyomokat talált. A bejelentés körülményei a tudományban teljesen szokatlanok voltak. Elnöki beszéd, sajtótájékoztató, újságok szalagcímei, lelkes és szkeptikus nyilatkozatok a világ valamennyi televíziójában.



(forrás: http://science1.nasa.gov/media/medialibrary/2001/02/28/ast28feb_1_resources/Themeteorite.gif)

A bejelentés alapjául David McKay asztrobiológus (NASA's Johnson Space Center) és munkatársai kutatási eredménye szolgált, melyszerint az Antarktiszon talált ALH 84001 marsi meteoritban egykori marsi élőlények tevékenységének nyomait, illetve esetleges kövületeit lehet felfedezni. McKay és munkatársai szerint a vizsgált jellegzetességek együttes előfordulása legegyszerűbben egykori élőlények jelenlétével magyarázható.

Az első érv a mikroszkópos vizsgálat során talált karbonátok jelenléte, bennük tizedmilliméteres gömböcskékkel. Külső burkuk vasban és kalciumban gazdag. Ezek az ásványok a Földön többnyire biológiai aktivitásból, baktériumok anyagcseréjéből származnak, bár létrejöhetnek magas hőmérsékleten, élő anyag közreműködése nélkül is.

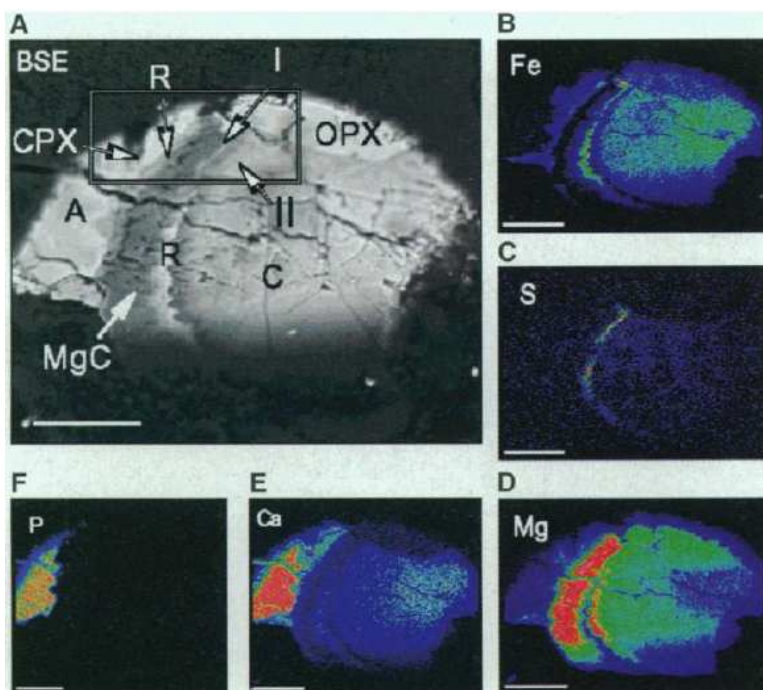
A meteoritban olyan nem egyensúlyi ásványtársulások találhatók, amelyek abiogén úton ritkán keletkeznek egymás szomszédságában.

A második érv a magnetit szemcsék jelenléte. A mikroszkópos vizsgálatok során a meteoritban találtak apró, jellegzetes magnetitkristályokat, amelyekhez hasonlókat a Földön élő szervezetek (egyes baktériumok) képesek előállítani, s amelyek tulajdonságai eltérnek az abiotikus (élettől független, élet nélkül keletkező) magnetitkristályoktól.

Az Ames Research Center, a NASA vezető asztrobiológiai központja 2001. elején azzal egészítette ki a korábbi, a magnetitkristályokat önmagában vizsgáló kutatásokat, hogy magnetitkristályokból álló láncokat fedezett fel a meteoritban. Ugyanilyen láncok találhatók egyes földi baktériumfajokban is. A harmadik érv a PAH molekulák a meteorit anyagában, melyek a Földön igen elterjedt, széngyűrűkből álló, szerves molekulák, melyek nagy mennyiségben fordulnak elő a kőolajban, s amelyek élőlények elpusztulásával és lebomlásával keletkeznek. Ezek a policiklikus aromás szénhidrogének (PAH) ugyan más úton is létrejöhetnek - jelen vannak még a csillagközi felhők poranyagában is -, de itt igen nagy koncentrációban fordulnak elő, és arányuk befelé haladva növekszik. Ez utóbbi tény arra utal, hogy egy részük nem földi szennyezés.

Végül, negyedik érv a lehetséges mikrokövületek, azok a többnyire hurka alakú, különös tagolt szerkezetek, amelyek mikroszkópos képe nagyon hasonlít a megkövesedett (fossilizálódott) földi baktériumokéhoz. Mivel mindenütt karbonátokba ágyazódva jelentkeznek, valószínűleg a többi „életgyanús jelenséggel” együtt keletkeztek. Bár meglepően hasonlítanak baktériumok maradványaira, méretük azonban azokénak csak néhány tizede vagy százada - kisebbek egy hajszál vastagságának századrésznél.

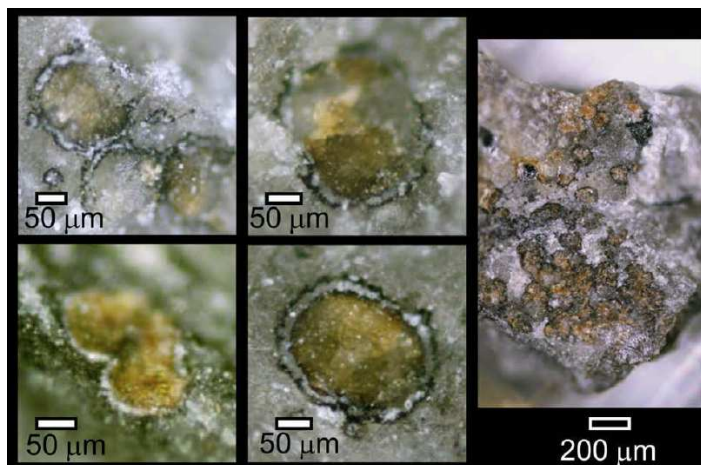
A fő ellenvetéseket megfogalmazó Bradley és csapata éppen a kis méretből adódó problémákat hangsúlyozza. Szerintük ilyen kisméretű, 100 nm alatti élőlények önállóan nem is létezhetnek, önreprodukálásra képtelenek. Ezzel szemben McKay arra hivatkozik, hogy újabban a földi talajban is találtak már 80 nm-es baktériumokat.



(forrás: David S. McKay, Everett K. Gibson Jr., Kathie L. Thomas-Keprta, Hojatollah Vali, Christopher S. Romanek, Simon J. Clemett, Xavier D. F. Chillier, Claude R. Maechling, Richard N. Zare: Search for Past Life on Mars: Possible Relic Biogenic Activity in Martian Meteorite ALH84001, SCIENCE 1996. augusztus 16., VOL. 273, no. 5277 pp. 924-930,

DOI: 10.1126/science.273.5277.924, <http://www.earth.northwestern.edu/people/seth/351/search.life.pdf>, és http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/403099main_GCA_2009_final_corrected.pdf)

Az ALH84001 meteorit minta A, B, C, D, E, F jelzésű BSE elektronmikroszkopos képén látható tizedmilliméteres karbonátos gömböcskék külső burka vasban és kalciumban gazdag, mely ásványok biológiai aktivitásból, baktériumok anyagcseréjéből is származhatnak.



A kén (S), foszfor (P), kalcium (Ca) magnézium (Mg) tipikus biogén elemek.

Biogén elemeknek nevezzük azokat a kémiai elemeket, amelyek atomjai részt vesznek az élő szervezetek felépítésében. A bolygónkat felépítő természetes kémiai elemek száma száz körül van, közülük mintegy nyolcvan kimutatható az élő szervezetekből. Biogén elemeknek azonban csak azok tekinthetők, amelyek esszenciálisak, azaz más elemekkel nem helyettesíthető módon vesznek részt a sejtek felépítésében, illetve a sejtek működését megvalósító vegyületek anyagai. Ezen elemek száma kb. harmincra tehető.

Ha egy szervezetben megvizsgáljuk a biogén elemek mennyiségi megoszlását, akkor azt tapasztaljuk, hogy a sejtek anyagainak mintegy 99%-át mindössze hat elem építi fel, amelyek a szerves alapvegyületek építőelemei. Ezek a kiemelkedő fontosságú, elsődleges biogén elemek, más néven organogén elemek.

Szén (C) – A szerves vegyületek legfőbb alkotója. Egyszerre 4 kovalens kötést (közös molekulapályán mozgó kötő elektronpárokkal kialakuló kötés) képes kialakítani vegyület formájában, (pl. CH_4) ennek köszönhetően tetraédres térbeli szerkezetet vesz fel. Az elemek közül az egyedüli amelynek atomjai képesek korlátlan számban összekapcsolódni egymással, láncot vagy gyűrűt alkotva ezáltal.

Hidrogén (H) – Valamennyi élőlény számára nélkülözhetetlen, atomszám-arányát tekintve a legnagyobb mennyiségben előforduló elsődleges biogén elem. A víz alkotójaként jelen van a sejtek alapállományában, valamennyi alapvető szerves molekula építőelemeként a strukturális anyagokban és a legkülönbözőbb működéseket végző és irányító molekulákban egyaránt. Fontos szerepet tölt be a transzport- és energiatranszfer folyamatokban. A hidrogéntartalmú szerves vegyületek elégetésekor a hidrogénatomok oxidációja szolgáltatta a sejtek számára a legtöbb energiát.

Oxigén (O) – A víz alkotó eleme, H_2 szerkezeten belüli oxidálása által, az energia termelésben játszik szerepet. A lebontó folyamatok legfontosabb elektronfölvéveje (oxidációs folyamat). Ezért a legtöbb élőlény elemi állapotban is hasznosítja.

Nitrogén (N) – A biológiailag jelentős makromolekulák közül építőelemként nitrogénatomot tartalmaznak a fehérjék és a nukleinsavak, a lipidek közül a foszfatidok, valamint nitrogéntartalmú szénhidrátszármazékokat is ismerünk, ilyen például a kitin. A nitrogénmolekula kis mérete miatt szabad diffúzióval bejuthat a sejtekbe, de az elemi nitrogént csak egyes nitrogénkötő baktériumok tudják felhasználni.

Kén (S) - Fontos alkotóeleme egyes aminosavaknak (cisztein, metionin), továbbá a fehérjékben diszulfid kötések hozhat létre, amely révén stabilizálja a protein szerkezetét. Egyes egyszerű élőlények (baktériumok) a kéntartalmú vegyületek oxidációjából és redukciójából nyerik az energiát.

Foszfor (P) - Származékai, mint például a foszforsav (H_3PO_4) a DNS és az RNS építőköve. A már említett biológiai oxidáció során képződik az ATP nevű, foszfor tartalmú vegyület. Energiaraktárként szolgál, minden fejlett földi élőlényben megtalálható.

Mintegy 1,5–2%-os mennyiségben képezik az élő szervezetek anyagait a másodlagos biogén elemek atomjai, melyek például az idegrendszer működésében vesznek részt. Ezek a nátrium (Na), a kálium (K), a kalcium (Ca), a magnézium (Mg) és a klór (Cl). Ezek ionos állapotukban található meg. Az elsődleges és a másodlagos biogén elemeket együtt az élő anyag makroelemeinek is szokták nevezni.

Mindössze néhány ezrelékben (mikrogrammnyi mennyiségben) fordulnak elő az élő szervezetekben a mikroelemek (harmadlagos biogén elemek). Ennek ellenére nélkülözhetetlenek, hiszen legtöbbjük az életfolyamatokhoz szükséges makromolekulák egy-egy alkotója. Hiányuk esetén a sejtek képtelenek felépíteni egy sor fontos vegyületet: Mangán (Mn), Vas (Fe), Kobalt (Co), Réz (Cu), Cink (Zn), Molibdén (Mo), Jód (I).

A jód az alacsonyabb rendű növények közül a barnamoszatok légzését fokozza, a magasabb rendű növények számára növekedést stimuláló hatású. Egyes vörös- és kovamoszatok (diatómák), főképpen azonban a barnamoszatok nagy mennyiségben vonnak ki jódot a tengervízből.

A nyomelemek (negyedleges biogén elemek) csoportjába tartoznak azok az elemek, amelyek nem minden élőlénynek számítanak létszükségletnek, csak bizonyos fajok számára: Bór (B), Fluor (F), Szilícium (Si), Titán (Ti), Vanádium (V), Króm (Cr), Nikkel (Ni), Szelén (Se), Bróm (Br), Ón (Sn). A szilícium egyes kovamoszatokban, zsurlókban, illetve szivacsokban található meg jelentős mennyiségben.

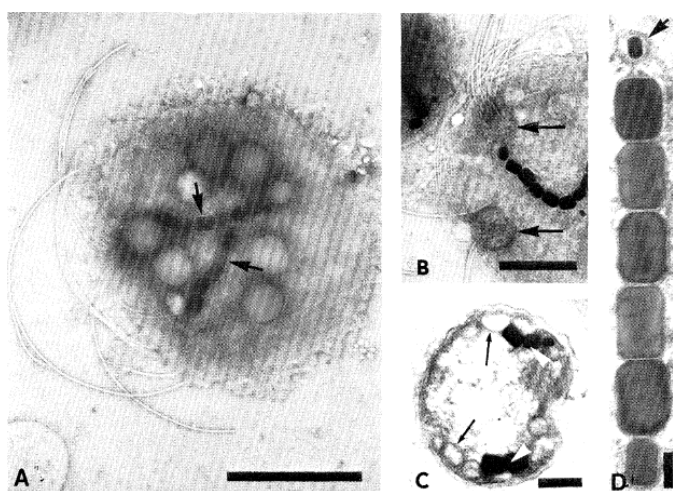
1		2															
H 1,008 hidrogén											He 4,0 hélium						
3 Li 6,9 lítium	4 Be 9,0 berillium											5 B 10,8 bór	6 C 12,01 szén	7 N 14,0 nitrogén	8 O 16,0 oxigén	9 F 18,9 fluor	10 Ne 20,1 neon
11 Na 23,0 nátrium	12 Mg 24,3 magnézium											13 Al 26,9 alumínium	14 Si 28,0 szilícium	15 P 30,9 foszfor	16 S 32,0 kén	17 Cl 35,45 klór	18 Ar 39,9 argon
19 K 39,1 kálium	20 Ca 40,1 kalcium	21 Sc 45,0 skandium	22 Ti 47,9 titan	23 V 50,9 vanádium	24 Cr 51,9 króm	25 Mn 54,9 mangán	26 Fe 55,8 vas	27 Co 58,9 kobalt	28 Ni 58,7 nikkel	29 Cu 63,5 réz	30 Zn 65,3 cink	31 Ga 69,7 gallium	32 Ge 72,5 germánium	33 As 74,9 arzen	34 Se 78,9 szelén	35 Br 79,9 bróm	36 Kr 83,8 kréptón
37 Rb 85,5 rubídium	38 Sr 87,6 sztrontium	39 Y 88,9 itrium	40 Zr 91,2 cirkónium	41 Nb 92,9 nióbium	42 Mo 95,9 molibdén	43 Tc (98) technécium	44 Ru 101,0 rózium	45 Rh 102,9 rhénium	46 Pd 106,4 palládium	47 Ag 107,8 ezüst	48 Cd 112,4 kadmium	49 In 114,8 indium	50 Sn 118,6 ólc	51 Sb 121,7 antimon	52 Te 127,6 tellúr	53 I 126,9 jód	54 Xe 131,3 xenon
55 Cs 132,9 cézium	56 Ba 137,0 bárium	57 La 138,9 lanthan	72 Hf 178,5 hafnium	73 Ta 180,9 tantal	74 W 183,8 volfrám	75 Re 186,2 renádium	76 Os 190,2 osmium	77 Ir 192,2 irídium	78 Pt 195,0 platina	79 Au 196,9 arany	80 Hg 200,5 higany	81 Tl 204,3 tallium	82 Pb 207,1 ólc	83 Bi 208,9 bizmút	84 Po (210) polónium	85 At (210) aszteknium	86 Rn (222) radon
87 Fr (223) francium	88 Ra (226) rádium	89 Ac (227) aktínium	104 Rf (261) rutherfordium	105 Db (262) dubnium	106 Sg (263) seaborgium	107 Bh (264) bohrium	108 Hs (265) hassium	109 Mt (266) meitnerium	110 Ds (268) darmstadtium	111 Uun (269) ununilium	112 Uuu (271) unununium						

(forrás: Biológia 11., A sejtek felépítése és anyagcseréje, A biogén elemek, https://www.mozaweb.hu/Lecke-Biologia-Biologia_11-A_sejtek_felepítése-102501 és Biogén elem, Wikipédia, a szabad enciklopédia, http://hu.wikipedia.org/wiki/Biog%C3%A9n_elem)

A legfontosabb biogén elemek helye a periódusos rendszerben.

Az élőlényekben nem található egyetlen olyan elem sem, mely ne lenne meg az élettelen természetben is, legfeljebb az előfordulás arányában van különbség. A periódusos rendszerben való elhelyezkedésükből megállapítható, hogy az élő rendszert a kisebb atomtömegű elemek alkotják, sőt a nehezebb elemek gyakran károsak, mérgezőek (pl. higany- és ólommérgezés). Az élő rendszer kialakulása idején valószínűleg a kisebb atomtömegű, egyúttal stabilabb elemek voltak többségben, melyek így a kialakuló molekulák felépítőivé váltak.

Richard Blakemore 1975-ben tavi mikroorganizmusokat vizsgált fénymikroszkóppal, és észrevette, hogy egy csapatnyi sejt a vízcseppnek mindig ugyanarra az oldalára úszott elsötétített helyiségben is. Ekkor egy furcsa ötlete támadt, és egy mágneset helyezett a csepp másik oldalára. A sejtek azonnal megfordultak, és a csepp túlsó oldalán gyűltek össze. E felfedezés óta beszélünk magnetotaxisról, azaz a környezet mágneses terének irányához igazodó mozgásról, illetve magnetotaktikus (vagy egyszerűbben mágneses) baktériumokról. A mágneses baktériumok magnetoszómákat tartalmaznak, melyek egy ferrimágneses nanokristályból (amely lehet Fe_3O_4 magnetit vagy Fe_3S_4 greigit) és az ezt körülvevő biológiai membránból állnak. A magnetoszómák rendszerint láncba vagy láncokba rendeződnek, de akadnak szétszórt kristályokat tartalmazó sejtek is

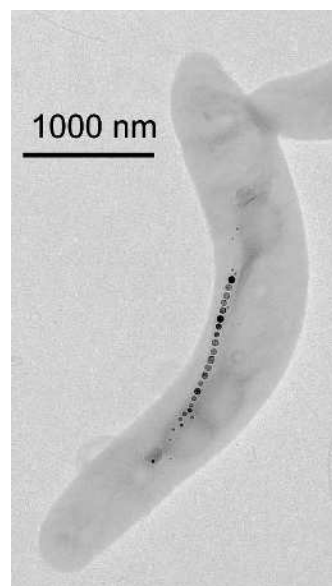


(forrás:
Richard Blakemore:
Magnetotactic Bacteria,
Science, New Series, 1975.
október 24., Vol. 190, No.
4212., www.calpoly.edu/~rfrankel/RPBScience75.pdf)

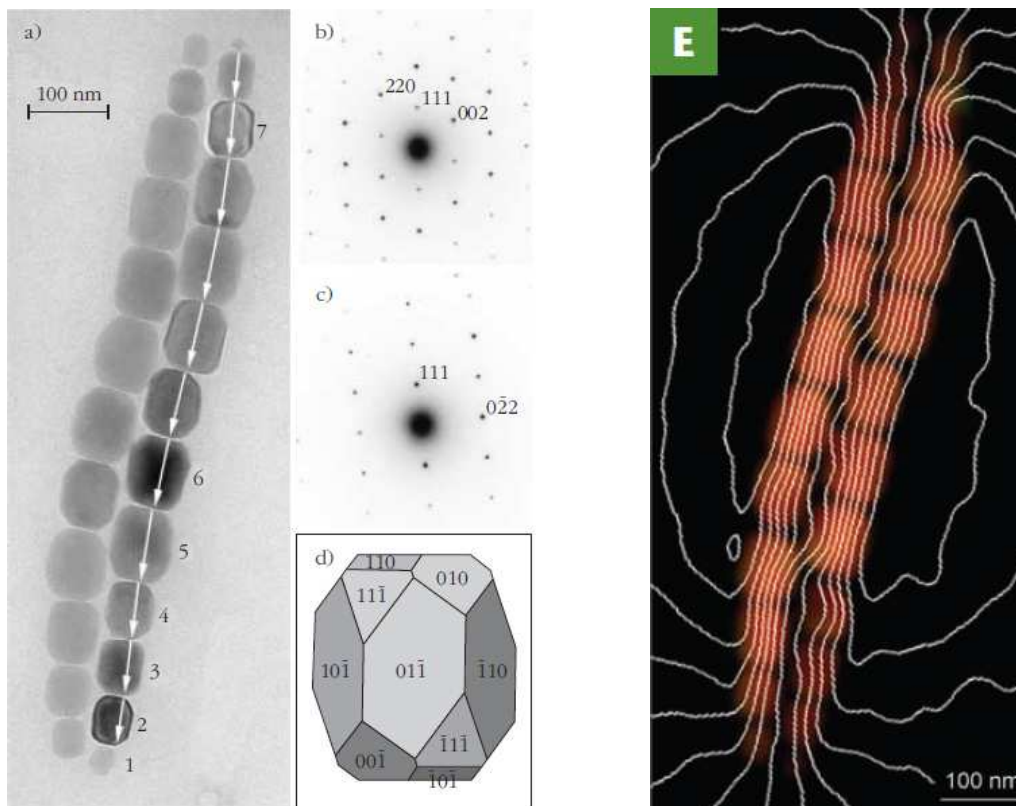
Elektron mikrográfokon
magnetotaktikus
baktériumok.

A mágneses baktériumok sejtjeiben ferrimágneses nanokristályok képződnek. Az egyes sejtek eltérő alakú, méretű és rendezettségű kristályokat választanak ki. A baktériumokban a nanokristályok egy-egy mágneses domént tartalmaznak, és a sejtek mágneses momentuma elegendően nagy ahhoz, hogy a baktérium a geomágneses tér erővonalával párhuzamosan irányuljon.

(forrás: Pósfai Mihály: Szabályozott tulajdonságokkal rendelkező mágneses nanokristályok biomimetikus szintézise, 2013., Pannon Egyetem, Környezettudományi Intézet)



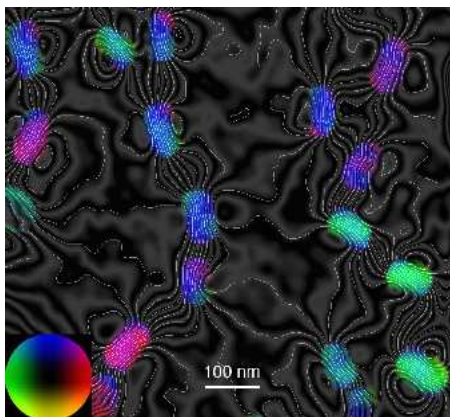
Néhány fajta földi baktériumban megtalálható, magnetit magnetoszómákból álló egyszerű kristálylánc a *Magnetospirillum gryphiswaldense* baktérium sejtjében.



(forrás: Pósfai Mihály: Mágneses baktériumok, Fizikai Szemle - 58. évf. 5. sz. (2009. május), http://epa.oszk.hu/00300/00342/00228/pdf/FizSzem-200905_174-178.pdf és Pósfai Mihály, R E Dunin-Borkowski: Magnetic nanocrystals in organisms (2009), in: Elements, DOI: 10.2113/gselements.5.4.235, www.rafaledb.com/papers/J-2009-Elements-magnetic-nanocrystals-in-organisms.pdf)

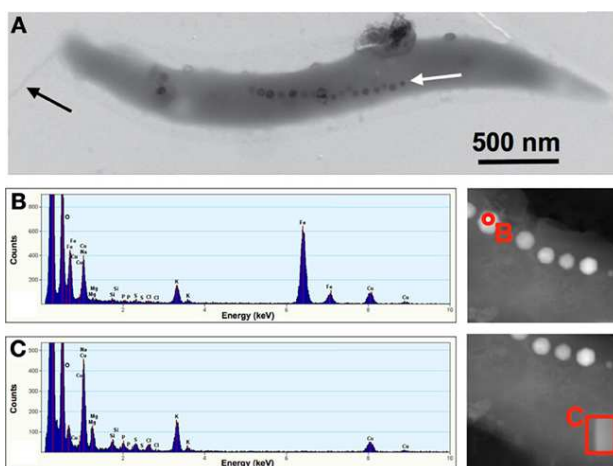
a) Kettős magnetitlánc a veszprémi Séd-patak iszapjából származó baktériumban. A számozott kristályok mindegyikéről elektronelhajlási felvétel készült, ami alapján irányulásuk meghatározható. A fehér nyilak az $[111]$ irányt jelölik az egyes kristályokban. b) A 4-es és c) a 7-es számmal jelölt kristályról készült elektronelhajlási felvétel. d) Morfológiai modell, amely nagyfelbontású elektronmikroszkópos felvételek alapján készült. e) Mágneses indukciótérkép, amely elektronhologramok alapján az a) ábrán látható kettős magnetitláncról készült. A kontúrvonalak távolsága $0,3$ radián (Simpson és társai nyomán).

A mágneses baktériumok morfológiailag és a bennük lévő mágneses kristályok jellemzői alapján is sokfélék. Vannak baktériumtörzsek, amelyek kubo- vagy oktaédres magnetit-kristályokat választanak ki, míg mások megnyúlt, hasáb morfológiájú kristályokat. A magnetoszómák elrendeződése is sokféle lehet: akadnak egyszeres, kétszeres vagy akár sokszoros kristályláncok, sőt egyes sejtípusok szórt kristályokat tartalmazhatnak.



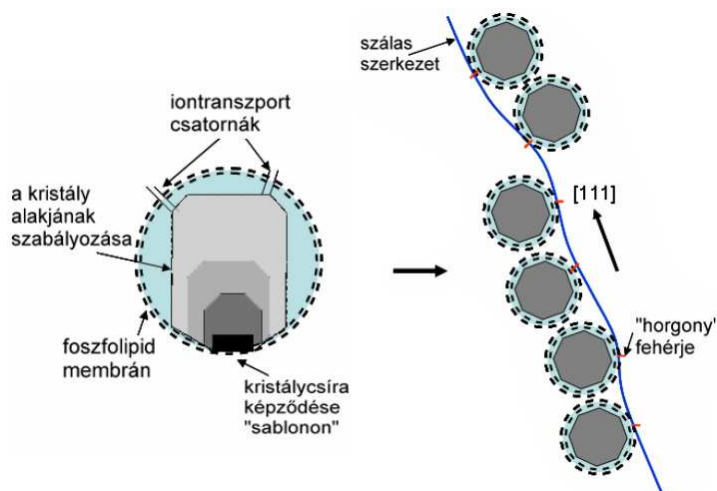
(forrás: Pósfai Mihály, R E Dunin-Borkowski: Magnetic nanocrystals in organisms (2009), Elements DOI: 10.2113/gselements.5.4.235, www.rafaldb.com/papers/J-2009-Elements-magnetic-nanocrystals-in-organisms.pdf)

Mágneses indukció térkép egy édesvízi coccus baktérium sejtjében lévő, szétszórt magnetit kristályokról



(forrás: Zachery Oestreicher, Steven K. Lower, Eric Rees, Dennis A. Bazylinski, Brian H. Lower: Magnetotactic bacteria from Pavilion Lake, British Columbia, Microbiol, 2013. doi: 10.3389/fmicb.2013.00406, <http://journal.frontiersin.org/Journal/10.3389/fmicb.2013.00406/full> és http://www.frontiersin.org/files/Articles/67166/fmicb-04-00406-r2/image_m/fmicb-04-00406-g003.jpg)

Spirillum alakú magnetotactic baktérium Pavilion-tóból (British Columbia, Kanada), átlagosan 2,9 μm hosszú és 0,3 μm széles. A lánc magnetoszómák (fehér nyíl) és egy ostor (fekete nyíl). Az ásványi kristályok $\sim 47 \times 44$ nm. EDX spektrum (B) azt mutatja, hogy a kristályokat vas és az oxigén alkotja.

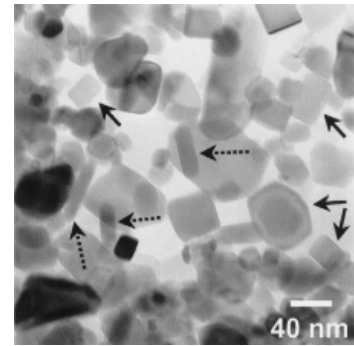


(forrás: Pósfai Mihály: Szabályozott tulajdonságokkal rendelkező mágneses nanokristályok biomimetikus szintézise, Pannon Egyetem, Környezettudományi Intézet, 2013.)

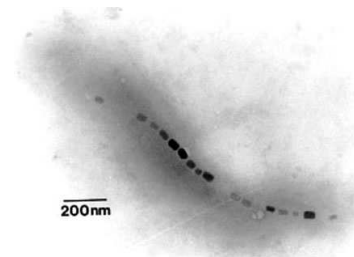
Magnetoszóma: membrán + ferrimágneses nanokristály

Kathie Thomas-Keprta és csapata (Johnson Space Center) a NASA Asztrobiológiai Intézetének támogatásával négy éven keresztül alaposan tanulmányozta a magnetitkristályokat. A munka során több ezer kristályt vizsgáltak meg, részben karbonátos környezetükbe ágyazottan. Mintegy 600 darabot azonban kiemeltek a meteorit anyagából, hogy minél pontosabban meghatározhassák kémiai összetételüket és kristályszerkezetüket.

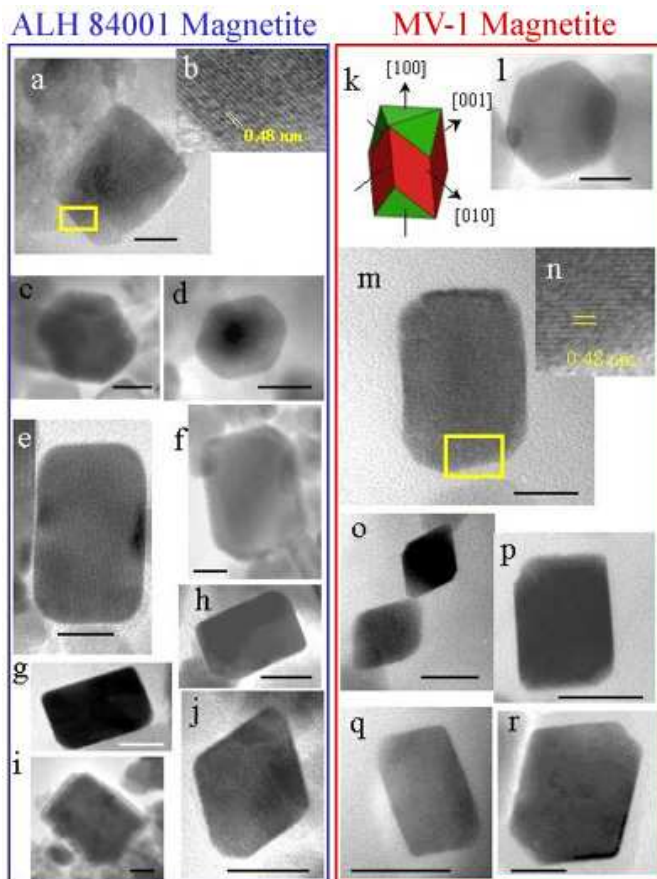
Az eredmények szerint a vizsgált kristályok egynegyede megegyezik egy földi baktériumtörzs (MV-1) magnetitkristályaival, ez alapján pedig minden bizonnyal ezek is biológiai eredetűek. A Mars Global Surveyor eredményeiből ma már tudjuk, hogy ilyen mágneses tér a kőzet képződésének idejében - tehát 4,5 milliárd éve - még létezett.



A nyilak a meteoritban talált magnetitkristályokra mutatnak.

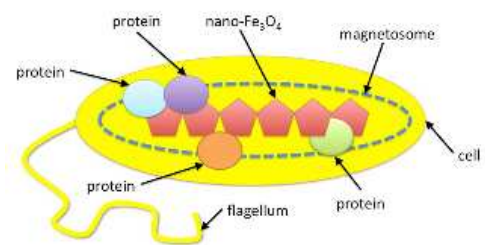


MV-1 földi baktériumtörzs

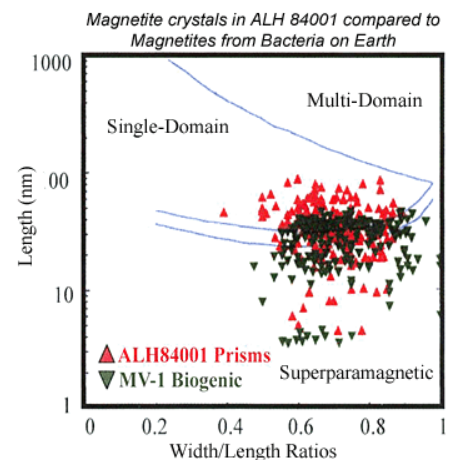


Scale bars=20 nm

(From Thomas-Keprta et al., 2000, *Geochim. et Cosmo. Acta*, v. 64, p. 4056.)



Magnetotaktikus baktérium sematikus rajza.



(From Thomas-Keprta et al., 2000, *Geochim. et Cosmo. Acta*, v. 64, p. 4063.)

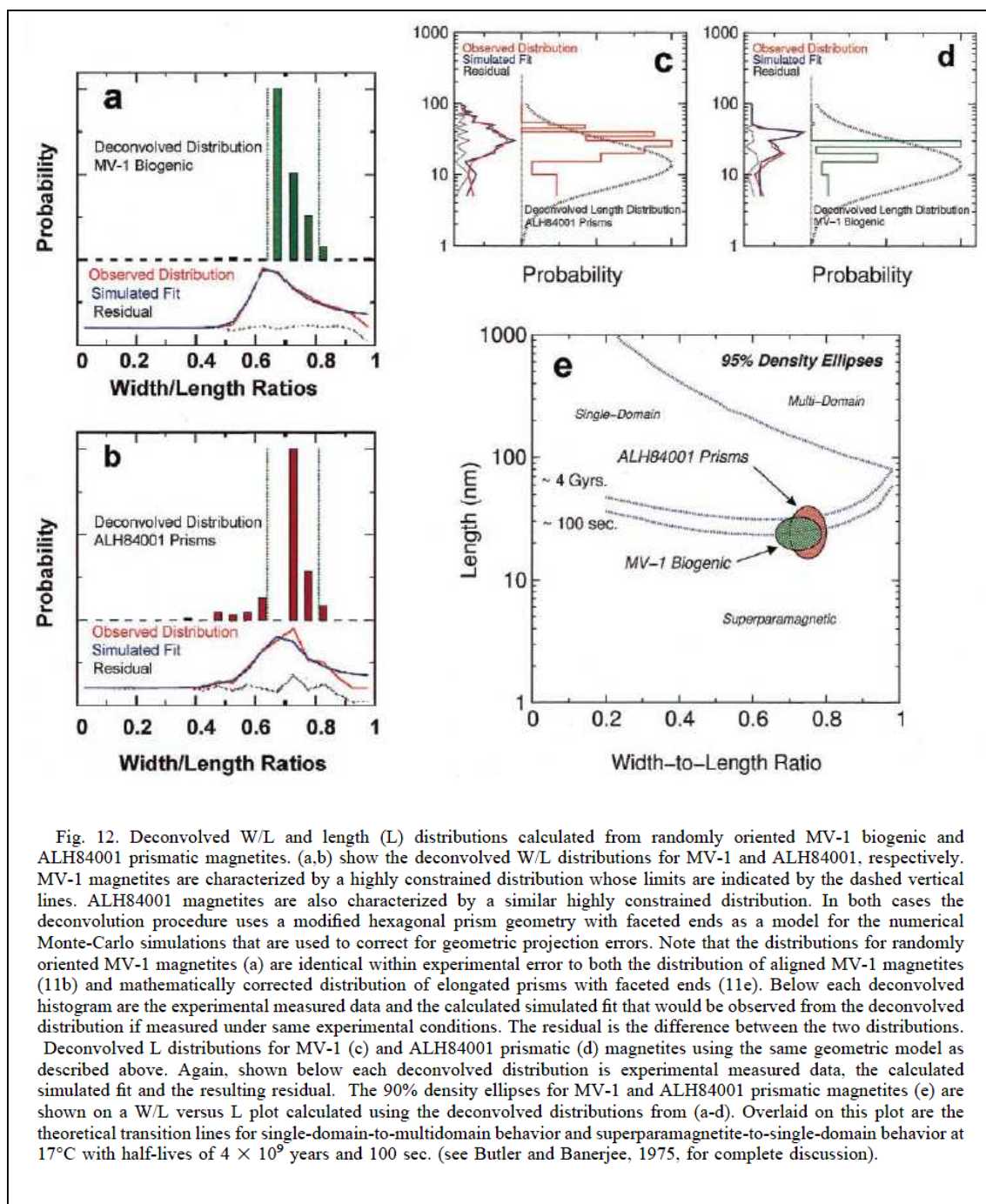


Fig. 12. Deconvolved W/L and length (L) distributions calculated from randomly oriented MV-1 biogenic and ALH84001 prismatic magnetites. (a,b) show the deconvolved W/L distributions for MV-1 and ALH84001, respectively. MV-1 magnetites are characterized by a highly constrained distribution whose limits are indicated by the dashed vertical lines. ALH84001 magnetites are also characterized by a similar highly constrained distribution. In both cases the deconvolution procedure uses a modified hexagonal prism geometry with faceted ends as a model for the numerical Monte-Carlo simulations that are used to correct for geometric projection errors. Note that the distributions for randomly oriented MV-1 magnetites (a) are identical within experimental error to both the distribution of aligned MV-1 magnetites (11b) and mathematically corrected distribution of elongated prisms with faceted ends (11e). Below each deconvolved histogram are the experimental measured data and the calculated simulated fit that would be observed from the deconvolved distribution if measured under same experimental conditions. The residual is the difference between the two distributions. Deconvolved L distributions for MV-1 (c) and ALH84001 prismatic (d) magnetites using the same geometric model as described above. Again, shown below each deconvolved distribution is experimental measured data, the calculated simulated fit and the resulting residual. The 90% density ellipses for MV-1 and ALH84001 prismatic magnetites (e) are shown on a W/L versus L plot calculated using the deconvolved distributions from (a-d). Overlaid on this plot are the theoretical transition lines for single-domain-to-multidomain behavior and superparamagnetite-to-single-domain behavior at 17°C with half-lives of 4×10^9 years and 100 sec. (see Butler and Banerjee, 1975, for complete discussion).

(forrás: Kathie L. Thomas-Keprta, Dennis A. Bazylinski, Joseph L. Kirschvink, Simon J. Clemett, David S. McKay, Susan J. Wentworth, Hojatollah Vali, Everett K. Gibson Jr., Christopher S. Romanek: Elongated prismatic magnetite crystals in ALH84001 carbonate globules: Potential Martian magnetofossils, PII S0016-7037(00)00481-6, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 64, No. 23, pp. 4049–4081, 2000., <http://web.gps.caltech.edu/~jkirschvink/pdfs/magnetofossils.pdf>)

Az ALH84001 marsi eredetű meteoritban talált magnetitkristályokból álló láncot eddig csak egyes földi baktériumokból ismertünk. Hasonló méretű és tisztaságú vas-oxid és vas-szulfid kristályok a Földön csak a mágneses baktériumok sejtjeiben képződnek.



(forrás: E. Imre Friedmann, Jacek Wierzchos, Carmen Ascaso, Michael Winklhoferi: Chains of magnetite crystals in the meteorite ALH84001: Evidence of biological origin,

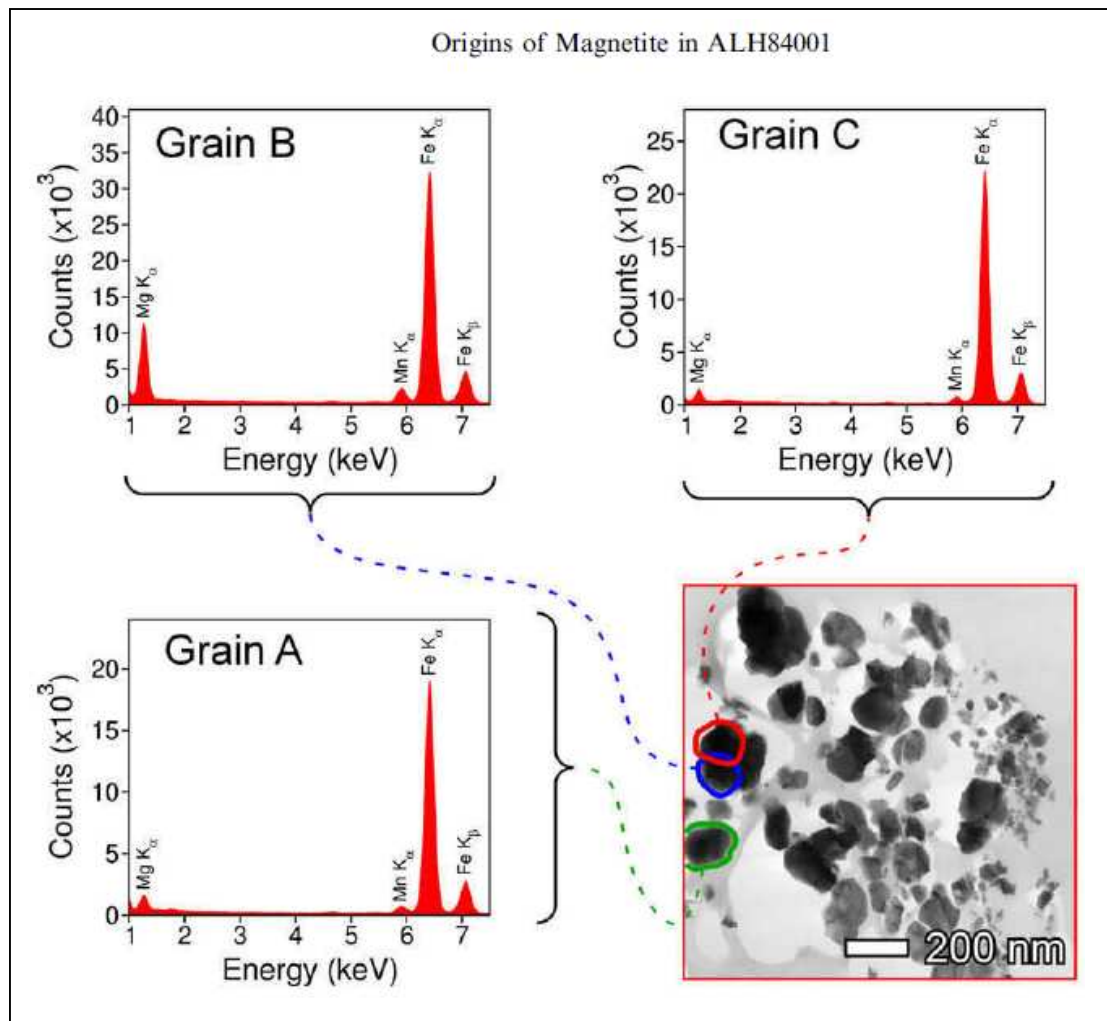
PNAS February 27, 2001 vol. 98 no. 5., www.pnas.org/content/98/5.toc és <http://www.pnas.org/content/98/5/2176.full.pdf+html>)

A felső képen a visszaszórt pásztázó elektronmikroszkóppal (BSE = Back Scattered Electron) készült felvételen modern magnetotactic baktériumok láthatók, bennük a lánc magnetit kristályokkal.

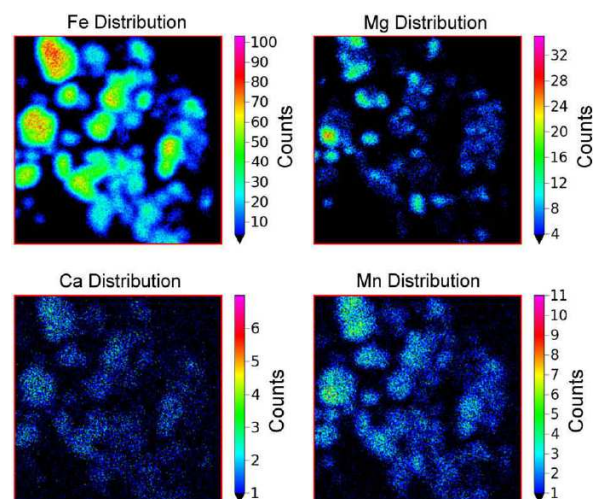
Alsó képen a magnetit kristályokból alkotott lánc a marsi ALH84001 meteorit visszaszórt pásztázó elektronmikroszkóp fotomikrográfonján nyilakkal jelezve.

A tudósok véleménye szerint a meteoritban talált láncok is csak egykori élő szervezetekben alakulhattak ki.

„Az általunk felfedezett láncok biológiai eredetűek” - mondta Imre Friedmann, a kutatócsoport vezetője, hangsúlyozva, hogy élő szervezeten kívül egy ilyen kristálylánc azonnal felbomlana a mágneses tér hatása miatt. Csak az egykori baktérium sejt szerkezete tette lehetővé a speciális elrendeződést, ami aztán „belefagyott” a kövületbe, illetve a kőzetbe. A vizsgálatok során azt találták, hogy a láncszerű elrendeződés ellenére az egyes kristályok nem érintkeznek egymással, maguk a láncok pedig rugalmasak és hajlékonyak, ami további érv a biológiai eredet mellett.



(forrás: K.L. Thomas-Keprta, S.J. Clemett, D.S. McKay, E.K. Gibson, S.J. Wentworth: Origins of magnetite nanocrystals in Martian meteorite ALH84001, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73 (2009) 6631–6677, www.elsevier.com/locate/gca, és www.sciencedirect.com és www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/403099main_GCA_2009_final_corrected.pdf)



Az ALH84001 meteorit mintában magnetit kristályok csoportosulása a TEM (Transmission Electron Microscope) fotomikrográfon és a kísérő EDX (Energy Dispersive X-Ray Analysis) spektruma.

McKay és munkatársai szerves vegyületeket, „policiklusos aromás szénhidrogéneket” (PAH) találtak az ALH 84001 meteoritban.

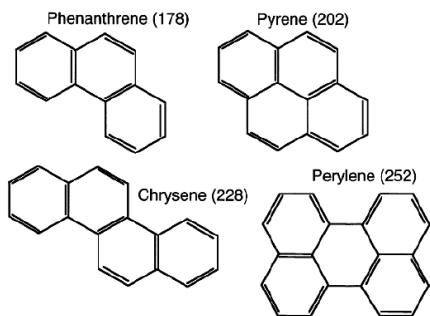


Figure 23: Some of the polycyclic aromatic hydrocarbon compounds reported by McKay et al. (1996) in carbonate areas of ALH84001. The major peak was mass 228 (see mass spectrum, figure 1, in McKay et al.).

Comparison of PAHs

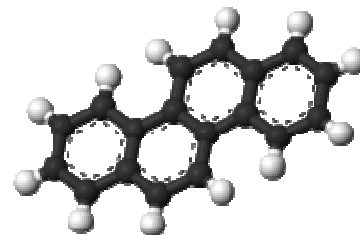
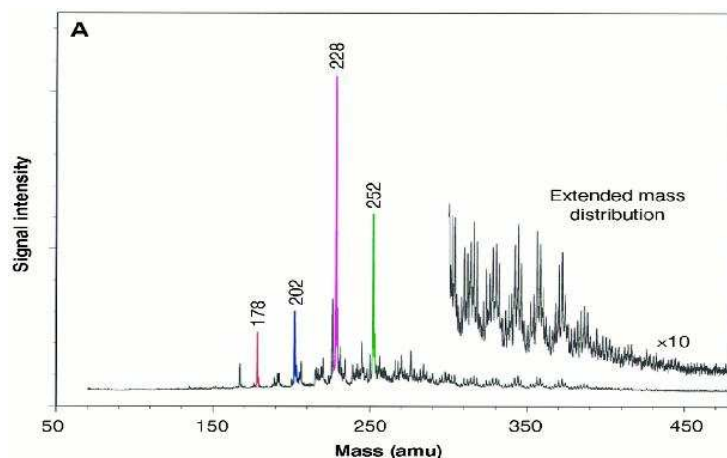
Data from Becker and Bada (Geochemica et Cosmochimica Acta, January, 1996)

Compound and atomic mass	ALH 84001	EET 79001	Ice
naphthalene (128)	not detected	not detected	present
fluorene (166)	not detected	not detected	not detected
phenanthrene or pyrene (178)	present	present	present
chrysene (228)	present	present	present
perylene (252)	present	present	present
anthanthrene (276)	not detected	present	not detected
anthanthracene (278)	present	present	present
coronene (300)	not detected	not detected	present

(forrás: www.psr.d.hawaii.edu/Mar97/LifeonMarsUpdate.html és

<http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/mmc/ALH84001.pdf>)

A néhány felismert PAH: fenantrén, pirén, krizén, perilén „Kekulé-képlete”. A táblázából látható, hogy a mért PAH összetevők nem azonosak meteoritokban és a megtalálási helyük, az antarktisz jegében, tehát nem valószínű, hogy a Földön kerültek szennyeződéssel az ALH 84001 és az EET 79001 marsi meteoritba a CM-szerű (szenes kondrit) PAH-ok.



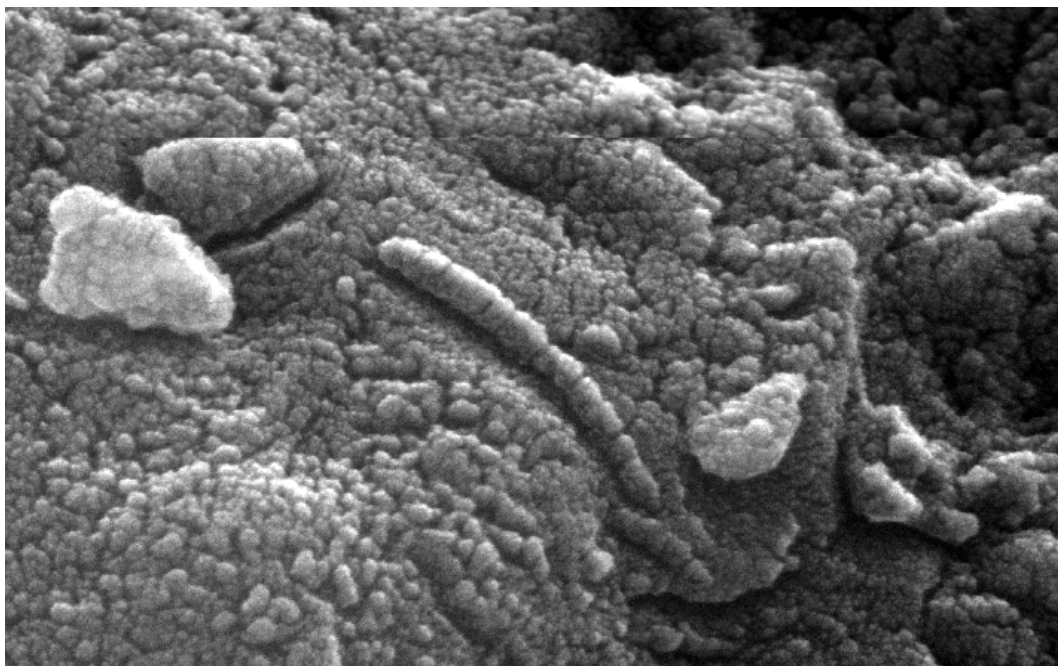
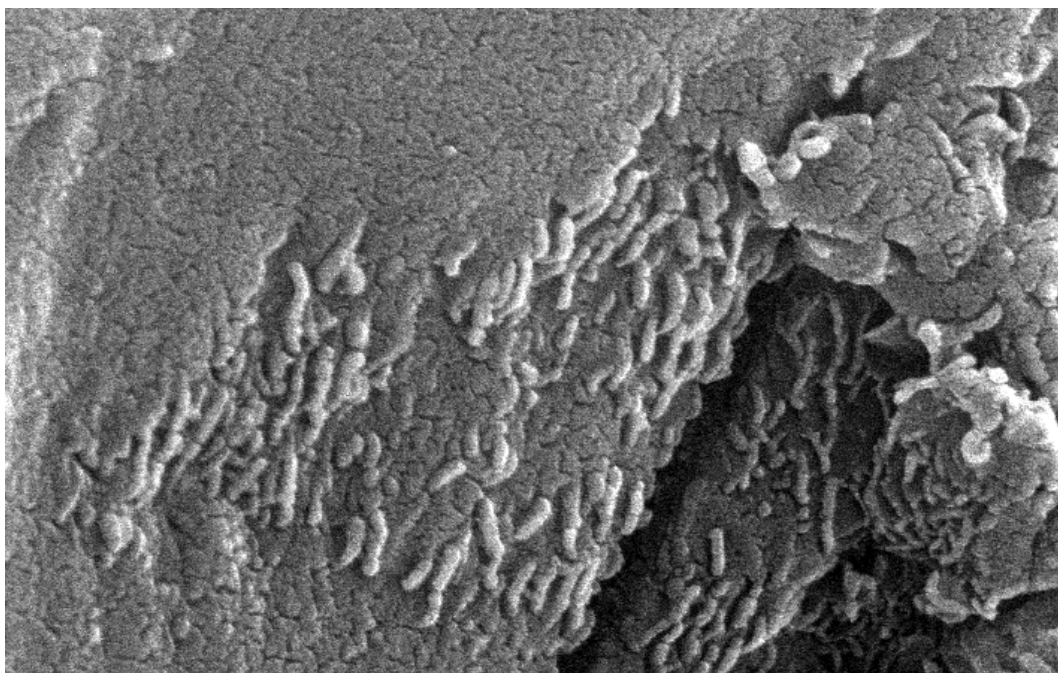
A legnagyobb tömegben a krizén (228) mutatható ki a mérések során a ALH 84001 meteoritban.

(forrás: <http://www.lpi.usra.edu/lpi/meteorites/sc924f1a.jpg>)

Fő csúcsok 178 (fenantrén, $C_{14}H_{10}$), 202 (pirén, $C_{16}H_{10}$), 228 (krizén, $C_{18}H_{12}$), 252 (perilén vagy benzopirene, $C_{20}H_{12}$), és 278 (anthanthrene, $C_{22}H_{12}$) amu (atomic mass unit, magyarul ATE rövidítést is használják, mai teljes angol neve „unified atomic mass unit”, egységes atomi tömegegység, Megállapodás szerint a ^{12}C atom (a szén legstabilabb izotópja) tömegének egy tizenketted része. Egy kémiai elem vagy egy molekula tömegét atomi tömegegységben szokták megadni) és egy második gyenge, diffúz nagy tömegű PAH-ot mutat a burkológörbe körülbelül 300-tól 450 amu értéken túl.

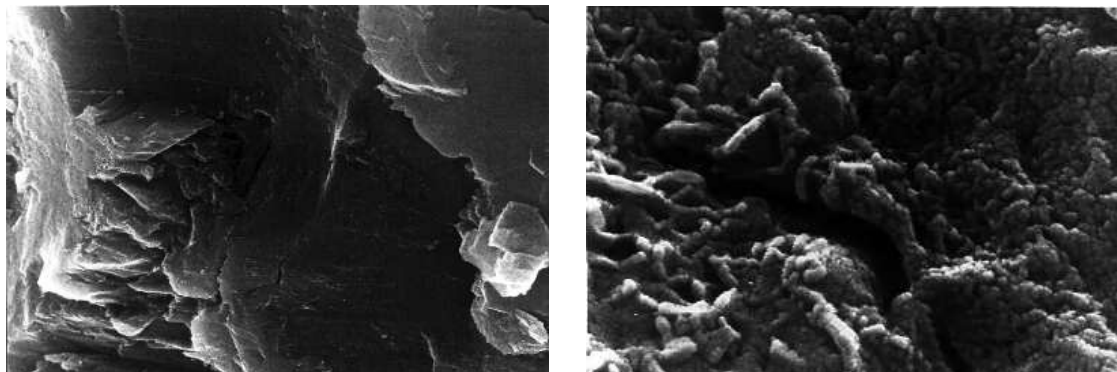
Az ALH 84001 meteorit minta pásztázó elektronmikroszkópos felvételén láncszerű struktúrák láthatók. Ezek mérete 20–100 nanométer (lényegesen kisebb, mint a baktériumok mérettartománya), és hasonlítanak a feltételezett nanobaktériumokra, de kisebbek mint bármely földi életforma.

A nanobaktériumok olyan nagyon parányi élőlények (létezésük vitatott), melyek mérete sokkal kisebb az élet számára általánosan elfogadott 200 nanométernél (azaz nem fér el benne többek közt a DNS).



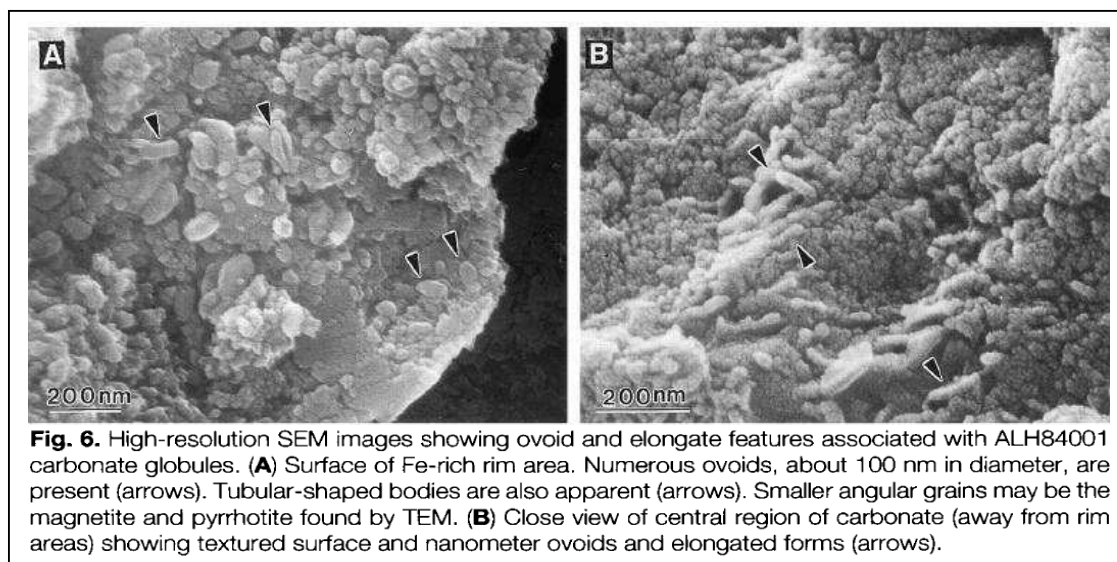
(forrás: www.lpi.usra.edu/lpi/meteorites/life.html#PAH)

A NASA kutatócsoport kétéves vizsgálata során bizonyítékot talált, mely erősen azt sugallja, hogy, primitív élet létezett a Marson, több mint 3,6 milliárd évvel ezelőtt.



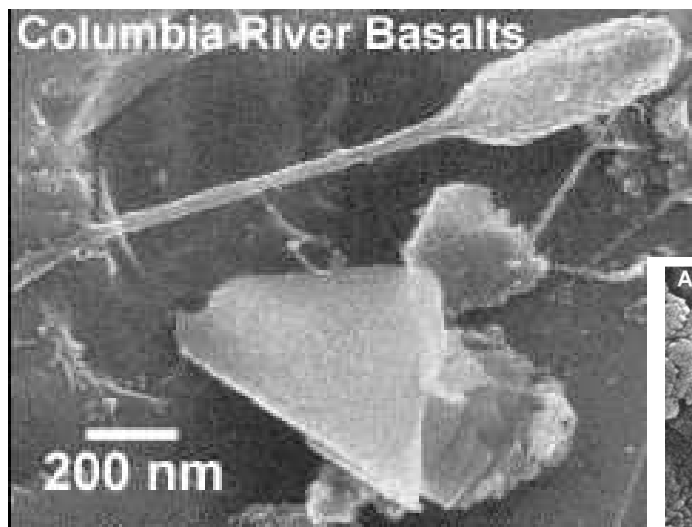
(forrás: <http://rsd.gsfc.nasa.gov/marslife/photos.htm>)

S96-12301 és S96-12298 számú elektronmikroszkópos kép a meteorit belsejében talált apró struktúrát mutatja, melyek lehetek a Marson több mint 3,6 milliárd évvel ezelőtt élt primitív, baktérium-szerű szervezetek mikrofossziliái. A legnagyobb fossziliák átmérője kevesebb, mint az emberi haj egyszázada, míg a legtöbb tízszer kisebb.

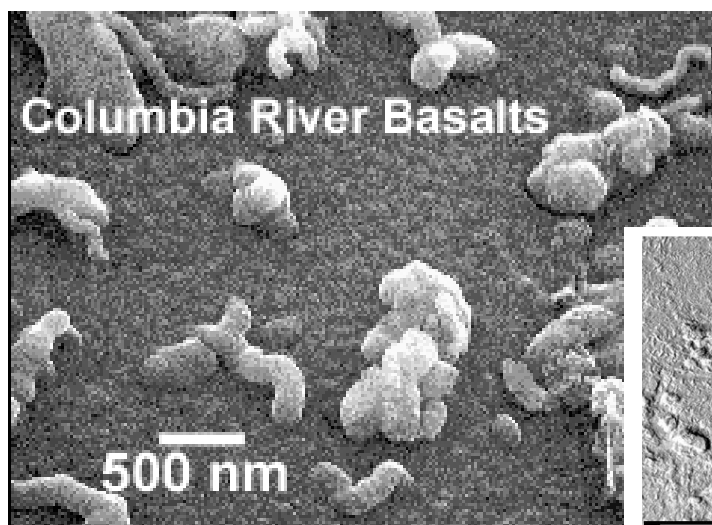
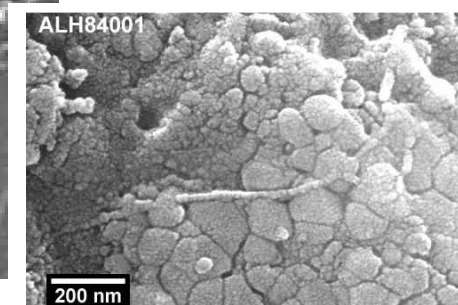


(forrás: David S. McKay et. al.: Search for Past Life on Mars: Possible Relic Biogenic Activity in Martian Meteorite ALH84001, SCIENCE 1996.
<http://www.earth.northwestern.edu/people/seth/351/search.life.pdf>)

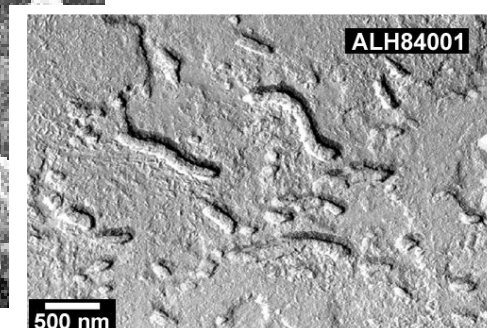
Az „A” (S96-12297 számú) elektronmikroszkópos kép, a tojás alakú struktúrákat mutatja, amelyek közül néhány lehetséges mikroszkopikus marsi eredetű leletek. A „B” (S96-12300 számú) képen pedig a csöves szerkezetet valószínűleg marsi eredetű.



(forrás: www.spaceref.com/news/viewpr.html?pid=3947)

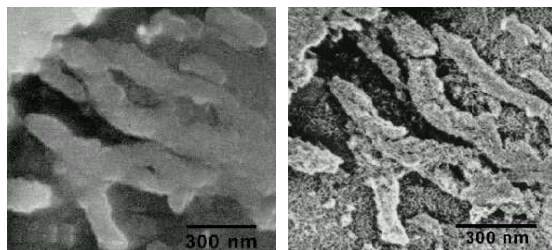


(forrás: www.spaceref.com/news/viewpr.html?pid=3947)



Biogén kinézetű morfológia az ALH84001 marsi meteoritban és a hasonló morfológia a Columbia folyó bazaltokban, melyek akkor keletkeztek amikor a szikladarab még víz alatt volt és a bazaltok baktériumokat tartalmaztak.

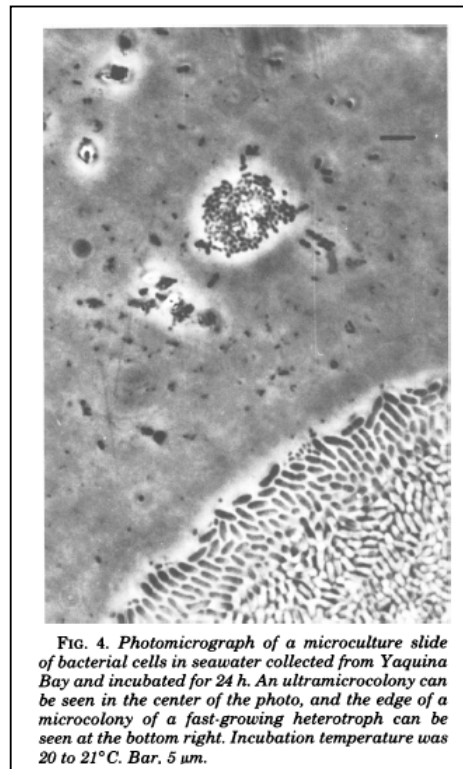
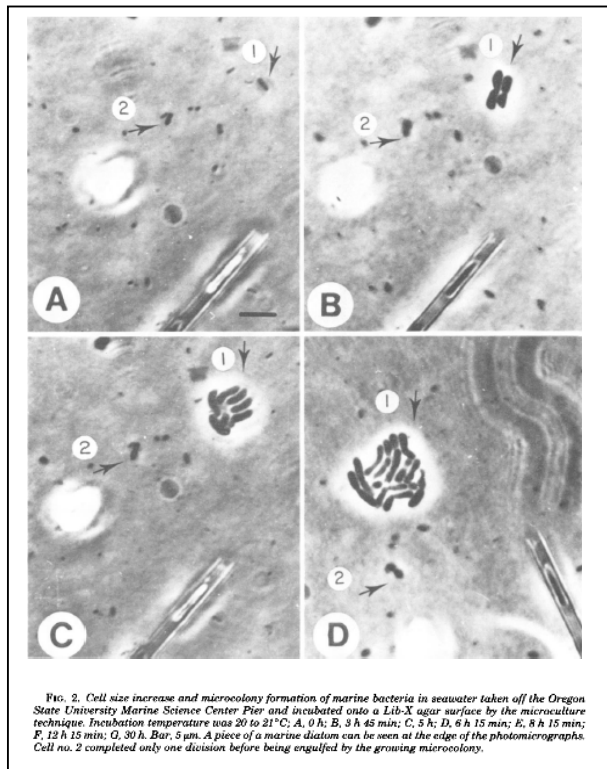
A mikroszkópban látható szerkezet John Bradley szerint csak a preparátum elkészítése során használt fémbevonat következménye, a valóságban nem is létezik. McKay szerint csak a struktúra konturjának élességében különbözik.



(forrás: G. Jeffrey Taylor: Fossils in Martian Meteorite: Real or Imagined?, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, 1997. december 18, www.psr.d.hawaii.edu/Dec97/PSRD-LifeonMarsUpdate2.pdf)

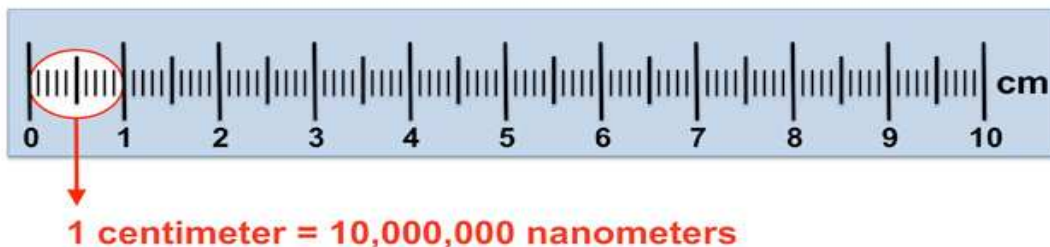
Bevonattal készült mikroszkópos kép, és ugyanaz a részlet bevonat nélkül.

Morita Richard Y (Department of Microbiology and School of Oceanography, Oregon State University, Corvallis) a Kanadai Mikrobiológiai Folyóiratban (Canadian Journal of Microbiology, 1981) nevezi e képződményeket először nanobaktériumoknak.



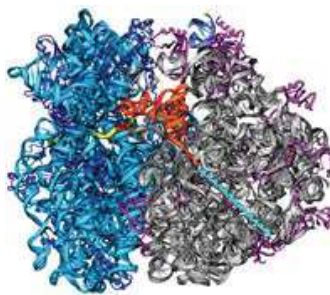
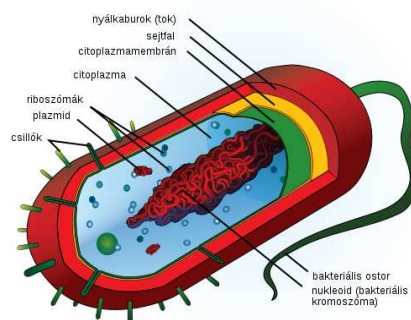
(forrás: Torrella Francisco, Morita Richard Y.: „Microcultural Study of Bacterial Size Changes and Microcolony and Ultramicrocolony Formation by Heterotrophic Bacteria in Seawater”, (1 February 1981) Applied and Environmental Microbiology, Feb. 1981, p. 518-527 Vol. 41, No. 2., Department of Microbiology and School of Oceanography, Oregon State University, Corvallis, <http://aem.asm.org/content/41/2/518.long>)

A nanobaktériumok (nanoorganizmusok, nanobák, nannobaktériumok) olyan alakzatok, amelyek mérete 20 és 150 nanométer között mozog. Körülbelül 10 db egymás mellett lévő hidrogénatom szélességének felel meg.



A jelenleg elfogadott nézetek szerint a legkisebb élőlények a baktériumok, melyek mérete 0,2 és körülbelül 500 mikrométer között változik, de átlagosan 20 mikrométer. (A mikrométer a méter egymilliomod része.) A baktériumok sejtmag és sejtszervecskék nélküli, prokarióta élőlények, így a jelenlegi földi élővilág legalacsonyabb szerveződési szintjét képviselik. Genetikai állományuk rendszerint egyetlen kör alakú kromoszómából áll. Amikor általunk élőnek tekintett biológiai rendszereket vizsgáljuk, akkor meg kell határozni azt a mérettartományt, aminél kisebb térrészbe ezek legalapvetőbb alkotóelemeit egyszerűen nem lehet bezsűfolni.

Kérdés tehát, hogy beleférne-e a nanobaktériumokba az általunk ismert élethez szükséges biokémiai-genetikai apparátus, mivel a baktériumok esetében maga a sejtfa 10 nm vastag, és a riboszóma, amelyen a proteinek szintézise történik, 25-30 nm nagyságú.



(forrás: Mariana Ruiz, LadyofHats, hu.wikipedia.org/wiki/Bakt%C3%A9riumok és Harry Noller, <http://publications.nigms.nih.gov/insidethecell/>)

chapter1.html)

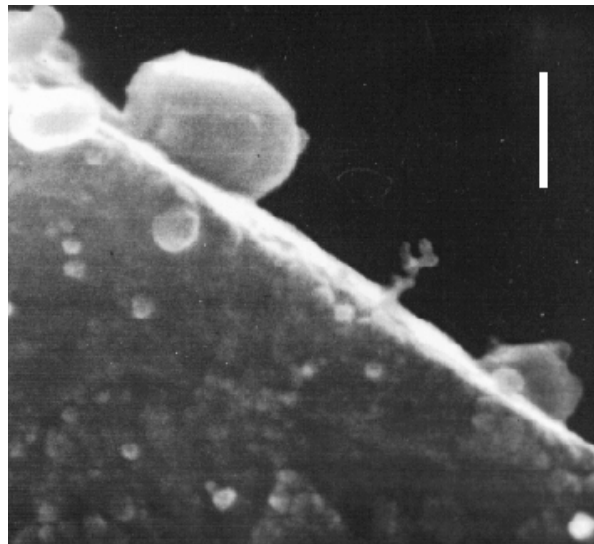
Baktérium sejt és riboszóma

Azonban még arra sincs megnyugtató meghatározás, hogy mi az élet.

A vírusok például nanométeres nagyságrendűek (a méter egymilliárdod része). A vírusok azonban nem élőlények, csak gazdaszervezetben mutatnak életjelenségeket, az általuk megtámadott sejt anyagcsere-apparátusát használják fel saját alkotórészeik legyártásához. Így egy vírus nem tartalmaz például riboszómákat (amelyek a fehérjemolekulákat készítik), alapvetően csupán egy fehérjeburokból, genetikai állományból (ami RNS is lehet) és néhány enzimből áll, ami főleg behatolásához szükséges. A vírusok modern meghatározása: fertőzőképes genetikai információ.

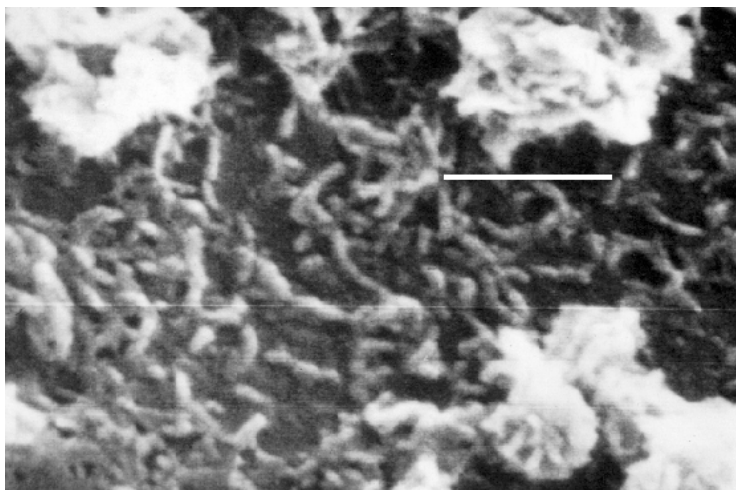
Robert L. Folk texasi geológus 1990-ben felfedezett ~100 nanométer méretű baktérium-szerű szerkezeteket, és 1992-ben számolt be a Geological Society of America találkozón az addig ismeretlen, bizonyos szicíliai kőzetmintákon, talált szőlőfürt-szerű geológiai képződményekről, amelyek külsőleg inkább egy rendkívül kicsiny organizmus, mint valamely speciális kristályosodási folyamat eredményének tűntek.

Folk geológusként még nanoplanktonoknak nevezte a felfedezett kisméretű baktériumokat.



(forrás: www.francesca.mi.it/bulli1.JPG és Robert L. Folk, http://naturalscience.com/ns/articles/01-03/ns_folk.html)

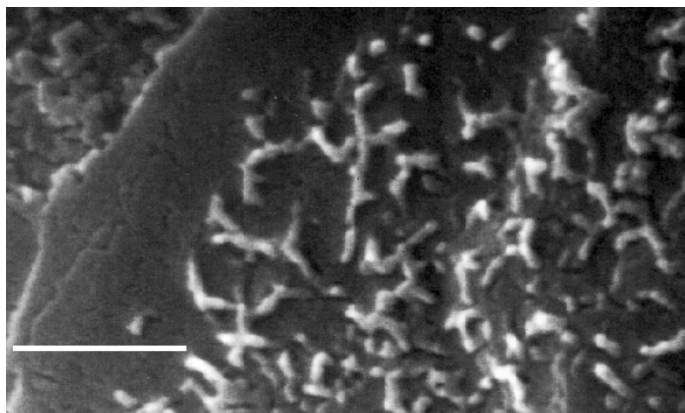
Kalcit a Bullicame-i alacsony koncentrációjú hidrogén-klorid (HCl) meleg forrásból (Viterbo, Olaszország). A képen egy elliptikus „normális méretű” bakteriális test látható, körülbelül 1,5 mikrométer hosszú. Egy másik normál méretű baktérium a jobb oldalon csak fele akkora alakult ki. A kép bal alsó sarkában 0,1 mikrométer gömbök nanobaktériumok találhatóak. Néhány gömb alakú testek, 0,2 és 0,6 mikrométer, úgy tűnik, hogy áthidalják a hétköznapi baktériumok és nanobaktériumok közötti méret szakadék. Skála (fehér vonal): 1 mikrométer.



(forrás: Robert L. Folk, http://naturalscience.com/ns/articles/01-03/ns_folk.html)

A SEM elektronmikroszkop képen sok különböző nanobaktériumok látható. A leginkább figyelemre méltók a 0,05 mikrométer széles hernyószerű szervezetek.

Ezek a nanobaktériumok hasonlítanak a marsi meteoritban találtakra. Skála (vehér vonal): 0,5 mikrométer.

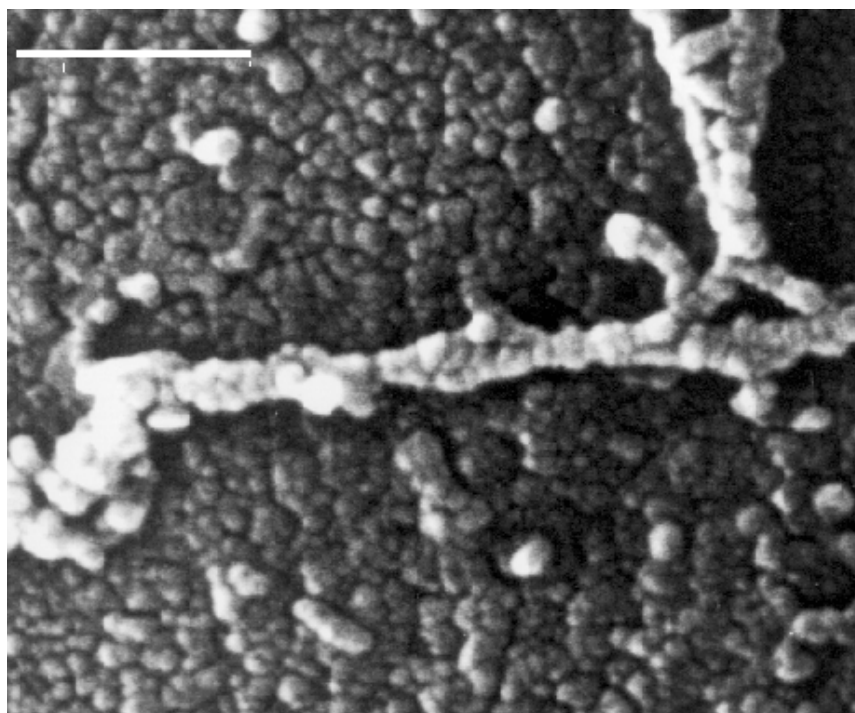


(http://naturalscience.com/ns/articles/01-03/ns_folk.html)

Az ábrán a nanobaktériumok a Mount Etna (Acireale, Szicília) lávafolyásból származó vékony réteg klorit (zöldes színű agyag) tetején fekszenek.

(Lynch, F.L. and R.L. Folk. 1996. Possible nanobacterial mediation in the alteration of volcanic rocks to clay minerals in South Italy (abstract). Geological Society of America Annual Meeting, Program Abstracts, A90.)

Ezek nanobaktériumok magukba foglalják a szilikátok kicsapódását. Egyetlen izolált nanobaktérium körülbelül 0,03 mikrométer. A szervesetlen ásványi anyagok nem így kristályosodnak ki -állapítja meg Folk. Skála (fehér vonal): 0,5 mikrométer.



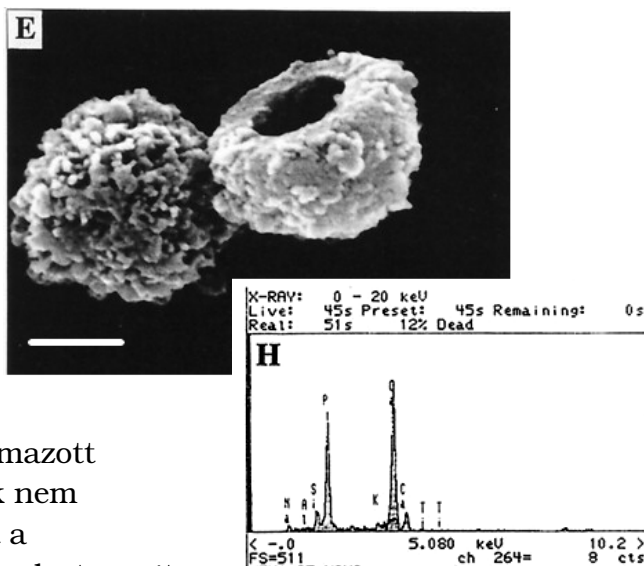
(forrás: Robert L. Folk:
Nanobacteria:
surely not
figments, but
what under
heaven are they?
1997. 03. 04.
Department of
Geological
Sciences,
University of
Texas, Austin,
http://naturalscience.com/ns/articles/01-03/ns_folk.html)

Egy darab rozsdás vasat Port O'Conner-ben (Texas) sósavval kezeltek 10 percig, hogy eltávolítsák a vas-hidroxidot (vas(II)-hidroxid, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, és láthatóvá váljanak a vason kicsapódott nanobaktériumok. A nanobaktériumok tartománya itt leginkább 0,02-0,06 mikrométer. Skála (fehér vonal): 0,5 mikrométer.

E. Olavi Kajandernek, a finn Kuopio Egyetem biológusa és kollégái az 1990-es években tanulmányozták az 50–500 nm nagyságú, nanobaktériumoknak nevezett mikroorganizmusokat. Kajander vizsgálatai kimutatták, hogy a borjúsérum és ritkábban az emberi vér is tartalmaz vírus nagyságú nanobaktériumokat. 1998. július 7-én Kajander és kollégái újabb felfedezésről számoltak be a finnországi Nemzeti Tudományos Akadémián. A beszámoló szerint az emberi vizeletben nanobaktériumok élnek, amelyek kalciumot és más ásványi anyagokat választanak ki maguk körül úgy, hogy kristályosodási magot képezve indukálják a vesekőképződést. A nanobaktériumok okozta vesekőképződés elmélete már számos kutatónak felkeltette az érdeklődését. A nanobaktériumok javasolt tudományos neve: *Nanobacterium sanguineum*, utalva kis méretükre, előfordulási helyükre és egészségkárosító voltukra.

A nanobaktériumok alakja legtöbbször gömbölyű vagy ovális, de számos növekedési alakot és közösségi formát mutatnak. Míg a közönséges baktériumok általában óránként vagy kisebb időintervallumban osztódnak, addig a nanobaktériumok 1–5 naponként duplázódnak meg.

A szérumentes közegben tenyésztett nanobaktériumok a tenyésztőedény aljához kötődnek, és kicsiny apatitgömböcskéket hoznak létre maguk körül. Az ábrán a gömböcskék SEM pásztázó elektronmikroszkópos képe látható. A nanobaktériumok a lyukakban helyezkednek el.



Skála (vonal) 1000 nm = 1 μ m.

A baktériumtenyésztésnél alkalmazott közegekben a nanobaktériumok nem szaporodnak. A tenyésztés alatt a nanobaktériumok mérete nő, amelyet a sejt körül kialakuló vastag szeretlen precipitátum (kicsapódott anyag, latin „*praecipitatum*”, csapadék) okoz. A körülményektől függően drasztikusan változik egyedi méretük. Alkalmos feltételek esetén önállóan replikálódnak, míg kedvezőtlen feltételek esetén szaporodá

ú.

A nanobaktériumokban a sejten belüli ozmotikus („ozmózis”, a féligáteresztő hártályakon keresztül végbemenő anyagvándorlás) nyomás kicsi, így lassú a metabolizmus (anyagcsere, görög „*metabolé*”, változás, változtatás). A lassú metabolizmus megengedi, hogy minimális számú enzimet használjanak, mert számos reakciót nem kell katalizálni. Ahol mégis szükséges a katalizálás, megtörténhet fémek és ásványok segítségével is.

Kis méretük miatt a táplálkozásban a diffúzió és Brownmozgás lehet a meghatározó, amely megmagyarázhatja a forrásponthoz közeli hőmérséklettel szemben tanúsított ellenállásukat. A nanobaktériumok a kész aminosavakat és zsírsavakat a környezetből veszik fel. Abban az esetben, ha zsírsavakat nem képesek felvenni, akkor a membránban lévő lipidjeiket részlegesen apatittal képesek helyettesíteni.

A nanobaktériumokat befedő karbonát-apatit ásványi rétege emlékeztet a csont struktúrájára, bár utóbbi hidroxid-apatitból épül fel. Úgy tűnik, hogy a csontképződés és kőképződés között.

(forrás: Bókkon István: A nanobaktériumok világa, BIOKÉMIA, A Magyar Biokémiai Egyesület tájékoztatója Quarterly Bulletin of the Hungarian Biochemical Society, XXVI. évf. 2. szám 2002. 06. <http://webio.hu/biokemia/tartalom/b200206.pdf> és

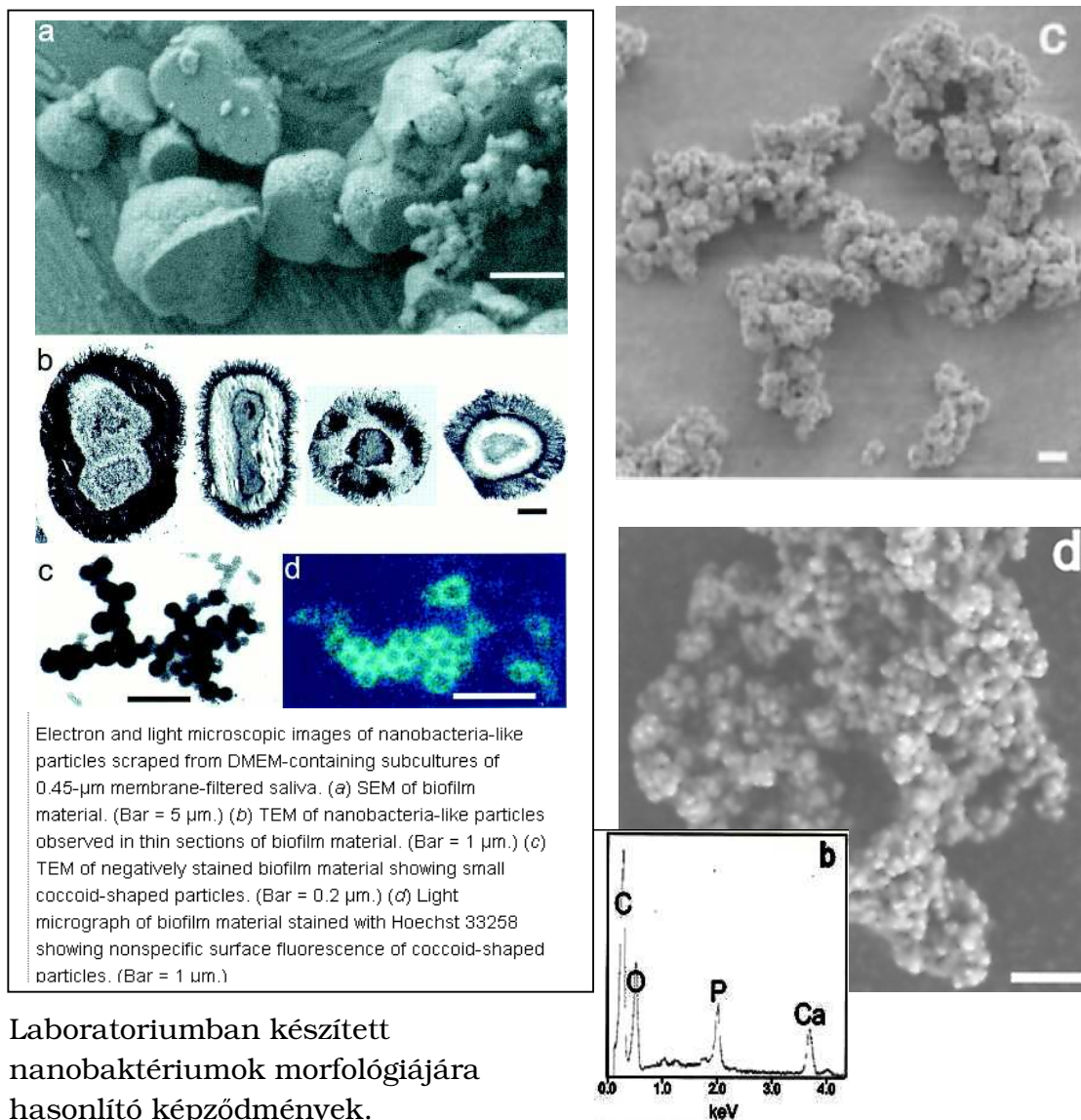
E. Olavi Kajander, Neva Çiftçioğlu: Nanobacteria: An alternative mechanism for pathogenic intra- and extracellular calcification and stone formation, Proc. Nat. Acad. Sci. 95:8274-8279 www.pnas.org/content/95/14/8274.full)



„Hajszerű” apatit kristályréteggel borított, osztódásban lévő nanobaktérium transzmissziós elektronmikroszkópos képe. (Az ábra jobb alsó sarkában jelzett szakasz hossza 100 nm.)

A nanobaktériumok a legősibb és nagyon egyszerű anyagcseréjű prokariótákhoz tartoznak, így egy egyszerű és közös mechanizmust szolgáltathatnak a kőképződést illetően. azonos mechanizmusok működhetnek. Képesek szaporodni a sejteken belül és kívül is. Továbbá igen ellenállóak mindenféle extrém körülménnyel szemben. A nanobaktériumok DNS-e – a mitokondriumokéhoz hasonlóan – fluorkrómmal festhető. A nanobaktériumok DNS-mérete a mikoplazmák és mitokondriumok között helyezkedhet el. A *Mycoplasma genitalium* genommérete 0,58 MB, szemben az *Escherichia coli* 4,6 MB genomméretével. A metabolikus együttműködés a baktériumok vagy a baktériumok és más organizmusok között szignifikánsan csökkentheti a szükséges genomméretet. A metabolikus együttműködés további magyarázatot szolgáltat arra, hogy a nanobaktériumok igen egyszerű anyagcseréjük ellenére mégis létezhetnek. A nanobaktériumok SDS-PAGE gélelektroforézise több mint 30 proteinsávot mutatott.

A finn kutatók eredményei ellenére továbbra is sokan kételkedtek abban, hogy a nanobaktériumok élő szervezetek. A kétkedők véleményét erősítette John O. Cisar 2000-es kísérlete, aki megfigyelte, hogy a sejtmembránok alkotórészei, a foszfolipidek hajlamosak megkötni a kalciumot, és a foszfátot, és ilyenkor a finn kutatócsoport által leírt nanobaktériumokra hasonlító alakzatok jönnek létre. Cisar azt is kimutatta, hogy a nanobaktériumoknál ismertetett DNS-szekvenciáknak megfelelő DNS-szekvenciák előfordulnak a laboratóriumi oldatok és üvegedényeket szennyező közönséges baktériumok genomjában is.



(forrás: John O. Cisar, De-Qi Xu, John Thompson, William Swaim, Lan Hu, Dennis J. Kopecko: An alternative interpretation of nanobacteria-induced biomineralization, PNAS October 10, 2000 vol. 97 no. 21., <http://www.pnas.org/content/97/21/11511/F2.expansion.html>)

Az amerikai Mayo Klinika (Rochester) kutatói 2004-ben új eredményeket közöltek a témában az *American Journal of Physiology* hasábjain. John Lieske és Virginia Miller vezetésével a kutatócsoport arról számol be, hogy új bizonyítékokat találtak arra, hogy a nanobaktériumok valóban élőlények, sőt számos betegség kórokozói lehetnek.

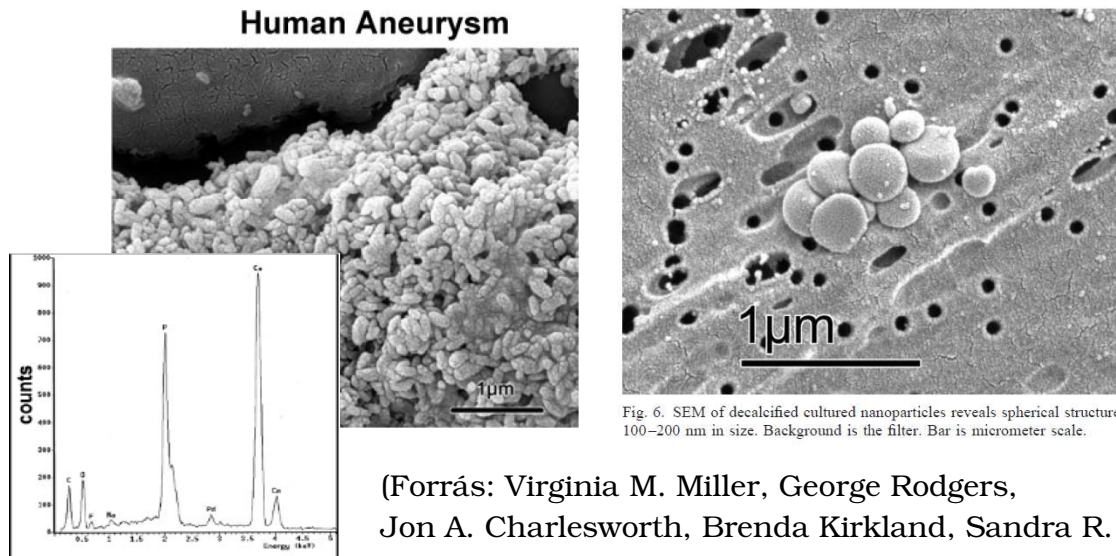


Fig. 6. SEM of decalcified cultured nanoparticles reveals spherical structures 100–200 nm in size. Background is the filter. Bar is micrometer scale.

(Forrás: Virginia M. Miller, George Rodgers, Jon A. Charlesworth, Brenda Kirkland, Sandra R. Severson, Todd E. Rasmussen, Marineh Yagubyan,

Jeri C. Rodgers, Franklin R. Cockerill, III, Robert L. Folk, Ewa Rzewuska-Lech, Vivek Kumar, Gerard Farrell-Baril, John C. Lieske: Evidence of nanobacterial-like structures in calcified human arteries and cardiac valves, *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 287: H1115–H1124, 2004. május 13, 10.1152/ajpheart.00075.2004.,
<http://ajpheart.physiology.org/content/287/3/H1115>,
<http://ajpheart.physiology.org/content/ajpheart/287/3/H1115.full.pdf>)

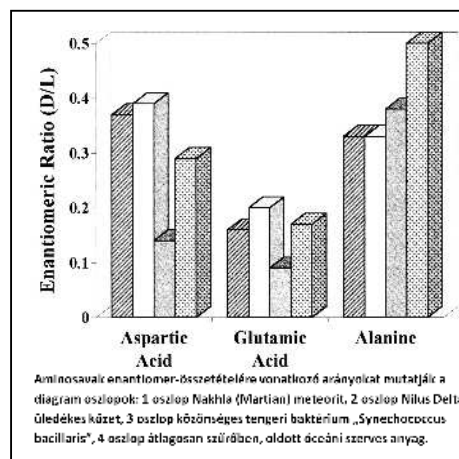
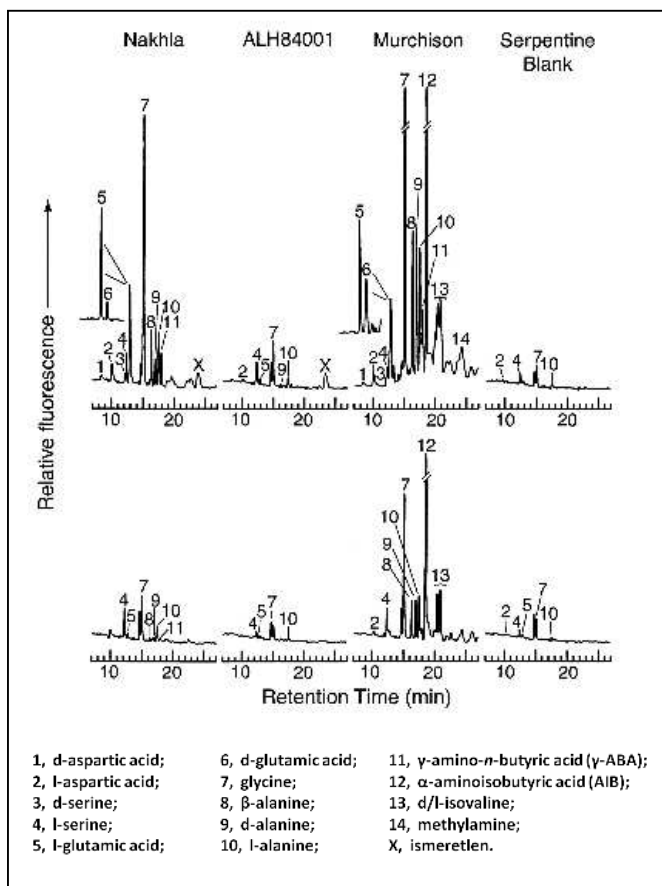
A SEM (Scanning Electron Microscope) pásztázó elektronmikroszkóp felvételen artériák meszes aneurizmájában (ér „zsákszerű” kiboltosulása) észleltek részecskéket. A második SEM képen szűrő felületén mésztelenített gömb alakú 100-200 nm-es nanorészecskék láthatók.

A kutatók beteg („elmeszesedett”) artériákból és szívekből izoláltak nanobaktériumokat, melyeket elektronmikroszkóppal vizsgáltak, és beszámolójuk szerint 30-100 nanométer átmérőjű gömböcskéket fedeztek fel, amelyek sejtfallal is rendelkeztek.

A szöveteket összetörték, és a megszárt anyagot steril táptalajra vitték, ahol a nanobaktériumok szaporodtak, sőt a DNS-festésre is pozitívan reagáltak, illetve olyan anyagot kötöttek meg, amely az RNS egyik fontos kémiai komponense. Lieske és munkatársai ezek alapján azt állították, hogy a nanobaktériumok folyamatosan szintetizálnak nukleinsavakat.

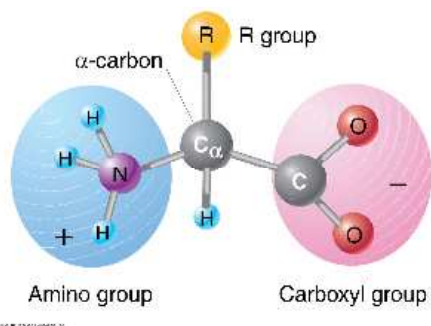
Ezután a publikáció után újra fellángolt a vita a nanobaktériumok körül. Most már nemcsak az volt a kérdés, vajon élőlények ezek a részecskék, hanem az is, hogy valóban kórokozók-e.

Az ALH 84001 meteoritban alacsony aminosav tartalmat mutattak ki a mérések a szintén marsi Nakhla és a szenes kondritos Murchison meteorithoz képest.



(forrás: Daniel P. Glavin, Jeffrey L. Bada, Karen L. F. Brinton, Gene D. McDonald: Amino acids in the Martian meteorite Nakhla, PNAS, 1999 augusztus 03., vol. 96 no. 16, 8835–8838, <http://www.pnas.org/content/96/16/8835.full>)

A balkezesség túlsúlya bár megnehezíti a földönkívüli élet kutatását naprendszerünkben, ugyanakkor valószínűbbé teszi magát a létét.



„Ha sikerül életre bukkanunk a Naprendszer valamelyik másik zugában, akkor az nagy valószínűséggel mikroszkopikus méretű lesz, mivel csak a mikrobák képesek a szélsőséges közegekben megélni” – mondta Jason Dworkin (NASA Goddard Space Flight Center). „Ha a vizsgálatok során jobbkezes aminosavakra bukkanunk, akkor egyértelmű, hogy az élet nem földi eredetű.”

(forrás: <https://astrobiology.nasa.gov/?page=3>)

„Mindazonáltal a balkezesség túlsúlya már a világűrben jelentkezik, ami valószínűleg az egész Naprendszerre kiterjed, így bármely élet, amire esetleg rátalálhatunk például a Marson, az szinte biztos, hogy balkezesség lesz.”

McKay és munkatársai 2010-ben újabb eredményekkel álltak elő. „Nagyon közel állunk annak végső bizonyításához, hogy élet van, illetve volt a Marson” - mondta David S. McKay (NASA JSC), a marsi eredetű meteoritok egyik szakértője, aki bejelentette, hogy az életnyomokat hordozó meteoritok száma háromra emelkedett a Yamato 000593-al a Nakhla az ALH 84001 után, és a modern műszerek révén a megfigyelések pontossága is javult.



(forrás: <http://www.b14643.de/SNC-Meteorites/> és <http://www.b14643.de/SNC-Meteorites/Yamato-000593.JPG>)

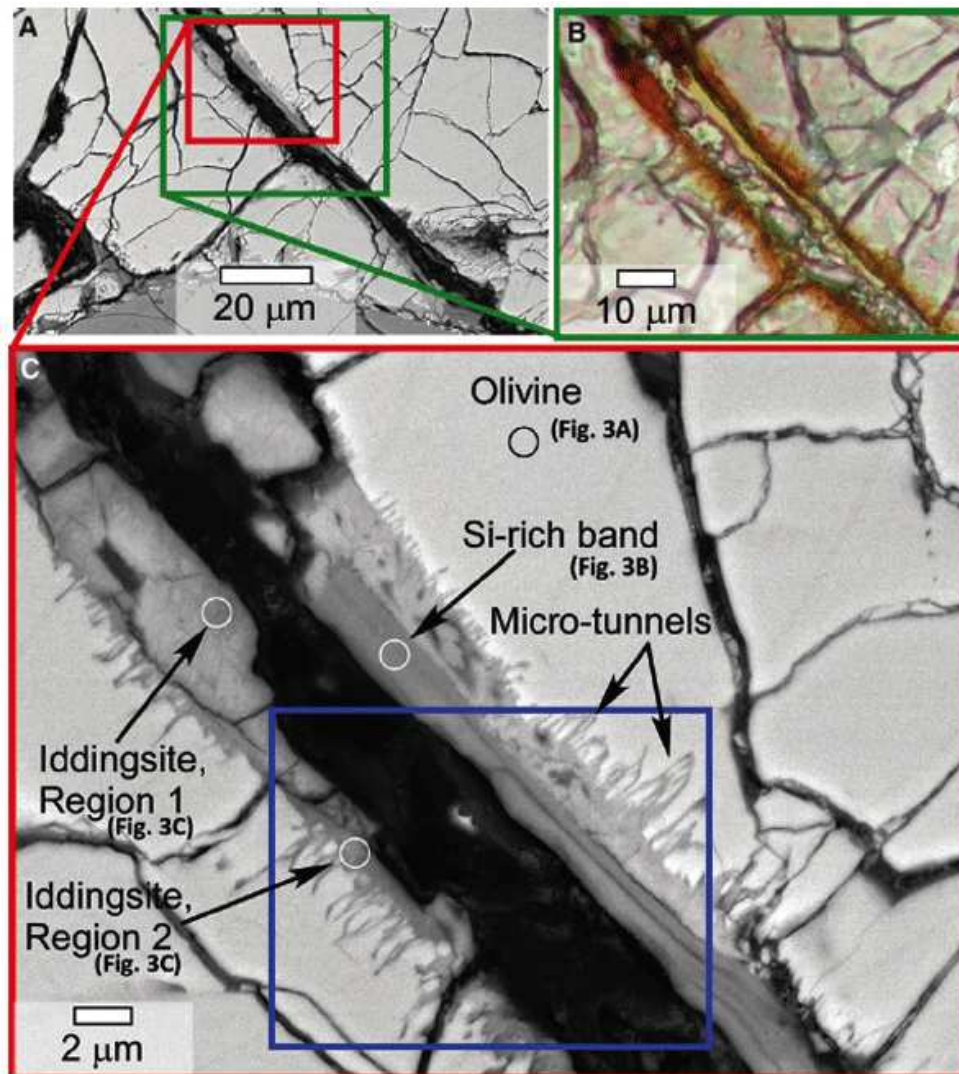
Az elemzések eredményei szerint a vizsgált Y000593 jelű kőzet 1,3 milliárd évvel ezelőtt alakult ki egy marsi lávafolyamból. Körülbelül 12 millió évvel ezelőtt, egy becsapódás hatására lökődött ki a meteorit a vörös bolygó felszínéről, majd hosszas utazás után, körülbelül 50.000 évvel ezelőtt pottyant le a Földre, az Antarktiszon. 2000-ben bukkant rá a Japán Sarkkutató Expedíció a Yamato-gleccseren.

A meteorit egy nakhlit. Ennek a csoportnak a tagjai főleg monoklin piroxénből álló kumulátos kőzetek. A marsi meteoritok anyaga az oxigénatomok összetételéből jól elkülöníthető más meteoritok, valamint a Föld és a Hold anyagaitól.

Új elektronmikroszkópos és ion-mikroszondás módszerekkel a korábbiaknál részletesebben tudták a mintákat elemezni.

A kutatók egy része szerint az egykori marsi élet felfedezésének küszöbén állunk - mások továbbra is kételkednek, és keveslik a bizonyítékokat.

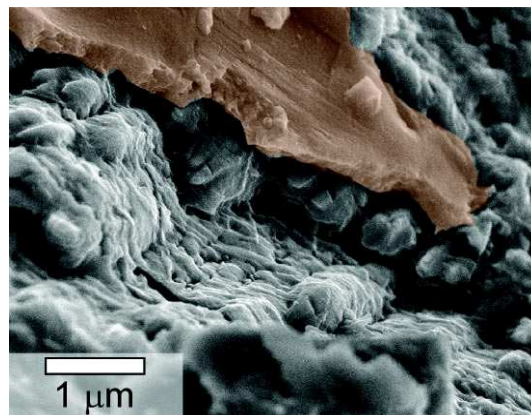
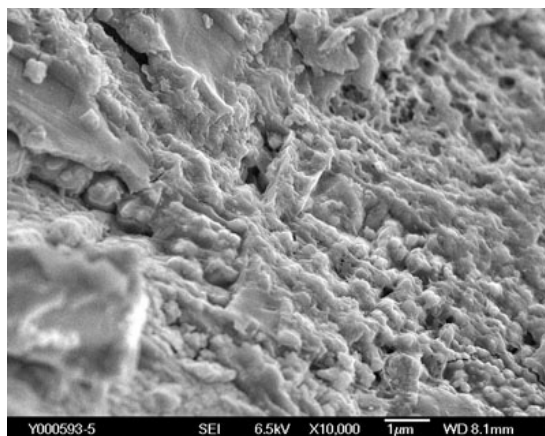
A mindhárom meteoritban azonosított ásványi bevonatok és a mikrofossziliákra emlékeztető alakzatok erősítik az 1996-ban még egyetlen meteorit alapján felállított elméletet. Amennyiben valóban élettevékenység nyomait látjuk, akkor a Marson 3,6 és 1,4 milliárd évvel ezelőtt mindvégig lehetett élet - sőt, akár ma is előfordulhat, azonban még mindig nem lehet biztosan kijelenteni.



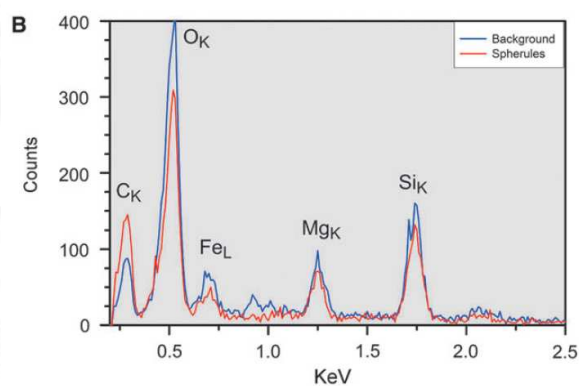
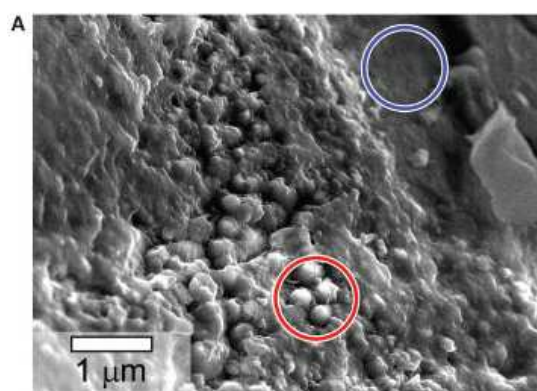
(forrás: Lauren M. White, Everett K. Gibson, Kathie L. Thomas-Keprta, Simon J. Clemett, David S. McKay: Putative Indigenous Carbon-Bearing Alteration Features in Martian Meteorite Yamato 000593, *Astrobiology* Volume 14, Number 2: 170-181; 2014., DOI: 10.1089/ast.2011.0733, <http://prehistoria.foroactivos.net/t901-el-meteorito-yamato-000593-muestra-indicios-de-que-en-marte-pudo-haber-existido-actividad-biotica>)

A kutatók két Marsról származó agyagra utaló jelsorozatot azonosítottak. Az egyik ilyen, a meteoritot átszövő csatorna és mikrocsonna szerkezet. Az észlelt mikrocsonnák tekervényes, hullám alakzatot mutatnak, amik megegyeznek a földi bazaltos üvegeknél megfigyelt, biológiai folyamatok által megváltoztatott sémákkal.

Emellett nano- és mikrométeres gömbökre is bukkantak, melyek a kőzet rétegei közé préselődtek és elkülönülnek a karbonáttól, valamint az alapul szolgáló szilikát rétegtől. Hasonló gömbalakú jegyeket észleltek korábban az 1911-ben, Egyiptomban földet ért Nakhla Mars-meteoritnál.



This SEM image shows spherulitic features encased in both an upper, false-colored orange, and lower layer of iddingsite.

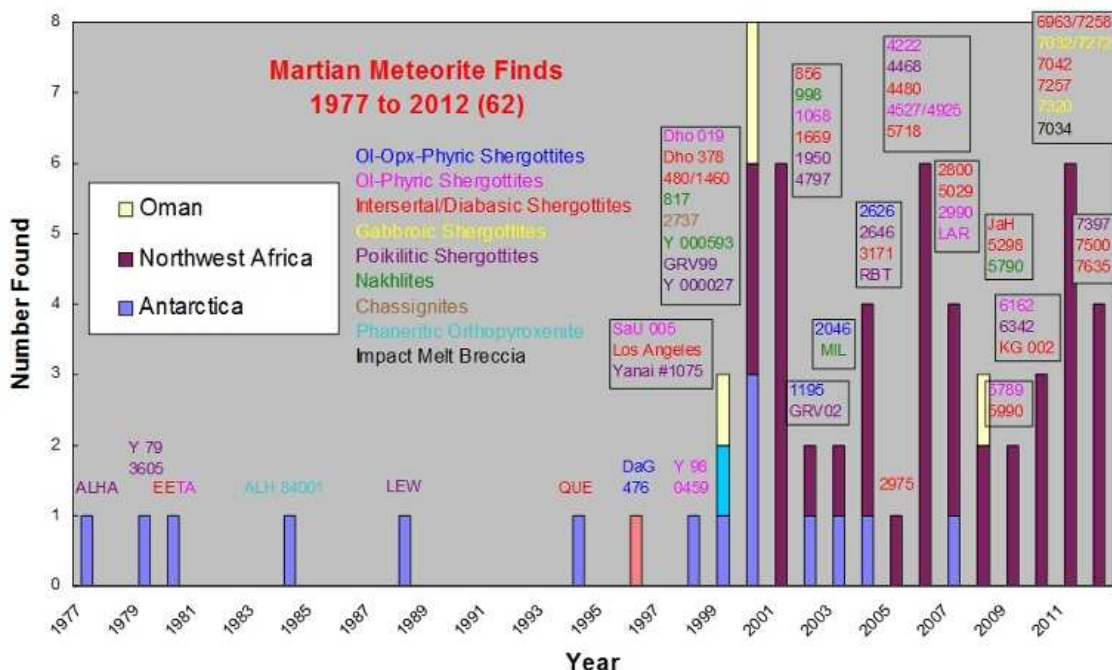


(forrás: NASA/Lauren Spencer 2008., és White et al. 2014, SEM képek, http://en.wikipedia.org/wiki/File:407319main_jsc2009e243553.jpg és Yamato-000593: Meteorite Provides More Evidence that Water Once Flowed on Mars, Sci-News.com, 2014. március 03., <http://www.sci-news.com/space/science-yamato000593-meteorite-water-mars-01789.html>)

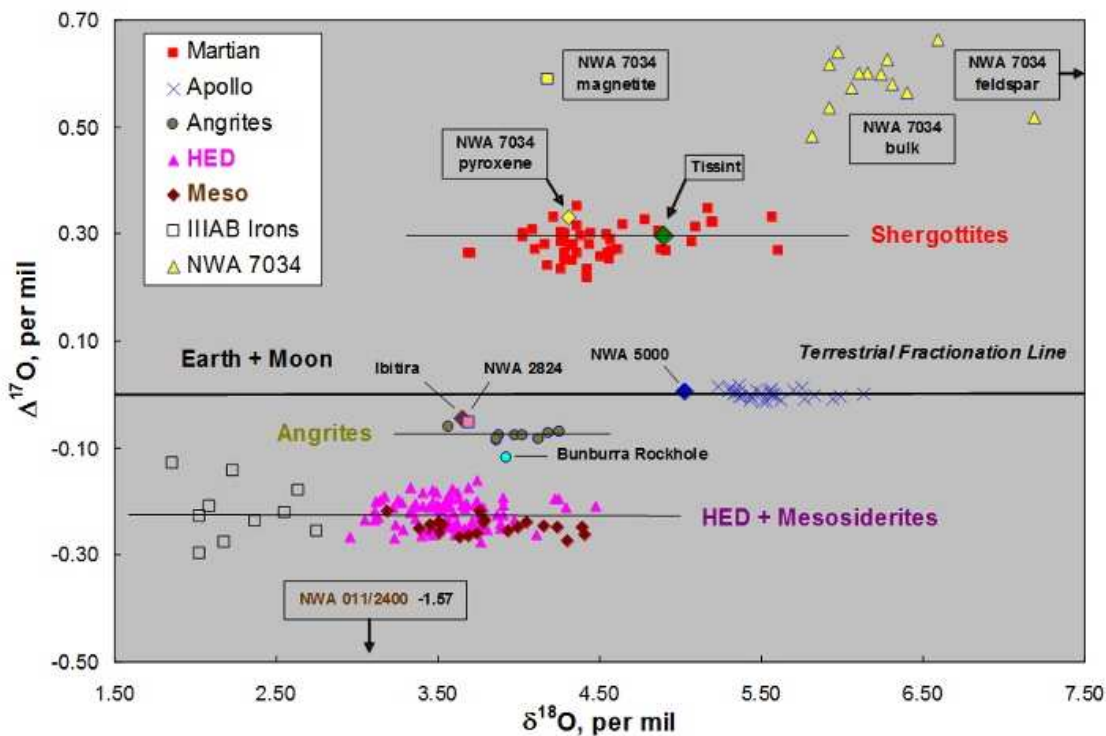
Az elektronmikroszkóp (SEM) képen a Yamato 000593 meteoritban talált alakzatok hasonlóak az ALH 84001 meteoritban vizsgált morfológiához. Elektronmikroszkópos felvételen a gömbök. A pirossal bekarikázott terület kétszer annyi szenet tartalmaz, mint a gömbök nélküli, kék karikával ellátott terület

Mindhárom meteoritban azonosítottak iddingsitet, (egy vas- és magnéziumtartalmú szilikátásványt, $\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), amely a bazaltokban (magmás kőzet) gyakori olivin ásvány vizes közegben keletkező mállásterméke. Két rétege látható a SEM hamisszín képen.

Az iddingsitet ásvány a vele azonos korú karbonátokkal együtt arra utal, hogy felszín alatti, vízzel átjárt közegben jött létre - amely ideális helyszín a mikrobák számára. Becslések alapján egykor kilométeres mélységben lehetett a kőzet, amely aztán kirobbant a Mars felszínéről - és végül egy része meteoritok formájában a Földre hullott.



Statistics of unpaired Martian meteorite finds (numbers are NWA names; Unn = unnamed)



Oxygen isotopic compositions of planetary achondrites (all data by laser fusion, except for IIIAB irons)

(forrás: Martian Meteorites, www.imca.cc/mars/martian-meteorites.htm)

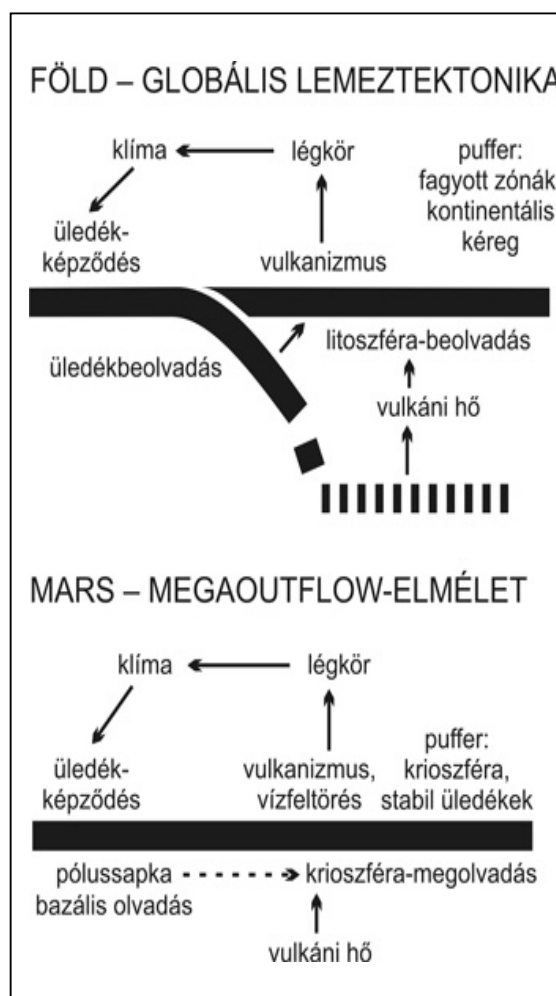
David McKay a „Lunar and Planetary Science” konferencián 1999.március 19-én Houstonban bejelentette, hogy a kőzettani bizonyítékok is több milliárd évvel ezelőtre helyezik vissza egy mainál sokkal melegebb és vizesebb marsi környezet létezését. A kutatók szerint az élet körülbelül 4 milliárd évvel ezelőtől egészen a geológiai közelmúltig, vagyis legalább 175 millió évvel ezelőttig létezhetett a vörös bolygón.

A Science magazin 2001. február 23-ai számában „Chemical Analysis of Six Martian Meteorites Indicates That Water was Once Abundant On Mars” címmel a The Field Museum (Chicago) kutatói arról számoltak be, hogy hat darab marsi eredetű meteorit (koruk mintegy 180-474 millió év) kémiai analizisét végezték el, hogy egyes alkotórészeik oxidációs fokát megállapítsák.

Az eredmények azt mutatják, hogy a Mars felszínén vagy legalábbis a felszín közelében még ebben az időszakban is bőségesen állt rendelkezésre víz mint az oxidációs folyamatok lehetséges forrása.

A víz szerepe azért is látszik egyértelműnek, mert a vizsgálatok során kiderült: a kőzetek erős oxidáltsága csak a kőzetburok felső részére jellemző (ez egyúttal azt is jelenti, hogy a Marson nem zajlottak olyan globális „átkeverő” lemeztektonikai folyamatok, amelyek az oxidált ásványokat a köpenybe szállították volna, ahogyan az a Földön lejátszódik).

(forrás: Kereszturi Ákos:
Planetológia,
Fejezetek a Mars
fejlődéstörténetéből,
Magyar Tudomány, 2006/8 946.,
ELTE TTK Természetföldrajzi
Tanszék, Collegium Budapest,
Magyar Csillagászati Egyesület,
www.matud.iif.hu/06aug/05.html)

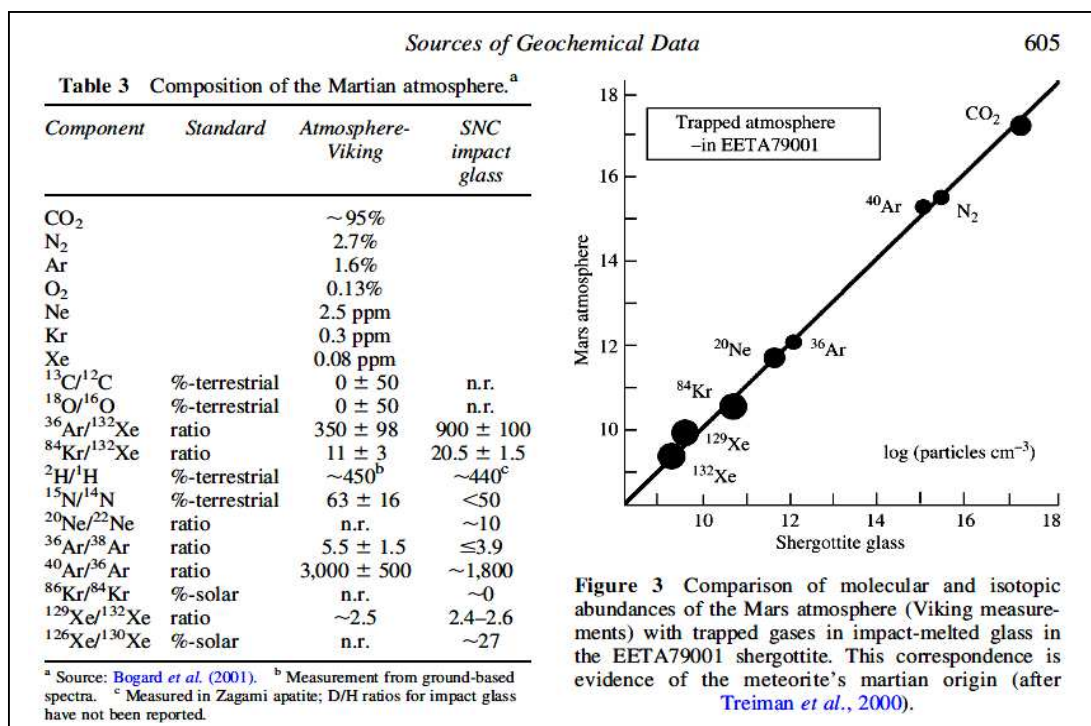


A Mars felszínformáinak korát a rajtuk található különböző méretű kráterek száma alapján becsülik meg, minél idősebb a felszínforma, annál több a nagyobb kráter rajta. Ez csak relatív korbecslésre ad lehetőséget, amiből különböző modellek alapján lehet a megfelelő abszolút kort közelítőleg megadni. Jelenleg a leginkább elfogadott értékek alapján a bolygó fejlődését három nagy időszakra osztják: Noachiszi (4,5-3,5 milliárd éve), Heszperida (3,5-1,8 milliárd éve) és Amazóniai (1,8 milliárd évvel ezelőttől napjainkig).

Különböző nyomok alapján a bolygó kezdeti időszakában sok helyen volt folyékony víz a felszínen (Solomon et al., 2005). Az idős magmás kőzetek itt agyagos ásványokká mállottak (Poulet et al., 2005), emellett sok kis vízfolyás keletkezett. Ez utóbbiak általában 1 km-nél keskenyebbek, hosszuk néhol 10, alkalmanként a 100 km-t is eléri, elszórtan kisebb csoportokat alkotnak, amelyek nem állnak össze kiterjedt vízhálózatá. Ezek a hálózatos csatornák a déli felföldek területén vannak, 95 %-uk Noachiszi korú. Kialakulásukhoz feltehetőleg meleg éghajlat kellett, utóbbihoz pedig erős napsugárzás – azonban a kezdetekben a Nap energia-kibocsátása a mainál kb. 30 %-kal kisebb volt. A kérdés egyelőre nem megoldott. Egy újabb elgondolás szerint már kezdetekben sem volt kifejezetten meleg a Marson, de egy-egy nagyobb becsapódás nyomán visszahullott forró kőzettörmelék kisebb területen megolvashatta a jeget, létrehozva az elszórt vízhálózatokat.

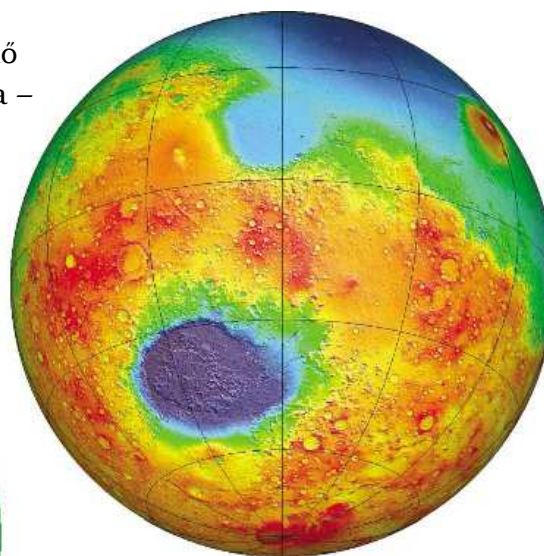
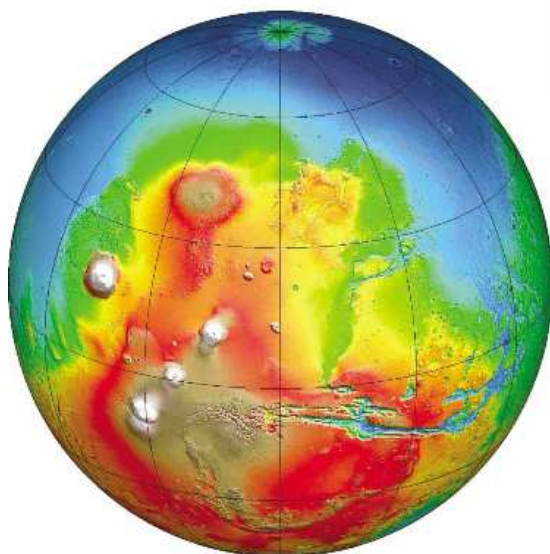
A vízfolyásnyomok, a légköri izotóparányok, a marsi eredetű meteoritokban lévő, vízben keletkezett karbonátok, a magma víztartalmára vonatkozó ásványtani becslések és a bolygó kigázosodásával kapcsolatos számítások arra utalnak, hogy a kezdeti vízkészlet egyenletesen elosztva nagyságrendileg legalább 100 méter vastag vízréteget alkotna a bolygón. Ha ennek jelentős része folyékony állapotban volt a felszínen, akkor az az északi síkságok területén halmozódott fel, és kiterjedt állóvizet alkotott, amelyet hipotetikus óceánnak neveznek (teljes térfogata 107–108 km³ lehetett).

A bolygó fejlődését tömege határozta meg, amely a Földénél közel tízszer kisebb volt. Emiatt adott tömegre a földinél nagyobb felület jutott, ezért a Mars a mi bolygónknál gyorsabban hűlt. A globális lemeztektonika korán megszűnt, és csökkent a vulkánok által a légkörbe bocsátott üvegházgázok mennyisége. A lemezek mozgása hiányában pedig a felszínen kivált anyagok (például ásványokba épült víz és szén-dioxid) nem jutottak a felszín alá, ahol beolvadhattak volna. A hűló magban leállt a globális mágneses teret generáló dinamo-hatás, ennek hiányában pedig a Napunkból kiáramló részecskék együttese, a napszél szabadon erodálta, fújta el a légkört, eredményként csökkent a felszín felé áramló hő és a légkör mennyisége, ezzel együtt pedig az üvegházhatás intenzitása. A földinél gyengébb gravitációs tér miatt ugyanakkora becsapódások a Mars légkörének sokkal nagyobb részét fújták el, mint a Föld esetében. Mindezek együttes hatására hosszú globális hűlés indult meg a bolygón (Kereszturi Á.: Fejezetek a Mars fejlődéstörténetéből).



(forrás: H. Y. McSween, Jr.: Mars, University of Tennessee, Knoxville, TN, USA, http://eps.mcgill.ca/~courses/c666/Module_3/22%20Mars.pdf)

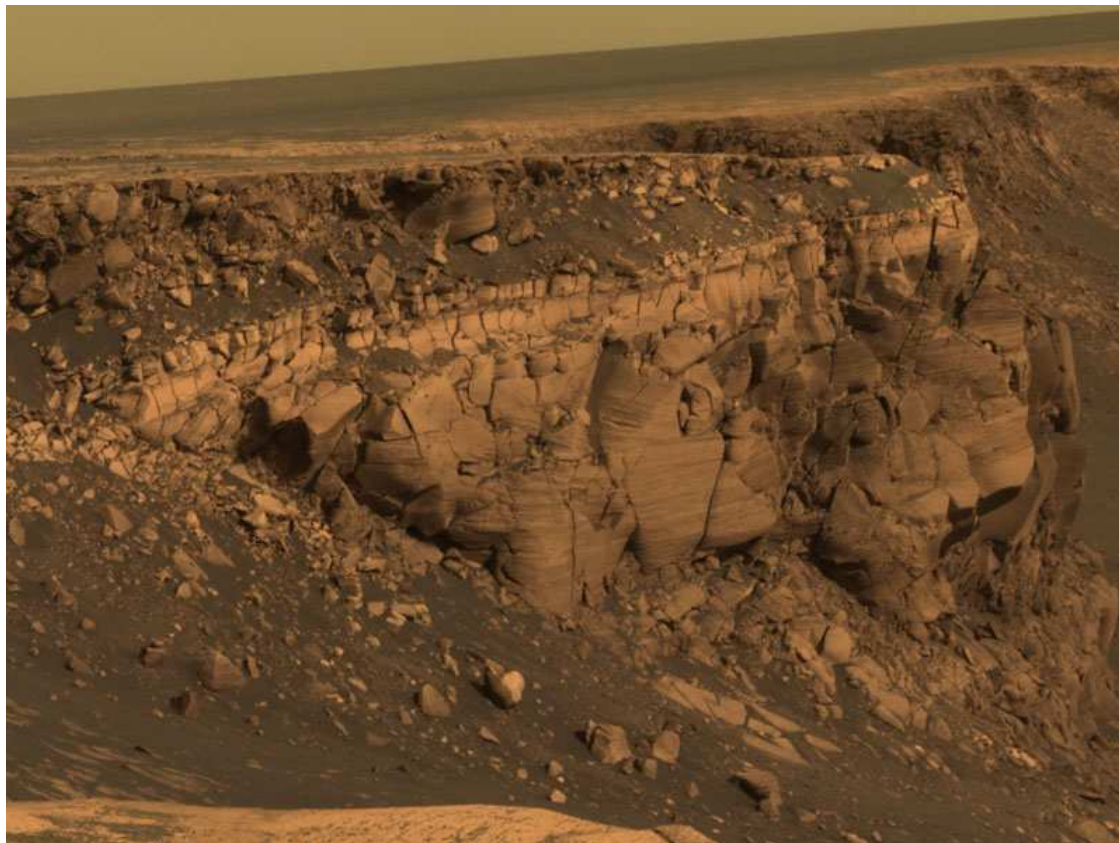
1997-ben állt Mars körüli pályára az amerikai Mars Global Surveyor űrszonda (MGS). Műszerei között található egy letapogató elven működő optikai kamera (Mars Orbiter Camera – MOC) és egy lézeres magasságmérő berendezés (Mars Orbiter Laser Altimeter – MOLA) is.



(forrás: photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA02820)

Mars topográfiai a MOLA adatok alapján (2001. 01. 17., NASA/JPL)

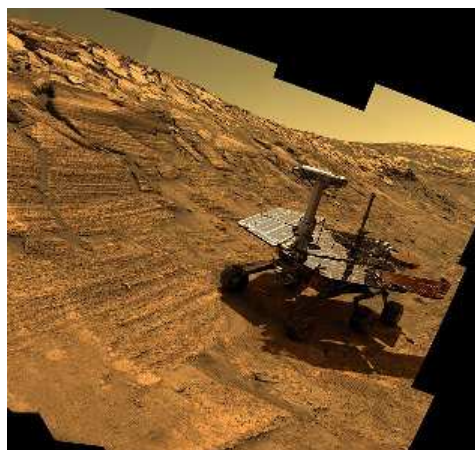
Az Opportunity MER-B (Mars Exploration Rover – B) a Meridiani-síkságon elindulva elsőként a kisebb Endurance-krátert látogatta meg, majd az Erebus-kráter mellett haladt el, és 2006 szeptemberében megérkezett a 800 méter átmérőjű Viktória-kráterhez közel egyéves utazással.



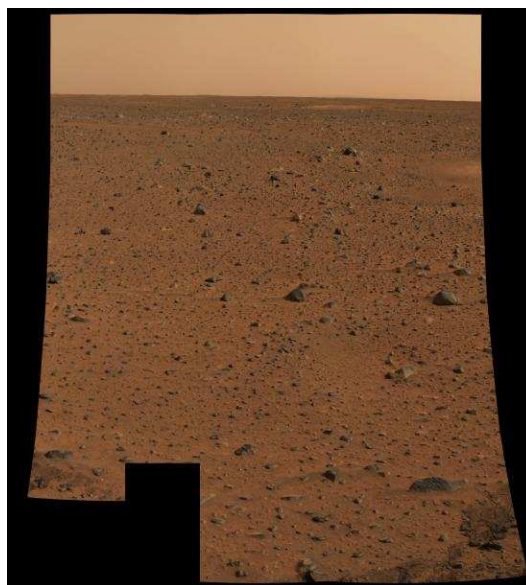
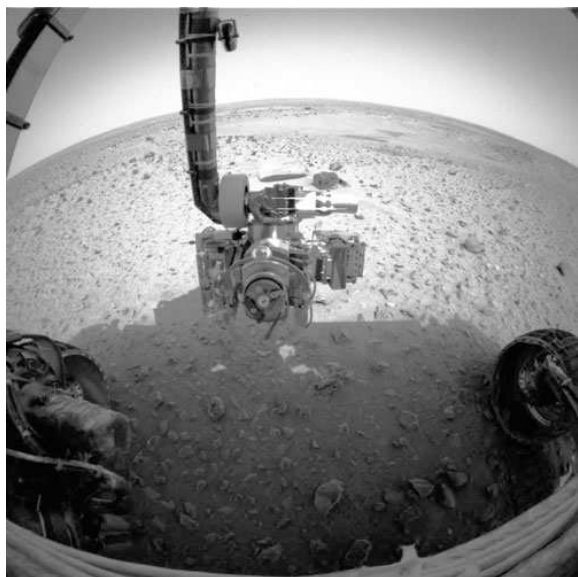
A felvétel a kráter egyik belső, meredek falszakaszáról készült, amelyen jól látható, hogy azt sűrűn rétegzett kőzetek alkotják. A legvilágosabb, legmarkánsabb réteg lehetett a kráter keletkezése előtti eredeti felszín. Ennek tetején változatos alakú, közel méteres szikladarabok találhatók - a becsapódás által kidobott, majd visszahullott törmelék anyaga.

(forrás: <http://apod.nasa.gov/apod/ap070703.html>, Mars Exploration Rover Mission, Cornell, JPL, NASA, és <http://marsrover.nasa.gov/gallery/specialEffects/opportunity/index.html>)

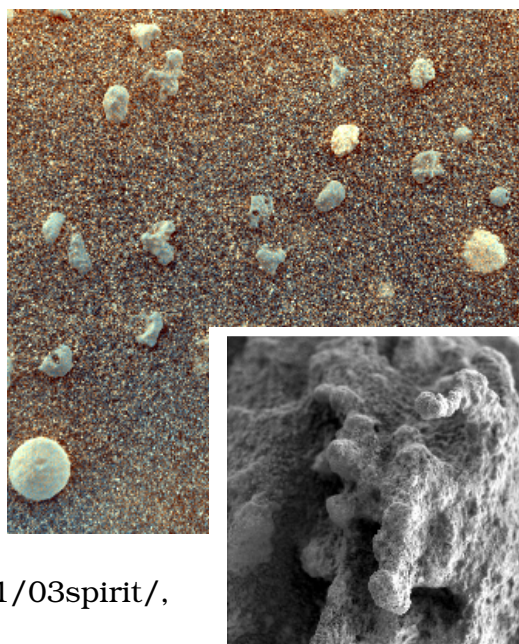
Victoria kráter falán kibukkanó üledékes kőzetrétegek (2007 július 3.), és egy szimulált kép az Opportunity MER-B a kráterben.



Az Opportunity ikertestvére a Spirit 2004. január 15-én Mars túloldalán érkezett a felszínre, a Guszev-kráter belsejébe. Négy műszerrel felszerelt, emberi kéz hosszúságú, manipulátorával mmásnap megkezdte a Mars talajának tudományos vizsgálatát. Mikroszkópos képalkotó berendezés segítségével részletes közelképeket készített, a marsi kőzetekről, a talaj összetételéről. A műszer emberi hajszál vastagságú részleteket képes vizsgálni. Ez volt az első alkalom, hogy egy ember készítette szerkezet egy másik égitesten mikroszkópos vizsgálatokat végzett.

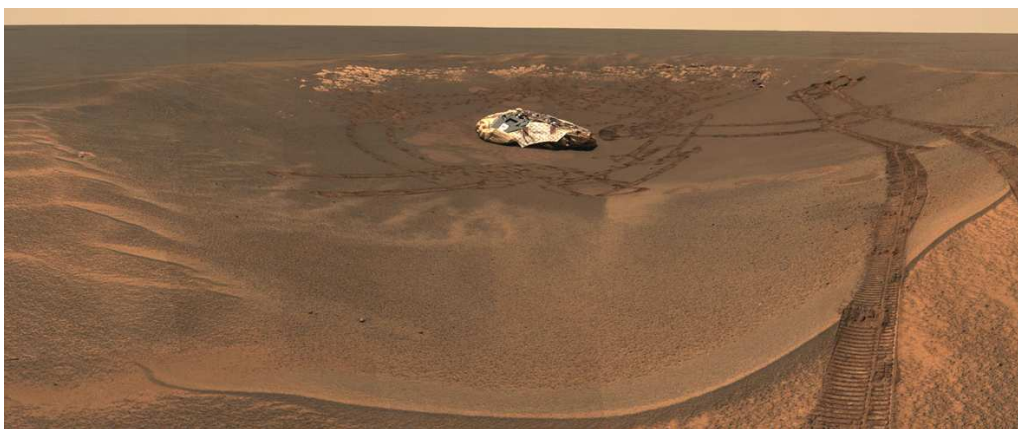


(forrás: NASA/JPL/Cornell,
<http://marsrovers.jpl.nasa.gov/newsroom/pressreleases/20040116a.html>, és
 NASA/JPL-Caltech/Cornell/USGS,
 PIA04995: First Color Image from Spirit, 2004-01-06,
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA04995>, és
 NASA Goddard Space Flight Center,
http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/mars/mars_exploration_rovers/merb_images.html, és
 NASA/JPL-Caltech/Cornell/USGS,
<http://spaceflightnow.com/news/n1401/03spirit/>,
 2004. június 18.)



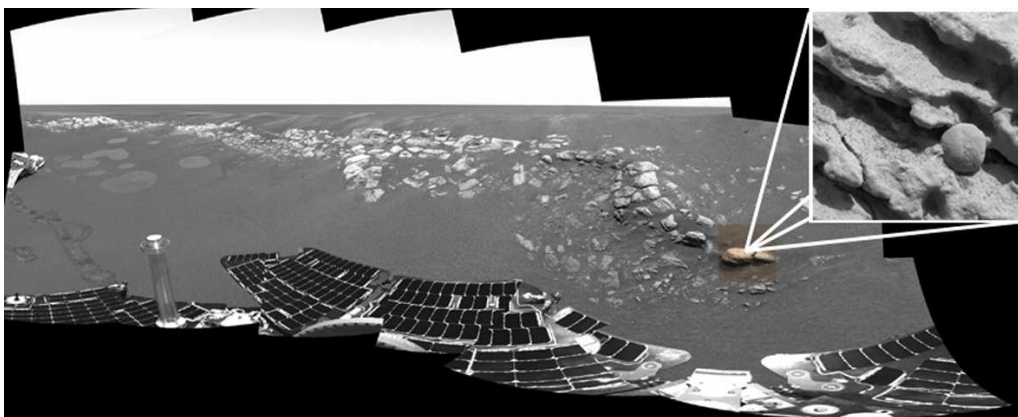
A Mars Exploration Rover Spirit első színes felvétele, a legnagyobb felbontású kép, és az első mikroszkóp felvétele, amely valaha egy másik bolygó felszínén készült.

A leszállóegységek elsődleges – s szinte kizárólagos – feladata az volt, hogy folyékony halmazállapotú víz múltbeli jelenlétére utaló ásványi, kémiai valamint geomorfológiai nyomok után kutassanak a Mars felszínén, közvetlen bizonyítékokkal támasztva alá a bolygó fejlődésének ősi, nedves korszakát feltételező elméleteket. Ezen kívül meteorológiai mérések, a légkörben található por illetve a felszíni anyagok tulajdonságainak vizsgálata szerepelt még a küldetés tudományos programjában.

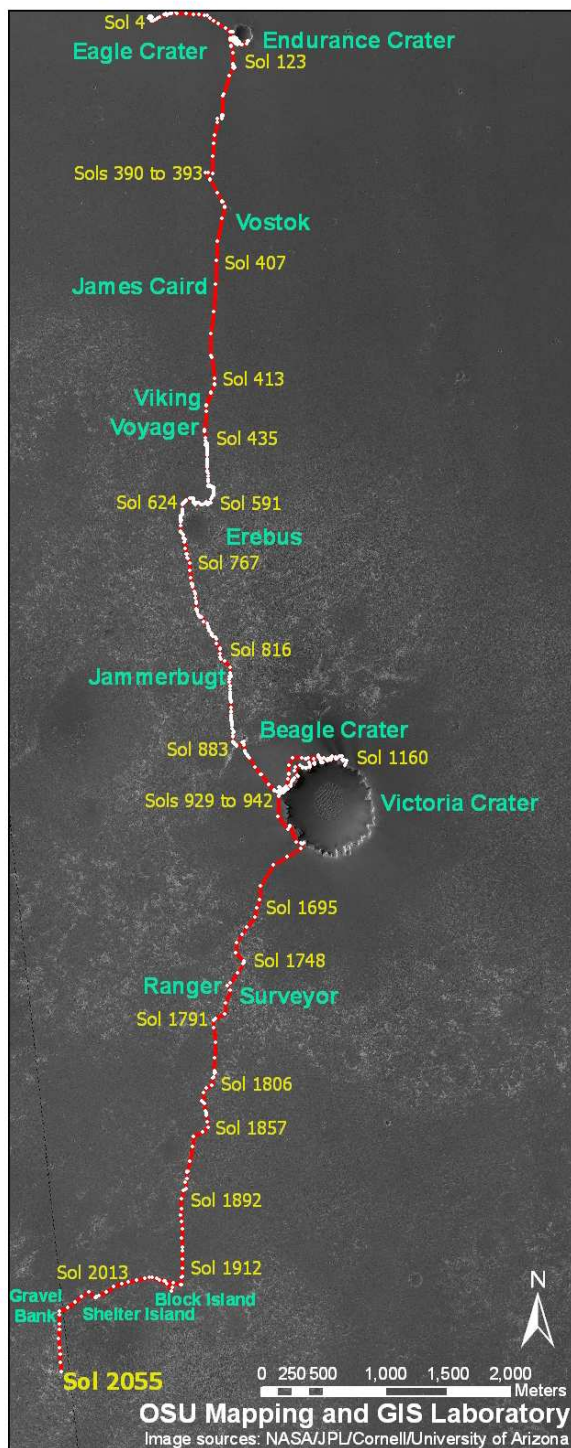


Az Opportunity magára hagyott leszállóegysége a Eagle (Sas)-kráterben.

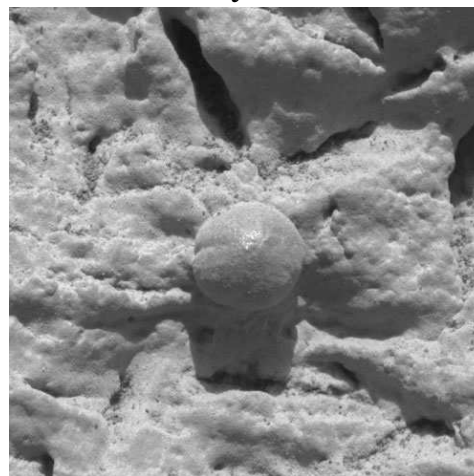
A terület anyagának spektrométeres mérései megerősítik a Mars Global Surveyor által korábban felfedezett, nagy mennyiségben előforduló hematit jelenlétét a térségben, amely vas-oxid képződése földi ismereteink szerint nedves környezetben zajlik. Az éppen ezért leszállóhelynek választott területen emellett vulkáni eredetű olivin és bazaltos kőzetanyag is található. A síkságot szőnyegszerűen beborító törmelékanyagról mikroszkóp-kamerával készített felvételeken a szemcsék között nagyobb, milliméteres átmérőjű gömbszerű alakzatok, szferulák is megfigyelhetők.



A Eagle (Sas)-kráterben található kőzetkibukkanás Stone Mountain elnevezésű részletéről készült mikroszkóp-felvételen kőzetrétegekbe ágyazódott áfonyabogyók láthatók.



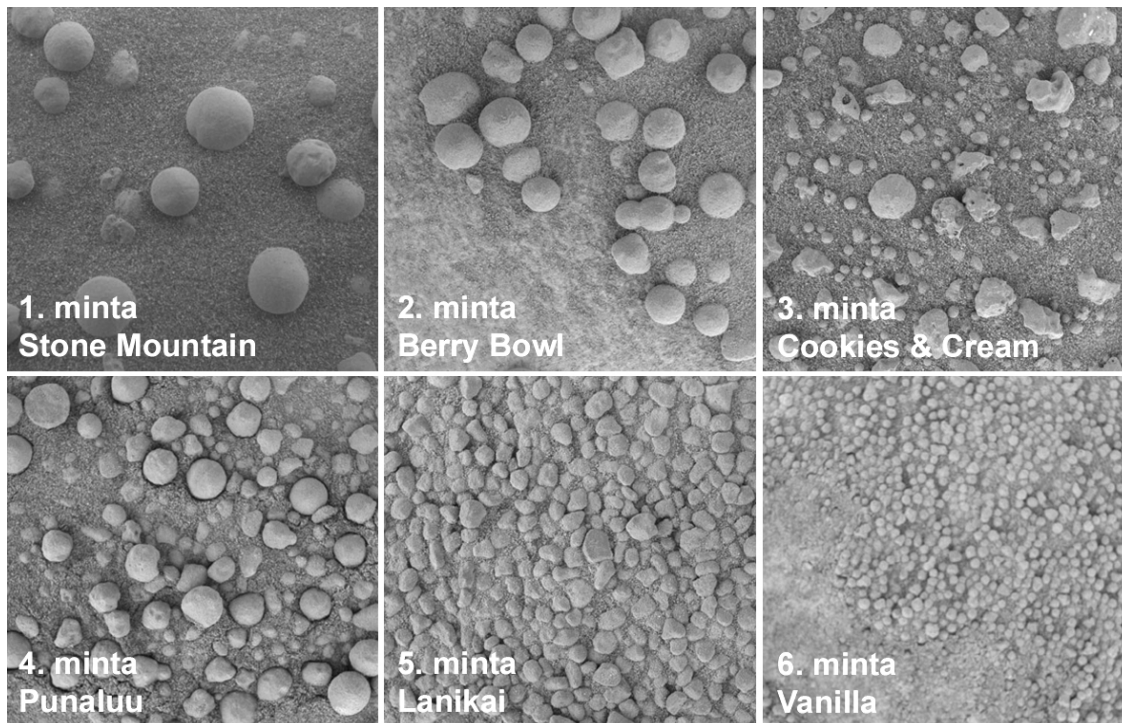
Az Opportunity eddigi elemzései alapján általánosan elmondható, hogy a Meridiani-síkságot sötétebb árnyalatú, 10-50 cm vastagság törmelékanyag borítja. Ez alatt világosabb szulfátos üledékek vízszintes rétegei következnek. Utóbbiakban apró gömbök formájában sok hematitszemcse található, amelyek az őket beágyazó szulfátos kőzet bomlásával kerülnek a felszínre. A hematitből álló golyók ellenállóak, lassabban pusztulnak például, mint a területen szintén előforduló bazaltos szemcsék. A szulfátos üledék egykori vizes közeggel kapcsolatban keletkezhetett, de utóbbi jellemzői közelebbről még nem ismertek. Feltehetőleg régen a felszínen is lehetett víz, de még valószínűbb, hogy a felszín alatti repedésekben (is) áramlott folyadék.



Mars Exploration Rover V (Opportunity) útvonal térképe 2004-2009 között (PD-NASA) és Meridiani Planum „El Capitan” szikla részlet mikroszkóp kép.

(forrás: http://marsrover.nasa.gov/mission/tm-opportunity/images/MERB_Sol2055_1.jpg, http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_rocks_on_Mars, NASA/JPL/US Geological Survey http://mars.jpl.nasa.gov/mer/gallery/press/opportunity/20040302a/12-ss-12-striped-B038R1_br.jpg)

A rover útja során vizsgált különböző minták hasonló jellegű, ám méretükben és formájukban eltérő szferulákat tartalmaznak.

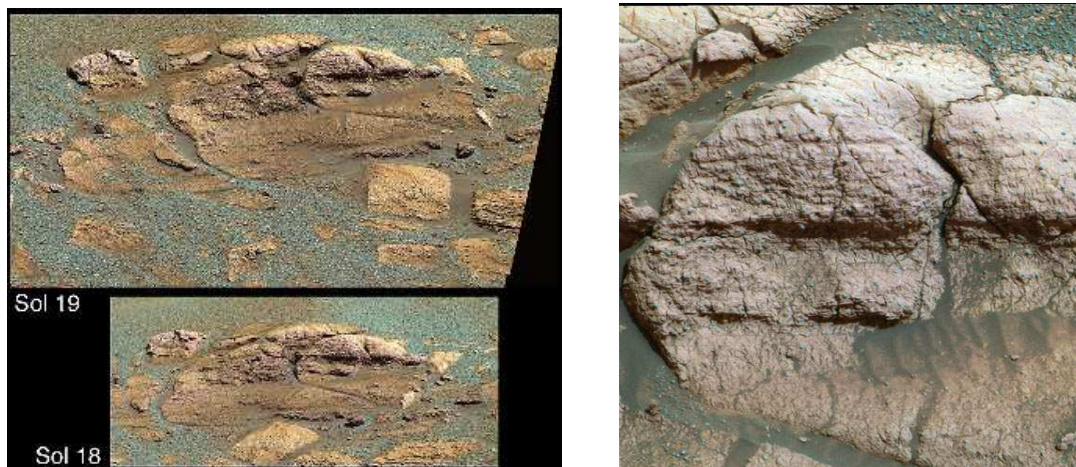


A kráteren kívül található szferulák –, részben az erősebb széltevékenység miatt –, kisebb szemcséjűek. Egyes helyeken éles vonal választja el a különböző felszín-részleteket, ahogy ez a 6. mintán megfigyelhető

A Eagle (Sas)-kráter belső falain, valamint a közelében található kisebb, később tanulmányozott Fram-kráter külső peremén előbukkanó világos alapkőzet milliméteres nagyságrendű rétegzettséget mutat, amely üledékes eredetre és vulkáni hamuból való lerakódásra egyaránt utalhat. A rétegek közé, valamint a kőzetek anyagába lazán beágyazódva szintén megfigyelhetők a lekerekített formájú, marsi „Blueberries” (áfonyabogyó) névre keresztelt szferulák.



(forrás: http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/mars/mars_exploration_rovers/merb_images.html) Réteges szerkezetű kőzetkibúvás.

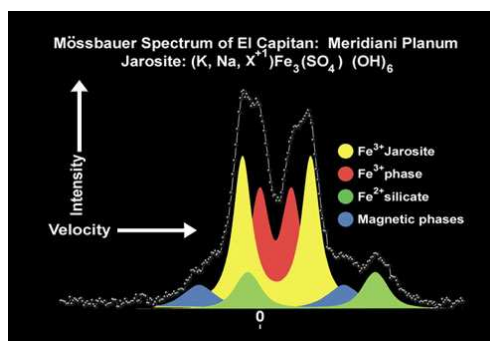


(forrás: NASA/JPL/Cornell, 2004-02-26, PD-USGOV-NASA, <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/pia05457> és www.spacetoday.org/SolSys/Mars/MarsThePlanet/MarsRockGallery.html)

Az Opportunity felvételén az „El Capitan” szikla (~10 cm magas) Margaritifer Sinus (MC-19) régióban a Meridiani Planum síkság Sas-kráterében.

Szabályos gömb alakjuk, valamint a spektrométeres mérésekkel kimutatott jelentős hematit-tartalmuk vulkáni vagy becsapódásos folyamatokkal egyaránt magyarázható. A kőzet-kibukkanás El Capitan elnevezésű kiszögellésének négy pontján végzett vizsgálatok azonban egy harmadik lehetőséget támasztanak alá.

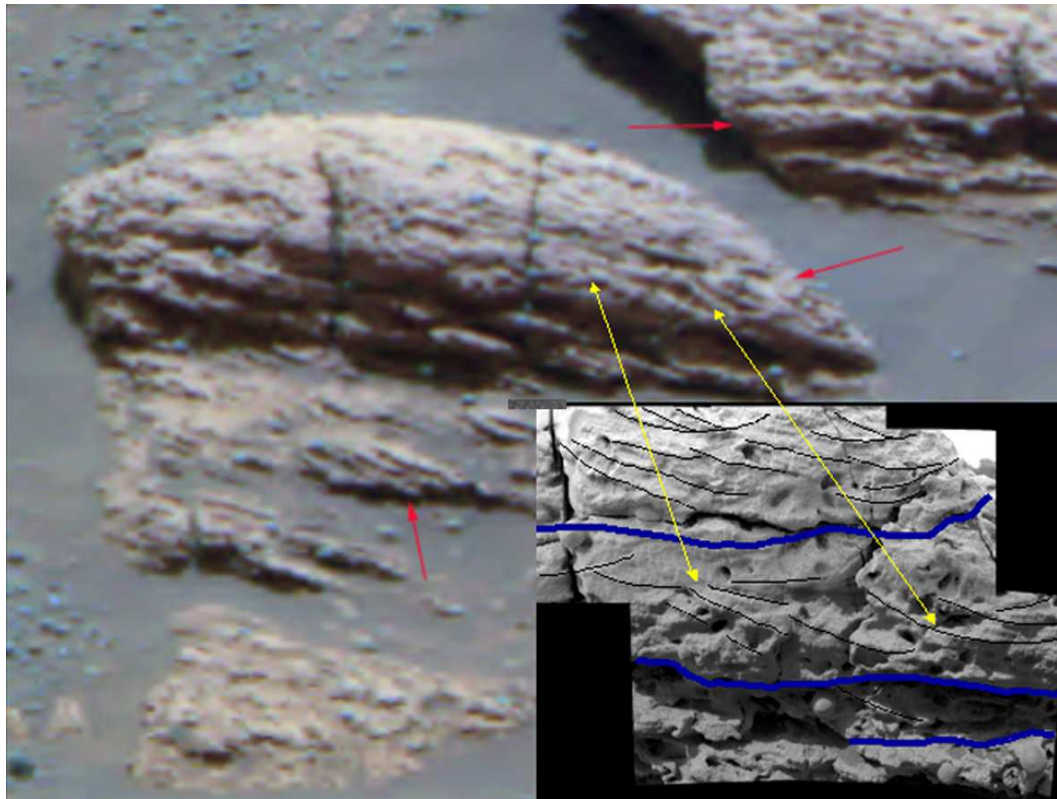
A kiszögellésen található McKittrick és Guadalupe minták kémiai elemzése jelentős mennyiségű szulfátos illetve halogenid tartalmú sókat (kloridot és bromidot) mutatott ki, amely összetétel a Földön sós víztestek bepárlódásakor keletkező sókőzetekre, másként evaporitokra emlékeztet.



(<http://mars.jpl.nasa.gov/mer/gallery/press/opportunity/20040302a.html>)

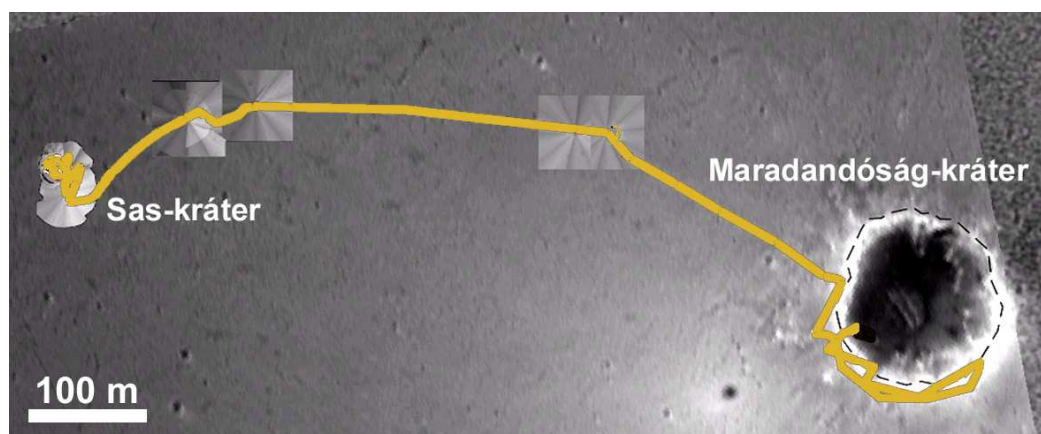
Az elemzés során hidratált vasásványokat, például jarozitot is felfedeztek, ez pedig általában szulfáttartalmú, enyhén savas talajvízből válik ki.

A víz múltbeli jelentőségét tovább erősítik az Opportunity mikroszkóp-kamerájával készült felvételek. A védtelen kőzetfelszíneken ugyanis a szélfúttá homok centiméteres nagyságú bemélyedéseket koptató eróziójának nyomai mellett szembetűnő, hullámos fodrok és apró, sávszerű vájatok is láthatók. A szakemberek elképzelése szerint az előbbi, kereszttrétegzésre emlékeztető alakzatokat sekély víztest lassú áramlása hozta létre, utóbbiak pedig a vízzel érintkező kőzetek felszínén zajlott oldási folyamatok termékei.

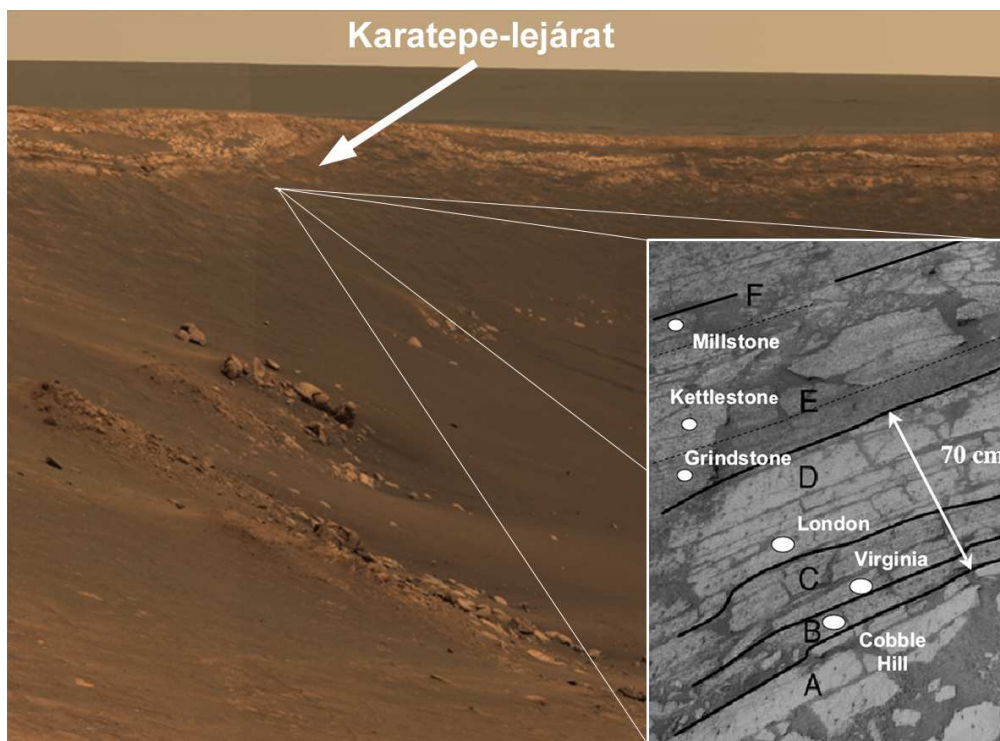


A Last Chance mintáról készített mikroszkópfelvételen hullámos futású sávok és réteges szerkezet azonosítható - ismereteink szerint hasonló formák a Földön lassan mozgó víztestben képződnek. Ilyen méretű keresztarétegzés kialakításához legalább öt centiméter mélységű vízborításra volt szükség.

Az Opportunity könnyebben haladt társánál, s a küldetés 95. napján elérte a 750 méteres távolságban található Endurance (Maradandóság)-kráter nyugati peremét.



Hosszas mérlegelés után a kráterfal Karatepe elnevezésű, kevésbé meredek részén irányították le a 130 méter átmérőjű mélyedésbe – kockáztatva, hogy soha többé nem jut ki onnan.



(forrás: Csengeri Timea, Sik András: Aki MER, az nyer – avagy két rover felfedezései a Marson, <http://www.omikk.bme.hu/archivum/pavlics/dokumentumok/pavlicstx261-01.htm>)

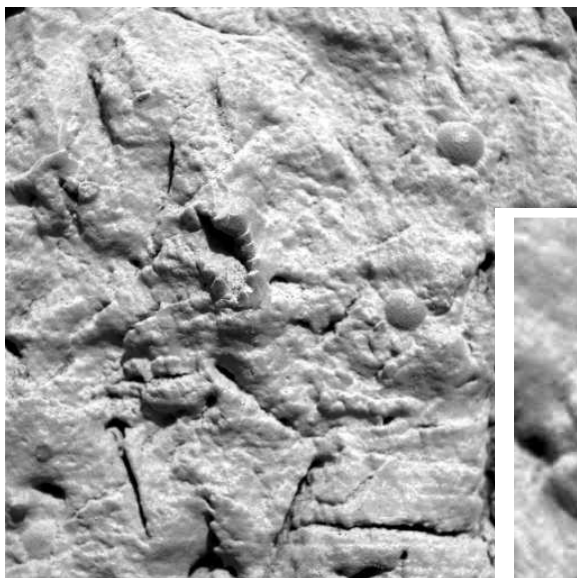
Eltérő tulajdonságú kőzetrétegek a Maradandóság-kráter alsó részén. Ez az alakzat ugyanis nagyobb mélysége miatt a Eagle (Sas)-kráterben vizsgált kőzeteknél idősebb rétegek tanulmányozását teszi lehetővé. A kráter falában jól elkülöníthető rétegek figyelhetők meg, amelyek szín- és mintázatbeli eltéréseik alapján a térség geológiai történelmének külön fejezeteit jelentik. A Endurance (Maradandóság)-kráter beváltotta a hozzá fűzött reményeket, mivel az itt is azonosított szulfát-gazdag kőzetek hasonlítanak a Sas-kráterben talált evaporitokhoz, s így megerősítik a területen húzódó egykori sós tengerpart létezését.

A marsi Meridiani Planum síkságon az Opportunity egy kőzet alfa-részecske spektrométerrel történő analizálása során az Antarktisz jegében felfedezett, EETA79001 meteoritéhoz hasonló összetételű szikladarabot talált.

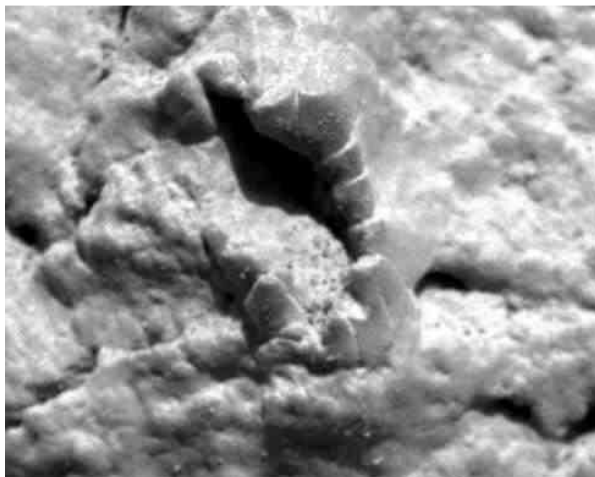
A Bounce Rock névre keresztelt szikla további, az anyagok eltérő infravörös sugárzását mérő, thermoemissziós vizsgálata megerősítette, hogy fő összetevője az a vulkanikus eredetű piroxán kristály, amely az antarktisi EETA79001-t is felépíti.



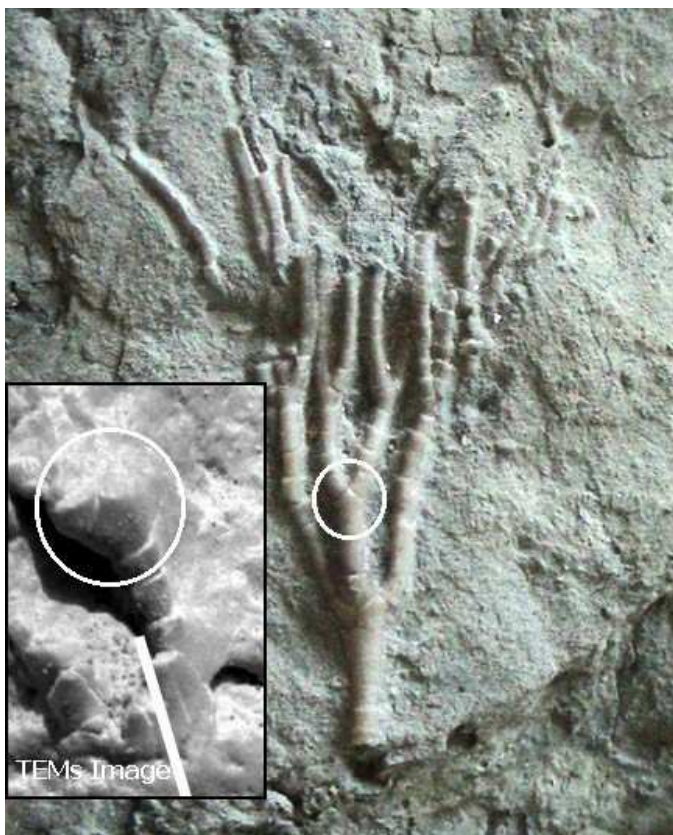
(www.spacetoday.org/SolSys/Mars/MarsThePlanet/MarsRockGallery.html)



(forrás: NASA/JPL/Cornell/USGS, Microscopic Imager: Sol 034, http://marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery/all/opportunity_m034.html)



Az „El Capitan” sziklában egy lehetséges marsi fosszília.



Az Oportunity felvétele.



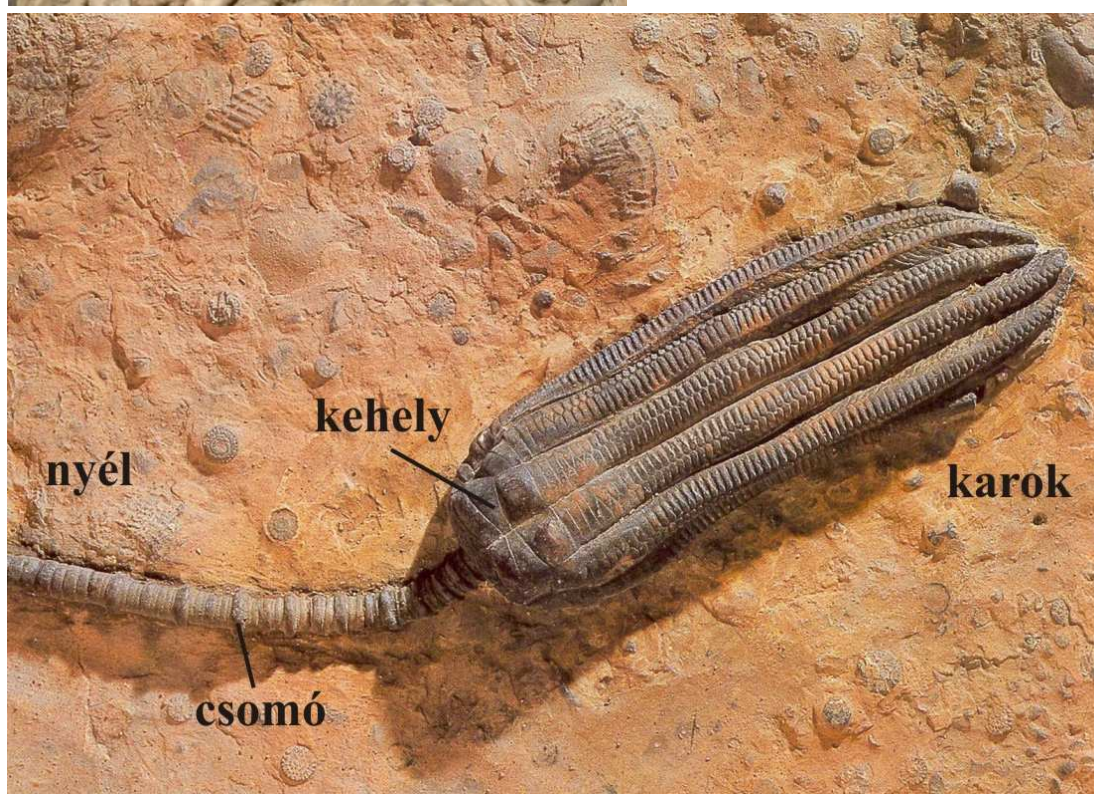
(www.enterprisemission.com/_articles/03-08-2004/crinoid_cover-up.htm és <http://www.harmakhis.org/paper2.htm>)

Földi fossziliákra (zöldes árnyalatú kép) hasonlító alakzat - mint egy Crinoid (tengeri liliom, „Ordovician Crinoid Retercrinus Alveolatus”) a kambrium idején - amely elágazó központi részéből s több hengeres szegmensből áll (Jack Kallmeyer, <http://drydredgers.org/crinoid1.htm>).



(forrás: A Föld és az élet fejlődése 2. Paleozoikum, A proterozoikum és paleozoikum elhatárolása, www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0033_SCORM_MF_FTT600120/sco_12_02.scorm)

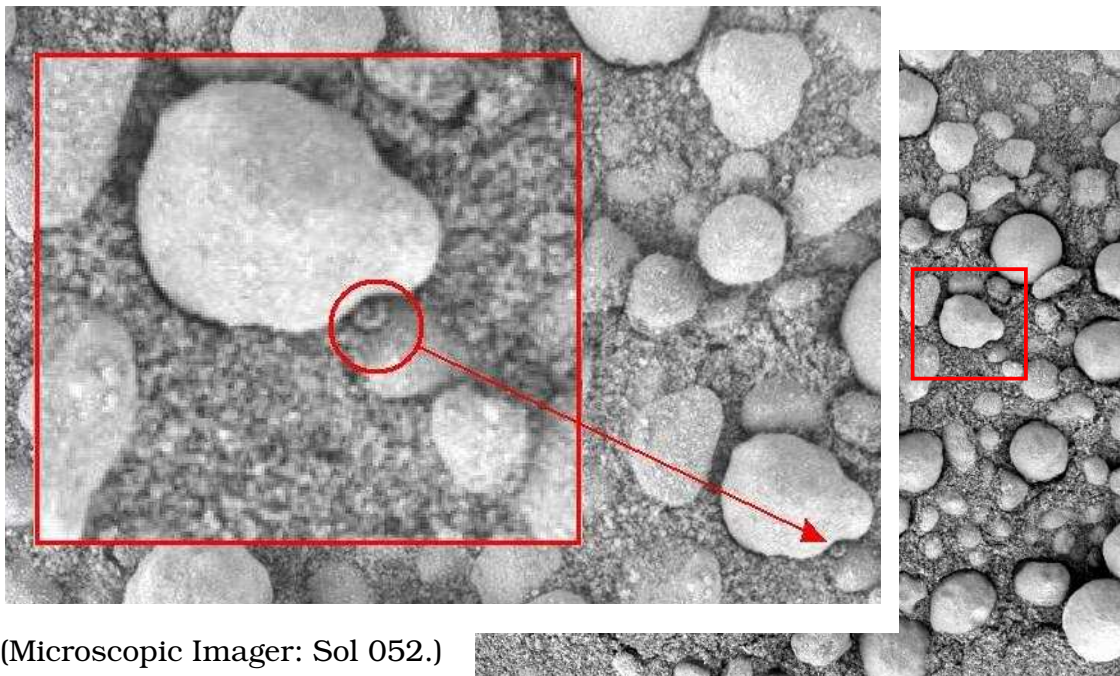
Tengeri lilium (Crinoidea) töredékek Földi fosszília (átmérője 1-2 mm).



(forrás: Konrád Gyula, Budai Tamás: Az ősmaradványok jelentősége, az ősmaradványok tudománya, 14. fejezet - A Föld és az élővilág fejlődéstörténete, <http://tamop412a.ttk.pte.hu/files/kornyezettan9/www/out/html-chunks/ch14s02.html>)

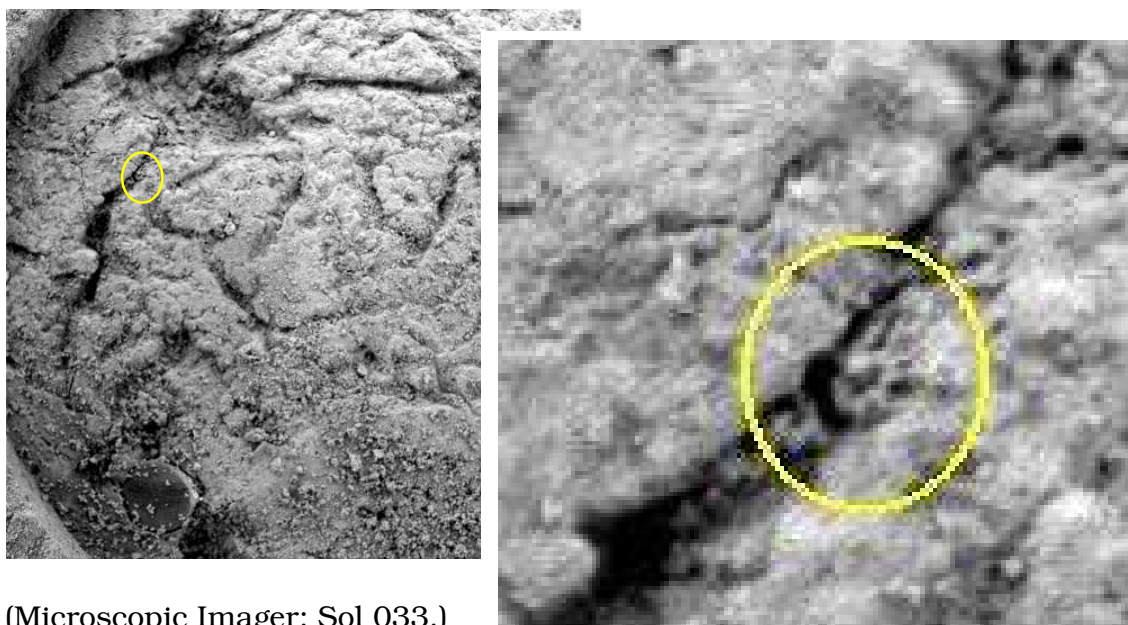
A tengeri liliumok (Crinoidea) felépítése egy németországi jura példányon.

A tengeri liliumok növényekre emlékeztető megjelenésű tüskésbőrű állatok, melyek az aljzathoz növe éltek. Vázelemeik sokszor kőzetalkotó mennyiségben halmozódtak fel. A krinoideás mészkövek egyértelműen tengeri környezetre és sekély vízmélységre utalnak.



(Microscopic Imager: Sol 052.)

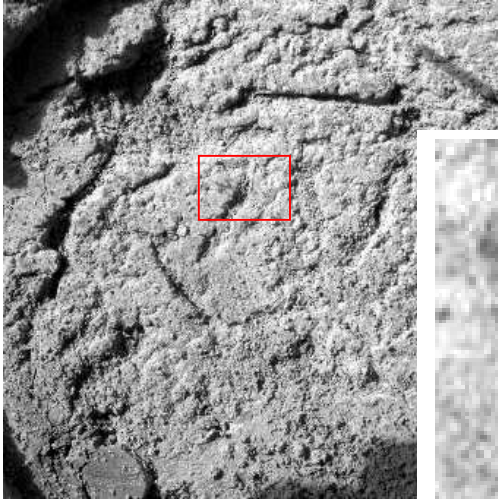
(forrás: NASA/JPL/Cornell/USGS, <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery/all/opportunity.html>, <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery/all/1/m/052/1M132808298EFF06A8P2956M2M1.HTML>)



(Microscopic Imager: Sol 033.)

(forrás: NASA/JPL/Cornell/USGS, <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery/all/opportunity.html>, <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery/all/1/m/033/1M131117213EFF0454P2953M2M1.HTML>)

Az Opportunity Mars kőzet felvételeken apró tüskés alakzatok láthatók hasonlóak a tengeri liliom (Crinoidea) fosszília képmem található korongokhoz.



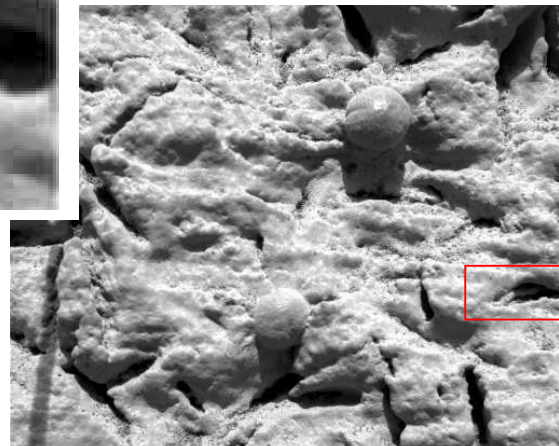
(forrás: <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery/all/1/m/030/1M130859833EFF0454P2959M2M1.HTML>)



(forrás: <http://www.harmakhis.org/paper2.htm>)

(forrás: <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery/all/1/m/029/1M130760650EFF0454P2933M2M1.HTML>)

Féregszerű képződmények a marsi kőzetekben

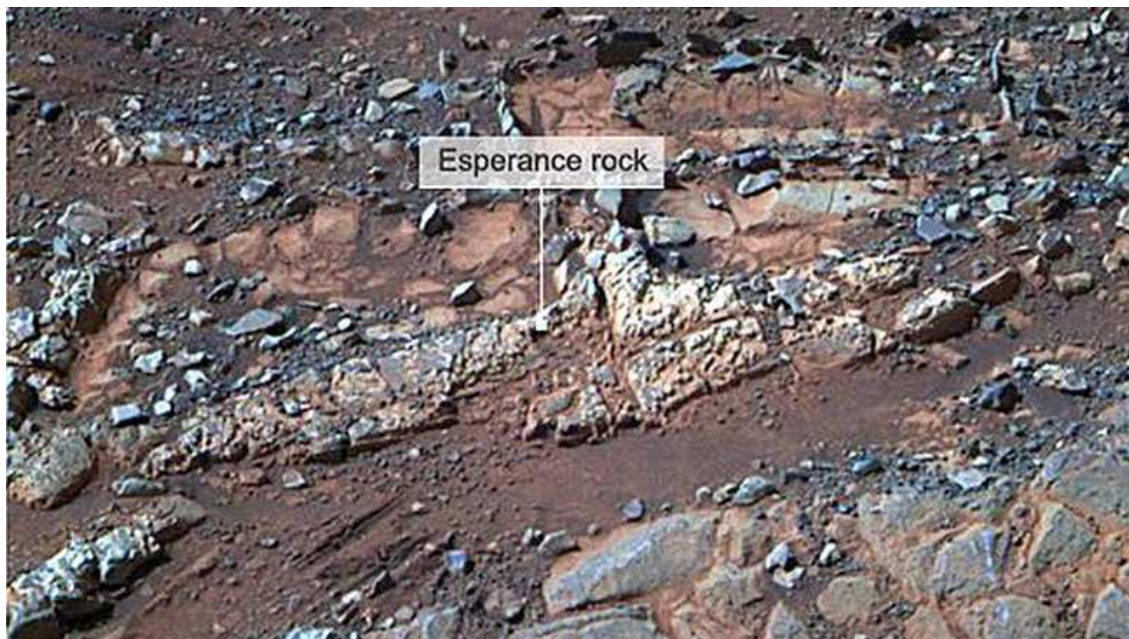


(forrás: A Föld és az élet fejlődése 2. Paleozoikum, A proterozoikum és paleozoikum elhatárolása, www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0033_SCORM_MFFTT600120/sco_12_02.scorm)

A Szibériai platformon talált tommóciai fauna formái (A héjak mérete néhány milliméter) átmenetet mutatnak a proterozoikumból a paleozoikumba.

Ezek a Földi fossziliák már szilárd, meszes vázzal rendelkeztek.

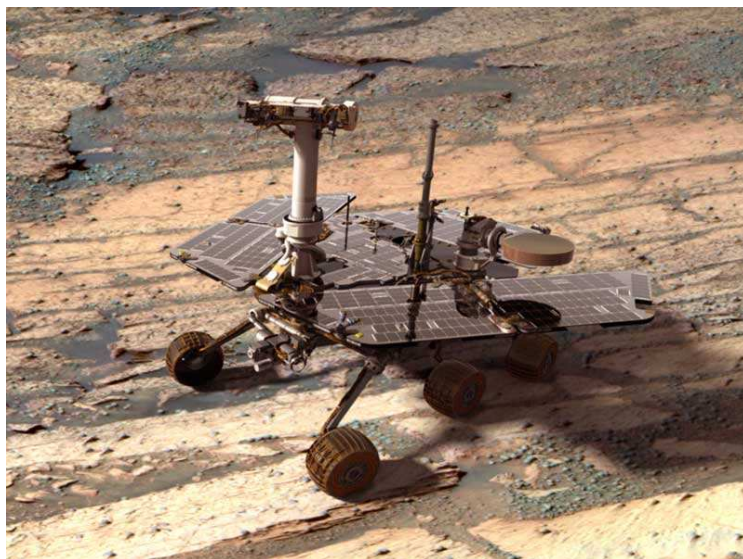
Az Endeavour-kráter lett a következő úticélja az Opportunitynak, ehhez tizenegy kilométert kellett megtennie. Három évig tartott az út, a jármű 2011. augusztus elején érte el a 22,5 kilométer átmérőjű krátert. A tizedik működési évében járó (átlagosan egy centis másodpercenkénti utazósebességgel, [maximálisan 5 centiméter/másodperc], több mint 38,94 kilométert megtett 2014. április 15-éig), eredetileg csupán 90 napos küldetésre szánt Opportunity 2013-ban az Esperance nevű szikladarab elemzésekor olyan agyagásványt találtak, amelynek anyagi összetétele (alumíniumtartalma) arra utal, hogy valaha semleges kémhatású vízben keletkezhetett. Spirit is talált valamikori vízre utaló nyomokata, de ott az elemzések savas kémhatásra engedtek következtetni. Legutóbb a Curiosity, a NASA nagyméretű, legmodernebb önjáró marsi laboratóriuma enyhén sós vízben keletkezett kőzeteket vizsgált. Mindezek a helyszíni adatok, kiegészítve a Mars körül pályáról végzett űrszondás felmérésekkel, nem hagynak kétséget a Mars vizes múltjával kapcsolatban.



(forrás: NASA/JPL-Caltech/Cornell Univ./Arizona State Univ.,
<http://astrobob.areavoices.com/tag/borate/>
www.urvilag.hu/spirit_es_opportunity/20130618_ihato_viz_a_marson)

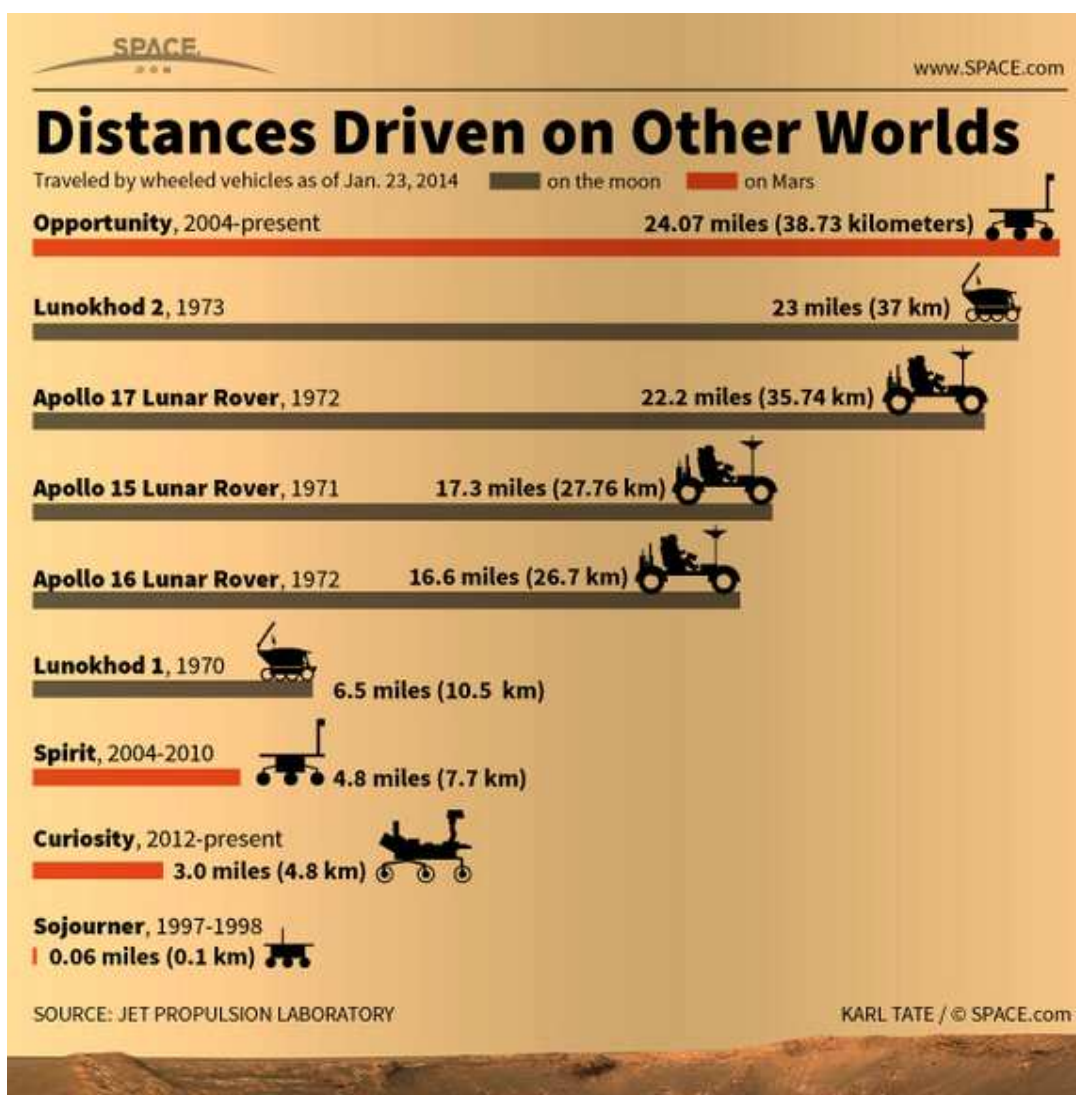
A déli féltekén, az Endeavour-kráternél levő Esperance, a valamikori semleges kémhatású, akár ivóvíz-minőségű marsi vízre utaló nyomokkal.

A semleges kémhatású víz – amire most az Opportunity adatai utalnak – azért különösen érdekes, mert elvben megengedi, hogy a Földről ismert jellegzetes (és nem csak valamiféle extrém) életformák is fennmaradhattak a korai Mars felszínén.

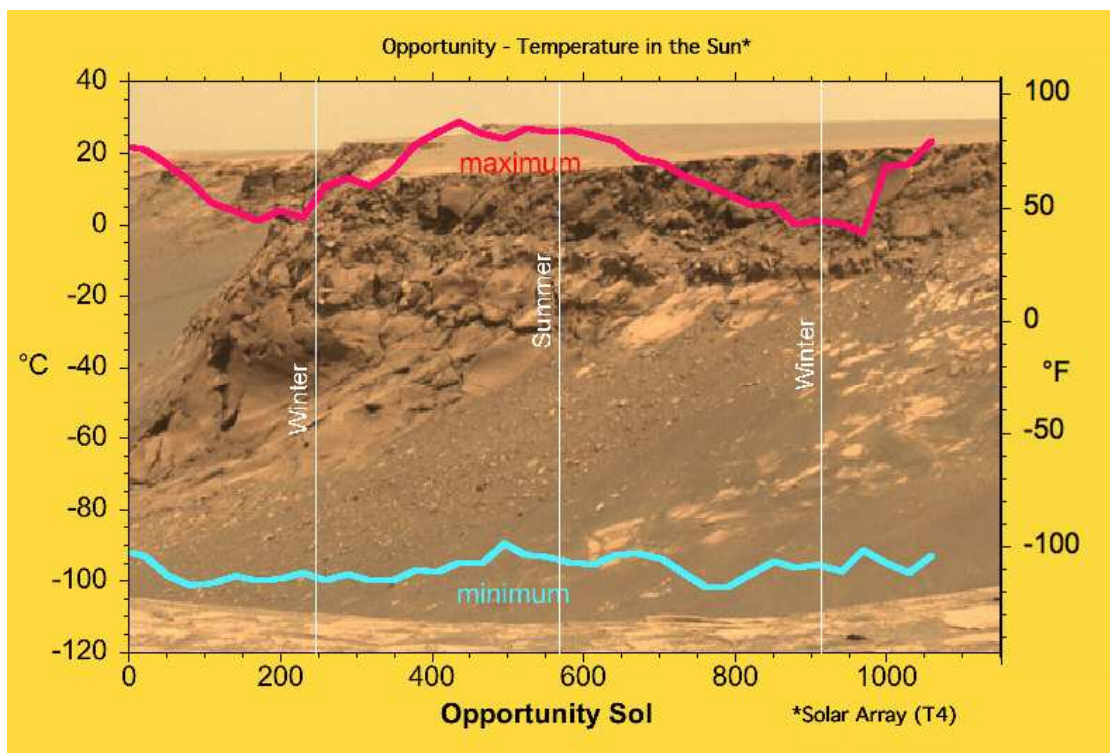


(forrás: Astronomy Picture of the Day, Mars Exploration Rover Mission, Cornell, JPL, NASA, Rover Model: D. Maas, Synthetic Image: Z. Gorjian, K. Kuramura, M. Stetson, E. De Jong. <http://apod.nasa.gov/apod/ap051214.html>)

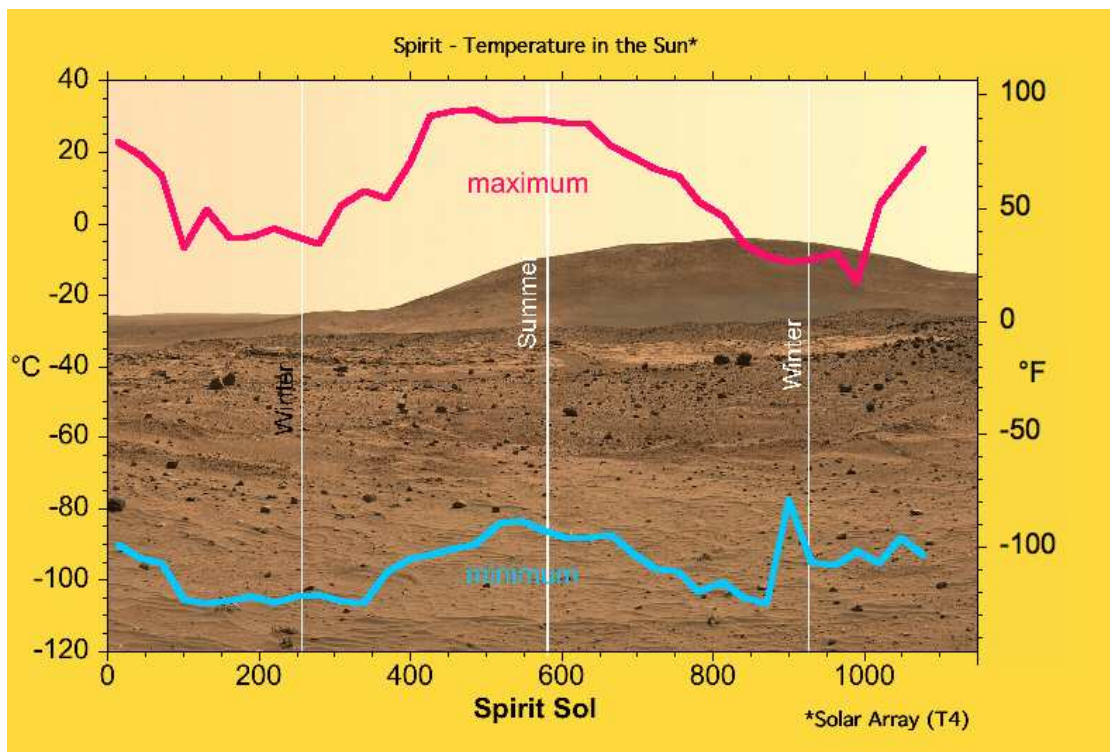
Szimulált kép az Opportunity MER-B marsjáróról.



(forrás: www.space.com/79-distances-driven-on-other-worlds.html)

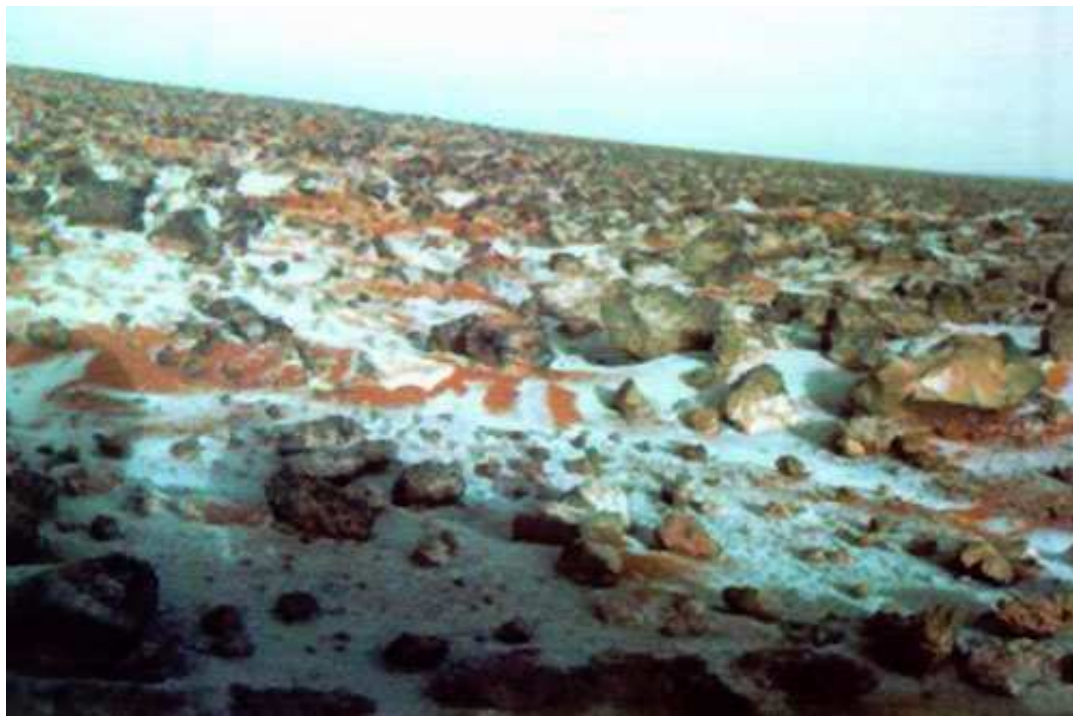


(forrás: NASA/JPL-Caltech/Cornell/NMMNH http://marsrover.nasa.gov/spotlight/images/20070612/20070612_Opportunity_SA4_plot.jpg)



(forrás: NASA/JPL-Caltech/Cornell/NMMNH http://marsrover.nasa.gov/spotlight/images/20070612/20070612_Spirit_SA4_plot_2.jpg)

A Mars alacsony szélességű pontjain, a helyi nyár folyamán, délidőben fagypont fölé emelkedhet a hőmérséklet, globálisan mégis hideg égitest, a felszíni átlaghőmérséklet -54 Celsius-fok (a Földé $+15$ Celsius-fok). Ez az alacsony hőmérséklet az élet lehetőségét tekintve az anyagcsere-folyamatok sebessége és a folyékony víz megjelenése szempontjából egyaránt kedvezőtlen.



(forrás: NASA, JPL, www.davidpratt.info/mars-life.htm#m4%29)

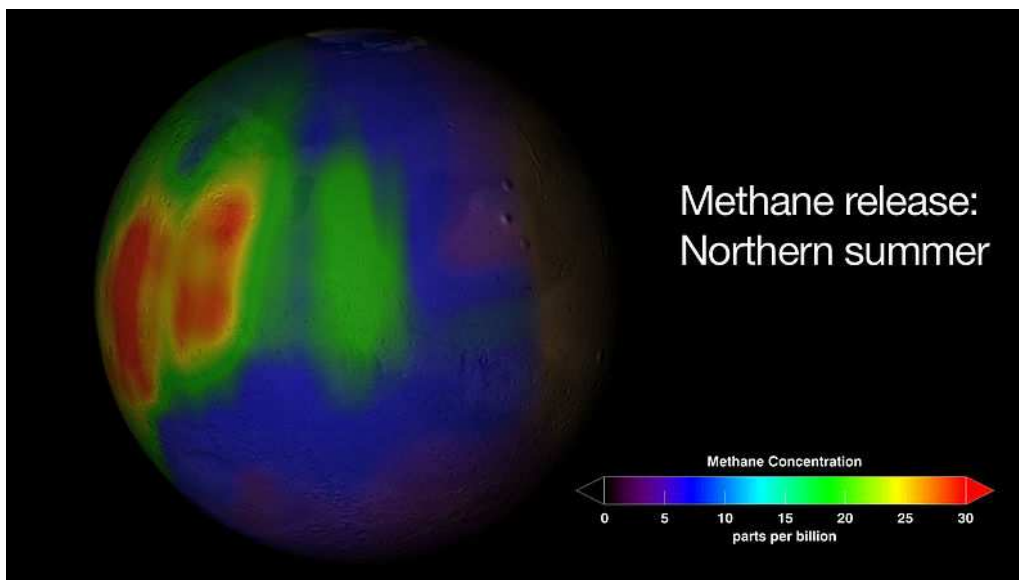
Vékony, vízből álló fagyréteg a Viking-2 leszállóhelyén egy téli napon.

A légkör igen ritka, a felszíni légnyomás átlagosan mindössze 6 mbar, emellett rendkívül száraz is: sokkal kevesebb vízgőzt tartalmaz, mint a legszárazabb sivatagi tájak feletti atmoszféra a Földön. A légkör 95%-a szén-dioxid, oxigén csak nyomokban fordul elő. Ózonréteg nincs, a felszínt intenzív ultraibolya-sugárzás bombázza.

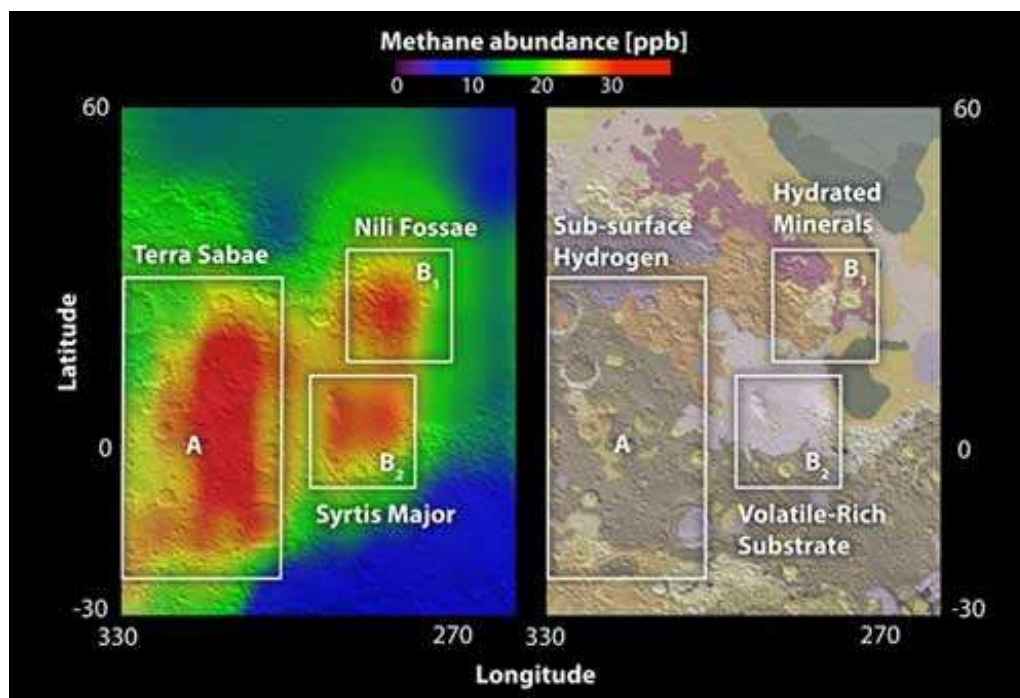
Mars kezdetekben (nagyjából akkor, amikor az élet a Földön kialakult) jobban hasonlíthatott bolygónkra, egykor tartósan, s később időnként visszatérően a folyékony víz is megjelent rajta.

A Földhöz hasonlóan a Marson is minden olyan kémiai elem rendelkezésre áll, amely az általunk ismert, szén-alapú élethez szükséges. Ugyanakkor a felszíni réteg erősen oxidált, továbbá tele van olyan agresszív kemikáliákkal, amelyek minden szerves anyagot gyorsan lebontanak. Az élethez szükséges energia alapvetően két forrásból származhat: a Nap energiájából (fotoszintézissel), illetve különféle szervesetlen vegyületek redukálásából (kemoszintézissel) - elvben mindkettőre lenne lehetőség a Marson.

2003-ban a Mars légkörében sikerült metánt kimutatni (először a NASA Infrared Telescope Facility Hawaiiion, majd a Gemini South Telescope és a Mars körül keringő Mars Express űrszonda), ez az ottani körülmények között nagyon gyorsan (mintegy 300 év alatt lebomlik, azaz mindenképpen utánpótlással rendelkezik, de ennek a Földön csak biológiai forrásai ismertek).



A metán eloszlása a Mars légkörében az északi félteke nyara alatt.



(forrás: Michael Mumma, Trent Schindler/NASA, (2009. január 15.)
www.nasa.gov/mission_pages/mars/news/marsmethane_media.html)

2009 elején jelentették be, hogy földi távcsövek segítségével a Marson metánszivárgásokat észleltek. A metánt az európai Mars Express szonda is észlelte 2003-ban, ennek műszerei azonban túl gyengék a pontos mérésekhez, ezért a 3,58 méteres Kanadai-Francia-Hawaii Távcsővel végezték a későbbi észleléseket, hét éven keresztül. A metánszivárgás meghatározott területekről (az Arabia Terra, a Nili Fossae, és a Syrtis Major) ered (a Nili Fossae a felszín alatt lévő vízjégre utaló nyomokat is találtak), a marsi északi féltekén tavasszal kezdődik, és az ottani nyár derekáig tart.

A metán keletkezhet nem csak biológiai úton, hanem geológiai folyamatok során, meteorok légkörbe jutásakor, vagy UV-sugárzás hatására is, azonban a geológiai magyarázat valószínűségét csökkentti, hogy a metán mellett nem jelentek meg az ilyen reakciók jellemző melléktermékei, mindenekelőtt a kén-dioxid.

A kétféle eredet közti döntés a metán izotóparányának megméréseivel lehetséges, a szerves reakciókban részt vevő enzimek ugyanis gyorsabban reagálnak a könnyebb izotópokkal, míg a geológiai folyamatok nem válogatnak. Így amennyiben a metánban a szén könnyebb, ^{12}C izotópja nagyobb arányban szerepel, mint a bolygó más helyein lévő szénben lévő ^{12}C , az a biológiai eredetet valószínűsíti.

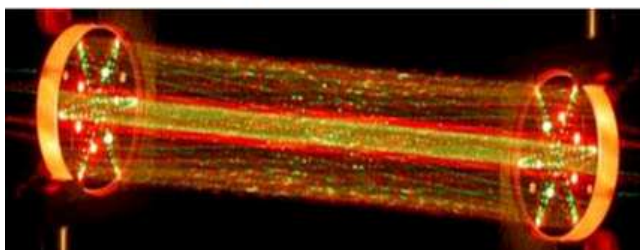
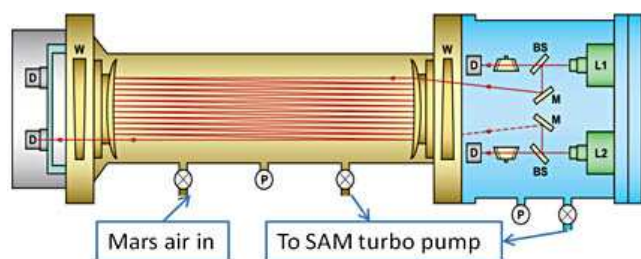
A metánhoz hasonlóan sikerült kimutatni az ammóniát, emellett formaldehidből is többlet mutatkozik az elméletileg megmagyarázható mennyiséghez képest.

A Curiosity 2012-ben végzett méréseinek értékelése alapján 95% valószínűséggel állítható, hogy 5 ppb-nél (parts per billion) kisebb koncentrációban volt metán a gázmintában, ha egyáltalán előfordult. A korábbi (Mars Express űrszondával és földi távcsövekkel végzett) mérések során észlelt kis koncentráció elképzelhető, hogy észrevétlen maradt a műszer számára.

A marsi metán jelenléte máig kérdéses, néhány kutató ugyanis nem tartja elég megbízhatónak a korábbi méréseket. Ugyanakkor az is elképzelhető, hogy élénken változik a koncentrációja – erre utaltak a korábbi földi távcsöves megfigyelések is, amelyek alapján évszakos ciklus szerint szabadul fel a felszín alól a gáz – és a Curiositynak éppen az alacsonyabb metán koncentráció időszakában végezte a méréseket. Még pontosabb adatokat a légköri gázok jellemzőiről és viselkedéséről a MAVEN nevű küldetés nyújt majd, amely 2014-ben érkezik meg a bolygóhoz a tervek alapján.

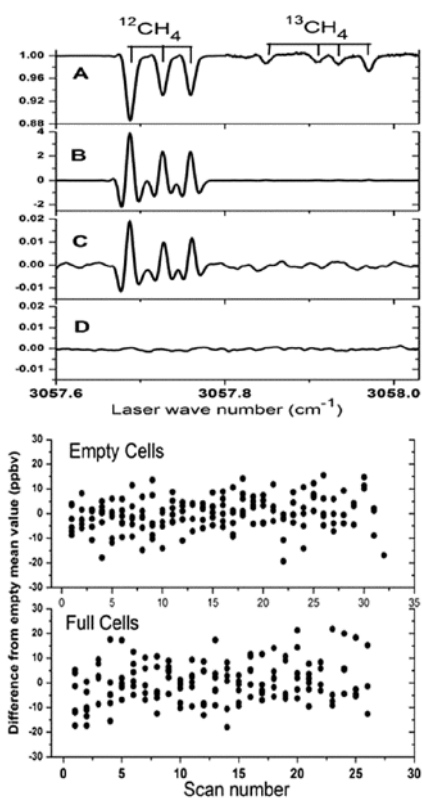
A metán jelenléte azért fontos, mert az élet lehetőségére is utalhatott volna, de a metán hiánya nem jelenti az élet lehetőségének kizárását, mivel a Földön több mikroba ismert, amik nem állítanak elő metánt.

A Mars Science Laboratory (MSL, Curiosity) 2012 októberétől 2013 júniusáig hat alkalommal vett mintát a Mars légköréből és egyik esetben igazolta a korábbi metán mérések eredményeit.



A Tunable Laser Spectrometer (TLS) műszerével (hangolható lézerspektrométer) mérések alapján a Mars légkörében a metán mennyisége kevesebb mint 1.3 ppbv (95% confidence szint, mely azt jelenti, hogy a becslések 95 %-a tartalmazza a valódi átlagot).

(illusztráció: NASA/JPL/MSL, www.skyandtelescope.com/astromony-news/methane-goes-missing-onmars/)

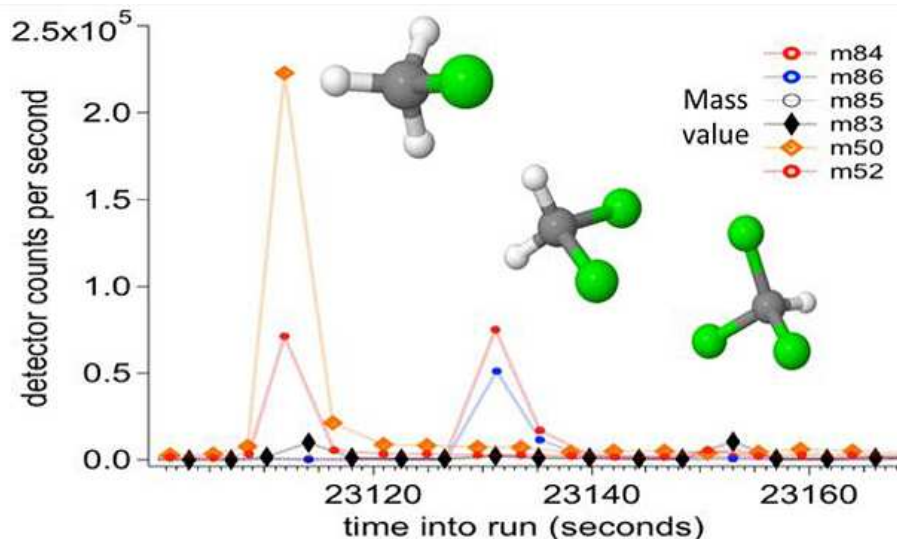


Ez a korábbi becsléseknek körülbelül az 1/6-a. A Curiosity műszerének érzékenysége alapján a Mars légkörébe kerülő metán mennyisége legfeljebb évi 10-20 tonna lehet (a Föld légkörébe körülbelül 50 milliószor ennyi metán jut)

Fig. 1. The TLS-SAM methane measurements. (Top) Examples of flight spectra downloaded from Curiosity. (A) Spectrum recorded during an unrelated Evolved Gas Analysis (EGA) run (14) showing location of $^{12}\text{CH}_4$ and $^{13}\text{CH}_4$ lines, in which the second half has been vertically expanded by $\times 20$ to show the weaker $^{13}\text{CH}_4$ lines; (B) Same as (A) but second harmonic (2f) spectrum (14) without vertical expansion; (C) Averaged full cell 2f spectrum for Sol 106 (nighttime ingest) with foreoptics contribution (14); (D) Averaged full cell 2f spectrum for Sol 306 (daytime ingest) with foreoptics evacuated. [Spectra A and B are shown here in part because they were taken after the atmospheric runs and show that our CH_4 lines have not moved, and the instrument continued to work well with consistent capability to detect methane.] (Bottom) Individual 2-min data points from 6 sols: upper panel is empty cell data with mean value of 0.0 ppbv, and lower panel is full cell data with mean value of 0.18 ppbv.

(forrás: Christopher R. Webster, Paul R. Mahaffy, Sushil K. Atreya, Gregory J. Flesch, Kenneth A. Farley, a MSL Science Team: Low Upper Limit to Methane Abundance on Mars, Science 2013. 09. 18. Vol. 342 no. 6156 pp. 355-357 DOI:10.1126/science.1242902, Scienceexpress, [www.sciencemag.org/content/early/recent/19 September 2013/Page1/10.1126/science.1242902](http://www.sciencemag.org/content/early/recent/19%20September%202013/Page1/10.1126/science.1242902))

NASA 2012-ben közölte a Curiosity első talajelemzéseinek eredményeit. A SAM (Sample Analysis at Mars) nevű, minden korábbinál fejlettebb műszeregyüttes első vizsgálatainak eredményei szerint egyszerű szerves anyagokat, klórtartalmú szénvegyületeket (például klórmétánt és kloroformot) észlelt a Mars felszínéről kilapátolt minták elemzése során.



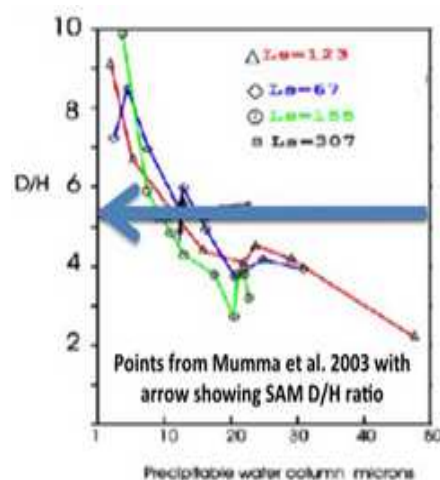
(forrás: NASA/JPL-Caltech/GSFC,
www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2012-380)

A SAM által kimutatott egyszerű szerves vegyületek. A szürke gömbök a szén-, a fehérek a hidrogén-, a zöldek a klóratomokat jelölik.

A vegyületek balról jobbra: CH_3Cl , CH_2Cl_2 , CHCl_3 . A bennük lévő klór marsi eredetű, a szén azonban lehet földi szennyeződés is, ezt egyelőre nem lehet eldönteni.

A Curiosity talajmintái egyébként szokványosnak számítanak a Marson. Mint az alábbi ábrán is látható, a talajban (pontosabban a felszíni törmeléktakaróban) hasonló az elemek, illetve ásványok eloszlása, mint amit a korábbi Mars-járók mértek a bolygó más pontjain.

A Mars kutatásának történetében először vizsgálták a felszín anyagában a hidrogén és a deutérium (nehézhidrogén) izotóparányát. Az eredmények megerősítették, hogy az atmoszféra egy része elveszett a bolygó fejlődése során. A SAM által felhevített anyagmintából H_2O szabadult fel, és ebben nagyobb volt a deutérium aránya a hidrogénhez képest, mint az földi tengerekben jellemző. Ennek oka, hogy a légkör elvesztése során nagyobb arányban távoztak a könnyebb hidrogénatomok a bolygóközi térbe.





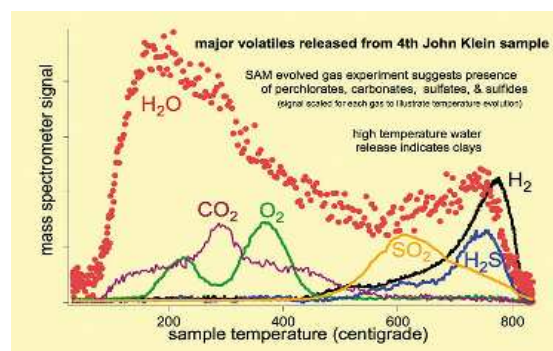
(forrás: NASA/JPL-Caltech/Ken Kremer/
Marco Di Lorenzo, [www.universetoday.com/99802/
curiosity-drills-historic-1st-bore-hole-into-mars-
rock-for-first-ever-science-analysis/](http://www.universetoday.com/99802/curiosity-drills-historic-1st-bore-hole-into-mars-rock-for-first-ever-science-analysis/))

Fontos mérföldkő volt az űrkutatás történetében az első fúrás Marsi kőzetbe 2013. február 08-án a Yellowknife Bay medencében, „John Klein” elnevezésű pontjánál. A következő két hét során a Curiosity Rover átszítálta a finomszemcsés anyagot, és végül mindkét fedélzeti laboratóriumába sikeresen behelyezett egy kevés törmelékét.

A Yellowknife Bay-mélyedésben vizsgált legalsó helyzetű rétegtani egység, a világos árnyalatú Sheepbed, réteg egy bazaltos összetételű, agyagos-homokos képződmény, 0,05 milliméternél kisebb szemcsemérettel és 20% körüli agyagtartalommal. A NASA szakemberei szerint egykori állóvízben leülepedett iszapból alakult ki, ezért ritkán használt kifejezéssel iszapkőnek nevezhető.

A Sheepbed anyagában is jelen van kb. 2 tömegszázalék H_2O , hasonlóan a Rocknest-pontnál a törmelékmarkoló lapáttal gyűjtött „nedves” felszíni anyagmintához. Továbbá hidrogén, oxigén, kén, szén, nitrogén és foszfor is kimutatható összetételében, vagyis tartalmazza mindazokat a biogén elemeket, amelyek nélkülözhetetlenek az általunk ismert, földi típusú életforma kialakulásához.

(forrás: NASA/JPL-CALTECH/
MSSS, [http://quest.utk.edu/2013/
follow-the-water/](http://quest.utk.edu/2013/follow-the-water/))

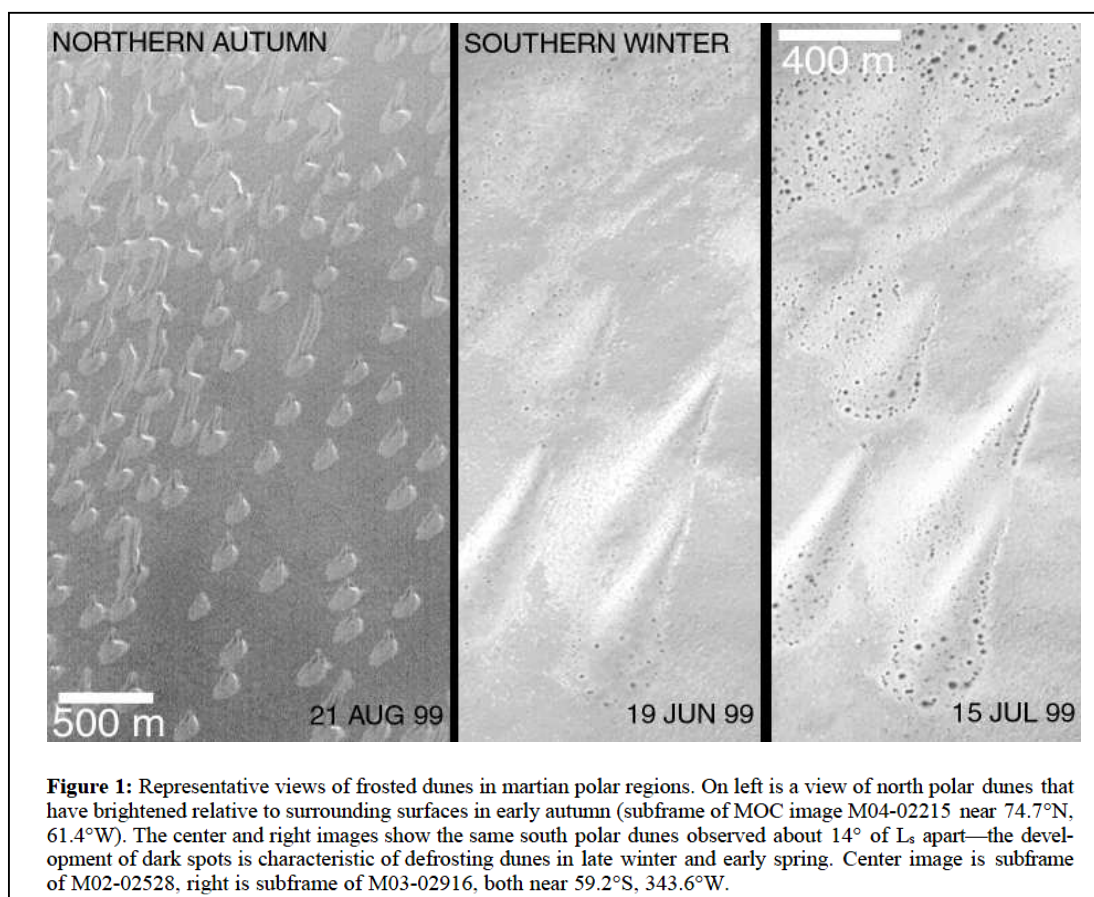


A különböző kénvegyületek (például kénhidrogén és kén-dioxid), illetve eltérő oxidáltságú vasvegyületek jelenléte lényeges különbség a korábbi leszállóegységek által vizsgált felszíni anyagmintákhoz képest. S mivel ezek a vegyületpárok úgy alakíthatók át egymásba, hogy közben energia termelődik, akár ősi kemoautotróf (kémiai energiát hasznosító) mikroorganizmusok életnyomaiként is értelmezhetők.

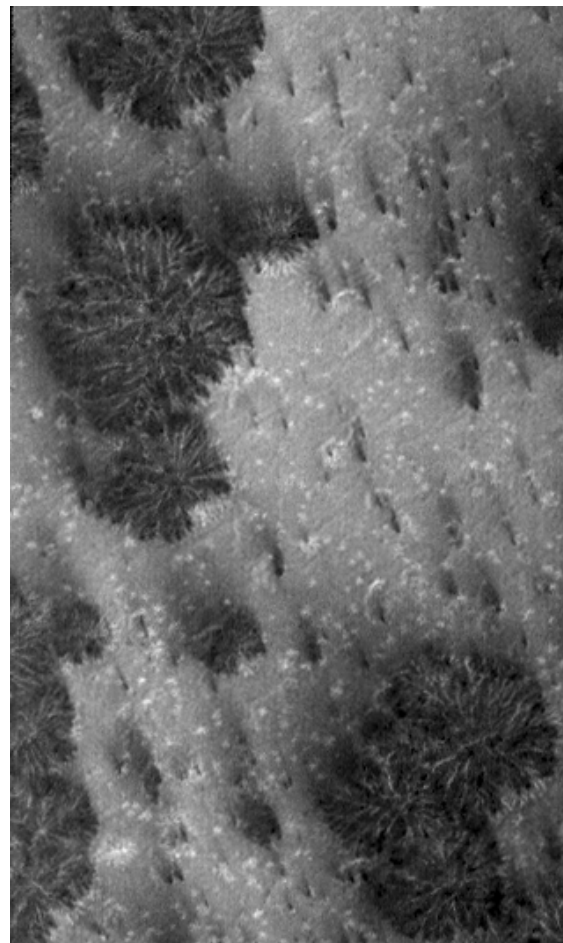
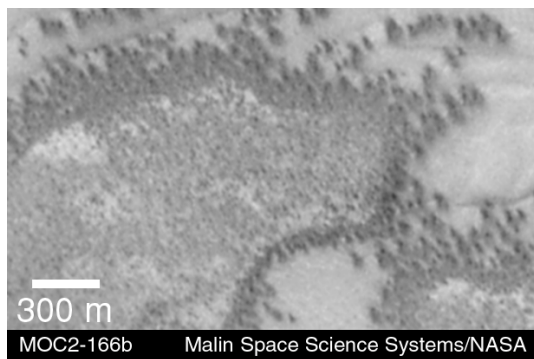
A Mars Global Surveyor űrszonda (MGS) 1998-1999-es képein – korábban nem észlelt – érdekes jelenséget fedezett fel Michael Malin és Ken Edgett amerikai kutató. A Mars déli és északi poláris vidékein a hóval-jéggel borított területeken, tél végén, illetve tavasszal néhány tucat, esetenként néhány száz méter átmérőjű sötét foltok százait észlelték. Malinék felfedezésüket 1998-ban, szublimációs hipotézisüket pedig 2000-ben tették közzé (Malin – Edgett, 2000).



(forrás: NASA/JPL, <http://mars.jpl.nasa.gov/mgs/gallery/20061121a.html>)



(forrás: Malin, Michael C.; K. S. Edgett (2000). „Frosting and Defrosting of Martian Polar Dunes”, Lunar and Planetary Science XXXI., Malin Space Science Systems, www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2000/pdf/1056.pdf)

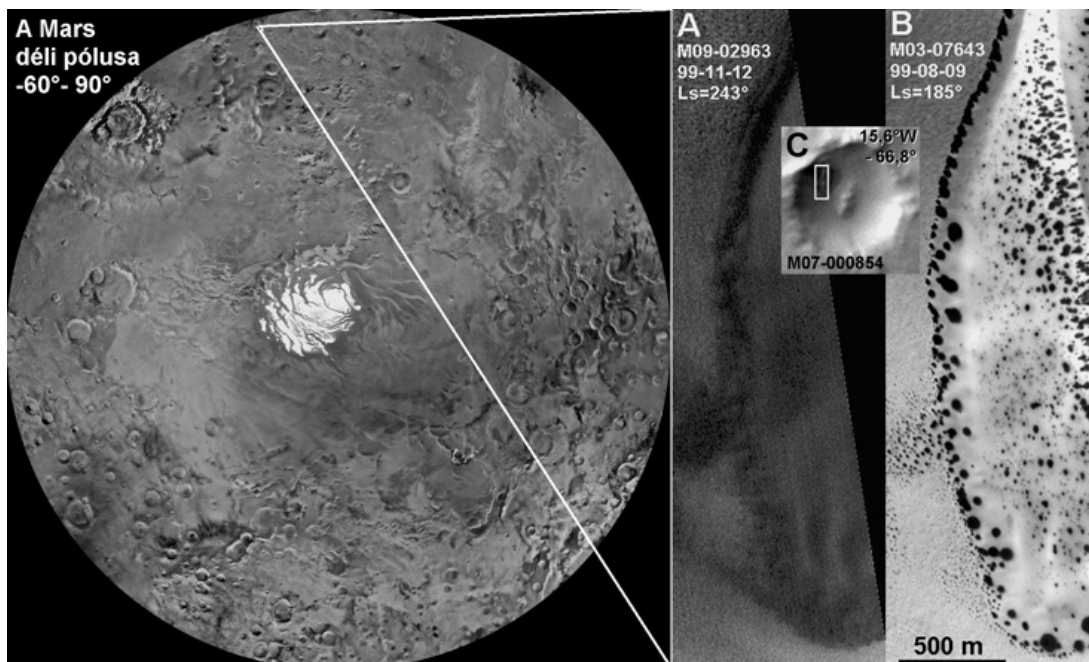


(forrás: MGS MOC Release No. MOC2-166, 1999. 08 10, www.msss.com/mars_images/moc/8_10_99_releases/moc2_166/ és MOC narrow-angle image M08-04688, és Malin Space Science Systems/NASA, image M08-04688, Mars Global Surveyor, 2000. 09. 16. www.msss.com/moc_gallery/m07_m12/nonmaps/M08/M0804688.gif)

Marsi sötét dűnefoltok a Mars Global Surveyor felvételén.

2000 nyarán Horváth András is elkezdte ezeknek a foltoknak a vizsgálatát. A képek felmérése során kiderült, hogy ezek a foltok a fekete dűnéken (Dark Dunes – DDs) találhatóak. Ezért a foltokat sötét dűnefoltoknak (angolul Dark Dune Spots – DDSs) nevezik.

Eredetileg abból a tényből kiindulva, hogy a dűnefoltok többsége kör alakú, felmerült, hogy megjelenésükben biológiai folyamatoknak is szerepe lehet. Ekkor kapcsolódott be a munkába Gánti Tibor (aki az MSO hipotézist megalkotta) és Szathmáry Eörs biológus (aki a földi analógiát megtalálta), valamint Bérczi Szaniszló és Gesztesi Albert bolygókutató, illetve geológus. E magyar marskutató csoport tevékenységének eredményeként – a részletes morfológiai (alaktani) vizsgálatokra alapozva – létrejött egy hipotézis a sötét dűnefoltok kialakulásában szerepet játszó és feltételezett marsfelszíni organizmusokról (Mars Surface Organisms – MSOs), azaz a mai marsi életről, ez a DDS-MSO hipotézis (Horváth et al., 2001 és Gánti et al., 2003). Később a marskutatói kör bővült Pócs Tamás biológus akadémikussal, Sik András geográfussal és Kereszturi Ákos geológussal, a munkának pedig a Budapest Collegium (Institute for Advanced Study) adott otthont az Európai Űrkutatási Hivatal (ESA) és a Magyar Űrkutatási Iroda (MŰI) támogatásával.



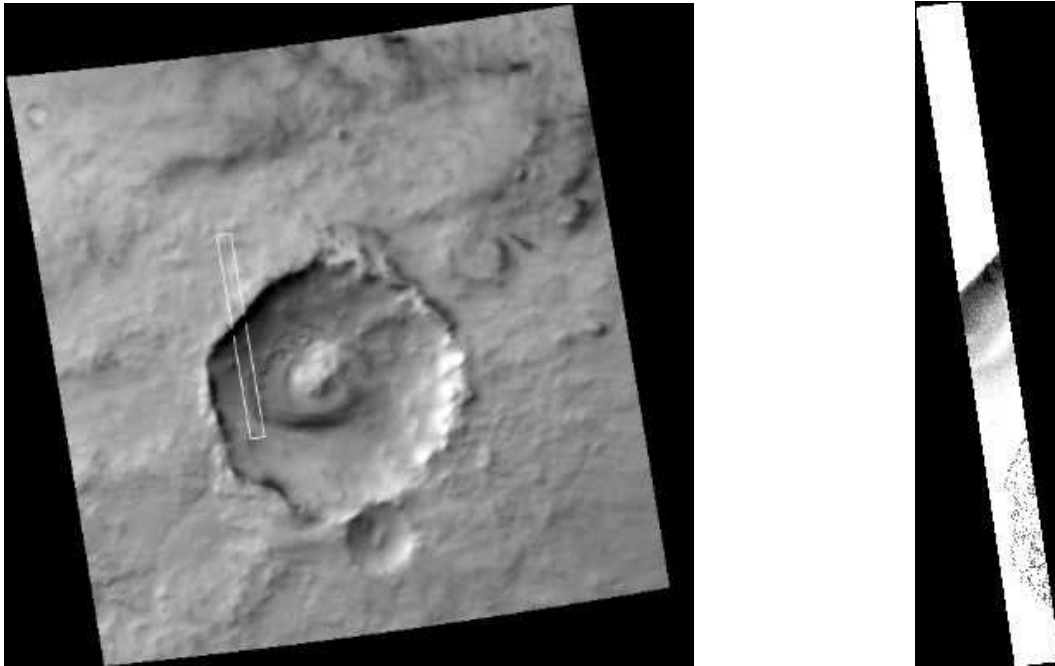
(forrás: NASA/JPL/Malin Space Science Systems, Collegium Budapest)

A Mars déli pólusán tél végén, tavasz elején a hóval fedett dűnéken kör alakú, sötét foltok tűnnek fel. E foltok a dőlt részeken megnyúlt, lefolyás jellegű formát mutatnak. A hóborítás nélküli dűnedomb nyáron és ősszel csaknem fekete tónusú.

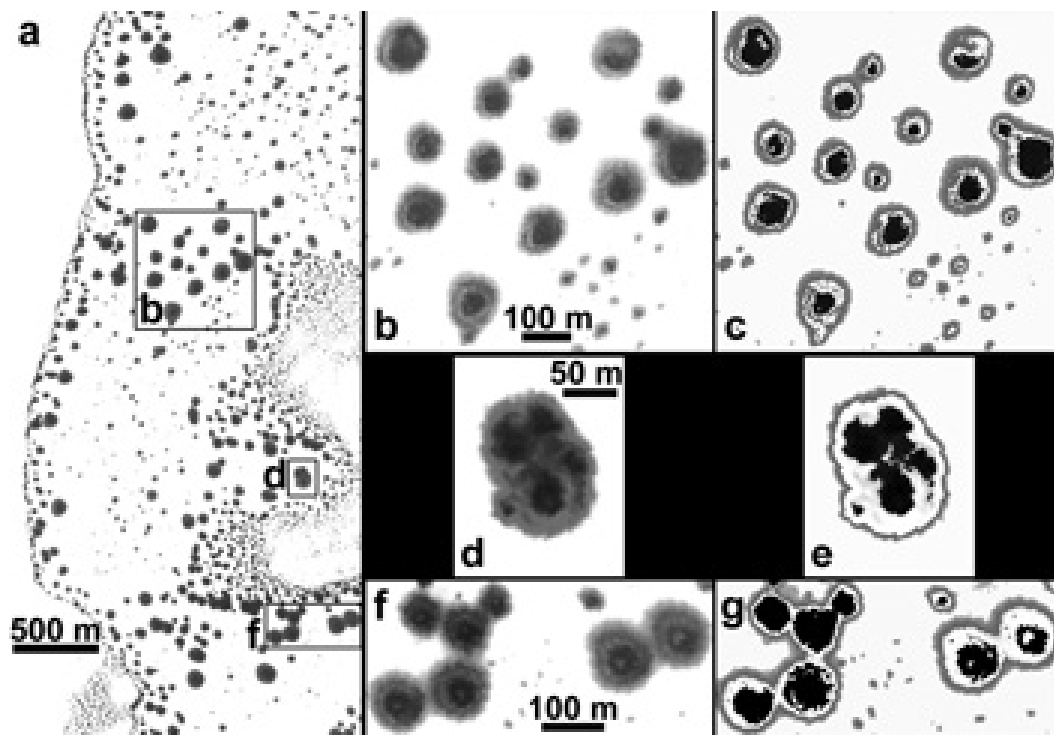
A foltképződést Malin és Edgett amerikai szakemberek szublimációs folyamatokra (defrosting) vezetik vissza, azonban a DDS-ek esetében a foltok tulajdonságai, kialakulása, fejlődése és más tényezők kizárják, hogy egyedül a defrosting lenne felelős ezek létrejöttéért (Edgett et al., 2000).

Természetesen mivel a sarki hósapka eltűnése defrosting folyamattal történik, ennek a jelen esetben is van szerepe. Hugh H. Kieffer (2003) a szén-dioxid hó vagy jég alatt elnyelődő napfénnel magyarázza némely sötét sarki folt kialakulását, amitől a dűnéken, a fagytakaró alatt gáz fázisú szén-dioxid keletkezik, ami a felszínre tör („hőkémény”-, jet-, illetve spider-hipotézis). Ennek keretében a fagytakaró anyaga fogy, egyre jobban láthatóvá téve a sötét dűnék felszínét, valamint a gázáramlás finom port ragad magával a dűne felszínéről, ami a fagytakaró tetejére hullik vissza.

Ez reális magyarázatnak látszik a DDS-ekhez részben hasonló „fan”-ok keletkezésére. A fanok olyan legyező alakú foltok, amelyek a DDS-mezőkön a sarki régiókban fordulnak elő tömegesen. A DDS-ek más tulajdonságaival azonban ez a magyarázat sem egyeztethető össze.



(www.msss.com/moc_gallery/m07_m12/images/M07/M0700853.html)

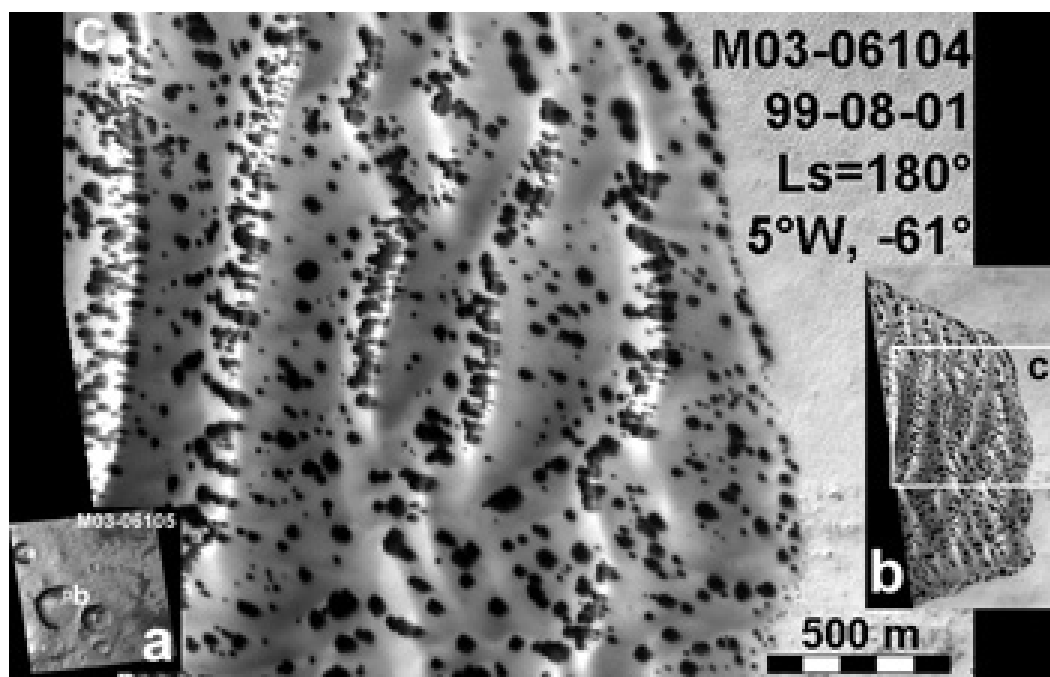


(forrás: NASA/JPL/Malin Space Science Systems, Collegium Budapest)

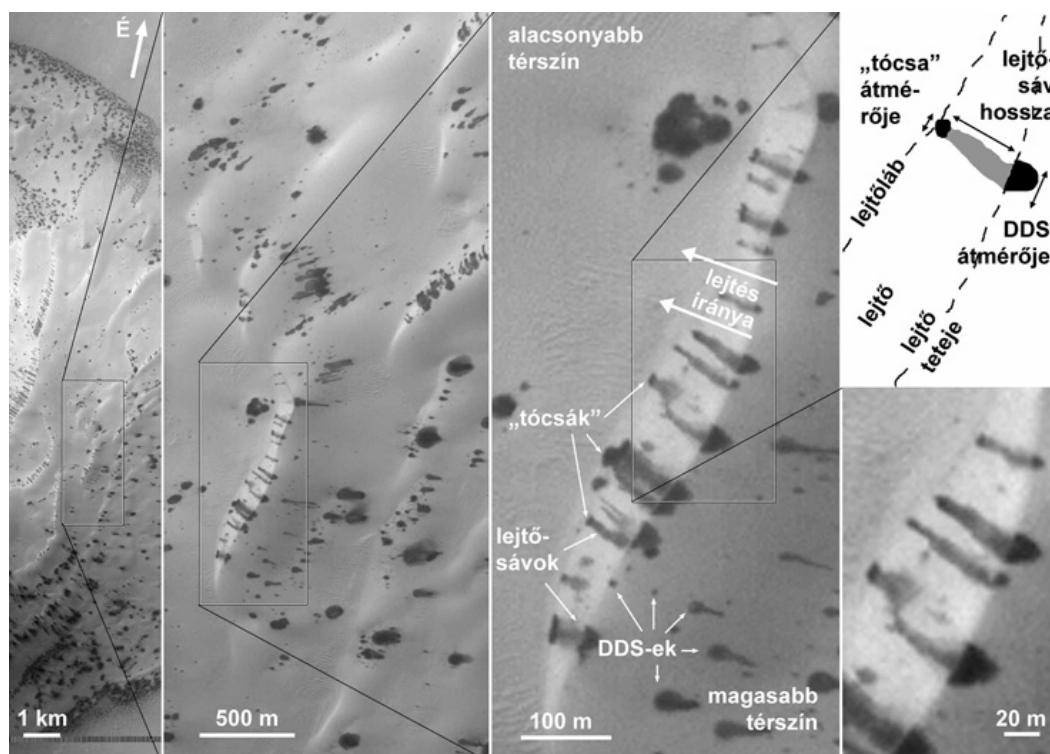
A DDS-ek belső szerkezete az MGS 1999. 09. 05-én $L_s=200,6^\circ$ -kor rögzített MOC M07-00853 képe alapján. a) DDS-ek egy kráterbeli dűnemezőn (-65° , $15,55^\circ W$); b) d) f) kinagyított részletek; c) e) g) az előbbi nagyításokon a DDS-ek részletei eltérő szürke árnyalatokkal kiemelve.

A magyar kutatócsoport véleménye szerint a sötét dűnéken tavasszal megjelenő foltokat folyékony víz megjelenése alakítja ki. Ezt az álláspontot a következő, az MGS által készített felvételeken látható tények támasztják alá:

1. A foltok kialakulása a jég alján, azaz a talajfelszín és a jégréteg között kezdődik, és fejlődik mindaddig, amíg fölüle a jégréteg el nem szublimál. A szublimáció viszont kizárólag a jégréteg felszínén történik, így nem indukálhat olyan folyamatot, amely a jég alján alakul ki.
2. Az adott foltok csak a sarki területeken található sötét dűnéken fejlődnek ki, nemegyszer egészen pontosan körülrajzolva a dűnék határvonalait. Ez azt jelenti, hogy a dűnék anyaga befolyásolja e foltok kialakulását, képződését, fennmaradását. A dérképződés függhet a felszín minőségétől, mert a felszín kristályosodási göcként hat a jégkristályok keletkezésére. A jégtakaró eltűnése azonban – miután a jég felszínéről történő szublimáción keresztül megy végbe – független az adott talaj minőségétől. Egyedül a szublimációval, azaz a defrostinggal e foltok kialakulása már csak ezért sem magyarázható.
3. A foltok a sík felszínen lényegében kör alakúak, ami azt jelenti, hogy kialakulásuk izotróp (iránytól független) fejlődés eredménye. A szublimációs folyamatok függenek a marstalaj felszínének a helyzetétől, a napsütés beérkezési szögétől, a légmozgás irányától stb. Ha e foltok kialakulása szublimációs folyamat eredménye lenne, akkor valamilyen módon a talajfelszín egyenetlenségeinek vissza kellene tükröződniük a foltok alakjában. Ilyet azonban nem tapasztaltunk. Vízzintes területen a talaj egyenetlenségétől függetlenül, a foltok kör vagy közel kör alakúak. Ez annyit jelent, hogy keletkezésüket csak olyan folyamat indukálhatta, amely a felszín egyenetlenségeitől független. Miután a sötét dűnék anyaga feltehetően bazalthomok, ez mindenképpen izotróp közegnek tekinthető, és ebben egy folyadékfázis – jelen esetben a folyékony víz – terjedése vízzintes területen iránytól függetlenül történik. Következésképpen ha valamilyen oknál fogva a jég alatt folyékony víz képződik és terjed, akkor ez a jég alatt egy közel kör alakú folt megjelenéséhez vezet. Ez is a folyékony víz szerepét támasztja alá a DDS-ek kialakulásában.
4. Enyhe lejtős terepen a foltok lejtőirányban megnyúlnak, ellipszoidhoz hasonló alakúvá válnak, ahol az ellipszoid nagytengelye a lejtőirányba mutat. Ez azt jelenti, hogy valamilyen lejtőirányú erő hat a foltok kialakulására. Ezt nem a szél hozza létre, mert az eltérő tájolású lejtőkön is mindig lejtőirányú a megnyúlás. Ugyanakkor a lejtésirányba elnyúlt formát a porózus közegben szivárgó folyadék kialakíthatja. Ezért feltételezhető, hogy a foltok kialakulásában folyékony fázis megjelenése játszik szerepet, mert a gravitáció ilyen rövid távon a szublimációs folyamatokat nem befolyásolhatja. A folyadékfázis pedig az adott körülmények között más, mint folyékony víz, nem lehet.



Kör alakú, illetve megnyúlt sötét dűnefoltok (b, c) egy 30 km átmérőjű déli kráter (a) dűnedombján.



Sötét dűnedombok dőlt rézsűin a DDS-ekből kiinduló és lefelé keskenyedő alakzatok (MOC image No. R07-00938, 2003.07.13., at 209°E, 69°S).

(forrás: NASA/JPL/Malin Space Science Systems, Collegium Budapest)

5. Meredekebb lejtőkön a foltokból folyásokra emlékeztető képződmények indulnak ki lejtőirányban. Ezeken a felvételeken már a látvány is azt sugallja, hogy ott folyadékfázis lejtőirányú áramlása történik.

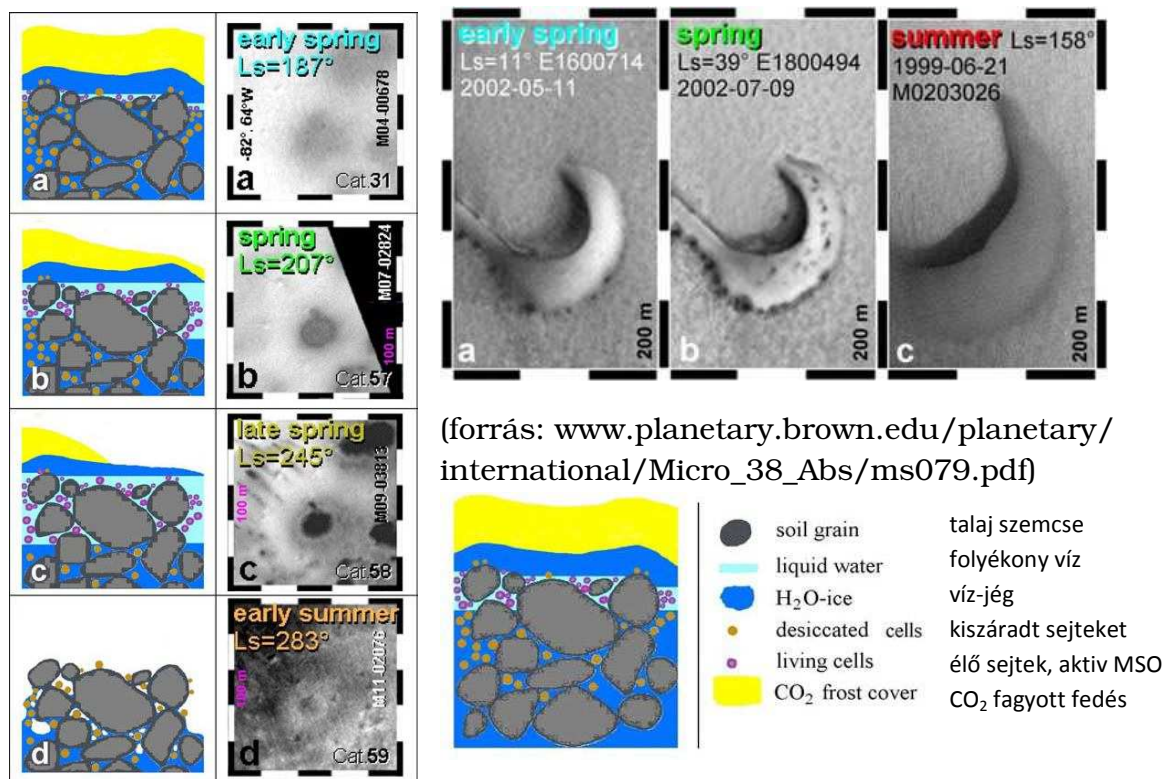
6. A marstalajt magas szélességen télen fehér hótakaró fedi. Ez a hótakaró a nyár elejére elszublimál, és előtűnik a sötét dűnék anyaga. A nyári felvételeken azonban a sötét dűneanyagot világosabb szürke „fantom”-foltok tarkítják. A foltok eloszlása és helye megegyezik a DDS-ek eloszlásával és helyével, vagyis ahol tél végén és tavasszal a sötét foltok megjelentek, ott nyár kezdetén a talajt valami eltérő tulajdonságú anyag fedi. Mi lehet e szürke foltok anyaga?

7. Végül az a tény, hogy a DDS-ek tél végén kezdenek megjelenni, és tavasszal teljesednek ki, azt mutatja, hogy keletkezésükhöz valami köze van a napsugárzásnak. Úgy is mondhatnánk, hogy a felvételek tanúsága szerint a sötét foltok a napsugárzás hatására keletkeznek a hó/jégréteg alatt.

A fentebb felsorolt érvek világosan mutatják, hogy a defrosting folyamat nem adhat magyarázatot ezeknek a foltoknak a megjelenésére és fejlődésére.

Ugyancsak nem ad magyarázatot a foltok tulajdonságaiból következő folyékony fázis, azaz a víz megjelenésére. De ha nem defrosting, akkor mi okozza a foltokat? Mi teszi lehetővé, hogy a jég alatt víz keletkezzen és maradjon meg hónapokon keresztül folyékony állapotban?

Az eddig vázolt kérdések megoldására dolgozta ki a magyar kutatócsoport a DDS-MSO hipotézist (DDS – Dark Dune Spots, MSO – Mars Surface Organism). A hipotézis ismertetésénél abból indulhatunk ki, hogy ha volt valaha a Marson élővilág, a marsfelszíni körülmények drasztikus változásához az élő rendszerek maximálisan próbáltak alkalmazkodni. Ez az élővilág döntő többségének nem sikerülhetett, a változások roppant erős mértéke miatt. De visszamaradhattak olyan, a fejlődés alacsonyabb fokán lévő rendszerek, amelyek egyes helyeken megtalálhatták az évenként rendszeresen visszatérő életfeltételeiket, miközben a kedvezőtlen időszakot beszáradt, fagyott állapotban igyekeztek túlélni. Ha ez bekövetkezett, akkor ezeknek az élőlényeknek a fotoszintézishez nagy abszorpcióképességű festékanyagokat kellett kifejleszteniük, hogy a beérkező fényt hasznosíthassák. Ha ilyenek maradtak fenn azokon a területeken, amiket vízjég/víz hó fed, akkor ezek tél végén, amikor a Nap felkel, a hó- és jégrétegen keresztül jutó napsugarakat elnyelik, miközben maguk felmelegednek. Így maguk körül, a talaj és a hó/jégréteg között megolvaszthatják a vízjeget. Ily módon a jég alatt folyékony víz keletkezhet, amelyben ezen marsfelszíni organizmusok (MSO-k) megtalálhatják az életfeltételeiket.



(forrás: Gánti T., Sz. Bérczi, A. Horváth, A. Kereszturi, T. Pócs, A. Sik, E. Szathmáry: Hypothetical time sequence of the morphological changes in global and local levels of the dark dune spots in polar region of mars. Lunar and Planetary Science XXXVII (2006), www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2006/pdf/1918.pdf)

A DDS-MSO hipotézis ma már kezdi kinőni az egyszerű hipotézis kereteit, és egyre inkább elméletté fejlődik. Az előzőekben láttuk, hogy azokat a jelenségeket, amelyeket mint tényeket a marsi felvételekből ki lehetett olvasni a DDS-ek tulajdonságaira vonatkozóan, és amelyeket az egyszerű defrosting jelenség nem tud értelmezni, a DDS-MSO hipotézis meg tudja magyarázni. De a fentiekén túlmenően egyéb jelenségekre, például a foltok finomszerkezetére is magyarázatot tud adni.

Az egyes foltok tulajdonságainak részletes vizsgálata során a következőket lehetett megállapítani: tél végén először egységesen szürke foltok jelennek meg a fehér hótakarón. Az idő előrehaladtával a foltok közepe táján egy sötét (a felvételeken fekete) központi mag jelenik meg, amelyet, a felette lévő hó eltűnésével értelmezünk. A finomabb vizsgálatok azonban azt mutatják, hogy az esetek egy részében az eredetileg szürke és a fekete zóna határán egy világosabb gyűrű helyezkedik el. Ennek a keletkezését a DDS-MSO hipotézis segítségével a következőképpen magyarázhatjuk. A szürke zónából – miután ott folyékony víz van a hóréteg alatt – a marstalaj mentén folyamatosan víz szivárog a leszáradt fekete zóna határára.

Itt, mivel a hóréteg védő hatása megszűnik, a víz az alacsony légnyomás miatt a hideg ellenére igen gyorsan elpárolog. De ugyanakkor a külső térben uralkodó nagy hideg e párát mindjárt dérképződésre készíti, vagyis e két réteg határán folyamatosan új dérképződés indul meg. E frissen keletkező dér okozhatja a fekete mag és a szürke zóna közötti világosszürke gyűrűt.

A DDS-MSO elméletről Horváth András, Gánti Tibor, Bérczi Szaniszló, Pócs Tamás, Kereszturi Ákos, Sik András „Marsi sötét dűnefoltok: az élet lehetősége a Marson?” című írásában olvashatunk részletesen (Magyar Tudomány, 2006/11 1357., <http://www.matud.iif.hu/06nov/12.html> és <http://epa.oszk.hu/00600/00691/00035/12.html>).

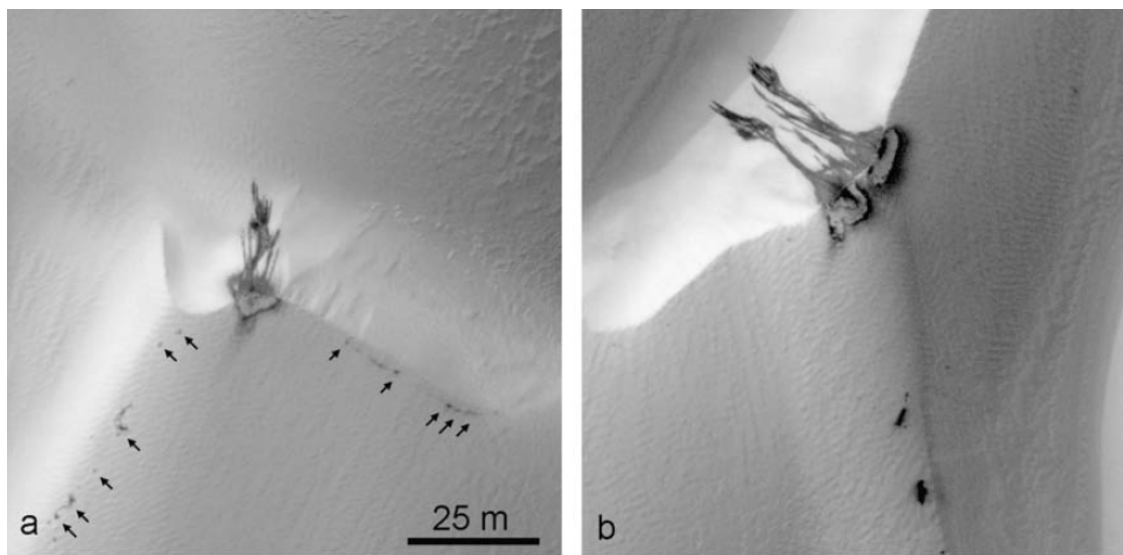


Fig. 3. Bimodal size distribution of low albedo features: "large" spots with seepage-features at the top edge of steep slopes are evident. The "smaller" spots are along the ridges at the third region HiRISE image No. PSP_007193_2640 acquired at $L_s = 28.8$.

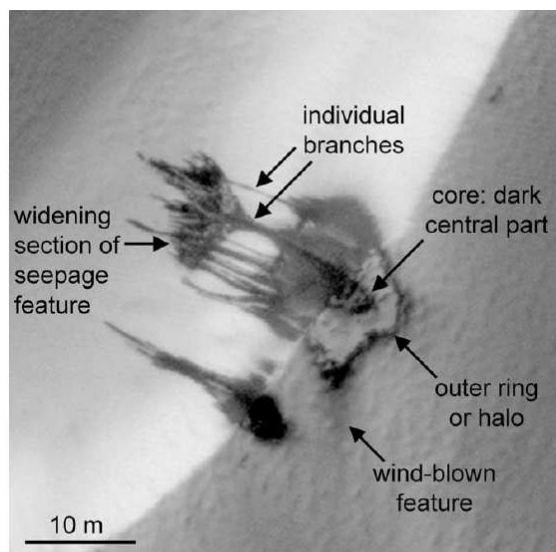
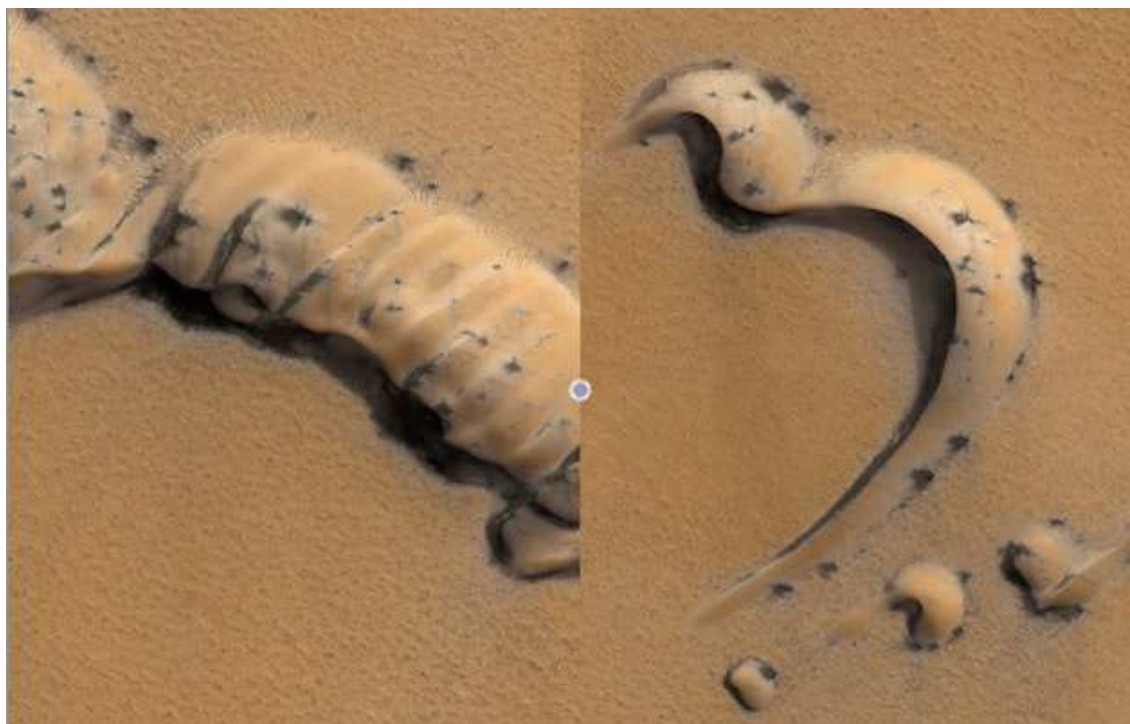


Fig. 5. Detailed morphology of a "large" spot and the seepage-like features in a 50×50 m part of HiRISE image PSP_007193_2640 acquired at $L_s = 28.8$ of the third region.

(forrás: A. Kereszturi, D. Möhlmann, Sz. Berczi, T. Ganti, A. Horvath, A. Kuti, A. Sik, E. Szathmary: Indications of brine related local seepage phenomena on the northern hemisphere of Mars, *Icarus* 207 (2010) 149–164, doi:10.1016/j.icarus.2009.10.012 www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001910350900428X)

HiRISE (High Resolution Imaging Science Experiment) felvételek a Marsi (DDSs) sötét dűnefoltokról, 2008. 02. 07. (NASA/JPL/UA)



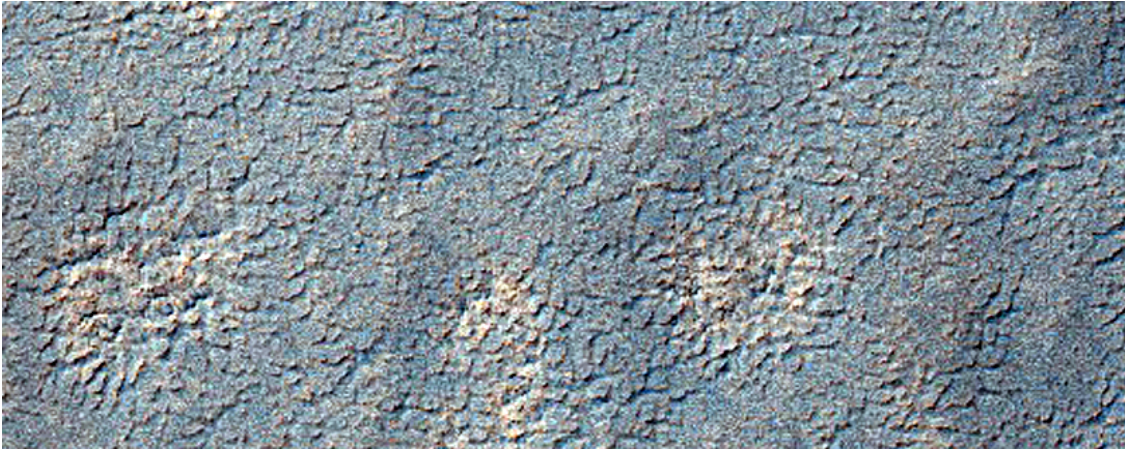
(Michael Benson/NASA/JPL/University of Arizona/Kinetikon Pictures, MRO, 2010. január 27., www.redicecreations.com/article.php?id=21959)



(forrás: Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), University of Arizona/HiRise-LPL, photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA11858, és www.uahirise.org/ESP_011776_0930, és NASA Findings Suggest Jets Bursting From Martian Ice Cap, Arizona State University/Ron Miller, www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2006-100)



Illusztráció: Marsi szén-dioxid-gáz, homok kifúvások.



(forrás: Ker Than: Strange Mars Photo Includes Tantalizing „Tree” Illusion, SPACE.com, 2010. január 13., NASA/JPL/University of Arizona, www.space.com/7775-strange-mars-photo-includes-tantalizing-tree-illusion.html, és <http://www.davidpratt.info/mars-life.htm#m4>)

NASA's Mars Reconnaissance Orbiter készítette a felvételt melyen egy optikai illuzió látható a mars felszínéről. Úgy tűnik, hogy fák emelkednek ki a Mars felszínén, valójában a sötét csíkok lefutó anyagok homokdűnéken szén-dioxid fagyás-párolgás következtében.

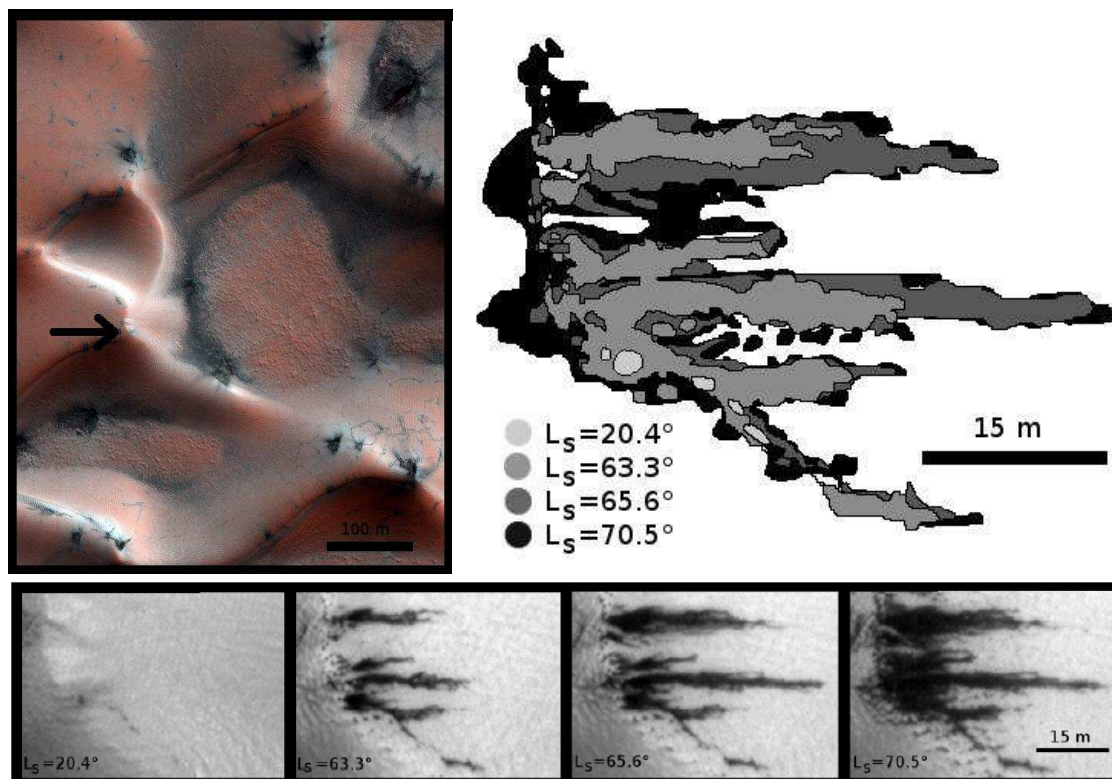
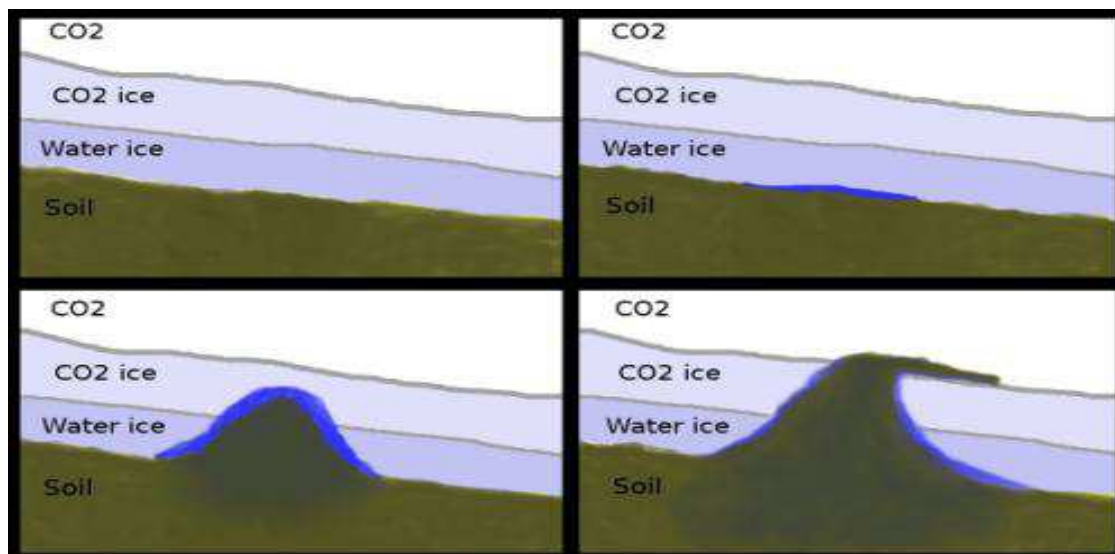


Figure 2: The images here show the area in the marked by the arrow in Figure 1 and show how the dark features changes with time. HiRISE images (PSP_006959_2610), (PSP_008185_2610), (PSP_008251_2610), and (PSP_008396_2610) respectively.

(forrás: www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2010/pdf/1562.pdf)



(forrás: M. Appel, R. Ramstad, A. J. Brown, C. P. McKay, S. Fredriksson: Potential model for dark albedo features in the martian polar region observed at 81°n 156°e., 41 st Lunar and Planetary Science Conference (2010), Luleå University of Technology, Department of Physics, SETI Institute, NASA Ames Research Center, www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2010/pdf/1562.pdf)

A marsbéli élet lehetőségével kapcsolatos fontos kérdés annak tisztázása, mennyi aktív oxidáns van a bolygón. Ezek olyan agresszív kemikáliák, amelyek előszeretettel bontják le a szerves anyagot, ezért nagy koncentrációban halálosak lehetnek az általunk ismert életformák számára. A korábbi elméleti számítások alapján arra lehetett következtetni, hogy ezek a kemikáliák jelen lehetnek a Mars felszínén. Ezt támasztja alá, hogy a bolygón, a felszínére hulló szenes kondrit meteoritok ellenére sem találtak szerves anyagot a Viking-űrszondák a felszíni regolitban.

A Vikingek egyik biológiai kísérletének eredménye is magyarázható ezzel: amikor a marstalajhoz olyan földi szerves anyagokat tartalmazó oldatot csepegtettek, amit a földi baktériumok élvezettel fogyasztottak volna, gáz fejlődött a kamrában. Ezt elvben élőlények is termelhették, de a kutatók többsége szerint inkább a fent említett agresszív oxidánsok hozták létre a gázt, miközben a tápoldat szerves molekuláit lebontották.

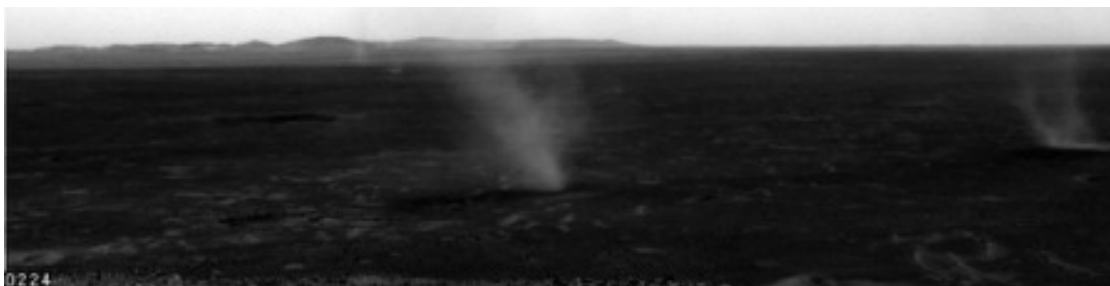
A Mars felszínén táncoló porördögök (mini tornádók, amelyek a Földön az Egyesül Államok délnyugati vidékén is előfordulnak), és porviharok alkalmával zajló folyamatok a légkör felszínközeli részében sztatikus elektromos mezőt eredményeznek. Ezekről pedig a légköri szén-dioxid és a vízgőz töltésekkel bíró, OH és CO összetevőkre bomlik, majd ezek további reakciókkal hidrogén-peroxidot és egyéb hiperoxidokat alkothatnak.

A tornádókkal ellentétben a porördögök tipikusan tiszta napokon keletkeznek, amikor a napsugárzástól fűtött talaj felmelegíti a felette lévő levegőt. Megfelelő feltételek esetén a talajtól energiát nyert levegő a felfele áramlás során a felette található hidegebb rétegekkel való találkozáskor forgásba jön, létrehozva így az örvényt. A felvétel az északi félteke késő tavaszi periódusában készült, két héttel a nyári napforduló előtt, abban az időszakban, amikor az északi rész közepes szélességeit legerősebben melegíti a napsugárzás.



(forrás: NASA/JPL-Caltech/UA, www.sciencedaily.com/releases/2012/04/120406105725.htm)

A NASA MRO keringő egységének HiRISE kamerája által 2012. március 14-én a Mars Amazonis Planitia nevű északi területén lefotózott porördög magassága körülbelül 20 kilométer, szélessége azonban mindössze 70 méter.



(forrás: NASA/JPL-Caltech/Texas A&M, www.urvilag.hu/spirit_es_opportunity/20140111_egy_evtizede_ert_a_marsra_a_spirit)

A Spiri, navigációs kamerája porördögöket örökített meg 2005. július 13-án a Guszev-kráter sík területén.

A felszínen így felhalmozódó, oxidánsokban gazdag anyag nem csak a szerves összetevőket próbálja elpusztítani, de közreműködhet a metán lebontásában is. Gregory T. Delory (University of California, Berkeley) és kollégái szerint, ha az elmúlt 3 milliárd év nagyobb részében a maihoz hasonló klíma lehetett a bolygón, a legtöbb ma ismert földi élőlény számára halálos mennyiségű oxidáns halmozódhatott fel a marstalajban.



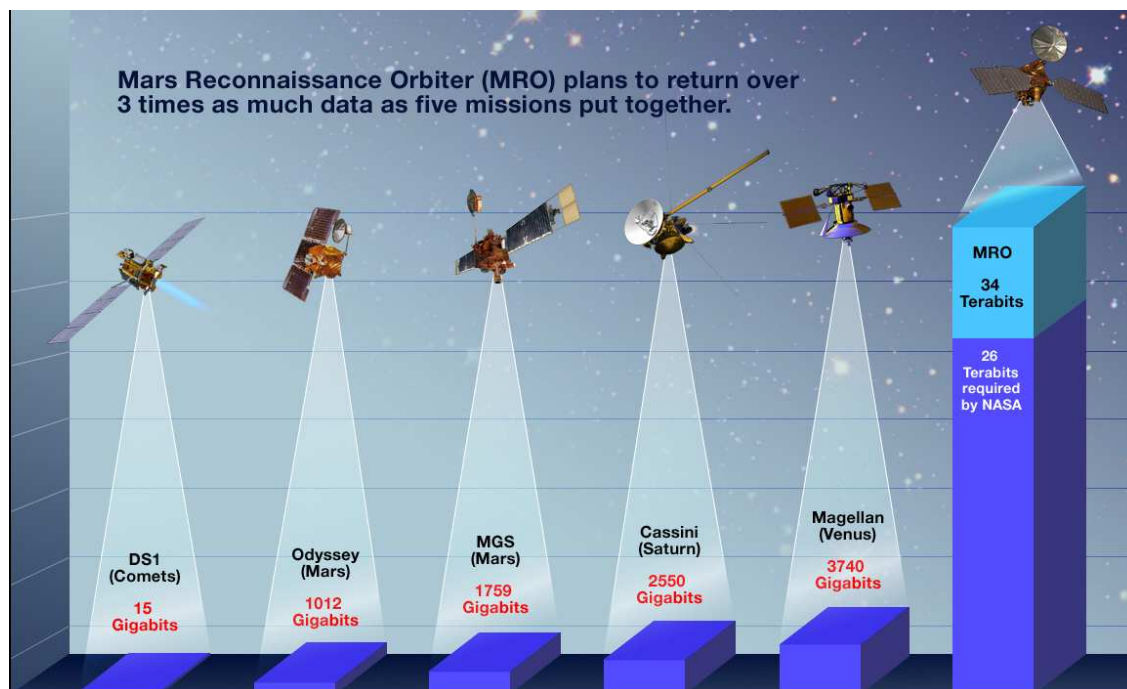
(forrás: Dust Devils on Mars, ESP_014426_2070, HiRISE Science Team (14 October 2009), Aeolian Processes, NASA/JPL/University of Arizona, www.uahirise.org/science_themes/aeolian_processes_1.php?page=4)

Örvénylő sötét nyomok a Mars világosabb színű felszínén, a Mars Reconnaissance Orbiter HiRISE kamerájának felvételén, kis forgószelek és porördögök útvonalait mutatják.

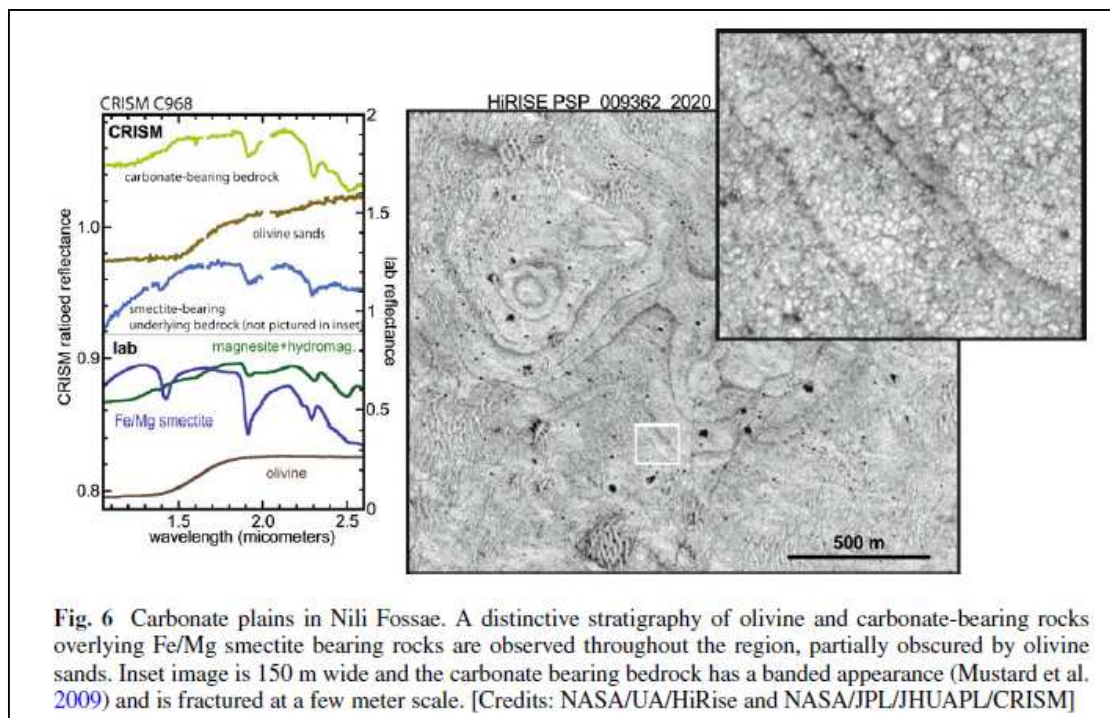
A Nili Fossae területen a NASA Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) űrszonda CRISM (Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars) műszere 3,5 milliárd éve keletkezett karbonátokat is talált.

A felfedezés részben feloldhatja a Marssal kapcsolatos karbonát-paradoxont, amely szerint ellentmondás van a bolygón megtalálható víz és a légkörben lévő szén-dioxid jelenléte és az ezekből keletkező karbonátásványok hiánya között. Az új felfedezés alapján semleges vagy lúgos kémhatású területek is voltak a felszínen.

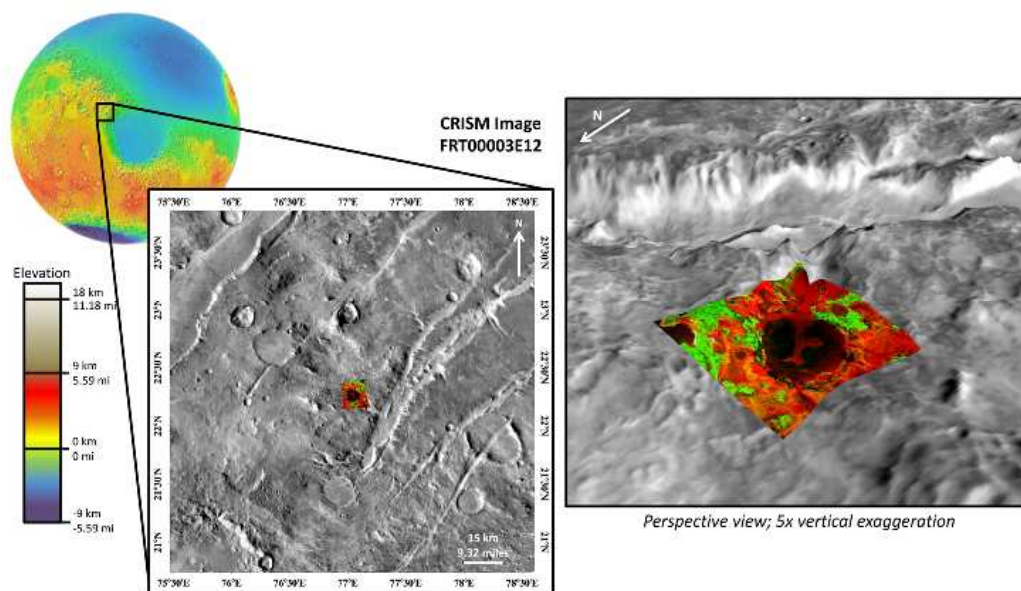
(forrás: Mars Reconnaissance Orbiter at Nilosyrtis, NASA/JPL/Corby Waste, https://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Spacecraft&IM_ID=2206)



(forrás: NASA/JPL, Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), 34 Terabits dat, http://mars.jpl.nasa.gov/mro/gallery/artwork/MRO_data.html)



(forrás: Paul B. Niles, David C. Catling, Gilles Berger, Eric Chassefière, Bethany L. Ehlmann, Joseph R. Michalski, Richard Morris, Steven W. Ruff, Brad Sutter: *Geochemistry of Carbonates on Mars: Implications for Climate History and Nature of Aqueous Environments*, *Space Sci Rev* (2013) 174:301–328, DOI 10.1007/s11214-012-9940-y, http://faculty.washington.edu/dcatling/Niles2013_CarbonatesOnMarsReview.pdf)

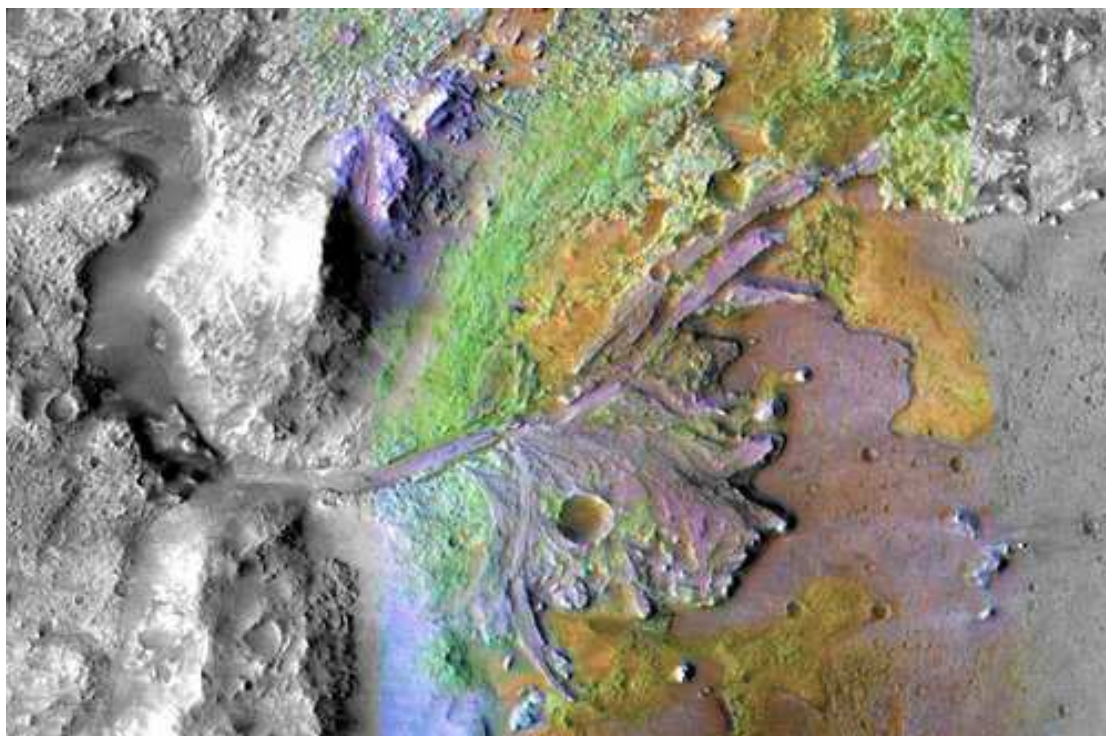
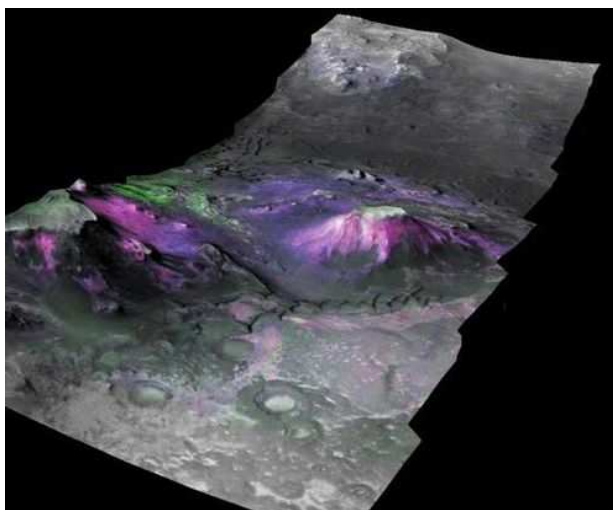


(forrás: Olivine, Carbonate, and Phyllosilicates in Nili Fossae, 2007. 01. 13. http://crism.jhuapl.edu/gallery/featuredImage/image.php?image_id=180)

Nili fossae közel helyszín, A CRISM képen láthatók az olivin gazdag sziklák (vörös), gazdag vas / magnézium tartalmú agyag-szerű ásványok a filloszilikátok (zöld), és a kis kiterjedésű a karbonát ásványok (világos sárga vagy fehér). Olivin jelen van a legtöbb helyen a Marson, és tükrözi a vulkáni jellegét, leginkább kéreg anyagok. Filloszilikátok, ezzel szemben azt mutatják, ahol a víz volt jelen, legalább egy időpontban. Karbonát ásványok először találtak a Marson (CRISM adatokat 2008.)

(forrás: NASA/JPL/JHUAPL/
MSSS/Brown University,
http://www.dailygalaxy.com/my_weblog/2012/03/-mars-vast-fields-of-volcanic-glass-.html)

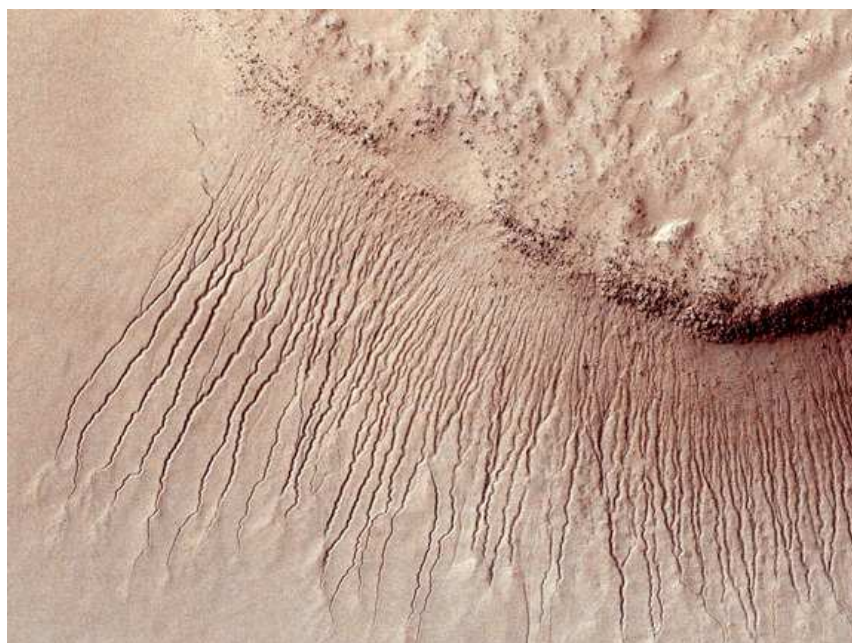
A Nili Fossae terület a Marson, ahol a kékes és ibolya színek a lejtők mentén gyakori agyagásványokat jelzik.



(forrás: astrobob.areavoices.com/2008/07/17/and-the-beat-goes-on/)

A Jezero-kráterbe érkezett egykori folyó által lerakott hordalék, amelyben a zöld szín mutatja az agyagos üledékeket

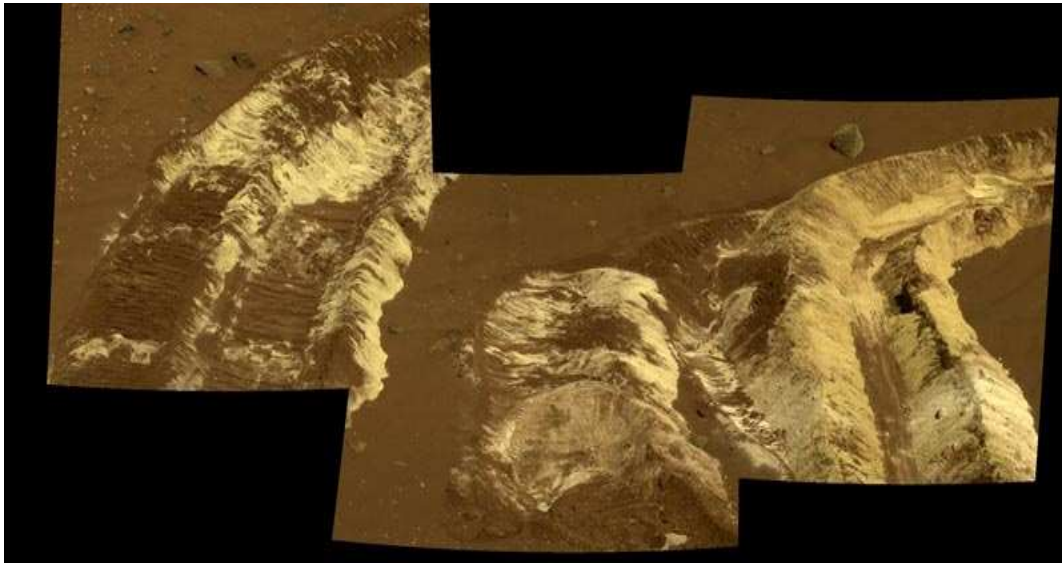
A szilikátos kőzetek nedves és enyhén meleg környezetben bekövetkezett mállásával keletkeztek, így az egykori vizes környezetek egyértelmű jelzői. Ezek az ásványok 3,8 milliárd évnél régebben jöttek létre, és az eddigi elemzések alapján három nagy csoportjuk különíthető el: alumínium-, illetve vas-magnézium-tartalmú rétegszilikát ásványok, valamint vízmolekulákat tartalmazó opálok. Mindegyik kissé eltérő környezeti feltételek mellett alakult ki. A vizsgált ásványok a bolygó déli, idős felföldjein jellemzőek, amelyek a feltételezett korai, nedvesebb időszak nyomait viselik magukon. Eredetileg nagy területen fordultak elő, de később sok helyen vulkáni lávafolyások temették be őket. Az egyik intenzíven vizsgált terület a közel 40 kilométeres Jezero-kráter. Itt sok millió évvel az agyagok keletkezése után egy vízfolyás vágott medret a felföld anyagába, és sok anyagásványt szállított a kráterbe. Az egykori állóvízbe érkezve ezeket lerakta, és egy deltatorkolatot épített. A besodrott agyagásványok területi eloszlása arra utal, hogy ősi állóvíz nagyságrendileg legalább ezer évig lehetett a kráterben.



(forrás:
www.space.com/11117-mars-reconnaissance-orbiter-anniversary-red-planet.html)

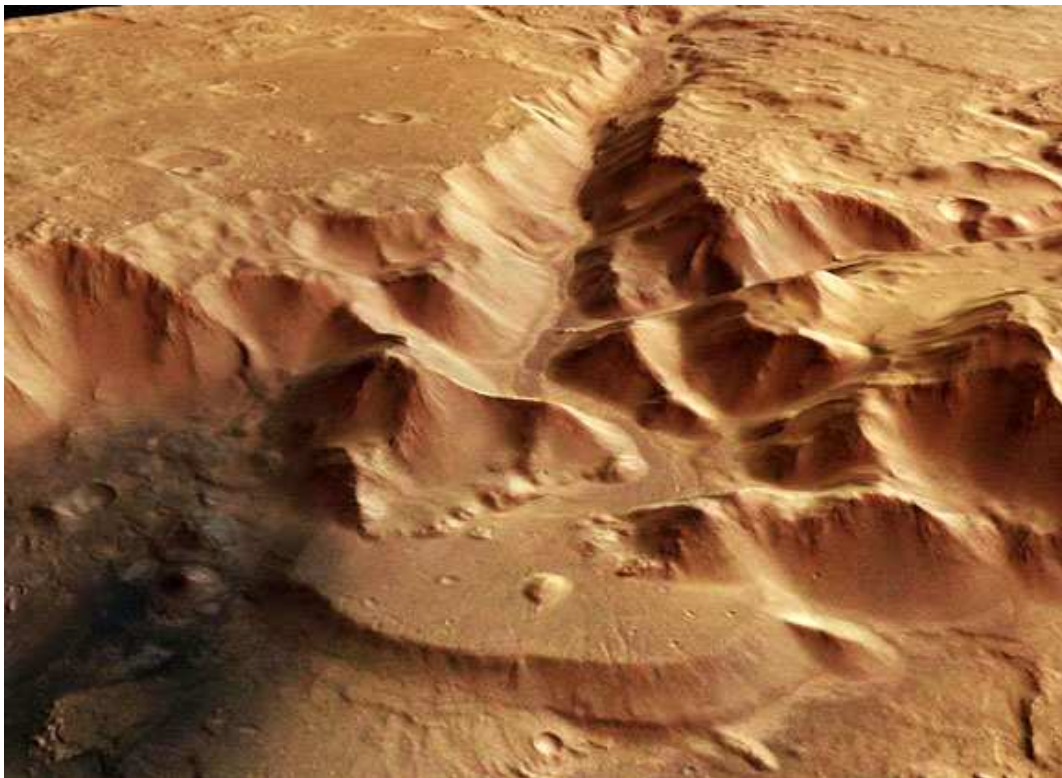
Vízfolyások a Marson a Hellas-medencében. Szélességük 1 és 10 méter között változik.

A Marson magnéziumban gazdag karbonátok is találhatóak, amik a vulkanikus üledékek és a nedvesség reakciójából keletkezettek, a vasban és kalciumban gazdag karbonát ásványok kialakulásához azonban ennél jóval bonyolultabb folyamatokra volt szükség. Ezek sokkal inkább a Föld óceánjainak és tavainak fenekén megtalálható ásványokra hasonlítanak, magyarázta James Wray, a Cornell Egyetem bolygótudósa. „A légköri sűrűség drámai változása továbbra is a korai Mars egyik legérdekesebb kérdése” - nyilatkozott az MRO projekt tudósa, Richard Zurek. „Az ősi Mars felszínén jelenlévő folyékony vízre utaló, egyre szaporodó bizonyítékok arra utalnak, hogy a légkör egykor sokkal vastagabb volt. A mai vékony, hideg légkörben a folyékony víz megfagy, vagy elpárolog.”



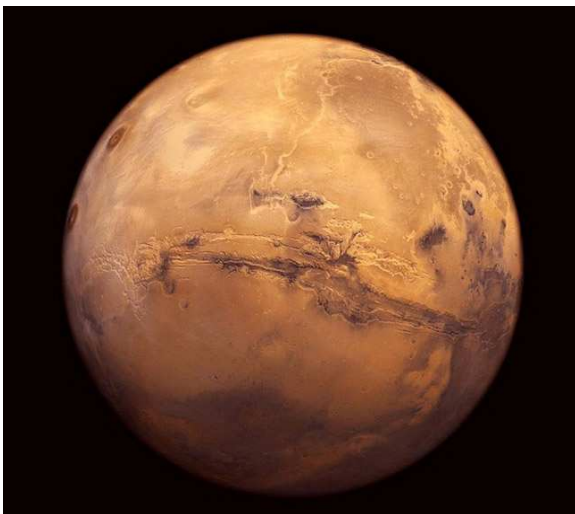
(forrás: NASA/JPL-Caltech/Cornell, Spirit felvétele, 2006, 03. 12., www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2007-029)

A NASA Mars Exploration Rover Spirit kereke által kiásott szilícium-dioxidban gazdag, utóvulkáni hévforrásból kivált világos anyag.



(forrás: ESA, DLR, FU Berlin, Neukum, www.origo.hu/tudomany/vilagur/20080516-elet-a-marson-lehetsege.html?pIdx=2)

A Mars felszínén egy idős folyóvölgy végződésénél található üledékes delta.



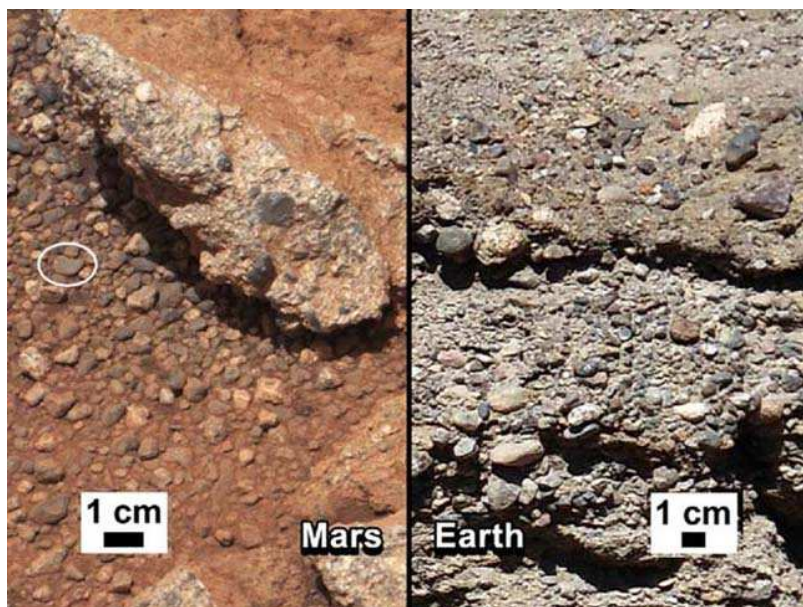
A modellben egy hatalmas óceán borítja a bolygó egyik felét, a másik felét óriási vulkánok uralják, az Olympus, Pavonis, Ascraeus és Arsia csúcsai a légkör fölé magasodnak. Gill elképzelése szerint az egyenlítői vulkánok területe sivatagos lehetett volna, ahol alig nőttek volna növények (már ha lett volna élet a Marson). Az alacsonyabb területeken azonban kedvezőbb lehetett volna az éghajlat az esetleges élethez.

(forrás: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/image/planetary/mars/marsglobe1.jpg>)



(illusztráció: <http://allthingsgeography.tumblr.com/post/41698926262/discoverynews-blue-not-red-did-ancient-mars>)

Kevin Gill szoftverfejlesztő a NASA műholdjainak adatai alapján elkészítette a kék Mars modelljét.



(forrás:
NASA/JPL/Caltech
www.universetoday.com/97620/curiosity-finds-evidence-of-an-ancient-streambed-on-mars)

„Link”-nek elnevezett lemállott, a földre hullva kis halmot alkotó törmelék szintén kisebb, kerekdedre kopott kövekből állt.



(forrás: Mars Curiosity Rover Discovers Rocks Formed By Rushing Water, <http://talkingpointsmemo.com/idealab/mars-curiosity-rover-discovers-rocks-formed-by-rushing-water-photos>)

Rebecca Williams, az arizonai Bolygótudományi Intézet munkatársa elmondta, hogy mind a „Link”, mind a „Hottah” olyan anyagokból állt, amit korábban még nem láttak a Marson. A kavicsok mérete alapján a tudósok bokáig vagy csípőig érő, 3-4 kilométer óránkénti sebességgel haladó folyóra tippelnek.

A New York állambeli Rensselaer Polytechnic Institute nevű felsőoktatási intézmény Laurie Leshin vezette kutatócsoportja szerint a víz kétszázalékos arányban van jelen a marsi talajban, amelyben említésre méltó mennyiségben szén-dioxidot, oxigént és kénvegyületeket is azonosított a vörös bolygón szolgálatot teljesítő rover.

Laurie Leshin szerint a felfedezés nem csak tudományos szempontból fontos. „Most már tudjuk, hogy bőséges és könnyen hozzáférhető víznek kell lennie a Marson. Amikor embert küldünk oda, bárhol gyűjthetnek talajt a bolygó felszínéről, csak fel kell melegíteniük, és máris lesz vizük” (forrás: NASA/JPL/University of Arizona, www.nasa.gov/mission_pages/MRO/news/mro-20070920.html)



A Curiosity Mars-járó teljesítette küldetése fő feladatát, és bizonyítékot talált arra, hogy a bolygó valaha alkalmas lehetett a földihez hasonló életre - jelentette be rendkívüli sajtótájékoztatóján a NASA.

Az amerikai űrhivatal specialistái elmondták, hogy a Mars-járó a talajmintáinak elemzése során megtalálták az élet kialakulásához szükséges összes kémiai összetevőt: ként, nitrogént, hidrogént, oxigént, foszfort és szenet. Ez, a korábban már bizonyított víz jelenlétével együtt azt támasztja alá, hogy minden körülmény adott volt, hogy a jelenlegi ismereteink szerinti legegyszerűbb élő organizmusok kialakuljanak a bolygón.

(forrás: <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA16239>)

A Curiosity Mars-járó önmagáról készített felvétele a Gale káterben a Marson (2012. október 31.) NASA/JPL-Caltech/Malin Space Science Systems.

Richard Charles Hoagland (1945-) amerikai író neve egybefonódik az „Mars Arcchal”, melyet a Viking szonda felvételén fedeztek fel, és Ő azóta is idegen civilizáció bizonyítékaként reklámozza. Az arc alakú formával maga a NASA kezdett el foglalkozni, egy 1976-ban közzétett felvételhez az alábbi feliratot fűzték: „A szikla-alakzat árnyékai egy orr és egy száj illúzióit keltik. A geológusok az alakzat eredetét kizárólag természetes folyamatoknak tulajdonítják.”

Richard Hoagland a CBS News tudományos tanácsadója volt az Apollo-program (1968-1971) idején, és támogatója a különböző összeesküvés-elméletek mint a NASA által eltitkolt információk, az elveszett idegen civilizációk a Hold és a Mars és más kapcsolódó témákról.

A gondolatait videókon, előadásokon, az Enterprise Mission honlapján (www.enterprisemission.com) és két kiadott könyvében „The Monuments of Mars: A City on the Edge of Forever, és társszerzőjével Mike Bara-val írt „Dark Mission: The Secret History of NASA” című könyvében foglalta össze, amely rangsorban 21. lett 2007. november 18-án közzétett „The New York Times Best Seller” listáján, azonban nézeteit még soha nem tették közzé (peer-reviewed journals) lektorált folyóiratokban.

Hoagland 1983 óta a vezetője „egy külső tudományos csapatnak, akik független elemzést folytatnak más világokban a lehetséges intelligens kialakítású objektumokról” a NASA és más expedíciók felvételei alapján.

Ezzel szemben Phil Plait, a „Bad Astronomy” (www.badastronomy.com) szerzője azon dolgozik, hogy eloszlassa az űrmítoszokat és a tévképzeteket. Plait szerint Hoagland által a marsjárók és űrszondák felvételeinek elemzése során feltárt kutatási eredményekre a „pareidolia” a jellemző. Ez ugyanaz a jelenség, amivel állatokat és más ismerős dolgokat látunk a felhőképekben, ami a Mars felszínre lefordítva annyit jelent, hogy időnként előfordul, hogy a tárgyak a bolygón érdekes alakot vesznek fel, azonban ha közelről megvizsgáljuk, akkor kiderül, hogy csupán egy tucatnyi szikláról van szó.

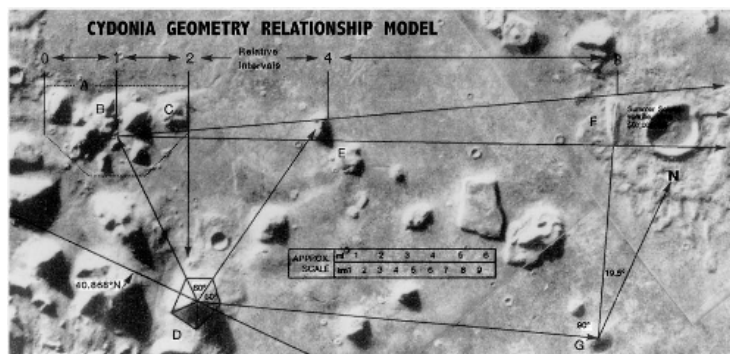
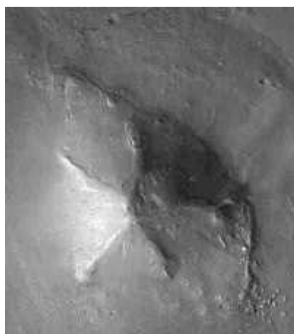
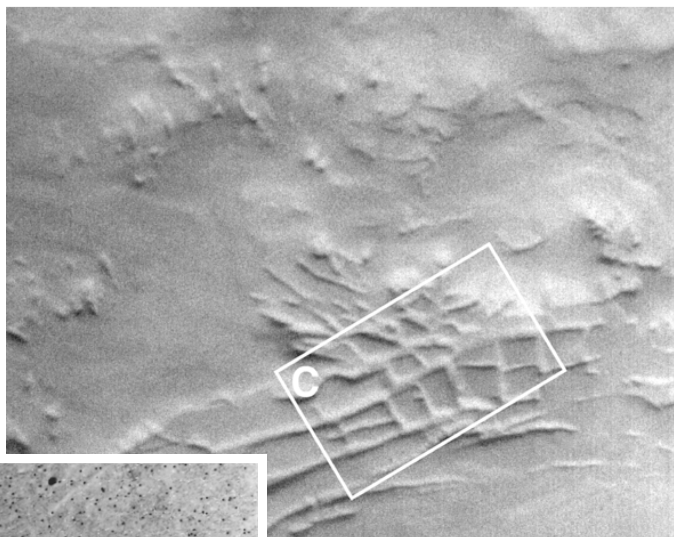


Diagram of relationships observed in Cydonia by Hoagland, Torun and others. This simplified graphic representation is intended for illustrative purposes only. Any attempt to verify the claimed values should be based upon larger-scale, orthographically-rectified reproductions.

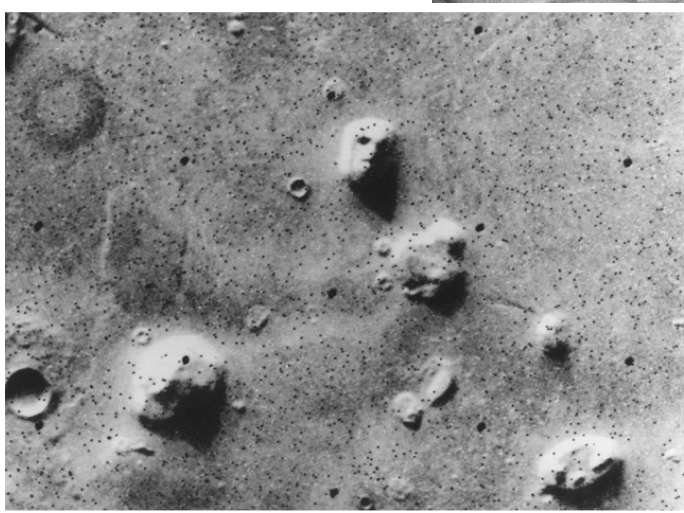
Hoagland nem csupán az Arcot találta érdekesnek. Állítása szerint, ha vonalakat húzunk a Cydonia terület Arcot övező jegyei között, olyan szögeket kapunk, melyek összetett matematikai képletekre és geometriai összefüggésekre utal, amit csak intelligens tervezés hozhatott létre.



Mars Odyssey-űrszonda THEMIS detektorával készített felvétel a „D&M Píramid”-ról (2002).



[http://www.msss.com/mars_images/moc/science_paper/f5/](http://www.msss.com/mars_images/moc/science_paper/f5/moc/science_paper/f5/)
Mars Global Surveyor (1997-1998)
Mars Orbiter Camera (MOC)
Déli-sarkon gerincek, „Inca City”

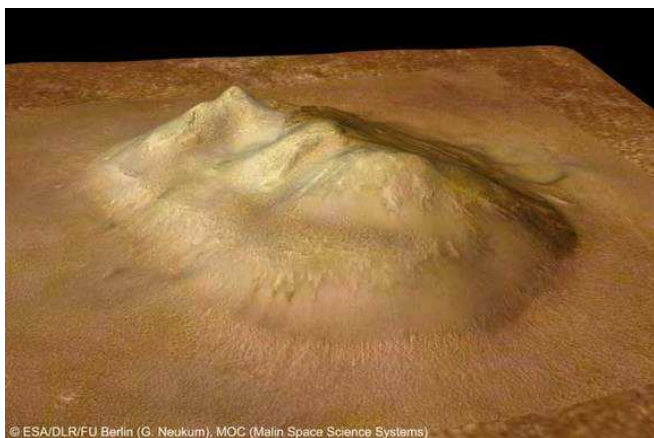


(forrás: <http://www.davidpratt.info/mars-life.htm#m4> és www.msss.com/mars_images/moc/4_5_00_cydonia/moc2_msss_labels.gif)

A Viking 1 űrszonda felvétele a Cydonia területről, az „Arc”-cal (1976.)

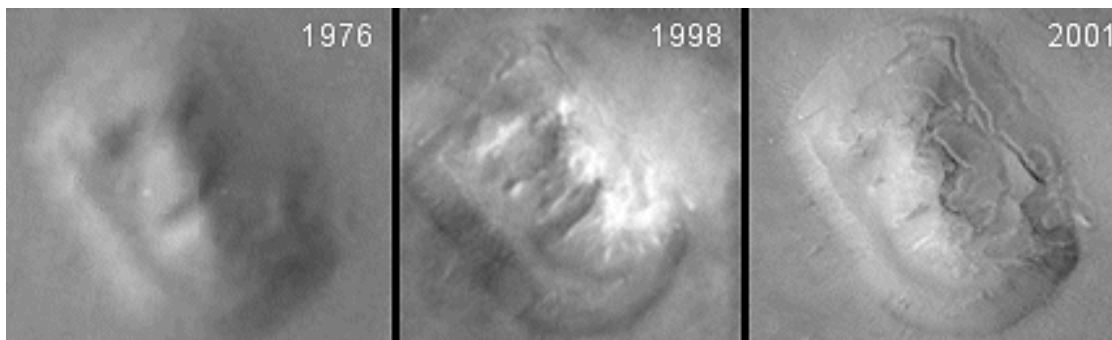


(forrás: http://esamultimedia.esa.int/images/marsexpress/310-230906-3253-6-3d4-Cydonia_H.jpg és http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Mars_Express/Cydonia_-_the_face_on_Mars)

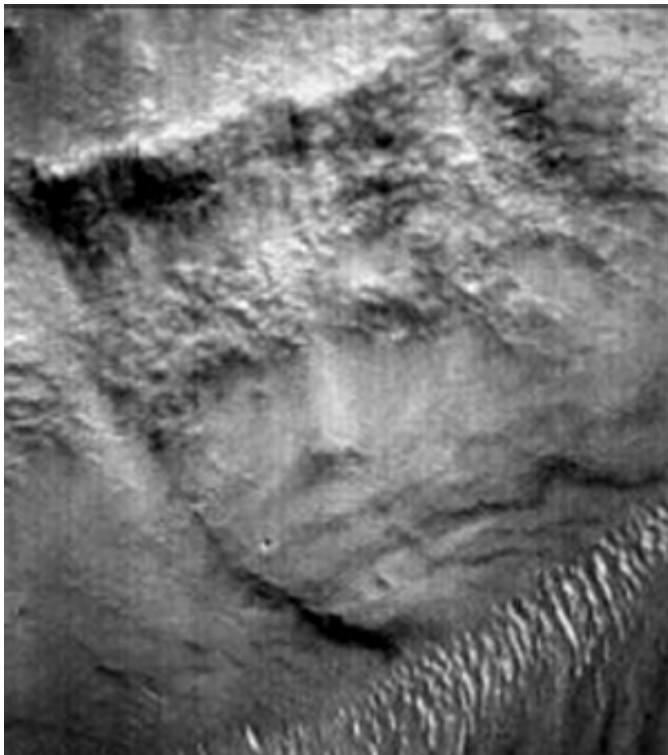


(forrás: Robert Roy Britt: Mars Face Makeover: Controversial Formation Observed from New Angles, ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum), 2006. 09. 21., www.space.com/2922-mars-face-makeover-controversial-formation-observed-angles.html és www.davidpratt.info/mars-life.htm#m4)

Mars Express Orbiter felvétele, „Face on Mars” a Cydonia területén.



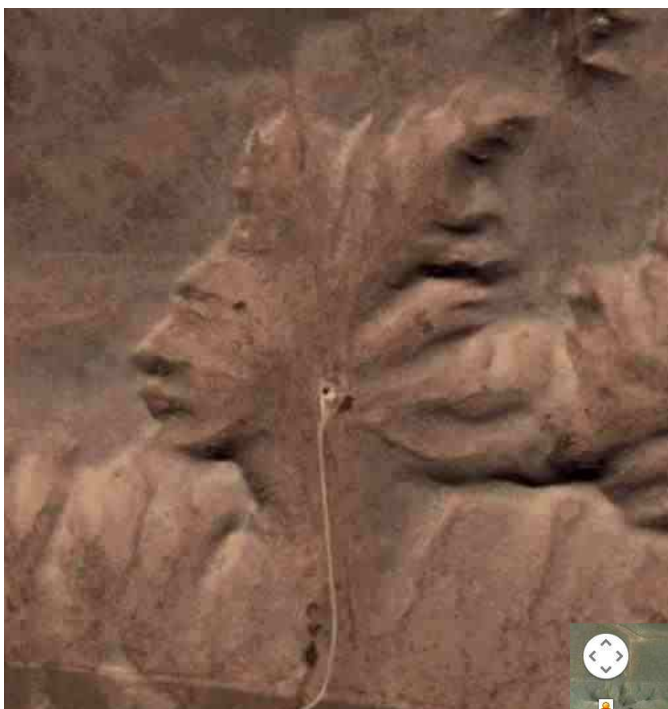
(forrás: MOC image E03-00824 2001 április, www.msss.com/mars_images/moc/extended_may2001/face/index.html és www.msss.com/mars_images/moc/extended_may2001/face/face_E03-00824_proc_50perc.gif)



Az űrszondák felvételeinek tanulmányozása során több arc is kirajzolódik a Mars felszínén, és más ábra is felfedezhető, mely valószínűleg szintén „pareidolia” (görög para, azaz ebben a kontextusban „rendellenes”, és az „eidolon”, azaz „kép” szóból származik).

(forrás: Mars Global Surveyor
The Second „Face” on Mars
Winding Valley
in Libya Montes
MOC Image M02-03051

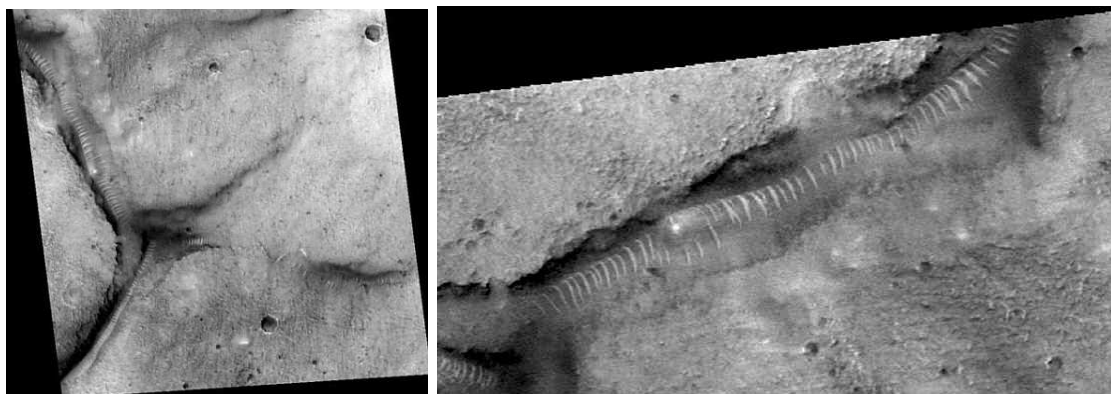
http://www.thelivingmoon.com/43ancients/02files/Mars_Images_05a.html



A Földön is találhatunk hasonló képződményt, Badlands Guardian közelében Medicine Hat, Alberta, Kanada. Felülről nézve, úgy tűnik, mint egy emberi fej természetes fejdíszel és fülhallgatóval. A „fülhallgató” valójában egy út, és egy bánya. A kép kialakulását a szél és a víz eróziójának tulajdonítják az agyagos talajon.

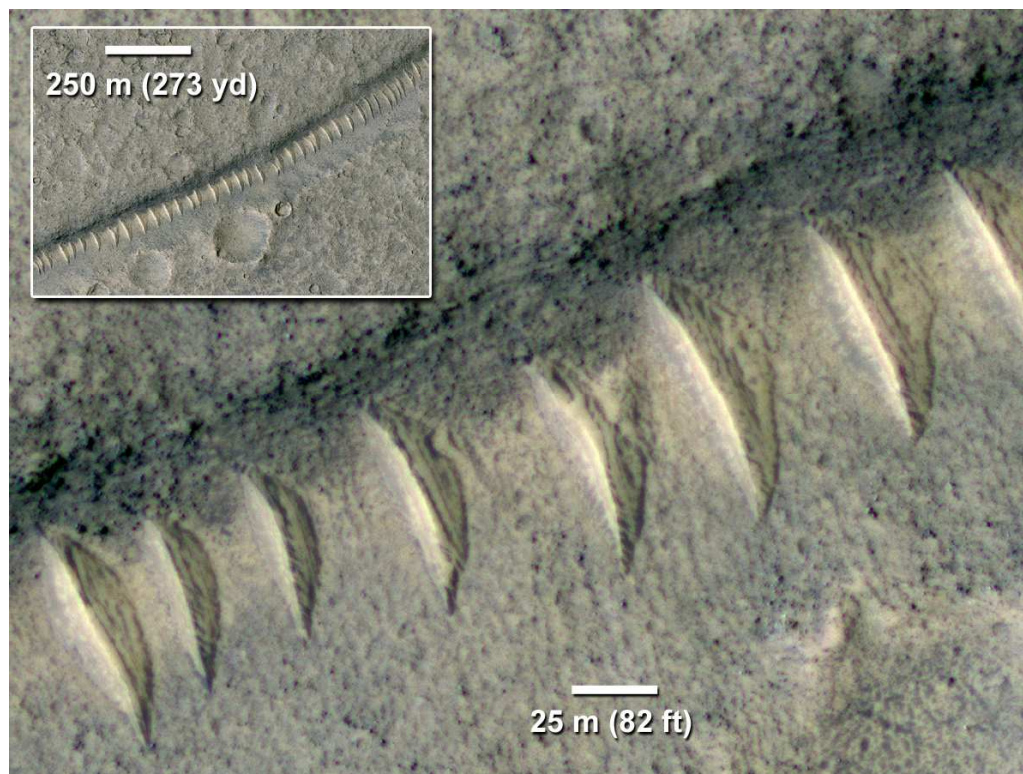
(forrás: www.satellitesights.com/satelliteimage/The_Badlands_Guardian_Alberta_Canada)



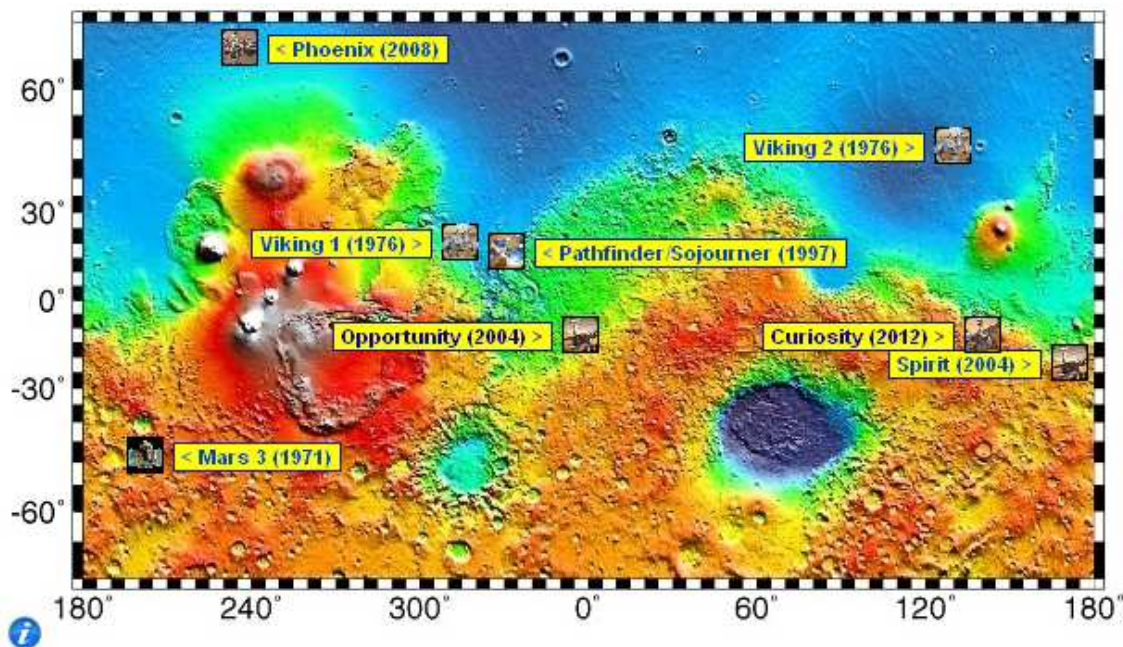


(forrás: MOC narrow-angle image M04-00291,
http://www.msss.com/moc_gallery/ab1_m04/images/M0400291.html)

Hoagland állítása szerint a Mars Global Surveyor egyik felvételén egy gargantuan, egy üvegszerű féreg látszik, ami több mint egy kilométer hosszúságú. A felvételen a kanyon aljában valóban egy féreg alakját és jellemvonásait lehet felfedezni, az egyenletesen elhelyezkedő körívek egy bordázatra emlékeztetnek. Plait szerint a jelenség legvalószínűbb magyarázata, hogy azok homokdűnék, amit a völgyön áthaladó szél alakított ki.



(forrás: HiRISE ESP_035634_2160, NASA/JPL/Univ. of Arizona,
<http://cosmicdiary.org/lfenton/2014/05/19/debunking-hoaglands-glass-worms-with-hirise/>)



(forrás: http://en.wikipedia.org/wiki/Composition_of_Mars)

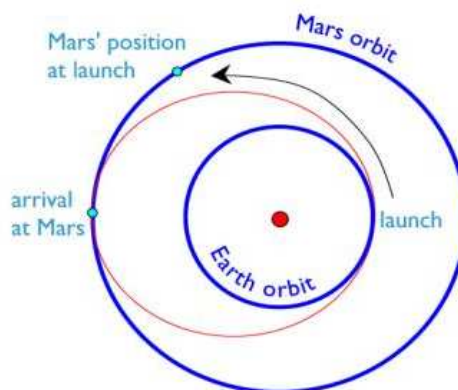


(forrás: <http://spaceref.com/mars/maven-nasas-next-mission-to-mars.html>)

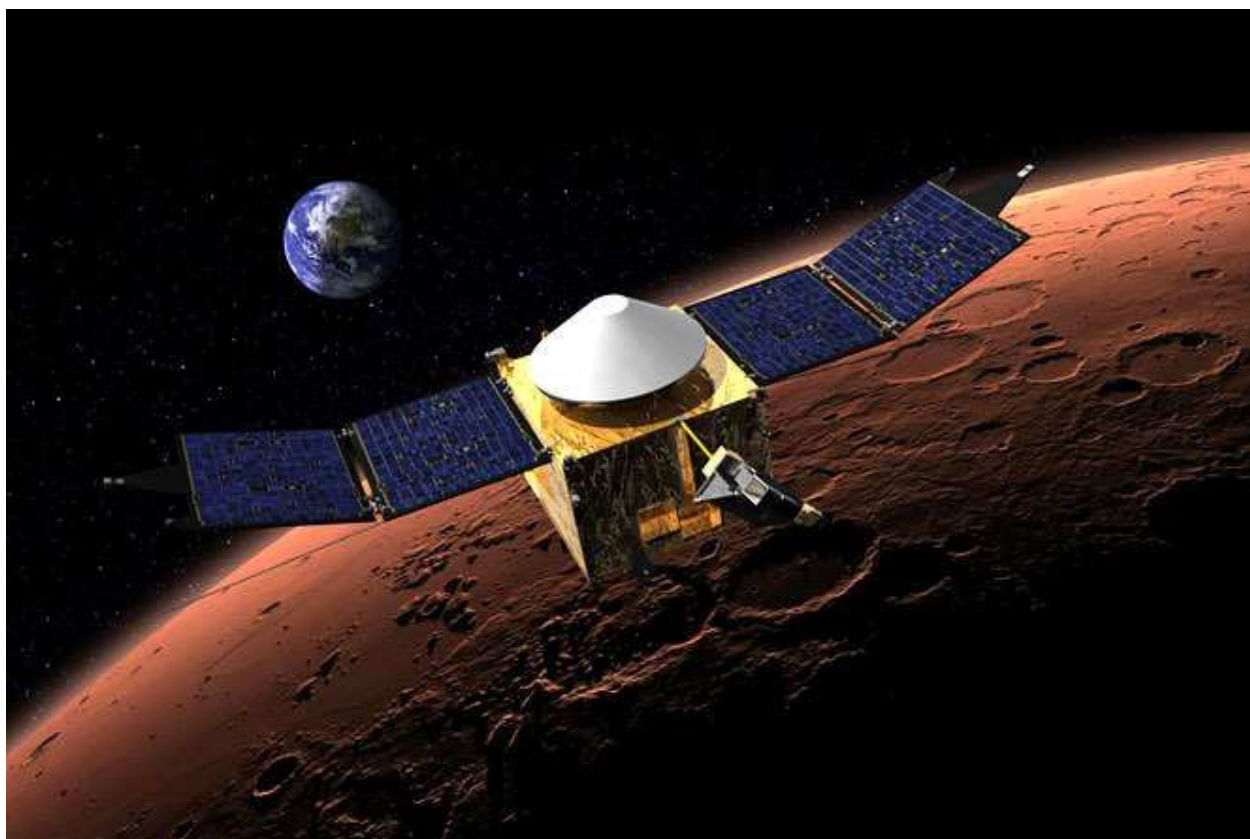
A NASA MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile Evolution orbiter), a Marsi légkör- és illóanyag-fejlődést elemző keringőegység, amely 2013. november 18-án indult, és 2014. szeptember 22-én érkezhethet meg a Mars térségébe. A MAVEN már a tizedik amerikai űrszonda, amelyet a Mars körüli pályára küldenek.

Elvileg a Mars felé vezető Hohmann-féle transzfer pálya, ami az energia felhasználása szempontjából a leghatékonyabb megoldás az odajutásra, mintegy 0,7 éves (8,4 hónapos) utazást kínál. A Föld és a Mars egymáshoz képesti helyzete kb. 26 havonta teszi lehetővé az ilyen energiatakarékos indítást.

(forrás: http://www.urvilag.hu/urszondak_a_marsnal/20131128_erdেকেসেgek_a_mavenrol_1resz)



Hohmann transfer trajectory



(illusztráció: NASA/Goddard, <http://news.nationalgeographic.com/news/2013/10/131029-maven-mars-nasa-space-science/>)

A Marshoz érkező MAVEN űrszonda.

Az Indiai Űrügynökség (ISRO) első Mars-kutató űrszondája, a Mars Orbiter Mission szintén elindult a vörös bolygó felé – közel két héttel korábban, 2013. november 5-én (ennek ellenére csak két nappal a MAVEN után, 2014. szeptember 24-én áll majd pályára az égtest körül

Anthony Irving Texasban, a 44. Hold- és Bolygótudományi Konferencián (Lunar and Planetary Science Conference in Texas) ismertette új felfedezéseit, mely szerint az 2012-es marokkói meteor hullás során a 35 meteorit mintából álló csoport az NWA 7325 akondritos meteorit darabok rendkívül régiek, Irving és munkatársai kormeghatározása szerint a kőzetek 4,56 milliárd évesek lehetnek, és lehetséges, hogy a Naprendszer legbelső bolygójáról a Merkúrról érkeztek Földünkre.



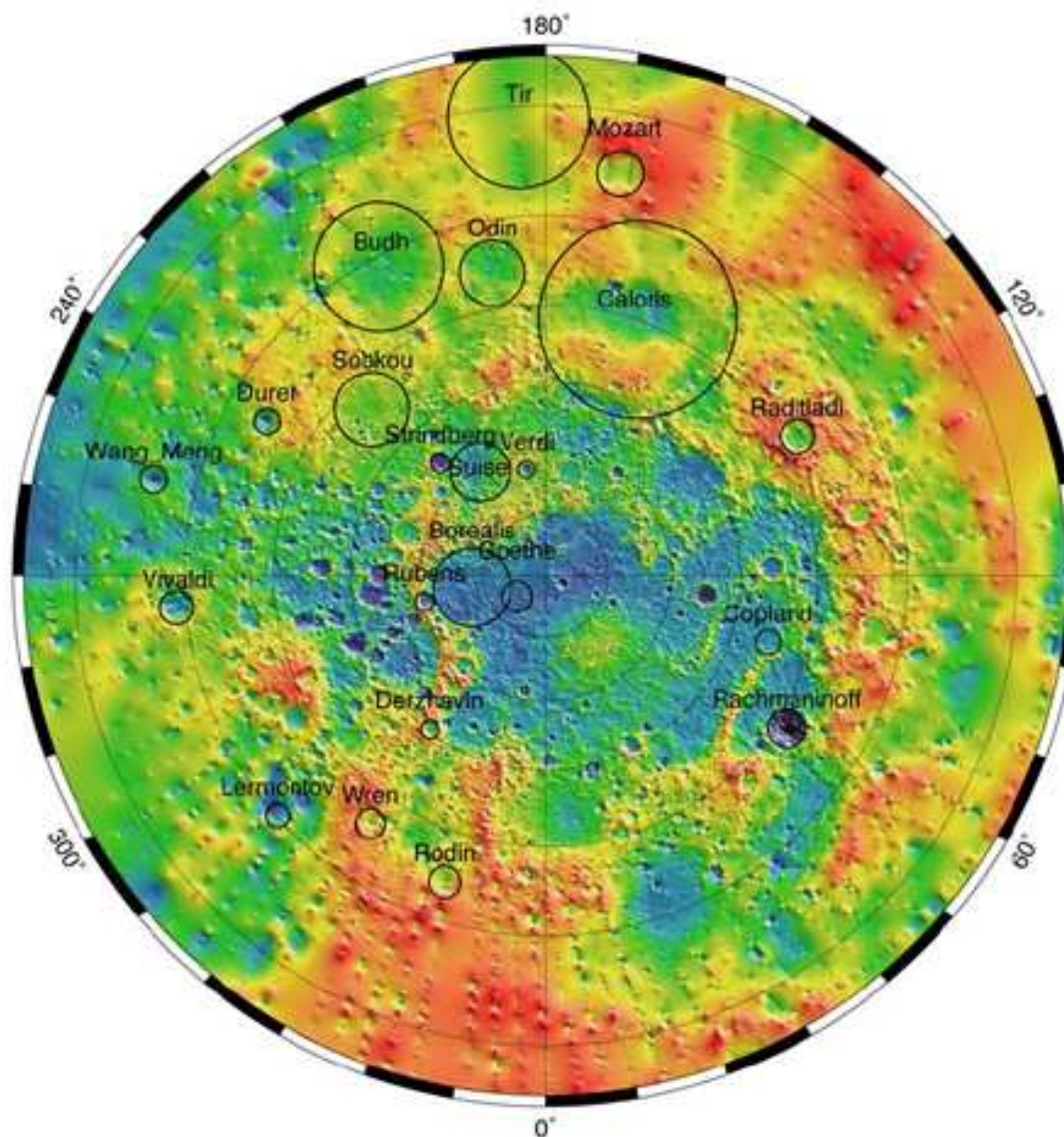
(forrás: Northwest Africa 7325 Achondrite, ungrouped, www.meteoritestudies.com/protected_NWA7325.HTM)

A kutatók szerint a kőben meglepően kevés a vas, annál több viszont a magnézium, az alumínium és kalcium-szilikát, amely egybevág a NASA Messenger űrszondájának megfigyeléseivel, amely a Merkúrt vizsgálja. Irving szerint az összetétel nem a bolygó jelenlegi felszínéről ad képet, hanem mélyebb rétegekről, ami arra enged következtetni, hogy a meteorit egy becsapódás után szóródott ki az űrbe.

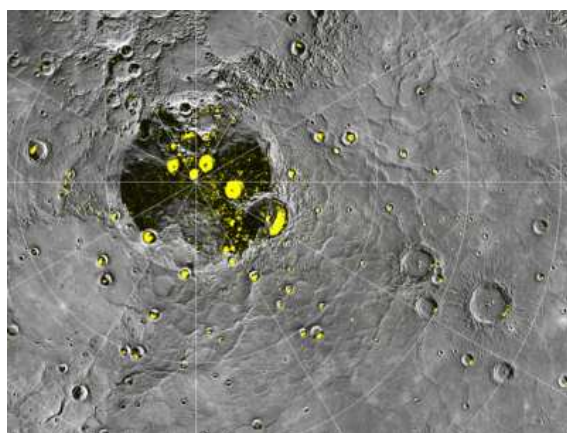


„A Merkúrról, vagy egy Merkúrnál kisebb, de hozzá nagyon hasonló égitestről származhatnak” - hangoztatta beszédében Irving, a Washington Egyetem Föld- és űrtudományi professzora, hozzátéve, hogy az NWA 7325 teljesen más, mint a Földön eddig talált meteoritok.

(illusztráció: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington, http://messenger.jhuapl.edu/the_mission/artistimpression/colormercury_br.html)



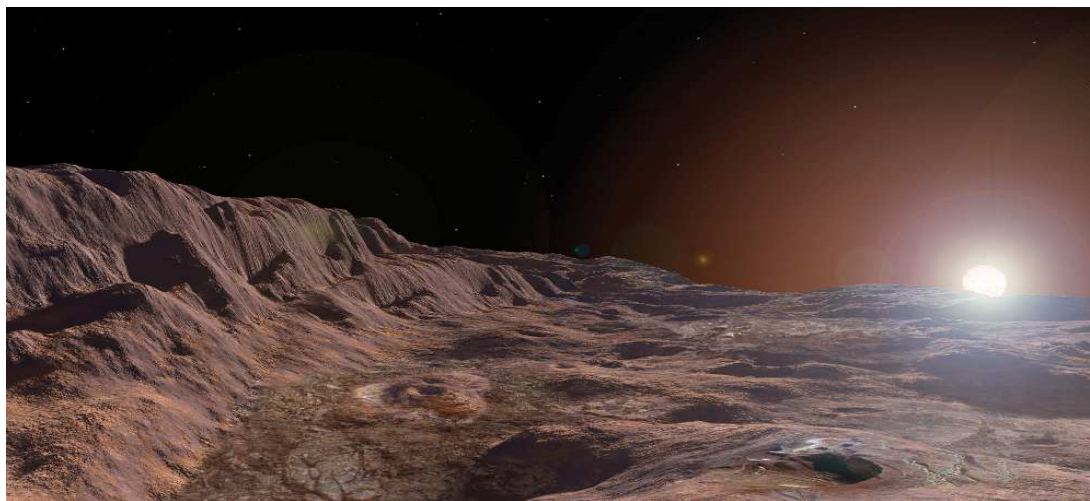
A Merkúr polar sztereografikus topográfiai térképe, fekete körökkel a nagy meteotot becsapódások jelölve.



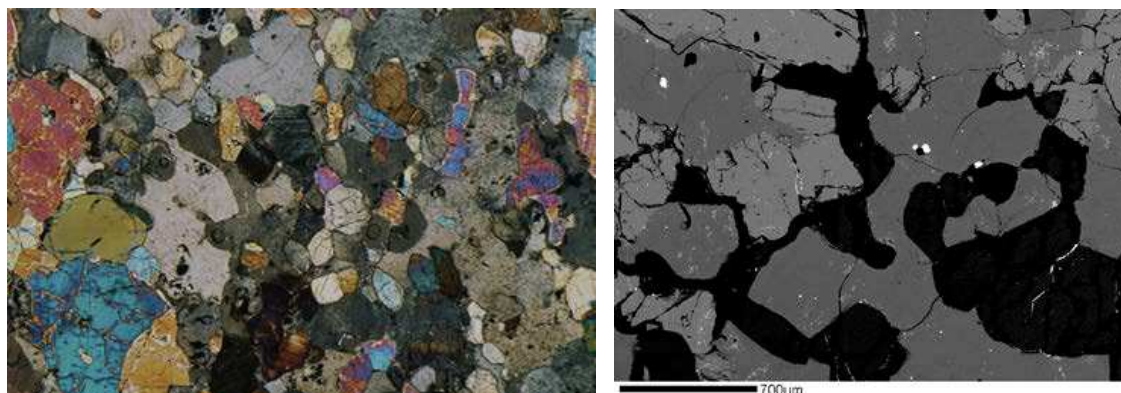
Messenger által készített felvétel a Merkúr északi sarki régiójáról, a fényes foltok a víz jég jelenlétere utalnak.

(forrás: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington,
http://messenger.jhuapl.edu/news_room/presscon11_multi.html)

Irving szerint a minták egy olyan bolygón, vagy más égitesten alakulhattak ki, aminek a felszínét magma folyamok formálták. Az elemzések szerint a kőzet a magma tetején alakult ki.



(illusztráció: Michael Carroll/Alien Volcanoes by Lopes and Carroll, The Johns Hopkins University Press, 2008, http://messenger.jhuapl.edu/the_mission/artistimpression/rupes.html)



(forrás: A. J. Irving¹, S. M. Kuehner, T. E. Bunch, K. Ziegler, G. Chen, C. D. K. Herd, R. M. Conrey, S. Ralew: Ungrouped mafic achondrite Northwest Africa 7325: a reduced, iron-poor cumulate olivine gabbro from a differentiated planetary parent body, 44.th Lunar and Planetary Science Conference, 2013)

Az ábra jobb oldalán a fotomokrográfon az NWA 7325 meteorit vékonycsiszolata látható kereszt-polarizált fényben, a szürke foltok jobbra plagioklász földpátok. Az ábra bal oldalán visszaszórt elektron (BSE = Back Scattered Electron, az eredeti nyalábból rugalmas és rugalmatlan nagyszögű szórást szenvedett elektronok) pásztázó elektronmikroszkóp képen forsterite (sötét), plagioklász (középszürke), diopside világosszürke) és Cr-tartalmú vas-szulfid (világos) látható.

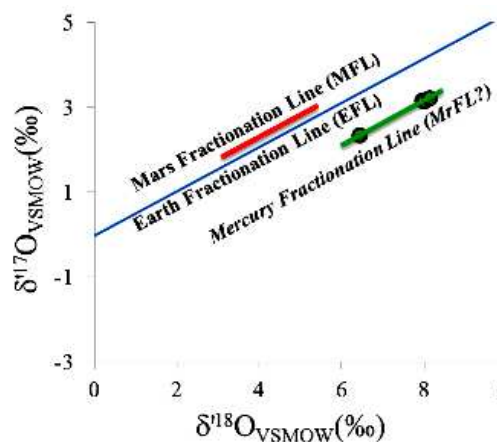
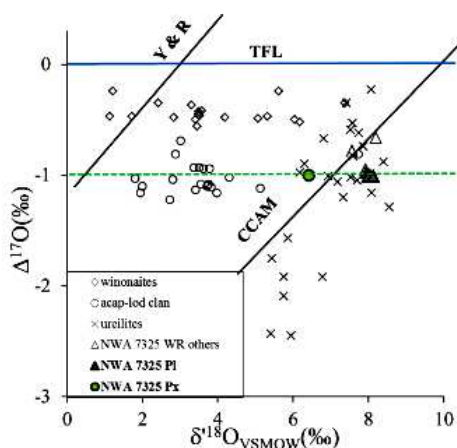
A Messenger észlelései más bizonyítékokkal is szolgálnak, melyek Irving hipotézisét támogatják. A Merkúr geológiai és kémiai összetételét ismerő tudósok úgy vélik, a bolygó felszíne rendkívül szegény vasban, ami ugyancsak igaz a meteoritra, azt sugallva, hogy bárhonnán érkezen is a kőzet, a szülő égitest nagyban hasonlíthat a Merkúrra.



A Merkúr sok tekintetben hasonlít a Holdra: felszínét számos kráter borítja, nincs természetes holdja, és nincs állandó légköre. Azonban a Holddal ellentétben nagy, vasat tartalmazó magja van, melynek következtében rendelkezik mágneses mezővel, melynek erőssége a földinek körülbelül 1%-a. Magjának relatív mérete miatt kivételesen nagy a bolygó sűrűsége. Felszíni hőmérséklete -183 és 427 °C között változik.

(forrás: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/ Carnegie Institution of Washington, 2013. február 18.

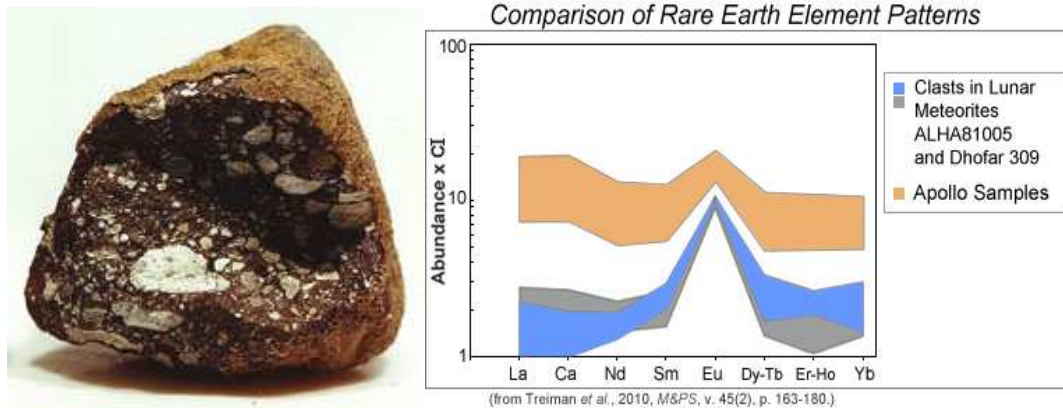
http://messenger.jhuapl.edu/gallery/sciencePhotos/pics/MDIS_global_enhancedcolor_map_rot_140.globe.bright.png)



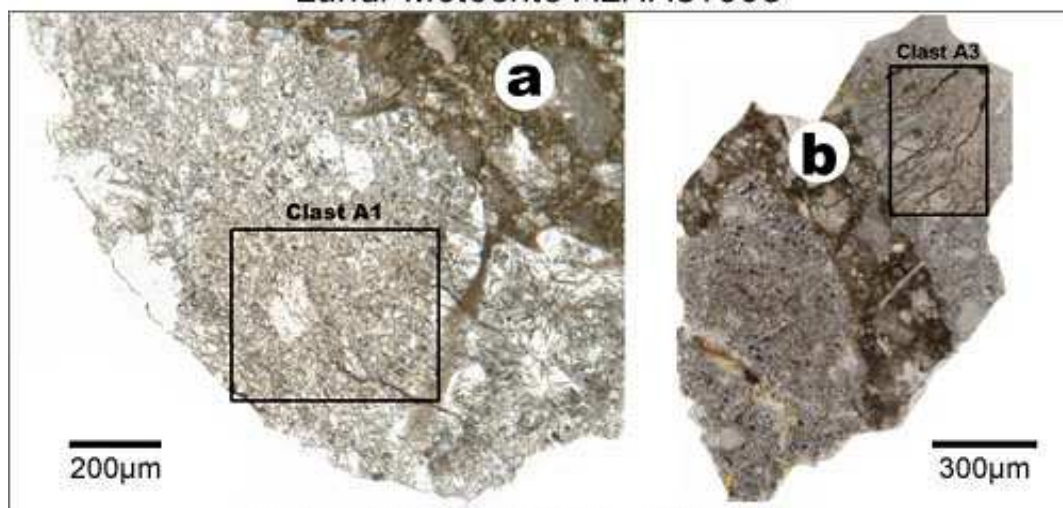
(forrás: I. Jabeen, A. Ali, N. R. Banerjee, G. R. Osinski, S. Ralew, S. DeBoer: Oxygen Isotope Compositions of Mineral Separates from NWA 7325 Suggest a Planetary (Mercury?) Origin, 45th Lunar and Planetary Science Conference (2014), www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2014/pdf/2215.pdf)

Az ^{17}O és ^{18}O oxigén izotópok arányából az NWA 7325 (Achondrite-ung) meteoritok és a Merkúr bolygó hasonló származására lehet következtetni. A második diagramban láthatók, az Mars a Föld és a Merkúr oxigén izotóp arány vonalak, amely jellemzően minden égitest esetében más.

A Hold eredeti kérege porrá összetört, és részben megolvadt néhány kilométerre a felszín alatt, de kéreg darabok túléltek, a felvidéki breccsákba keverve klasztok (töredékek) ként. Ezeket maradványok „ősi kőzetek”. Két véletlen minta érkezett a Földre a hegyvidéki sziklákból az Allan Hills (ALH) A81005 és Dhofar 309 Hold meteoritok.



Lunar Meteorite ALHA81005



(Treiman, A.H. *et al.*, 2010, *M&PS*, v. 45(2), p. 163.)

(forrás: <http://meteorites.wustl.edu/lunar/stones/alha81005.htm> és <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/lmc/lmc.cfm#breccia>, és Linda M. V. Martel: Unraveling the Origin of the Lunar Highlands Crust, 2010. szeptember 30., www.psrh.hawaii.edu/Sept10/highlands-granulites.html, és www.psrh.hawaii.edu/Sept10/PSRD-highlands-granulites.pdf)

Allan Hills 81005 akondrotos holdi meteorit. Anortozitos regolith breccsa plagioklász klasztokkal (földpát törmelék). Az ALHA81005 két vékony csizolat minta fotomikrogrammon láthatók a világosabb színű granit klasztokek és sötétebb regolith mátrixok, amelyekből következtetni lehet a „Lunar Highlands” (holdi felföld) kéreg eredetére. A „Highlands” kőzetminták jellemzően breccsák, a fiatal Hold eredeti, magmás kérgének (legősibb héja) feltörése során alakult ki több millió éves meteorit bombázás idején.

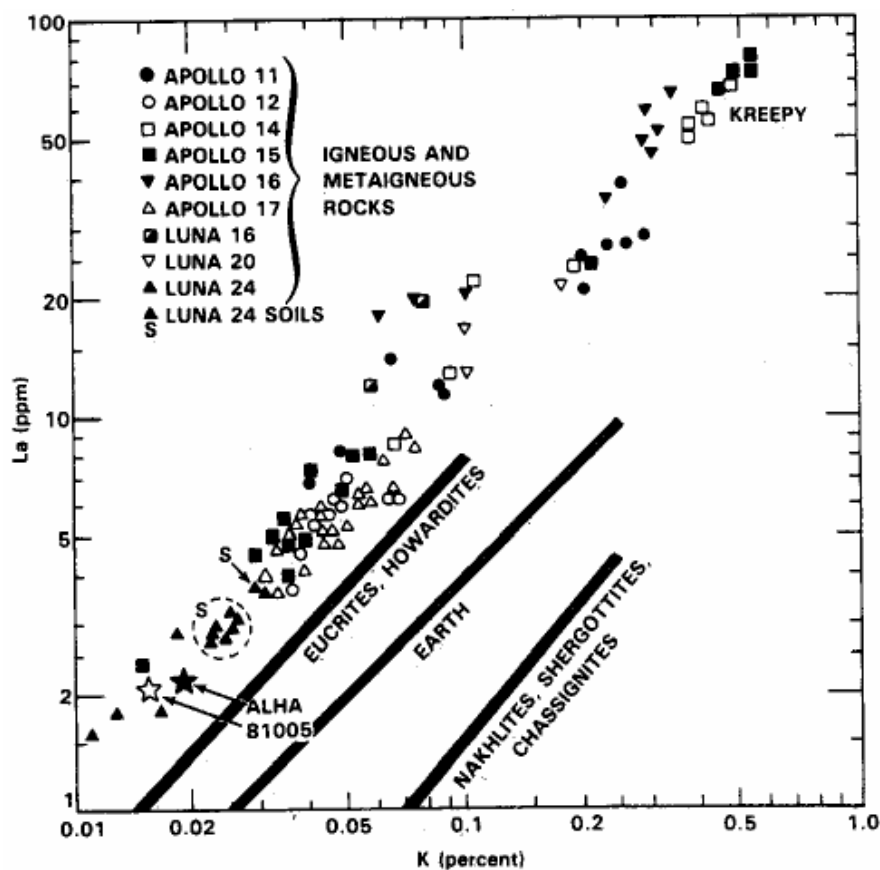
Már az „égből hulló kövek” nagy tudományos vitája idején, a 18. és a 19. század fordulóján fölmerült a Holdról érkező meteoritok lehetősége. Az első igazolhatóan holdi eredetű meteoritot azonban csak az Apollo-program kőzetgyűjtései és az azokon végzett vizsgálatok után találták meg.

Az Antarktiszon 1982-ben talált meteorit az Allan Hills 81005 minta a Smithsonian Institutba került, ahol Brian Mason állapította meg, hogy a minden eddigi meteorittól elütő kőzetminta holdi meteorit.

Röviddel az amerikai azonosítás után a japán kozmopetrográfusok is találtak egy holdi meteoritot az 1969-óta, a Japán Sarkkutató Intézet (National Institute of Polar Research: NIPR, a Tokiói Egyetem egyik intézete) kutatói által gyűjtött antarktisi meteoritok között. Ennek a lelőhelye a Yamato-hegység és sorszáma a Yamato 791197.

Az Antarktisi Meteoritkutató központ 1993-ban elkészített 20 darab, 30 vékonycsiszolatból álló gyűjtemény 11-es és 12-es számú mintája holdi meteoritot mutat be. A 11-es minta (Yamato-86032) egy holdi regolit breccsa. A NASA készlet 72275-ös mintájához hasonlít. A 12-es minta egy mare gabbro (Asuka-881757). Jelenleg közel 200 holdi meteorit ismert.

(Department of Earth and Planetary Sciences, Washington University in St. Louis, List of Lunar Meteorites 2014.)



(forrás: curator.jsc.nasa.gov/antmet/PDFFiles/F02_ALHA81005v3.pdf)

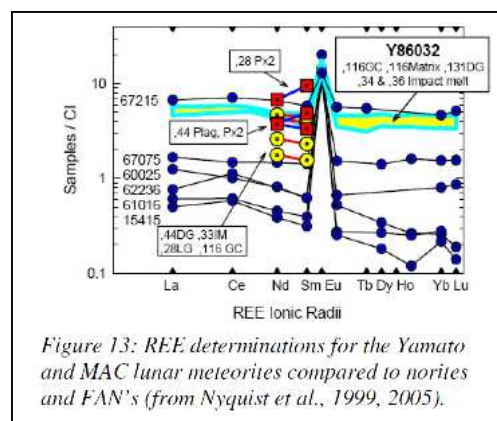
A Yamato-86032 második legnagyobb holdi meteorit, anortozitos breccsa, holdi felföldekről származik, kőzettörmelékek és ásványtöredékek alkotják, de impakt olvadékot és részben üveges anyagot is tartalmaz (Koeberl et al. 1990, Yanai és Kojima, 1991). Főleg földpátos metabreccsából és meta-olvadékkőzetből áll, a mare-litológia jellemző rá. A benne található olvadékok sárgásbarnák, a minta felszínén fúziós kéreg figyelhető meg.



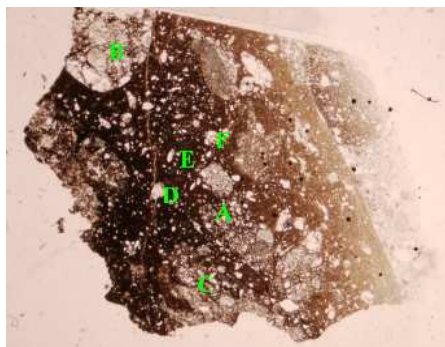
(forrás: <http://meteorites.wustl.edu/lunar/stones/yamato86032.htm>, és www.tamatebakonet.jp/interview/detail/id=170)

A Yamato-86032 kőzetminta az Imbrium tengertől nagy távolságból eredhet. Típusa ferro-anortozit. Kora 4,35 milliárd év, negatív Nd arány miatt a klasztokat a primordiális magmaóceánból származtatják. Mivel e kőzet protolitja az eredeti holdi kéreg anyaga volt, ez alapján a felföldi kéreg impakt előtti állapotára lehet következtetni. A Yamato-86032 holdi meteorit összetett breccsa, a breccsásodás folyamata két lépcsőben történt. A litikus klasztoknak három típusa van: az impakt olvadék-klaszt, a világos földpátos klasztok, és a granulitos breccsa, mely olivint, plagioklaszt, és piroxént tartalmaz. A piroxének MnO-tartalma alacsonyabb, mint a bazaltos akondritokéban. (Yanai és Kojima, 1991, Yamaguchi et al 2008).

A feltételezett kialakulási folyamata következő volt: a holdi kéreg meteoritbecsapódás érte, emiatt a prekursor kőzet megolvadt. A kihülés során voltak klasztok, amelyek korábban megszilárdultak. A meg nem olvadt kőzetrészek és egyes töredék ásványok a lehülés során folyási irányba álltak be és így fagytak be a megolvadt részbe beágyazva.

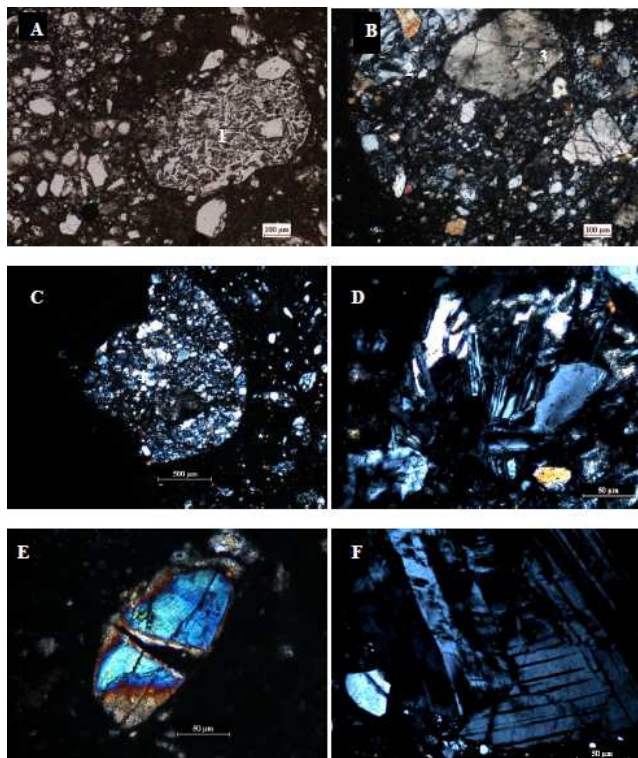


(forrás: curator.jsc.nasa.gov/antmet/PDFFiles/F03_Yamato86032.pdf)



Yamato-86032 holdi breccsa vékonycsiszolati képe, áteső fényben. (LRG, ELTE). Jól látszik a folyásos szerkezet, és benne lévő különböző litológiájú klasztok.

A mintát sokkér szeli át. A megfigyelhető ásványok 70%-a földpát, 20%-a piroxén, 10%-a olivin.

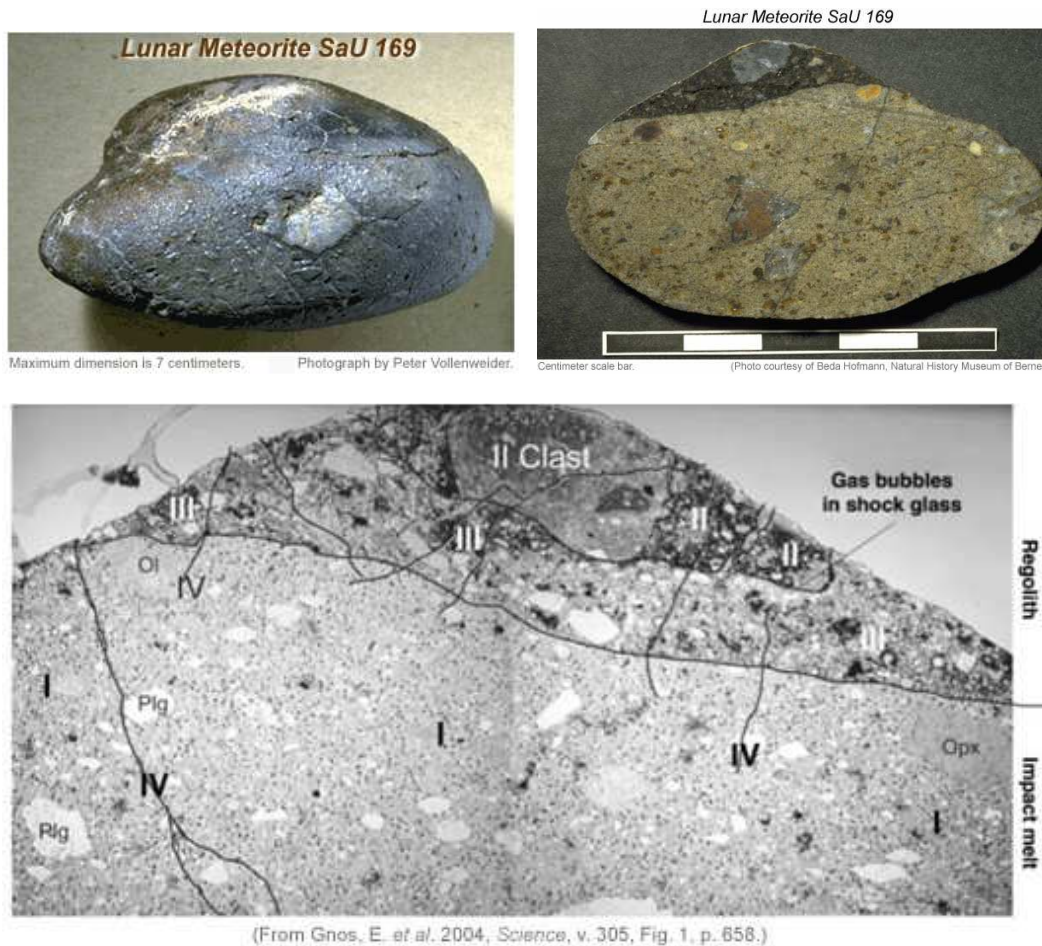


(forrás: Gyollai Ildikó: Termikus és sokkmetamorf jelenségek egy kis égítést fejlődésében a magyarországi és antarktiszi meteoritok petrográfiai, raman- és infravörös spektroszkópiás vizsgálata alapján. Diplomadolgozat, ELTE-TTK, Anyagfizikai Tanszék, ELTE 2009, www.researchgate.net/publication/259361092_TERMIKUS_S_SOKKMETAMORF_JELENSGEK_EGY_KIS_GITEST_FEJLDSBEN_A_MAGYARORSZGI_S_ANTARKTISZI_METEORITOK_PETROGRFIAI_RAMAN-_S_INFRAVRS_SPEKTROSKPIS_VIZSGLATA_ALAPJN)

Optikai mikroszkópi fotók a Yamato-86032 holdi meteoritban (áteső fényben, keresztezett nikolok között.) A: 1. spinifex szövetű klaszt, mely valószínűleg olvadékszsebből kristályosodott ki. B: anortózit-breccsa klaszt. 2. mozaikos kioltású földpát, 3. hullámos kioltású földpát. C: anortózit-breccsa klaszt, alszemcsésedett. D: ikres, léces földpátok erősen lecsökkent interferenciaszínnel. E: zónás olivin. F: ikres földpát izotróp foltokkal. Az ikresedés többirányú.

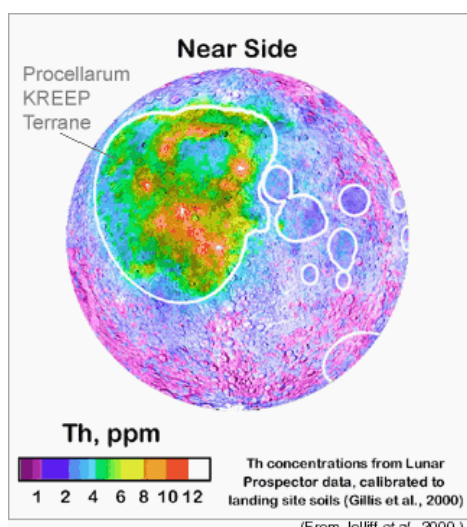
A világos klasztok és ásványtöredékek újrakristályosodtak, plagioklászban gazdagok. Több klasztnak diffúz a körvonala, kerekded, illetve alszemcsés. A protolit kőzet durvaszemcsés granulitos, finomszemcsés szaruszirtes metabreccsa lehetett. Az olvadt rész magmás szövetű, plagioklászlécek között piroxének vannak, interszertális szövettel. Maga a kőzet a sokk-metamorfózis hatására litifikálódott és anortozitos töredezett breccsát alkot (Koeberl 1990).

A Sau 169 meteorit egy 3,909 milliárd évvel ezelőtt történt Holdi becsapódás következtében keletkezett olvadék („impact melt”), mely a világűrbe került. A meteorit 9700 évvel ezelőtt hullott a Földre, a sivatagban Oman területén 2002-ben találták meg, Beda Hofmann (Natural History Museum of Berne), Edwin Gnos, és Ali Al-Kathiri (Berni Egyetem). A kutatók megállapították, hogy a meteorit szerkezetében egy későbbi 2,8 milliárd évvel ezelőti hatás, egy további 200 millió évvel ezelőtti, és egy viszonylag új 340 ezer évvel ezelőtti hatás is felfedezhető.



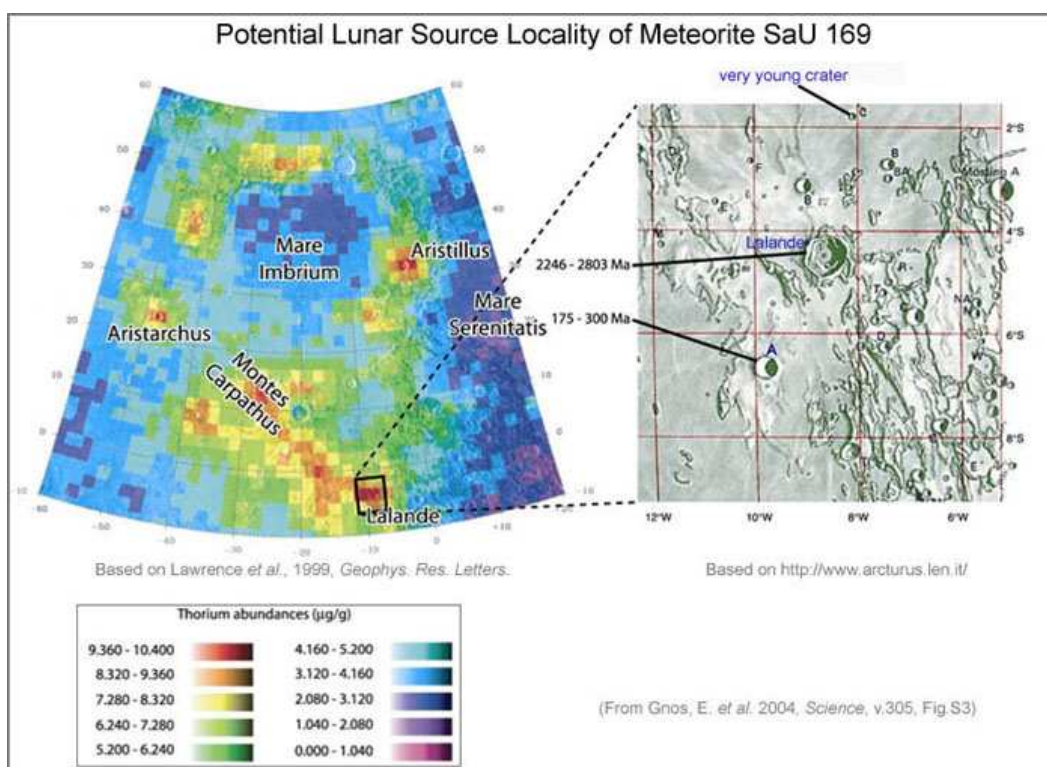
(forrás: G. Jeffrey Taylor: New Lunar Meteorite Provides its Lunar Address and Some Clues about Early Bombardment of the Moon, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, www.psr.d.hawaii.edu/Oct04/SaU169.html, www.psr.d.hawaii.edu/Oct04/PSRD-SaU169.pdf, 2004. október 31.)

A Sau 169 meteorit tipikus kőzetolvadék-breccsa (impact melt rock), olvadékmátrixban törmelékeket is tartalmazó kőzet. A mátrix finomszemcsés magmás kőzet. Az olvadék breccsához társult regolith breccsa. A holdi breccsákban lévő törmelékdarabok nagy része maga is korábban keletkezett breccsa, így gyakran kialakulhat a breccsa a breccsában szerkezet. A holdi breccsák nagy része a többszöri becsapódási esemény következtében polimikt szerkezetű (Meyer 1987, Stoffer 1980).



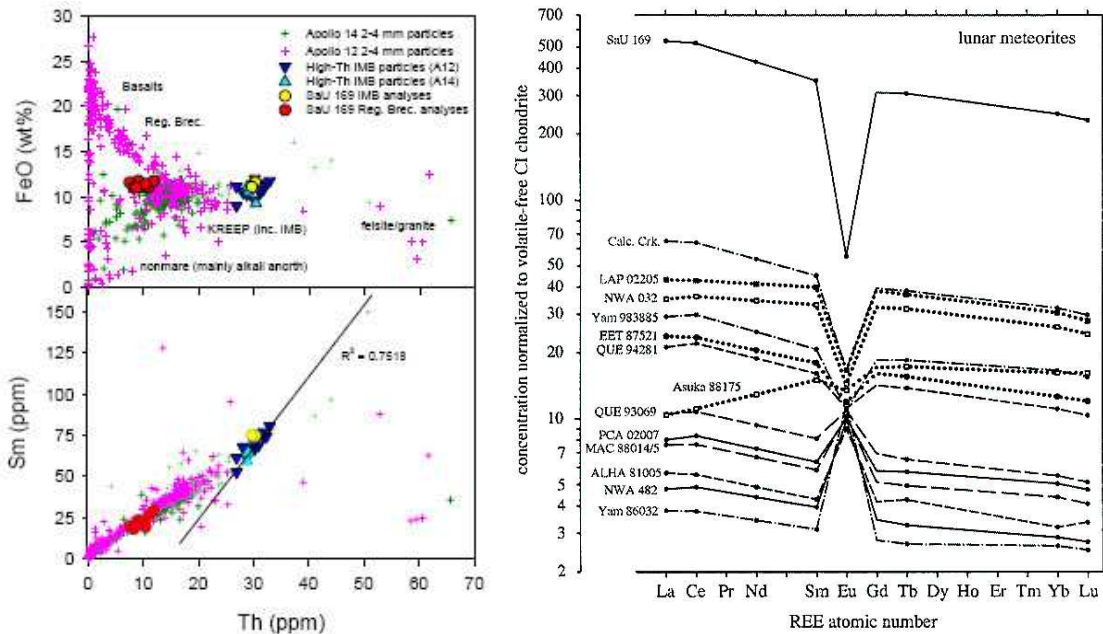
Az olvadék kora $3,909 (\pm 0,013)$ milliárd év, valamivel idősebb, mint, a Holdon a hatalmas Imbrium-medence kialakulásának becsült kora, mely lehetett $\sim 3,850$ milliárd évvel ezelőtt.

Az Imbrium és Procellarum régió területeken és környékén a Holdon jellemzően nagy koncentrációban van a tórium. A Sau 169. meteoritban is nagyon magas a tórium koncentráció, ezért valószínűleg a Procellarum-KREEP Terrane tórium gazdag területről származik.

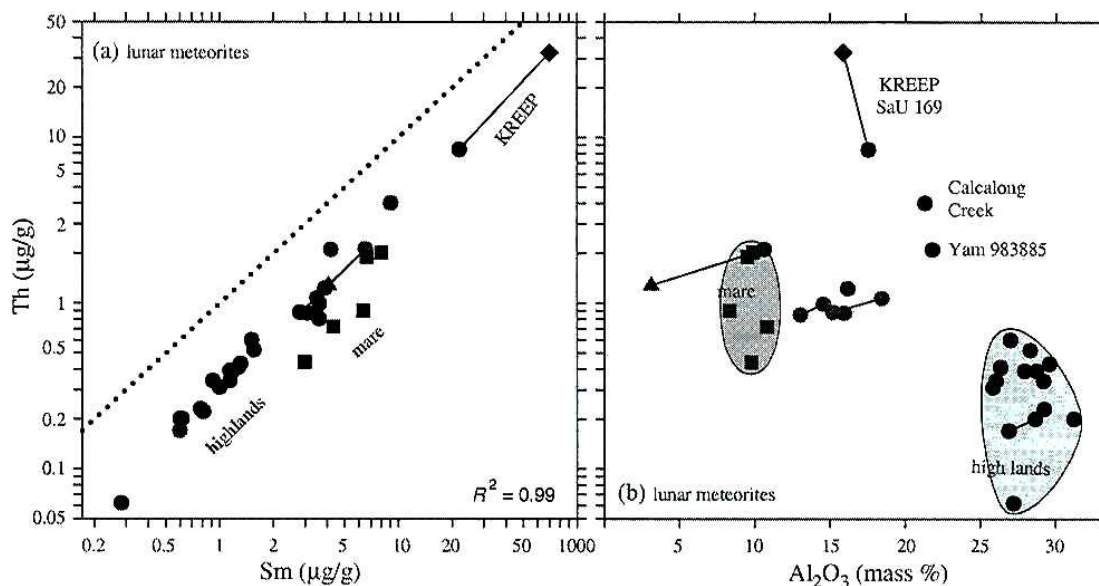


(forrás: Gnos E., Hofmann B. A., Al-Kathiri A., Lorenzetti S., Eugster O., Whitehouse M. J., Villa I. M., Jull A. J. T., Eikenberg J., Spettle B., Krahenbuhl U., Franchi I. A., and Greenwood R. C. (2004) Pinpointing the source of a lunar meteorite: Implications for the evolution of the Moon. *Science*, v. 305, p. 657-659. és G. Jeffrey Taylor PSRD, 2004. október 31., www.psrdd.hawaii.edu/Oct04/PSRD-SaU169.pdf)

A Lalande nagy kráter 2,2-2,8 milliárd éves, amely keletkezésekor az „impact melt” kőzet a felszín közelébe dobódott és keveredett „regolith”-tal, majd ~ 200 millió évvel ezelőtt, egy közeli becsapódási kráter kitörési felhője a világűrbe dobta a Sau 169 meteorit anyagát, mely útja végén a földre hullott.

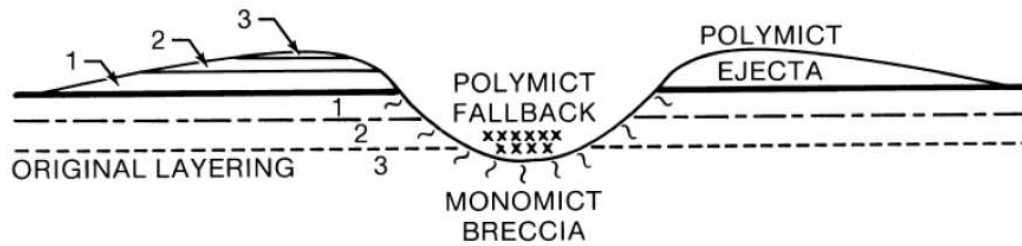


Az SaU169 (Sayh al Uhaymir 169 Basalt-bearing anorthositic [polymict] regolith breccia) és az Apollo 12 és 14 „Impact melt breccias” kollektió összehasonlító vizsgálatának diagramja (Zeigler et al., 2006), továbbá a SaU169 meteorit REE (Rare Earth Elements) ritkaföldfémek magas koncentrációt mutató görbájének összehasonlítása a más holdi meteoritokkal (Korotev, 2005).



A Th-Sm- Al_2O_3 diagramrendszerben a SaU169 összehasonlítása a „mare”, a „highlands”, a „Calcalong Creek” és a KREEP mintákkal. (Korotev, 2005).

(forrás: http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/PDFFiles/M08_SaU169v3.pdf)

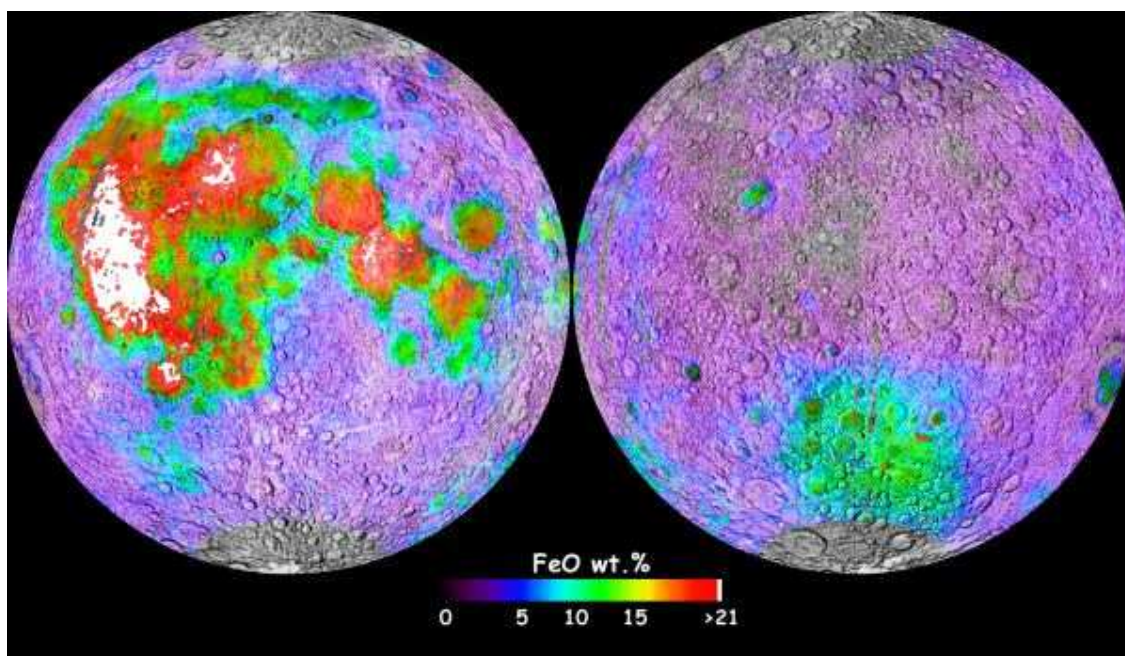
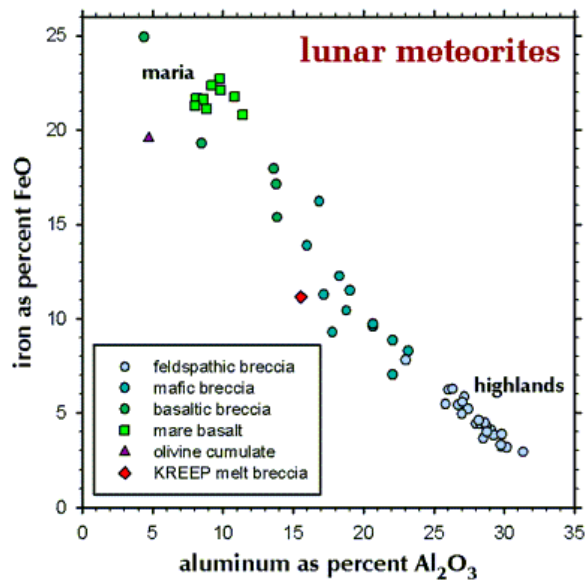
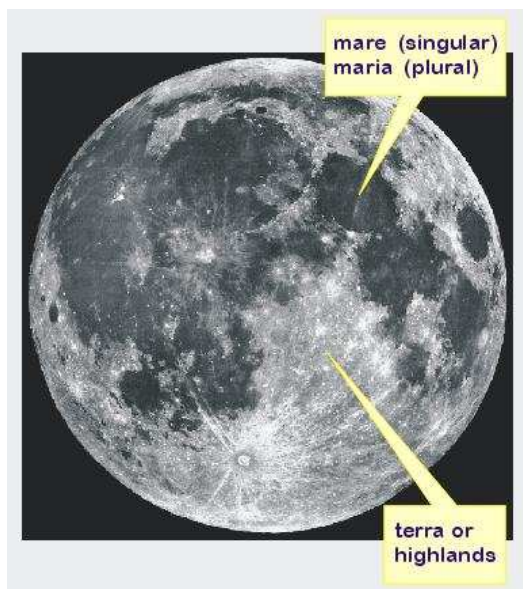


(forrás: Charles Meyer: The Lunar Petrographic, Educational, Thin Section Set, NASA Lyndon B. Johnson Space Center, http://curator.jsc.nasa.gov/education/lpetss/documents/CMEYER_booklet2003.pdf), 2003. szeptember



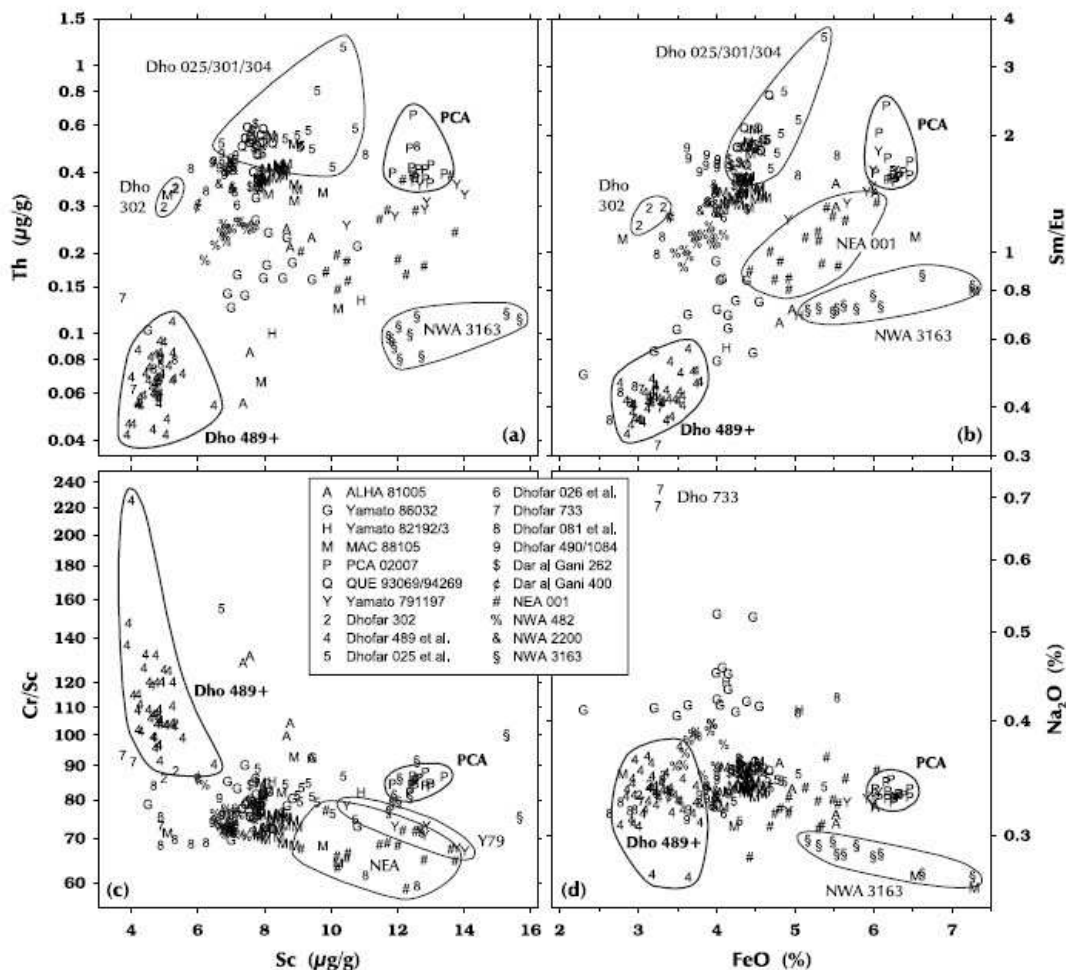
(forrás: http://meteorites.wustl.edu/lunar/moon_meteorites.htm)

Daedalus, Hold kráter 93 km átmérőjű, a felvételt az Apollo 11 legénysége készítette 1969. NASA photo AS11-44-6611.



(forrás: Randy L. Korotev: Lunar Meteorites, Department of Earth and Planetary Sciences, Washington University in St. Louis, Jeff Gillis, http://meteorites.wustl.edu/lunar/moon_meteorites.htm)

Térkép a Hold felületi vas koncentrációt (FeO), mutatja a Hold a Föld felőli oldalon (balra) és a túlsó oldalán (jobbra), a spektrális reflexiók méréseket a „Clementine mission” 1994-ben készítette. Nagy FeO tartalmú területeken fordulnak elő a vulkáni lávás (mare bazalt) óriási becsapódási kráterek. Alacsony FeO megfelelnek a földpát tartalmú felvidéki területeknek.



(forrás: http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/PDFFiles/F17_PCA02007v3.pdf)

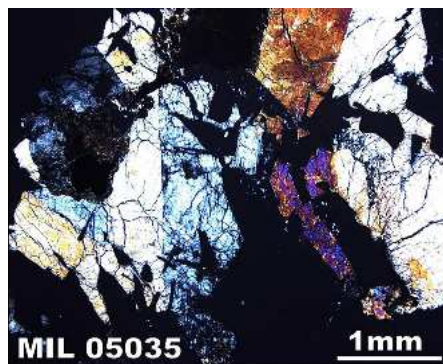
Holdi regolitbreccsa meteoritok jellemző kémiai összetétele. (Korotev, 2006).



(forrás: en.wikipedia.org/wiki/File:Lunar_Regolith_70050_from_Apollo_17_in_National_Museum_of_Natural_History.jpg)

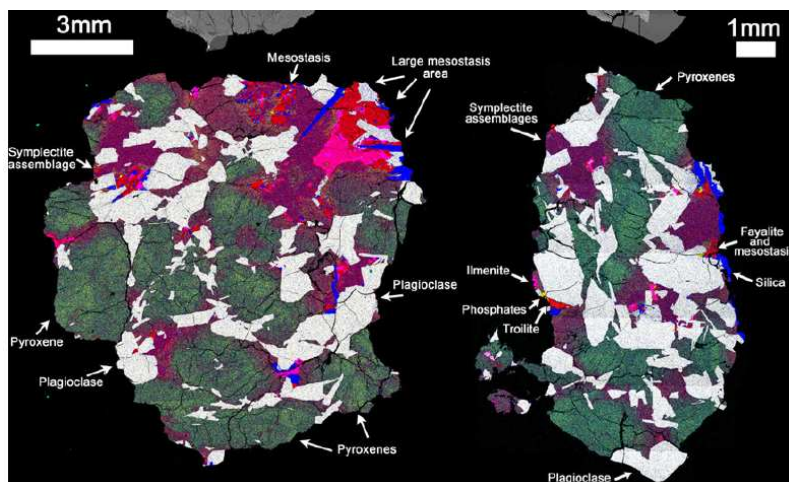
Lunar Regolith 70050 minta, az Apollo 17 legénysége hozta a Földre.

Az antarkiszi jégpáncél tetején felhalmozódott meteoritok fellelérére indított ANSMET nevű program keretében 2005. december 11-én a Transzantarktiszi-hegység Miller-vonulatánál, bukkantak egy érdekes bazalzos meteoritra, melynek kor 3,8~3,9 milliárd év.



MIL 05035 (Miller Range 05035 Unbrecciated basalt) meteorit, és a vékonycsiszolat Nicol-féle [kettőző (izlandi) mészpátkristályból készült] prizmákkal keresztezett polarizált fényben készült mikroszkópos képe.

A MIL 05035 meteoritok „gabbró” típusú magmás kőzet (mélységi magmás kőzetek egy csoportja, akkor keletkezik, ha a bazaltos összetételű magma megreked a mélyben és ott kristályosodik ki), amelynek összetétele nagyon hasonlít a holdi bazaltsíkságokéhoz. Az onnan származó mintáknál azonban nagyobb kristályokat tartalmaz, ami arra utal, hogy lassan hűlt le, a Hold felszíne alatt. A testben lévő plagioklász földpátok teljesen üveges szerkezetűvé, maszkelinitté alakultak, ami igen erős, többszörös sokkhatásra utal - tehát sok becsapódás nyomát viseli magán.



X-ray (röntgen) kép a MIL 05035 meteorit vékony-csiszolatáról. A főbb alkotóelemei: piroxén (zöld), maskelynitized plagioklász (fehér), symplectites (sötét lila), szilícium-dioxid (kék), troilite (piros), foszfátok (sárga), ilmenite (világos lila). (Joy 2008)

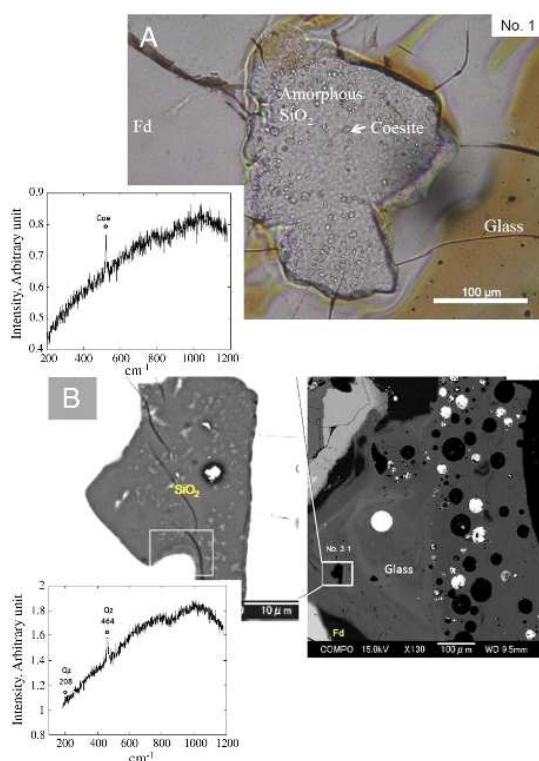
(forrás: Antarctic Meteorite Processing Lab at NASA-JSC, ANSMET, NSF, és <http://meteorites.wustl.edu/lunar/stones/mil05035.htm>, és http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/PDFFiles/B08_MIL05035v3.pdf)

A szintén antarktisz Asuka 881757 holdi meteorit a legidősebb bazaltminta, (3,8~3,93 milliárd évvel ezelőtt keletkezett) a Holdról.



(forrás: Department of Earth and Planetary Sciences, Washington University in St. Louis, <http://meteorites.wustl.edu/lunar/stones/asuka881757.htm>)

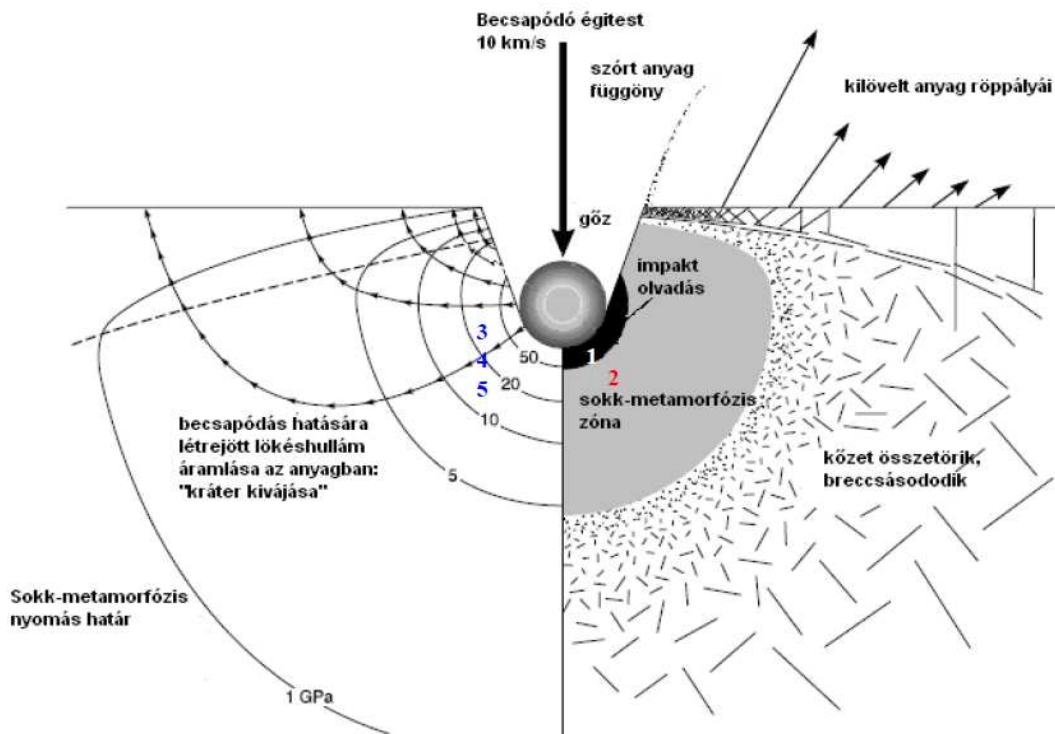
Asuka-881757 gabbro, durva szemcsés mare bazalt, egyike azon kevés nem breccsás holdi meteoritoknak, és vékonycsiszolatáról kereszt polarizált fényben készült fotomikrográf, melyen elsősorban plagioklász és piroxén, és egy kis mennyiségű ilmenite látható (Yanai és Kojima, 1991.)



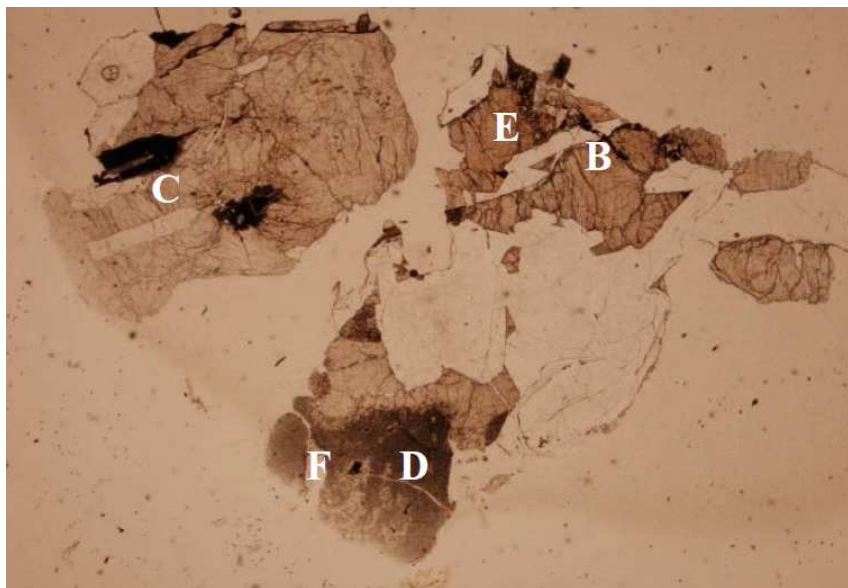
(forrás: E. Ohtani, S. Ozawa, M. Miyahara, Y. Ito, T. Mikouchi, M. Kimura, T. Arai, K. Sato, K. Hiraga: Coesite and stishovite in a shocked lunar meteorite, Asuka-881757, and impact events in lunar surface, Proc Natl Acad Sci USA. Jan 11, 2011; 108(2): 463–466. doi: 10.1073/pnas.1009338108 www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3021006/ és www.pnas.org/content/108/2/463/F2.large.jpg)

Az Asuka-881757 meteorit mikro-Raman-spektroszkópia képe, a pásztázó elektronmikroszkóppal készült, visszaszórt elektron diffrakciós (SEM-EBSD) és a transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM) képe.

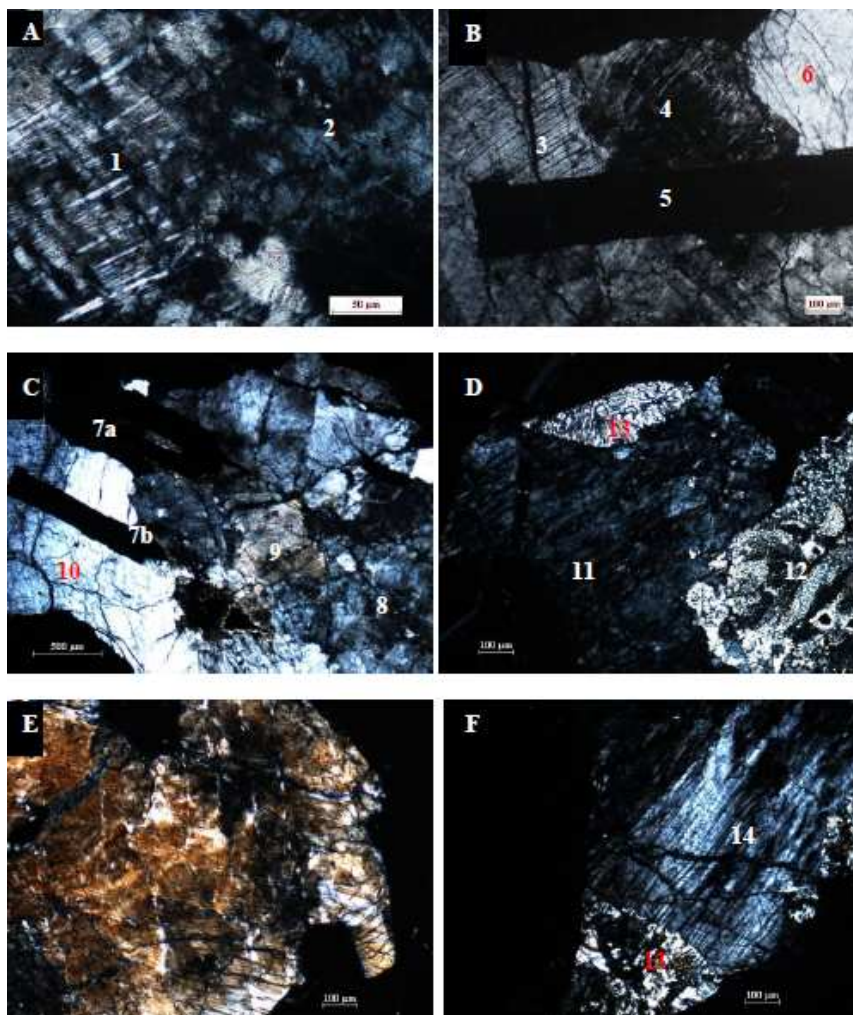
A sokkolt olvadék („shocked melt”) amorf szilícium-dioxid (SiO₂) szemcséket tartalmaz, coesite zárványokkal. A coesit egy tektoszilikát, nagyon magas nyomáson (2–3 GigaPascal, és 700 C) képződik, sokk-metamorf hatások nyomai, biztos „marker” (jelző) egy becsapódási esemény igazolására.



Holdi meteoritok elméleti elhelyezkedése a meteorit-kráterben
 1. Yamato-86032; 2. Asuka-881757. (FRENCH, 2003 alapján)



A holdi gabbró (korábban Asuka-31, mai katalógusnevéen Asuka-881757) vékonycsiszolati képe áteső fényben. (LRG, ELTE). Kép hossza 8,5 mm. Fehér részek a földpátok, halványbarna szemcse a piroxén, középbarna az olivin. A zárványként, illetve ér formájában jelen lévő opak szemcsék trojiliték. A csiszolat alsó részén a piroxén meg is olvadt, szemcsehatár beöblösödik, szemcsehatár szimplektites szegélyű.



(forrás:
 Gyollai Ildikó:
 Termikus és
 sokkmetamorfi
 jelenségek egy
 kis égitest
 fejlődésében a
 magyarországi
 és antarktisi
 meteoritok
 petrográfiai,
 raman- és
 infravörös
 spektroszkópiás
 vizsgálata
 alapján.
 Diplomadolgozat,
 ELTE-TTK,
 Anyagfizikai
 Tanszék,
 ELTE 2009,

www.researchgate.net/publication/259361092_TERMIKUS_S_SOKKMETAMORF_JELENSGEK_EGY_KIS_GITEST_FEJLDSBEN_A_MAGYARORSZGI_S_ANTARKTISZI_METEORITOK_PETROGRFIAI_RAMAN-_S_INFRAVRS_SPEKTROSZKPIS_VIZSGLATA_ALAPJN

Az Asuka-881757 holdi gabbró optikai mikroszkópi fotói áteső fényben, keresztezett nikolok között A: 1. mechanikai ikres piroxén deformációs ikerlamellákkal. 2. földpát, erősen lecsökkent interferenciaszín, izotróp foltokkal. B: 3.-4 mechanikai ikres piroxén (4. erősen lecsökkent interferenciaszínnel, majdnem izotróp.) 5. izotróp földpát, azaz maszkelenit, 6. olivin, C: 7. izotróp földpát, azaz maszkelenit, 8. mozaikos kioltású földpát, 9. hullámos kioltású piroxén, 10. olivin. D: 11. erősen lecsökkent interferenciaszínű földpát. 12. sokkmetamorfózis hatására kerekded, aprószemcsés halmazzá átalakult olivin, helyenként megolvadt. 13. féregszerűen összenőtt olivinek, szimplektit. E: mozaikos kioltású olivin F: mechanikai ikres piroxén, hullámos lamellákkal. 13. alszemcsésedett, olivin, piroxénnal féregszerű összenövés (szimplektit.)

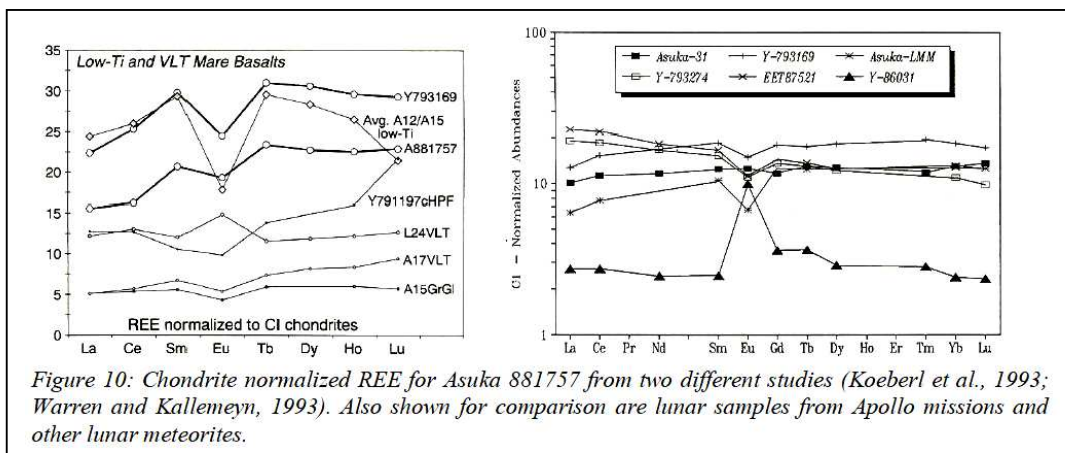


Figure 10: Chondrite normalized REE for Asuka 881757 from two different studies (Koeberl et al., 1993; Warren and Kallemeyn, 1993). Also shown for comparison are lunar samples from Apollo missions and other lunar meteorites.

(http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/PDFFiles/B02_Asuka881757v3.pdf)

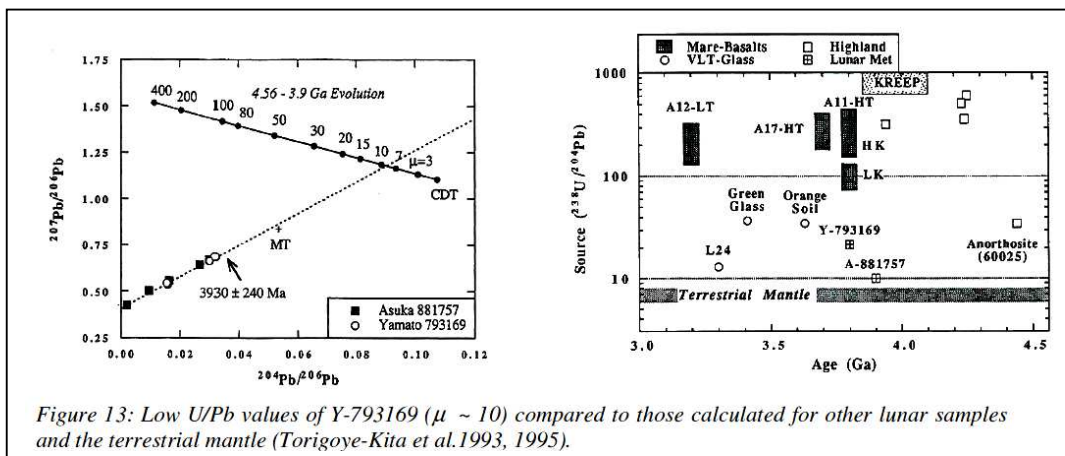
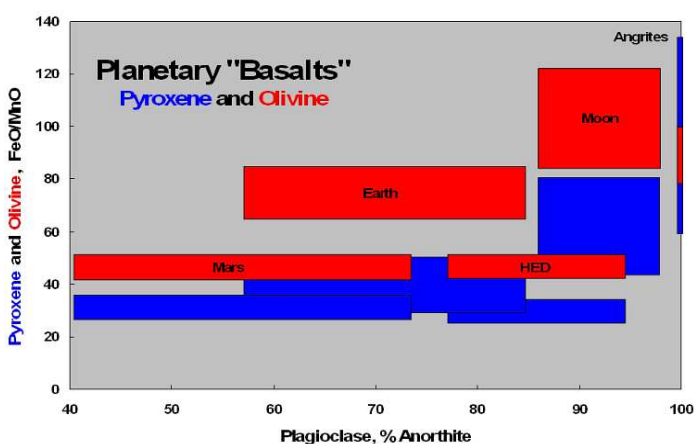


Figure 13: Low U/Pb values of Y-793169 ($\mu \sim 10$) compared to those calculated for other lunar samples and the terrestrial mantle (Torigoye-Kita et al. 1993, 1995).

(http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/PDFFiles/B01_Yamato-793169v3.pdf)

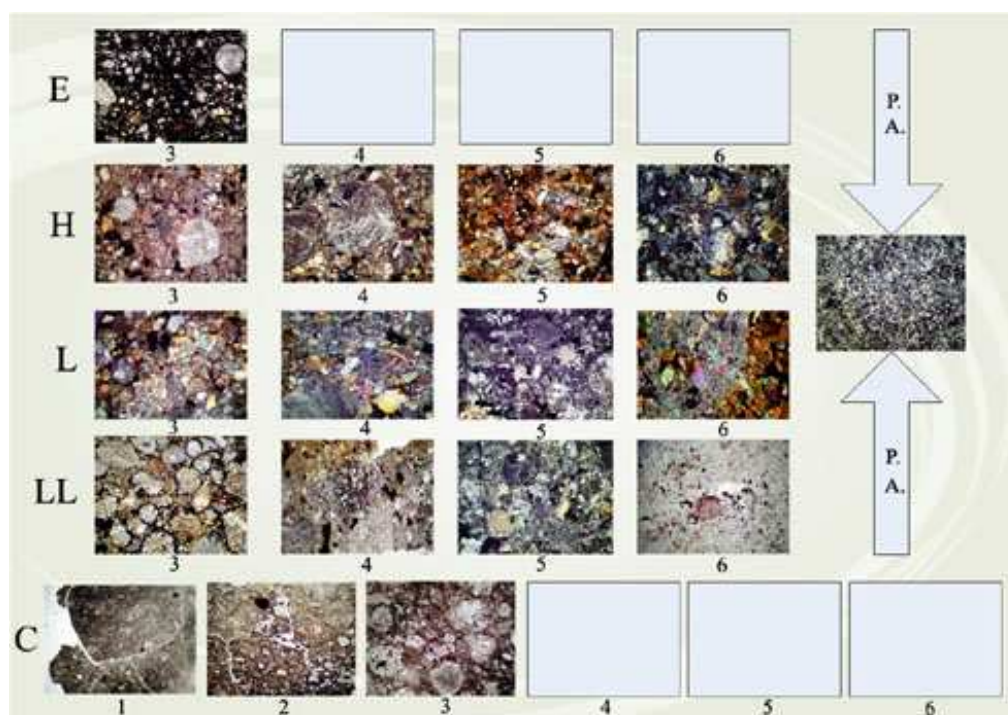


(www.imca.cc/mars/martian-meteorites.htm)

A magmás kőzetek főként szilikátásványokból épülnek fel, melyek két fő csoportja a színes - mafikus (Fe és Mg tartalmú szilikátok: olivin, piroxének, amfibolok, csillámok) és színtelen - felzikus kőzetalkotók (Ca, Na, K szilikátok – földpátok, földpátpótlók, kvarc).

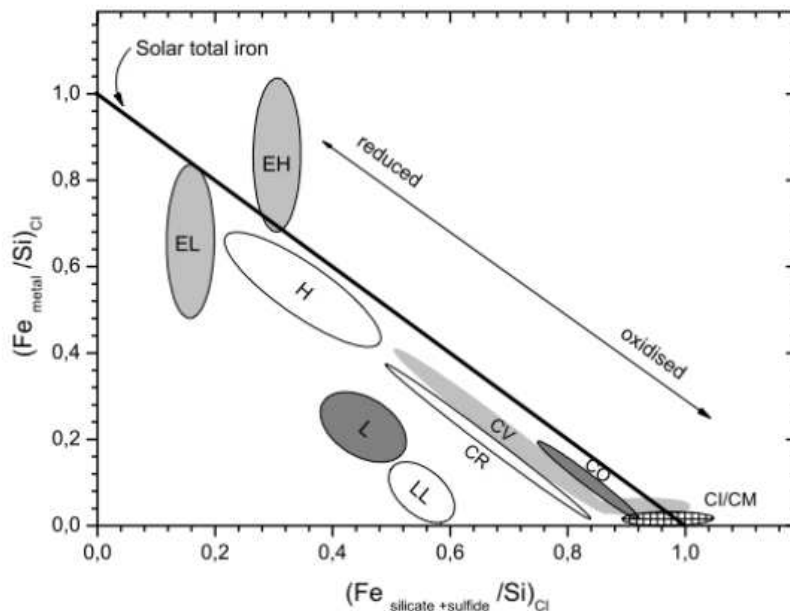
Planetáris bazaltos kőzetek ásványi összetétel különbségét mutatja az ábra. Az égitesteken a kőzetalkotók, a mafikus szilikátok Fe/Mn és/vagy a plagioklász földpátok Ca/Na egymáshoz viszonyított aránya különböző.

A kőmeteoritek ásványai leginkább a magmás kőzetek ásványaival rokoníthatók, s a kondritokéi pedig a földi köpenyt alkotó ásványokkal: olivinnel és alacsony Ca tartalmú piroxénnal. E két fő ásványi összetevő alapján készült a századelőn a Rose-Prior-, majd a kémiai összetételi mérésekkel kiegészített Urey-Craig és a Wiik-Mason osztályozás. Ezek alapján a 60-as években már öt nagy kondrit csoportot különítettek el: az enstatit kondritokat (E), az olivin-bronzit (H), az olivin-hipersztén (L), az amfoterit (LL) és az olivin-pigeonit (C-III. ilyen a híres kabai meteorit is, kondritokat valamint a szenes kondritokat (C), melyek később a zárójelben álló betűjeles rövidítést kapták. A szenes kondritokat Wiik a C-I., C-II. és a C-III. szenes kondrit csoportokba sorolta, csökkenő illóelem tartalmuk alapján. A kondritok (egyes szenes kondritok kivételével) mindig tartalmaznak fémes összetevőt, Fe-Ni ötvözetet és FeS szulfidot is. A kondritos meteoritek ásványai azok, amelyeket kémiai modellekkel le tudtak vezetni a 70-es években a Nap körül kialakult, majd lehűlt Szoláris ködből.



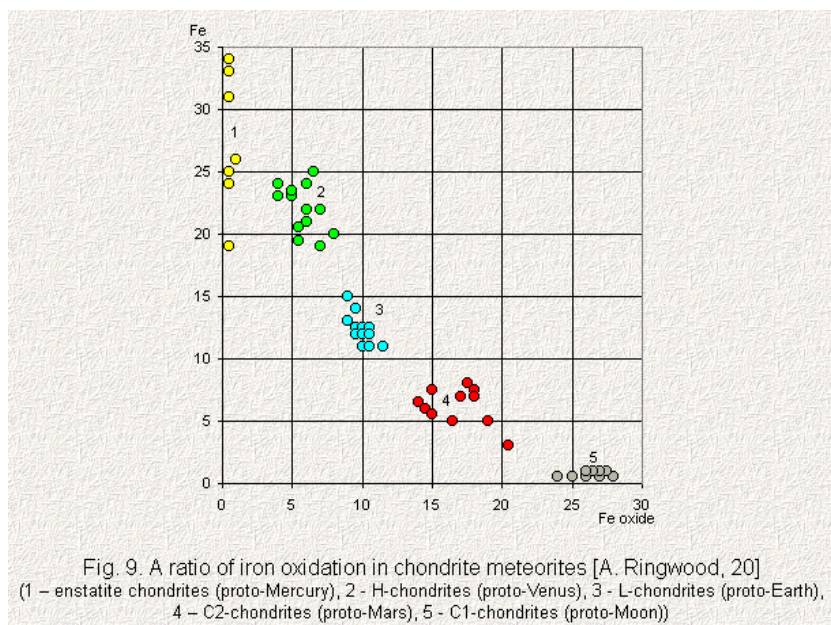
(forrás: Bérczi Szaniszló: Égitestfejlődések a Naprendszerben, planetologia.elte.hu/1cikkek.phtml?cim=egitestfejlodesek-1.html)

A Van Schmus - Wood sorozatok táblázata. A minták a NIPR Antarktisz Meteoritek kőzetgyűjtemény vékonycsiszolatai alapján készült. Az E, H, L, LL, C csoportok valószínűleg különböző kezdeti feltételekkel indult égitesteket jelölnek, a számok a Van Schmus – Wood féle petrologiai osztályok, amelyek fölmelegedési fokozatokat jelölnek.



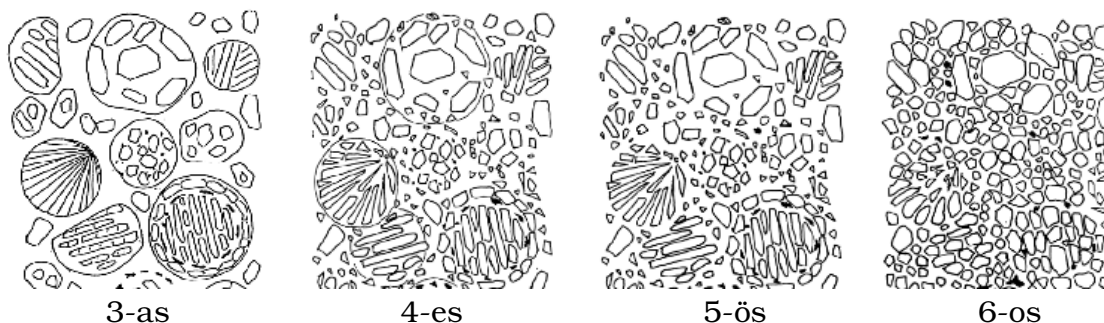
(forrás: Gerhard Wurm, Mario Trieloff, Heike Rauer: Photophoretic separation of metals and silicates: the formation of Mercury like planets and metal depletion in chondrites, *Astrophys.J.* 769 (2013) 78, DOI: 10.1088/0004-637X/769/1/78, arXiv:1305.0689 [astro-ph.EP], <http://inspirehep.net/record/1231919/plots>)

A kondritok osztályozását megalapozó Urey Craig diagram és a fő kondrittípusok összetétele.



A diagram a vas és vasoxid arányát mutatja a különféle kondritos meteoritokban. 1-E chondrites (proto-Mercury), 2-H-chondrites (proto-Venus), 3-L-chondrites (proto-Earth), 4-C2-chondrites (proto-Mars), 5-C1-chondrites (proto-Moon)

(forrás: Karim A. Khaidarov: Origin of the sun and planets, 2004. november <http://bourabai.kz/solar-e.htm>)



Kondritos szövetek petrológiai osztályozásának jellemző ábrái, a termikus metamorf fokozatokat bevezető van Schmus-Wood tanulmány 1967. alapján. Kisfokú termális metamorfózis \longrightarrow Nagyfokú termális metamorfózis

Zónás olivinek és piroxének éles peremmel különültek el a gömböcskék (kondrumok).

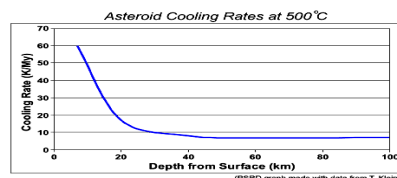
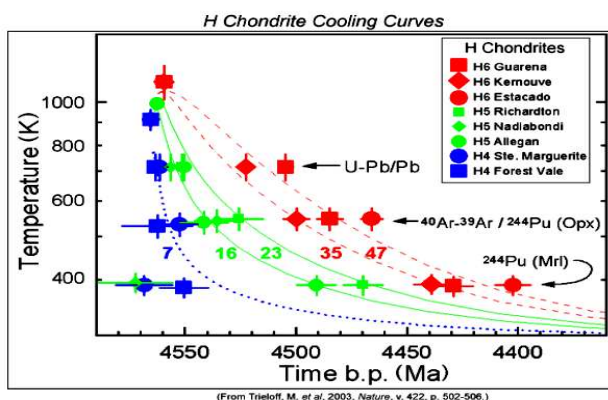
Mikrokondrumok eltűnnek.

Finomszemcsés mátrixban csak nagyobb kondrumok, alapanyag porfiros szövetű, Breccás szövet.

Kevés, átkristályosodott kondrum, teljesen átkristályosodott alapanyag.

(forrás: Bérczi Szaniszló (szerkesztette): Kőzetszövetek a naprendszerben, ELTE TTK/MTA Geonómia Bizottság, Koszmosz Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Budapest, 2008., planetologia.elte.hu/atlasz/atlasz11.pdf)

Az egyes fokozatokhoz idővel hőmérsékleti intervallumokat is hozzárendeltek a kutatók. A 3-as fokozathoz a 0 C-tól a 200 C-ig, a 4-es fokozathoz a 200 C-tól a 400 C-ig, az 5-ös fokozathoz a 400 C-tól a 600 C-ig, a 6-os fokozathoz már a 600 C-tól a 800 C-ig terjedő hőmérsékleti intervallumot kapcsol



(forrás: G. Jeffrey Taylor: Heating, Cooling, and Cratering: One Asteroid's Complicated Story, Planetary Science Research Discoveries, 2008. július 08.,

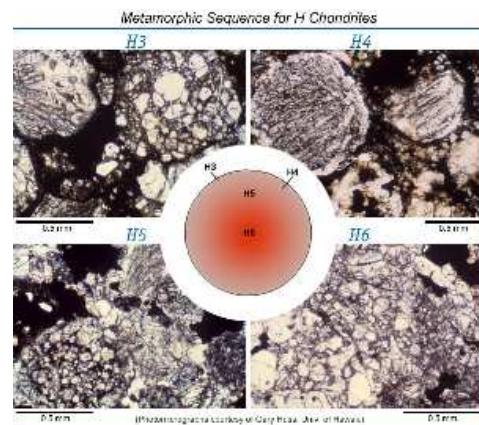
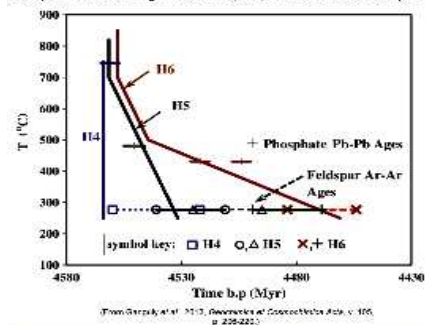
www.psr.d.hawaii.edu/July08/H-chondrite-parent.html)

Mario Trieloff és kollégái függvényében ábrázolták a hőmérsékletet és a kondritok izotópos vizsgálatával megállapított korát. A H kondritos meteoritok vizsgálatának eredménye alátámasztja a kondritos kiségitest rétegződését metamorfózisát, és differenciációját a jellegzetes „hagymahéj” szerkezetet.

Feltételezések szerint ütközéseket elszenvedett kisbolygók jelentős része töredékekből újra összeállt égitest



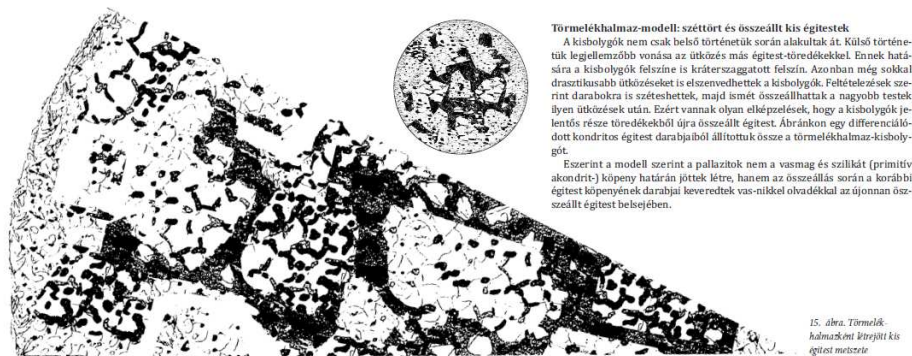
Comparison of Cooling Paths of H4, H5, & H6 Chondrite Samples



Az ábra 50-100 km átmérőjű, aszteroida méretű égitestek kondritos szerkezetének változását mutatja. A számítások azt mutatják, hogy a középpont felé az égitest hőmérséklete magasabb mint a felszínén.

A fotomikrográfokon a kondritos különböző szövet mintázatokon látható a legalább két különböző hűtési sebesség ami arra utal, hogy a meteorit egy második generációs törmelék halom aszteroidából származik.

(forrás: G. Jeffrey Taylor: Meteoritic Minerals Tell a Story of Multistage Cooling, Break-up, and Reassembly of an Asteroid, Planetary Science Research Discoveries, 2013. www.psrcd.hawaii.edu/April13/PSRD-multistage-cooling.pdf, és Ganguly, J., Tirone, M., Chakraborty, S., and Domanik, K. (2013) H-Chondrite parent asteroid: A multistage cooling, fragmentation, and re-accretion history constrained by thermometric studies, diffusion kinetic modeling and geochronological data. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 105, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2012.11.024>.)



(Bérczi Szaniszló, Gucsik Arnold, Hargitai Henrik, Józsa Sándor, Kereszturi Ákos, Nagy Szabolcs, Szakmány György: *Kis Atlasz A Naprendszeréről* (11), *Közetszövetek a naprendszerben*, ELTE TTK/MTA Geonómia Bizottság Koszmosz Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Budapest _ 2008, planetologia.elte.hu/atlasz/atlasz11.pdf)

Az Enstatit kondrit osztályba az EH kondrit csoport, és az EL kondrit csoport (H = high, L = low) meteoritjai tartoznak. Ritka meteorit típus, ami elsősorban enstatitból (ezek főleg kondrumokban vannak) áll. Az enstatit a láncszilikátok között a piroxén-csoport gyakoribb tagja, magnézium-tartalmú szilikátásvány. A vas, fém vagy szulfid formában fordul elő. Mindez arra utal, hogy az E kondritok olyan aszteroidákból származnak, amelyek oxigén-szegény környezetben voltak.

A kanadai Abee közelében talált E kondrit az egyik legkülönlegesebb a meteoritgyűjteményben. Kisebb-nagyobb törmelékdarabokból áll (breccsa), amelyek szegélyén fémes vas van. Újabban, a breccsás szerkezet becsapódási olvadási folyamattal magyarázzák.

Abee meteorit EH4 (Enstatite), 107 kg
1952-ben hullott Alberta-ban (Kanada)



(forrás: www.meteorlab.com/METEORLAB2001dev/offering21o.htm)



NWA 4643 meteorit
EL6, (Enstatite)
Morocco, Algeria.

(forrás: [flickr.com/photos/chipdatajef/b/1277934456/in/photostream/](https://www.flickr.com/photos/chipdatajef/b/1277934456/in/photostream/))

A rendes kondrit (Ordinary chondrite) osztályba a H kondrit csoport (olivín-bronzit), az L kondrit csoport (olivín-hipersztén) és az LL kondrit csoport (amfoterit) tartoznak. Az H és L típusú kondritok vas-nikkel szemcséket tartalmaznak.



Breccia Zag H3-6
Kondritos meteoritok



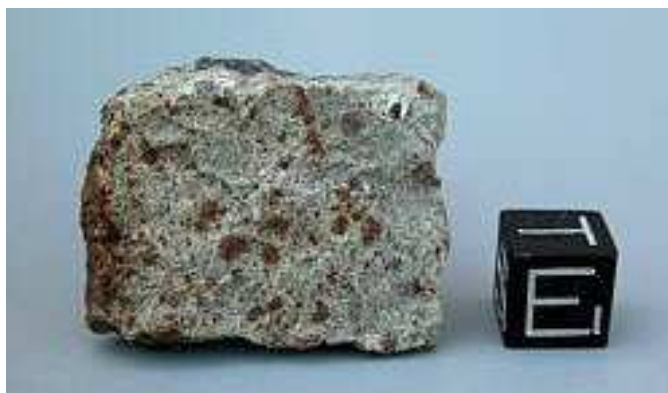
Mbale L5/6



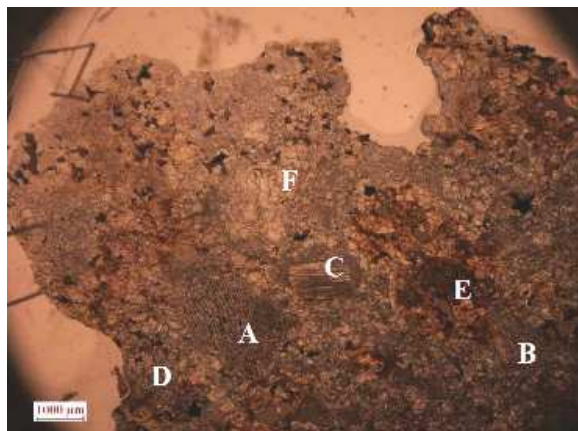
Dar al Gani 294 LL4

(forrás: meteoris.de/class/OC-Main.html#tbas)

Az Allan Hills A76009 (ALHA76009) meteorit, kondritos L6 petrológiai típus, (Stone. Olivine-hypersthene chondrite L6, Meteoritical Bulletin Database).



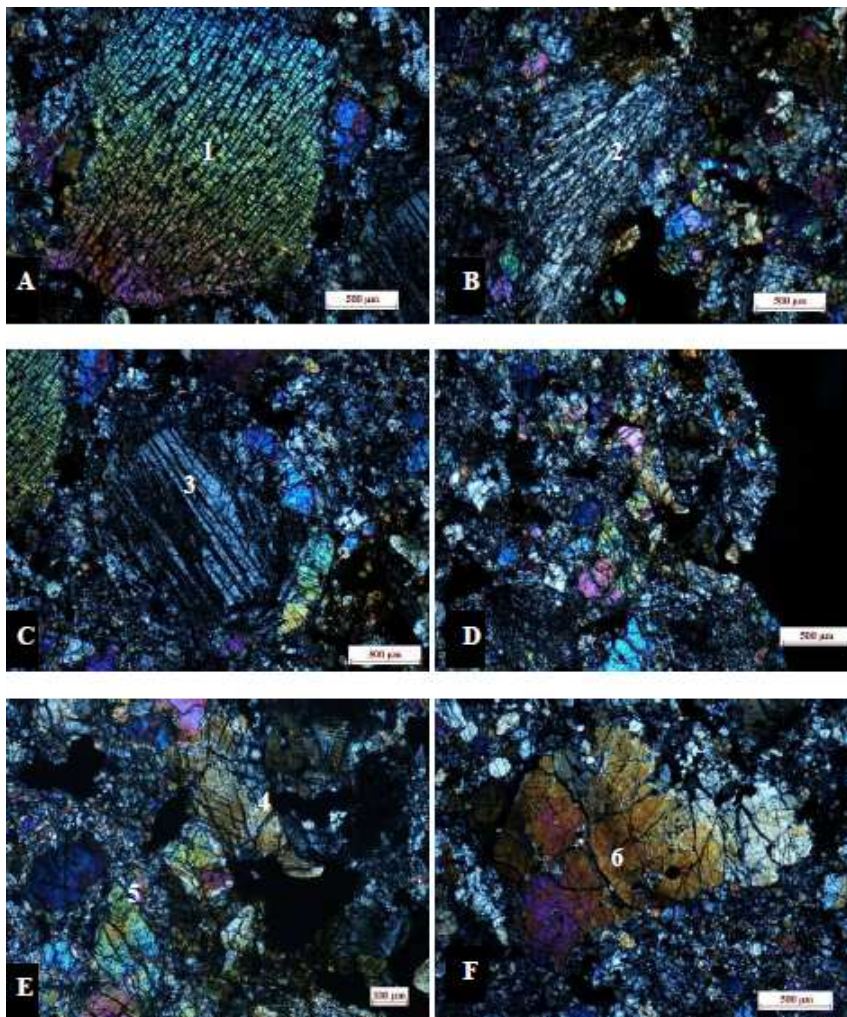
(forrás: Collection: MeteoriteCollector.org - NIPR - Polar Research, www.encyclopedia-of-meteorites.com/collection.aspx?id=2726, Mike Bandli, www.encyclopedia-of-meteorites.com/test/alh76009_mike_bandli.JPG, IMCA EoM, www.encyclopedia-of-meteorites.com/meteorite.aspx?id=1316)



Allan Hills-769 (ALHA769)
NIRP csiszolatgyűjtemény
22. minta vékonycsiszolati képe,
áteső fényben párhuzamos poláros
fényben. (kép hossza 6,5 mm)
A mátrix és a kondrumokban az
alapanyag átkristályosodott,
hematitos foltok a mintában.
Kevés kondrum van, de azok
nagy méretűek (főleg lemezes, és
radiális kondrumok) (1,5- 3 mm)

Olivinek arány 40%, piroxének dominálnak. Mind a mócsihoz, mind az L5-höz képest több, nagobb méretű kondrum is megmaradt, melyek zömmel radiális és lemezes szövetűek. A mátrix teljesen kikristályosodott, de a szemcsék alakja, mérete nem homogén. A nagyobb szemcséket opak e járják át, a kondrumokat olivin építi fel. Legnagyobb kondrum 3 mm-es, lemezes kondrum. Lemezek repedezettek, zónásak, mátrix alapanyaga rákristályosodik. A mátrix már részben kikristályosodott, 5-10 μm -es piroxéntűk halmazából áll. Mellette 1,5 mm-es lemezes kondrumban mechanikai ikresedés is megfigyelhető. A lemezekre vasgazdagabb piroxén rákristályosodott. A legnagyobb radiális kondrum töredékben maradt meg, mérete mintegy 1,2 mm-es. A többi kondrum általában 0,6 mm-es, kondrumok szemcsemérete közel egyezik a kikristályosodott alapanyagával, általában mikrogranuláris szövetűek, a kondrumokat felépítő szemcsék izometrikusak, de sok a breccsásodott töredék is.

Poikilites kondrum pereme beöblösödik, mely a peremnél olvadásra utal. A mikrogranuláris izometrikus szemcsék zömmel olivinek. A mátrix heterogén, egyrészt a kikristályosodott alapanyag, másrészt a nagyméretű, 50-100 µm olivin szemcsék alkotják. A mintában foltokban vas-pigmentek is jellemzők. Az olivinekben lokálisan megjelennek a deformációs lamellák és a mozaikos kioltás.



(forrás:
Gyollai Ildikó:
Termikus és
sokkmetamorf
jelenségek egy
kis égítést
fejlődésében a
magyarországi
és antarktiszi
meteoritok
petrográfiai,
raman- és
infravörös
spektroszkópiás
vizsgálata
alapján.
Diplomadolgozat
ELTE-TTK,
Anyagfizikai
Tanszék,
ELTE 2009,

www.researchgate.net/publication/259361092_TERMIKUS_S_SOKKMETAMORF_JELENSGEK_EGY_KIS_GITEST_FEJLDSBEN_A_MAGYARORSZGI_S_ANTARKTISZI_METEORITOK_PETROGRFIAI_RAMAN-_S_INFRAVRS_SPEKTROSZKPIS_VIZSGLATA_ALAPJN

Kondrumszövetek az AllanHills-769 vékonycsiszolatban (Optikai mikroszkópos fotó, áteső fényben, keresztezett nikolok között, LRG. A kép hossza 3,5 mm, D-nél 1,8 mm). 1. lemezes olivinkondrum, 2. excentroradiális kondrumtöredék, 3. lemezes kondrum olivinszegéllyel, D: átkristályosodott mátrix táblás olivinszemcsékkel (150-200 mikrom), 5. mozaikos kioltású olivin, opak erekkel, 6. vasgazdag nagyméretű piroxénszemcse beöblösödő, rezorpciós szegéllyel.

Néhány meteorit aranysárga kristályokat tartalmaz, melyet troilitnek nevezünk. A troilit vas-monoszulfid (FeS), földi ásványban még soha nem találták meg, kizárólag meteoritokban fordul elő.

Tombakbarna vagy bronzszínű, fémes fényű, héjas szerkezetű gömböcskékben és vékony lemezekben található.

Első ránézésre piritnek tűnnek.



Néhány nap földi körülmények között elég ahhoz, hogy rozsdásodni kezdjen.

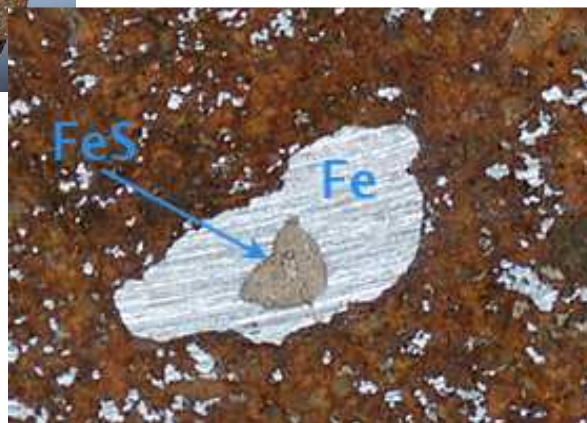
Kondritos meteoritban troilit.

(forrás:

<http://lo2.nazwa.pl/obserwatorium/zdjecia/nwa2826b.jpg>)



HaH 259 kondritos H5 típusú meteorit, 1998-ban találták a Szaharában (Libia) a Hammadah al Hamra fensíkon. Tartalmaz vasötvözetet, egy kevés nikkelt, és troilite (FeS), vas-szulfid ásvány is jelen van.

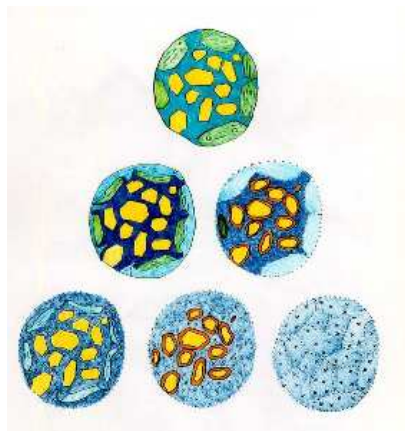


(forrás: Paul P. Sipiera, USA, www.saharamet.org/meteorites/hammadah/259/hah259.html)

Mundrabilla meteorite 3,9 milliárd éves 1911-ben találták Nyugat Ausztráliában. A sötétebb anyag vas-szulfid (FeS) troilite.

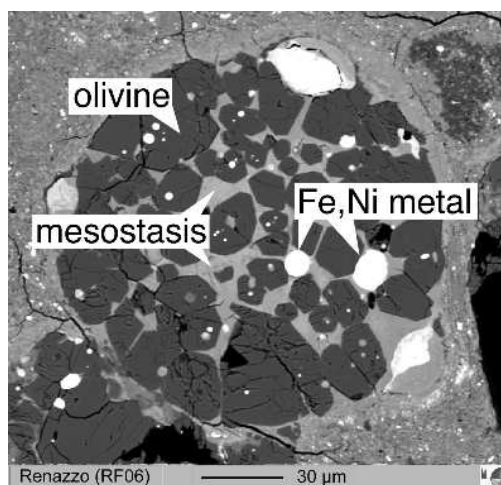
([pinterest.com/pin/223280093998595256/](https://www.pinterest.com/pin/223280093998595256/))





A porfíros (összetett kristályos kőzetek azon szerkezete melyben nagyobb elegyrészek az apróbban, az alapanyagba „mezosztázis”-ba vannak beágyalva) kondrum fokozatosan átalakul vizes oldat hatására. A különböző ábrák ezeket a fokozatokat mutatják. Az olivin kristályok fokozatosan kapnak átalakulási kéréget, majd végül teljesen beolvadnak a vizesen átalakult ásványok közé.
(forrás: hu.wikipedia.org/wiki/Kondritok)

(forrás: geochemicaltransactions.com/content/11/1/4/figure/F1?highres=y
Pack A, Yurimoto H, Palme H:
Petrographic and oxygen-isotope study of refractory forsterites from R-chondrite Dar al Gani 013 (R3.5-6), unequilibrated ordinary and carbonaceous chondrites, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 2004, 68:1135-1157.



Renazzo (CR2) szenes kondrit

Classification of Carbonaceous Chondrites

CHEMICAL GROUP	PETROGRAPHIC TYPE					
	1	2	3	4	5	6
CI	Dark Blue					
CM	Dark Blue	Medium Blue				
CR	Dark Blue	Medium Blue	Light Blue			
CO			Light Blue			
CV			Light Blue			
CK			Light Blue	Dark Purple	Dark Purple	Dark Purple

<150°C <200°C 400°C 600°C 700°C 750°C 950°C
 ← AQUEOUS ALTERATION THERMAL METAMORPHISM →

(Adapted from Sephton, M. A. (2002) *Nat. Prod. Rep.*, v. 19, p. 292-311. doi: 10.1039/b103775g)

(forrás: G. Jeffrey Taylor: Wet, Carbonaceous Asteroids: Altering Minerals, Changing Amino Acids, *Planetary Science Research Discoveries*, 2011. Április 07. www.psr.d.hawaii.edu/April11/amino_acids.html, www.psr.d.hawaii.edu/April11/PSRD-amino_acids.pdf)

Sötétebb kék színek jelentik főként vizes változtatást és vörösebb színű sávok képviselik fokozott hő hatására létrejött metamorfózist.

A kondritok a hullott meteoritek körében 85 %-ot tesznek ki. Közöttük az igen ősinek tartott szenes kondritok csak néhány százaléknyi csoportot alkotnak, mert könnyen málló, elmorzsolódó anyagúak, s hulláskor többségük széttöredezik apró darabokra.

A meteorikus eredetű anyagok összetételéről a kevésbé átalakult, szenes kondrit meteoritok szolgálnak fontos információkkal.

A szenes kondrit, vagy más elnevezéssel, rövidítve a C-típusú kondrit olyan meteorit, amelyik viszonylag nagy mennyiségű vizet és szerves vegyületeket is tartalmaz. Az ismert meteoritoknak csak mintegy ~5%-át alkotja a szenes kondritok csoportja. Összetételükben a szilikátok, az oxidok és a szulfidok a legfontosabb komponensek, az ásványok szintjén pedig az olivin és a szerpentin a jellemző. Az illékony anyagok és a víz jelenléte jelzi, hogy amióta létrejöttek, sohasem melegedtek föl a szenes kondritok 200 °C hőmérséklet fölé. Ezért összetételüket jellemzőnek tartják tartják a Naprendszer korai időszakában formálódó szoláris köd átlagos összetételére.

A szenes kondritokat a főbb jellemzők alapján osztották csoportokra és ezzel a szülő égitestek feltételezett osztályait is megalkották. A csoportokat a legjellemzőbb meteoritról nevezték el. Néhány legismertebb szenes kondrit csoport a következő: Orgueil meteorit, Ivuna meteorit, Murray meteorit, Murchison meteorit, Allende meteorit.

A CI csoport az Ivuna meteoritról nevezték el. Egykor ezt a szenes kondritot tekintették a legkevésbé átalakultnak a szenes kondritok között. Viszonylag nagy mennyiségű kötött vizet tartalmaz ásványaiban ~20%. Szervesanyag tartalma is jelentős, amely aminosavak és policiklikus aromás szénhidrogének (PAH) formájában fordul elő benne. Vizes átalakulás eredményeként létrejött filloszilikátok, magnetit, olivin kristályok alkotják a sötét színű mátrixot. Feltételezik, hogy sohasem melegedtek föl 50 °C-nál magasabb hőmérsékletre. Valószínűleg a Naprendszer leghűvösebb tartományaiban keletkeztek, valahol a külső Naprendszerben. A ma legismertebb öt CI szenes kondrit a következő: Ivuna, Orgueil, Alais, Tonk és Revelstoke.



Ivuna meteorit



Orgueil meteorite



Alais meteorite



Revelstoke meteorit

A CM típusú szenes kondritok típusmeteoritja a Mighei meteorit, amely 1889. július 18-án a mai Ukrajna területén hullott.

Nagyon kis méretű kondrumokat tartalmaz és a CAI-k (Calcium Aluminium Inclusions) mérete is ilyen kicsiny: 0,1 – 0,3 milliméter nagyságúak. (Víz tartalma körülbelül a fele a CI kondritokénak.)

Nagy mennyiségben tartalmaz igen sokféle extraterresztriális aminosavat és más vegyületeket, mint például fullerént, heterociklikus és karbonil vegyületeket, alkoholt, aminokat és amidokat.



Különösen a Murchison meteorit tartalmaz sokféle aminosavat. Feltételezik – színeképük alapján – hogy a Ceres kisbolygó a szülő égitestük.

Murchinson-meteorit.

(forrás: National Museum of Natural History, Washington, és www4.nau.edu/meteorite/)

A szerves anyag a CM kondritokban ~30% (Az Ivuna és az Orgueil CI szenes kondritokban sokkal kevesebb, kisebb koncentrációban jelen).

Ebből is következik, hogy más helyen, más égitestből származnak a két típus meteoritjei. A szerves anyagok és a szén egy része oldhatatlan komplex vegyületek formájában van jelen a CI és a CM szenes kondritokban.

A CV csoport típusmeteoritja a Vigarano, amely Olaszországban hullott 1910-ben. Sokban hasonlítanak a rendes kondritokhoz (H, L, LL típusok). Nagy kondrumok fordulnak elő bennük, magnéziumban gazdag olivin kristályokkal, melyeket gyakran vesz körbe vasszulfid. A mátrix is főleg vasban gazdag olivinból áll. Fontos összetevői a CAI-k (Calcium Aluminium Inclusions) a legkorábbi Naprendszerbeli ásványkiválások, koruk 4,567 milliárd év.



Vigarano meteorit csiszolat

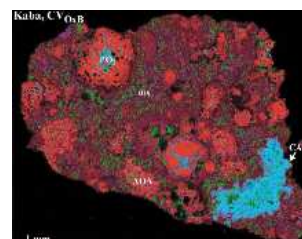
(forrás: Nature Geoscience 2011., 4, 219–220, doi:10.1038/ngo1112)

Ebbe a szenes kondrit csoportba tartozik a kabai meteorit is. A kabai meteorit 2,601 kilogramm tömegű kő, amely 1857. április 15-én este 10 óra körül csapódott be Kaba határában. Egyike az első meteoritoknak, amelyekben szerves anyagot mutattak ki. Széntartalma 2 tömegszázalék. Legnagyobb átmérője 16,4 cm, magassága 10,8 cm.



(forrás: hu.wikipedia.org/wiki/Kabai_meteorit)

A viszonylag nagy méretű kondrumokat tartalmazó, CV3 típusú (olivin-pigeonit) szenes kondrit, ami a meteoritok közt viszonylag ritka. A Naprendszer keletkezésének időszakáról nyújt információkat.



Ugyancsak nevezetes az Allende CV3 típusú szenes kondrit is. 1969-ben hullott Mexikóban. Eddig ~2000 kg-ot sikerült összegyűjteni belőle.

A 4,5 milliárd éves Allende meteorit egyik darabjának megfigyelhetők a kondrumok és a CAI fehér zárvány is.

(forrás: Matteo Chinellato, en.wikipedia.org/wiki/Allende_meteorite)

A darabokban a (titán-dioxidok közé tartozó) panguit nevű ásványt is találták meg, amely egyike a Naprendszer legrégebbi anyagainak.

(forrás: Chi Ma, Oliver Tschauer, John R. Beckett, George R. Rossman, Wenjun Liu: Panguite, $(\text{Ti}^{4+}, \text{Sc}, \text{Al}, \text{Mg}, \text{Zr}, \text{Ca})_{1.8}\text{O}_3$ a new ultra-refractory titania mineral from the Allende meteorite: Synchrotron micro-diffraction and EBSD, American Mineralogist, Volume 97, 2012., www.its.caltech.edu/~chima/publications/2012_AM_panguite.pdf)





A CO csoport típusmeteoritja az Ornans (CO3.4) meteorit, amely Franciaországban hullott 1868-ban. Sok mindenben hasonló ez a típus a CV kondritokhoz.



A CAI-k azonban kisebbek és jobban szét vannak szórva a mátrixban. Az is jellemző a CO típusra, hogy fémes halmazokban fordul elő bennük a vasnikkel.

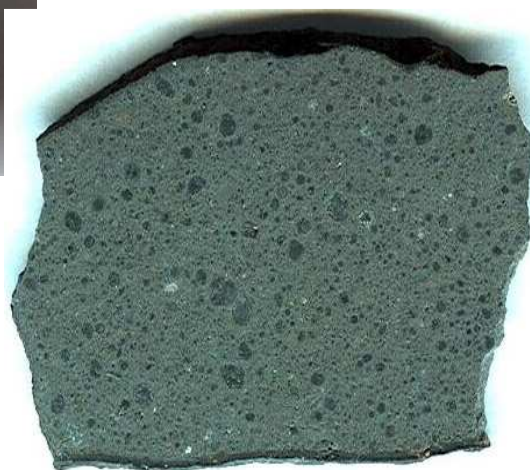
(forrás: Sergey Vasiliev, www.encyclopedia-of-meteorites.com/meteorite.aspx?id=18030 és www4.nau.edu/meteorite/Meteorite/Book-GlossaryC.html)



A CK csoport típusmeteoritja a Karoonda meteorit, amely Ausztráliában hullott 1930-ban. Eredetileg a CV típusúhoz sorolták a Karoondát a velük való hasonlóság miatt. Később alakítottak külön CK meteorit csoportot.

Nagy mennyiségben magnetit alkotja a mátrixot vasban gazdag olivin és piroxén társaságában. Oxidált környezetben alakultak ki ezek az ásványok, de a meteoritban nincsen nyoma vizes átalakulásnak. Nagy méretű CAI-k fordulnak elő bennük.

(forrás: www.meteoris.de/img/classification/Karoonda-CK.JPG és www4.nau.edu/meteorite/Meteorite/Book-GlossaryC.html)





A CR csoport típusmeteoritja a Renazzo meteorit, amely Olaszországban hullott 1824-ben. Annyiban hasonlítanak a CM típushoz, hogy jelentős mértékű vizes átalakulás érte őket.



Abban viszont jelentősen különböznek tőlük, hogy fémes vasnikkelt és szulfidot, valamint nagyméretű kondrumokat tartalmaznak. A kondrumok alkotják a kőzet tömegének felét. Közelebbi rokonságban vannak a CH és a CB –vel.

(forrás: G. Felice, www4.nau.edu/meteorite/Meteorite/Book-GlossaryC.html
www.meteorite-times.com/Back_Links/2007/January/Accretion_Desk.htm)

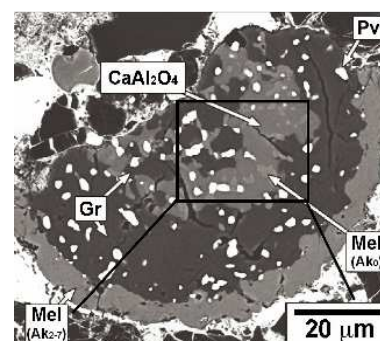
A CH csoport típusmeteoritja az Allan Hills 85085. A „H” jelölés (H = high) a nagy a vastartalmukra, utal, 15% vasnikkelt tartalmaznak. A bennük található kondrumok gyakran tördeltek és kisméretűek. Tartalmaznak egy kevés filloszilikátot, melyek gyenge vizes átalakulásukra is utalnak.



(forrás: www.wmeteorites.com/Images/nwa470.jpg)

NWA 470 CH3 kondritos meteorit.

A meteorit vizsgálata során a kutatók a kalcium monoaluminate első előfordulását fedezték fel. A röntgen képen megfigyelhető a grossite (Gr), perovskite (Pv), melilite (Mel), gehlenite (AkO), és az új ásvány a dmitryivanovite (CaAl_2O_4).
(forrás: www.webmineral.com/data/Dmitryivanovite.shtml, és American Mineralogist, Volume 94, pages 746–750, 2009)



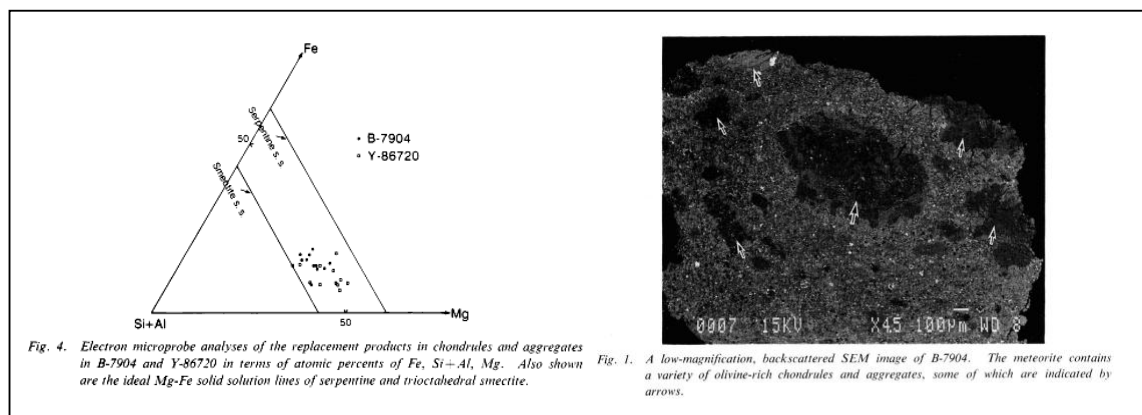
A CB csoport típusmeteoritja a Bencubbin meteorit, amely Ausztráliában hullott 1930-ban. Tömegük felét nikkelas alkotja, másik felét redukált kémiai összetételű szilikátok. A kondrumok bennük – hasonlóan a CR kondritokhoz - nagyméretűek.

(forrás:

nyrockman.com/pages/bencubbin.htm



Az MCC Group, Meta-C csoport, átalakult széntartalmú kondritos meteoritok (Carbonaceous Chondrites, CCs chondrites). CI vagy CM tagjaihoz hasonló, de eltérő az oxigén-izotóp-összetétel, alacsony víztartalmú, általában csökkent a vas-és a kén tartalma, CAI ritkák, és többnyire kicsik.



(forrás: Tomeoka Kazushige: Mineralogy and petrology of Belgica-7904: A new kind of carbonaceous chondrite from Antarctica, Fourteenth Symposium on Antarctic Meteorites. Proceedings of the NIPR Symposium, No. 3, held June 6-8, 1989 at the National Institute of Polar Research, Tokyo., National Institute of Polar Research, 1990, p.40)

Eredetileg ez a kis csoport mindössze három Antarktisz leletből állt: a Belgica 7904, a Yamato 82162, és a Yamato 86720, de újabban a Dhofar 225 és a Dhofar 735 meteoritokról is kimutatták, hogy ebbe a ritka osztályba tartoznak.

MCC Dhofar 225 meteorit
(forrás: www.meteoris.de/class/MCC-Group.html)

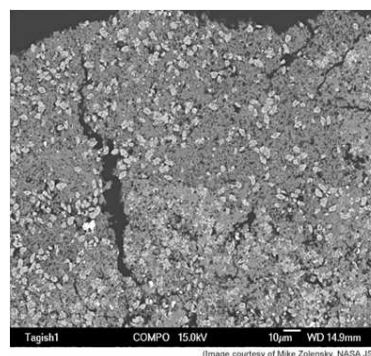


CC csoport (vagy CC UNG) az Ungrouped Carbonaceous Chondrites meteoritok, mint például a kanadai Tagish-tóra 2000. január 18-án hullott meteorit darabjai. A meteorikus test még a légkörben szétrobbant, így záporoztak a töredékek a jégre. Kezdetben úgy gondolták, hogy egy primitív 2. típusú szenes kondrit anyagiak. Az utólagos vizsgálatok során megállapításra került, hogy a meteoritok függetlenek a CI -csoporttól, és valószínűleg a D - vagy T - típusú aszteroidából származnak.



(forrás: Encyclopedia of Meteorites, www.encyclopedia-of-meteorites.com/test/tlcloud.jpg) A „Tagish Lake” MB 84 meteorit becsapódása.

(forrás: Alan Hildebrand, University of Calgary)

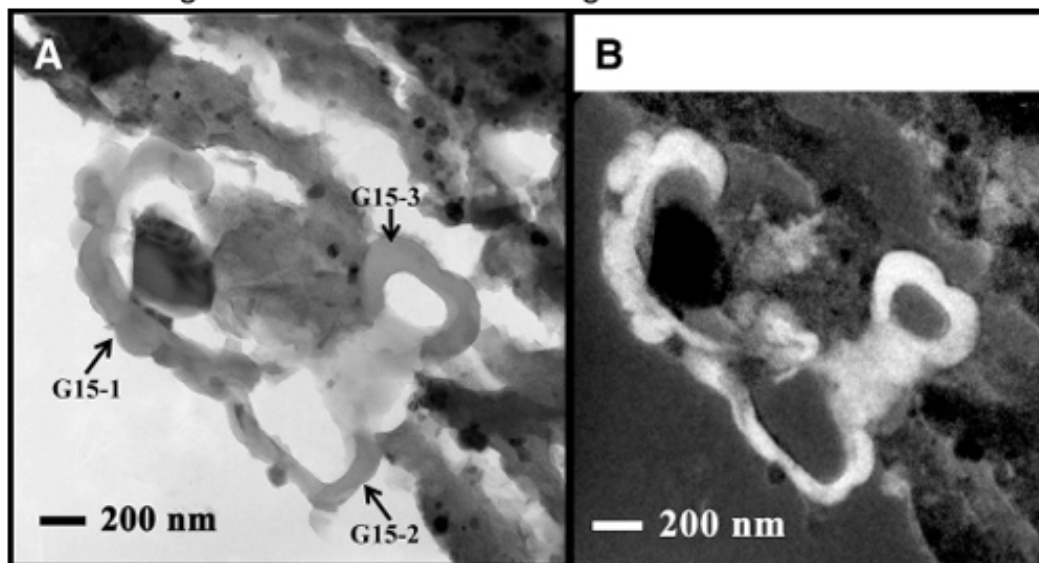


(forrás: Mike Zolensky, NASA/JSC)
„Tagish Lake” meteorit darab
159 gram

A szenes kondritok nehezen vizsgálható meteoritok. Egyeszt törekenyek, ezért még a földet érés előtt széthullanak, majd anyaguk gyorsan lebomlik. Ebben az esetben azonban a befagyott tó jégében konzerválódtak, és viszonylag gyorsan laboratóriumba kerültek.

A Föld keletkezése után a légkörbe belépő ilyen meteoritok jelentős része még a felszín elérése előtt szétarabolódott - szétszórva a szerves szemcsék jelentős részét, és elősegítve az élethez szükséges molekulák felhalmozódását.

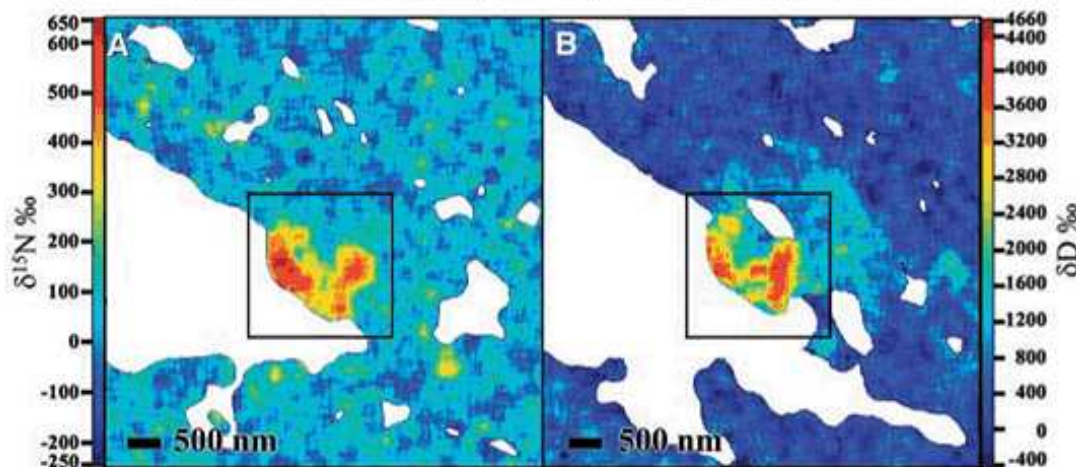
Organic Globules in the Tagish Lake Meteorite



(From Nakamura-Messenger *et. al.*, 2006, *Science*, v. 314, p. 1439-1442, Fig.1.)

TEM image (left) and carbon x-ray image (right) of a cluster of three organic globules in the Tagish Lake meteorite. The globule at the left in these photos labeled "G15-1" seems to be composed of smaller grains within its wall (the arc of material surrounding a void). Images of the isotopic composition (nitrogen and hydrogen) are shown below. The large grain in the middle of globule G15-1 is forsterite (Mg_2SiO_4 , the magnesium end-member of the olivine solid solution series).

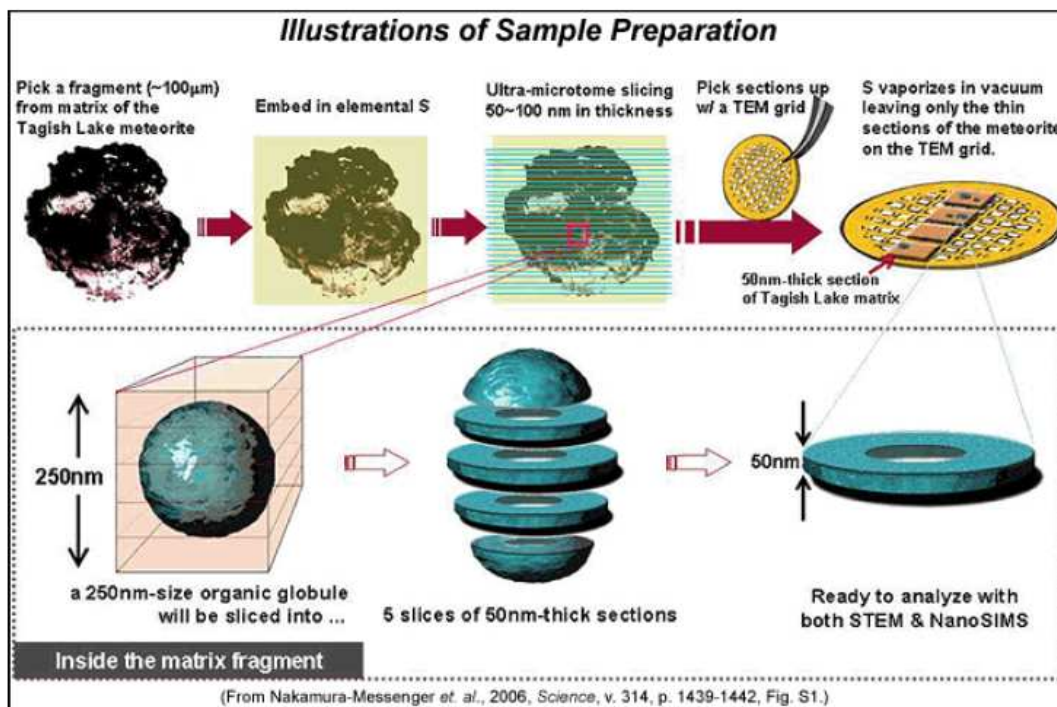
Details of a Globule in Tagish Lake Meteorite



(From Nakamura-Messenger *et. al.*, 2006, *Science*, v. 314, p. 1439-1442, Fig. 3)

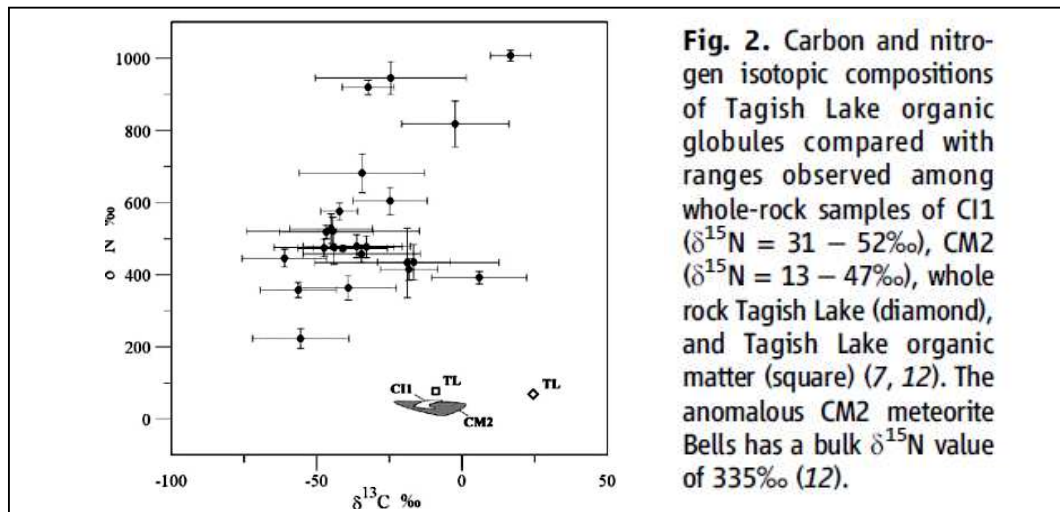
Maps of nitrogen and hydrogen isotopic compositions in globule G15-1 (see TEM image above). The scales indicate the deviation from terrestrial values in parts per thousands. The globule shows significant enrichments in nitrogen-15 relative to nitrogen-14 and in deuterium (heavy hydrogen) relative to hydrogen. This is proof of extraterrestrial origin of the globules and that they were not modified by chemical reactions on the asteroid in which the Tagish Lake meteorite was made.

A TEM (Transmission Electron Microscope) fotomikrográfokon a „Tagish Lake” meteoritból származó szerves gömböcskék (Organic Globules), és a környezetükben található ^{15}N nitrogén izotóp dúsulás (^{14}N -hez képest) látható, továbbá a deutérium (nehéz hidrogén) a hidrogén arányában. A koncentráció, a „part per 1000” (‰) értékek a skálán leolvashatók.



Schematic of the sample-preparation procedure used by Keiko Nakamura-Messenger and her colleagues.

(forrás: Nakamura-Messenger, Keiko, Scott Messenger, Lindsay P. Keller, Simon J. Clemett, and Michael E. Zolensky (2006) Organic globules in the Tagish Lake Meteorite: Remnants of the proto-solar disk, Science, v. 314, p. 1439-1442. és PSRD, G. Jeffrey Taylor Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, 2007., www.psrhawaii.edu/Jan07/organicGlobules.html)

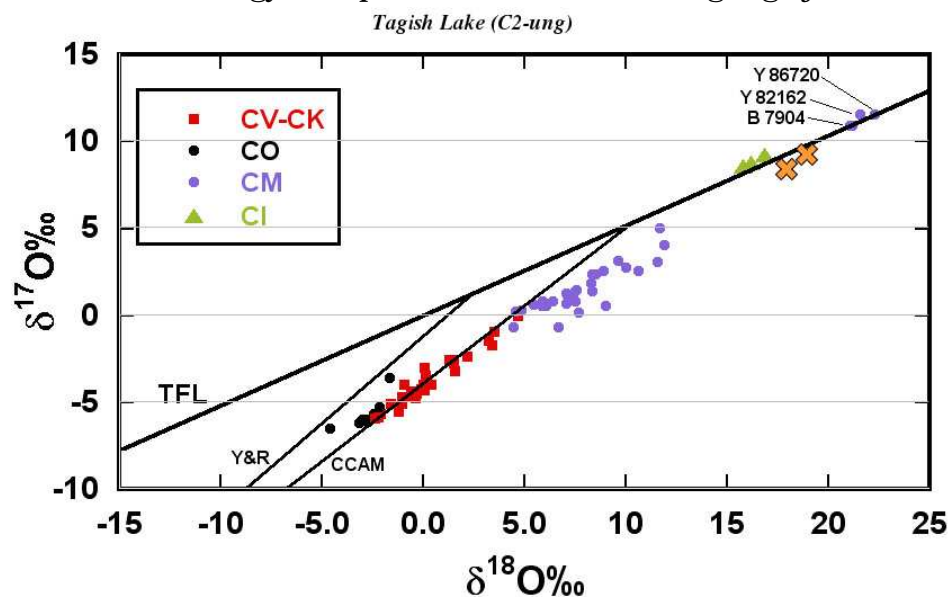


(forrás: Keiko Nakamura-Messenger, Scott Messenger, Lindsay P. Keller, Simon J. Clemett, Michael E. Zolensky: Organic Globules in the Tagish Lake Meteorite: Remnants of the Protosolar Disk, Science 1 December 2006: Vol. 314 no. 5804 pp. 1439-1442, DOI: 10.1126/science.1132175, <http://www.sciencemag.org/content/314/5804/1439.figures-only>)

A vizsgált darabokban milliméternél kisebb kerekded, szerves anyagból álló csomók mutatkoztak. A „Tagish Lake” meteorit szerves szén tartalma 2.6 wt %. Az ilyen jellegű apró golyókat az 1960-as években fedezték fel a meteoritokban, azonban részletes vizsgálatukat kis méretük és a minták mállott jellege nem tette lehetővé. Korábban egyesek földi szennyezésnek tartották őket (bár olyan vélemény is volt, hogy Földön kívüli élőlények maradványai lehetnek).

Ezúttal bizonyítást nyert, hogy a primitív meteoritokban is jelentős mennyiségben vannak ilyen szerves anyagsomók. A most megfigyelt, 0,0001 mm méretkategóriájú szemcsék vizsgálatához szükséges technológia csak az elmúlt években fejlődött megbízható szintre.

A nitrogén- és hidrogénizotópok összetételének és arányának mérése egyértelművé tette, hogy a szerves anyagú szemcsék a világűrben származnak. Az is kiderült, hogy igen hideg, közel mínusz 260 °C hőmérsékletű környezetben alakultak ki, azaz vagy egy csillagközi molekulafelhőben, vagy a Naprendszer külső és hideg régiójában születtek.



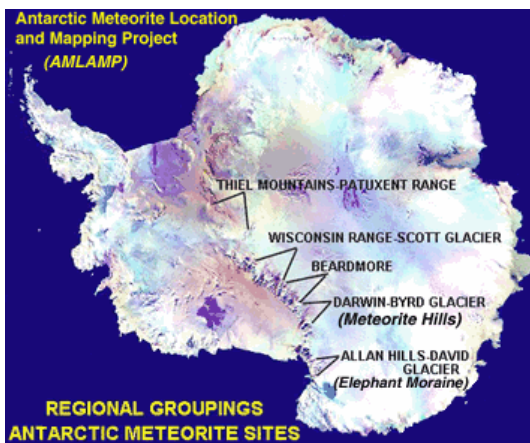
(forrás: Meteoritical Bulletin: Oxygen Isotope Plots, <http://www.lpi.usra.edu/meteor/drawplot.php?x=18.0;19.0&y=8.3;9.2&z=&plot=16&label=Tagish%20Lake%20%28C2-ung%29>)

A diagram a „Tagish Lake” meteorit Izotóp frakcionációt mutatja. Oxygen isotopes (R. Clayton, UChi): $\delta^{18}\text{O} = +18.0$ to 19.0‰ , $\delta^{17}\text{O} = 8.3$ to 9.2‰ . (sárga „x”-el jelölt koordináták) A Terrestrial Fractionation Line (TFL) a földi frakcionáció vonala, a Carbonaceous Chondrite Anhydrous Mineral line (CCAM) a szenes kondrit vízmentes ásványi vonal.

Ebbe a csoportba sorolhatók az DaG 430 CC3 UNG, a Coolidge CC UNG, a szaharai Loongana 00177 és 001, és a Sahara 00182 CC UNG meteoritok is.

1969-ben japán kutatók programot indítottak az antarktiszi meteoritok begyűjtésére, és 2008-ig kb. 17 000 darab meteorit került a tokiói Nemzeti Sarkkutató Intézetbe (National Institute of Polar Research, NIPR).

Yanai Keizo japán kutató ismerte föl, hogy az Antarktisz borító jégmező lassú mozgásban van a part felé és centiméter per év sebességgel mozdul el. A meteoritok beágyazódnak a frissen hullott hóba és együtt mozdulnak el a jégmezővel. A folyamat fölhalmozza a jeges kontinensre hulló meteoritokat. (forrás: Ben Bussey, ANSMET)



(forrás: Photographic Catalog of the Antarctic Meteorites című NIPR kötet) Terepi felvétel az antarktiszi jégsivatagban talált egyik meteorit mintáról.

Magyarországi kutatók is rendszeresen kölcsönzik a képen látható, a világ egyik legnagyobb kőzetminta gyűjteményét tudományos vizsgálataikhoz.



A gyűjteményben 30 meteorit vékonycsiszolata található, van két holdi és egy marsi meteoritminta is.

Az Antarktiszi Meteoritek kőzetgyűjtemény vékonycsiszolatai.

(forrás: planetologia.elte.hu/1cikkek.phtml?cim=egitestfejlodesek-1.html)



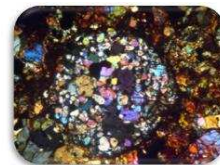
A Japán meteorit gyűjtemény 1. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 2. mintája



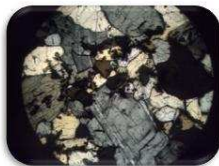
A Japán meteorit gyűjtemény 17. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 18. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 3. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 4. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 19. mintája



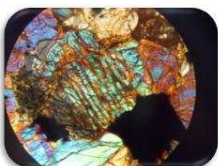
A Japán meteorit gyűjtemény 20. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 5. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 6. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 21. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 22. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 7. mintája



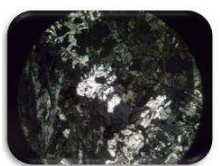
A Japán meteorit gyűjtemény 8. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 23. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 24. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 9. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 10. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 25. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 26. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 11. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 12. mintája



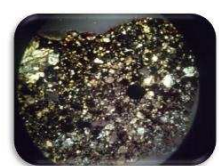
A Japán meteorit gyűjtemény 27. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 28. mintája



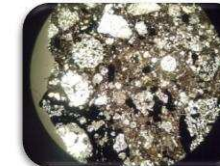
A Japán meteorit gyűjtemény 13. mintája



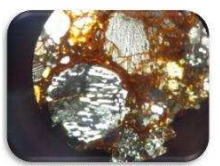
A Japán meteorit gyűjtemény 14. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 29. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 30. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 15. mintája



A Japán meteorit gyűjtemény 16. mintája

(forrás: www.bestofcafe.hu/holdkozetek_meteoritok.html)

Antarktiszi meteorit vékonycsiszolati minták mikroszkópi képei.

教育用南極隕石研磨薄片セット No. 18

1993.6

No.	Type	Meteorite Name	Sub Number	Remarks
1	Pallasite	Yamato-6451	588-8	Pyroxene Bearing, Fa9-11, Fs8-9
2	Mesosiderite	Allan Hills-77219	77-1	Fs19-31, An90-96
3	Aubrite	Allan Hills-78113	154-7	Monomict Breccia, Fs0-0.1, An25
4	Ureilite	Allan Hills-77257	77-1	Fa11-14, Fs11-13
5	Diogenite A	Yamato-74097	99-3	Crystalline(Recrystallized), Fs23-26
6	Diogenite B	Allan Hills-77256	88-5	Monomict Breccia, Fs22-25
7	Howardite	Yamato-7308	105-2	Polymict Breccia, Fa15-33, Fs21-57, An85-96
8	Eucrite A	Yamato-791195	100-4	Crystalline, Fs54-57, An89-92
9	Eucrite B	Yamato-74450	94-2	Polymict Breccia, Fa72, Fs26-31, An78-93
10	Shergottite	Allan Hills-77005	106-13	Crystalline, Fa25-31, Fs20-21, An49-56
11	Lunar Meteorite A	Yamato-86032	60-2	Regolith Breccia, Fa63-93, Fs17-41, An91-97
12	Lunar Meteorite B	Asuka-881757	531-2	Mare Gabbro, Fa87-95, Px(wide range), An74-96
13	"Primitive Achondrite"	Yamato-794046	106-2	Fa18-20, Fs13-16
14	EH3 Chondrite	Yamato-691	78-12	Fa0.1-2.5, Fs0.3-20
15	H3 Chondrite	Yamato-791426	82-6	Fa16-18, Fs5-26
16	H4 Chondrite	Allan Hills-77233	86-1	Fa16-18, Fs14-16
17	H5 Chondrite	Yamato-74079	72-7	Fa16-19, Fs15-17
18	H6 Chondrite	Yamato-74014	71-7	Fa18-20, Fs16-17, An11-12
19	L3 Chondrite	Yamato-74191	102-1	Fa12-25, Fs4-25
20	L4 Chondrite	Yamato-74355	86-5	Fa23-26, Fs20-21
21	L5 Chondrite	Yamato-790957	90-3	Fa23-25, Fs19-21
22	L6 Chondrite	Allan Hills-789	132-4	Fa23-25, Fs18-21, An11
23	LL3 Chondrite	Yamato-790448	90-39-1	Fa0.2-22, Fs1-30
24	LL4 Chondrite	Yamato-74442	101-1	Fa28-30, Fs7-24
25	LL5 Chondrite	Allan Hills-78109	141A-1	Fa28, Fs23
26	LL6 Chondrite	Yamato-75258	97-9	Fa31-33, Fs24-25, An9
27	C1 Meteorite	Yamato-82162	5E-1	
28	CM2 Chondrite	Yamato-74662	95-1	Fa0.2-53, Fs0.5-45
29	C03 Chondrite	Yamato-791717	84-1	Ornans Type, Fa0.2-86, Fs0.6-14, An79
30	CV3 Chondrite	Yamato-86751	57-2	Vigarano Type, Fa0.1-45, Fs0.4-10, An46

研磨薄片(PTS)の使用

- 顕微鏡観察専用ではありません。
- 保護用アルミ枠が下さい。

注意して取り扱って

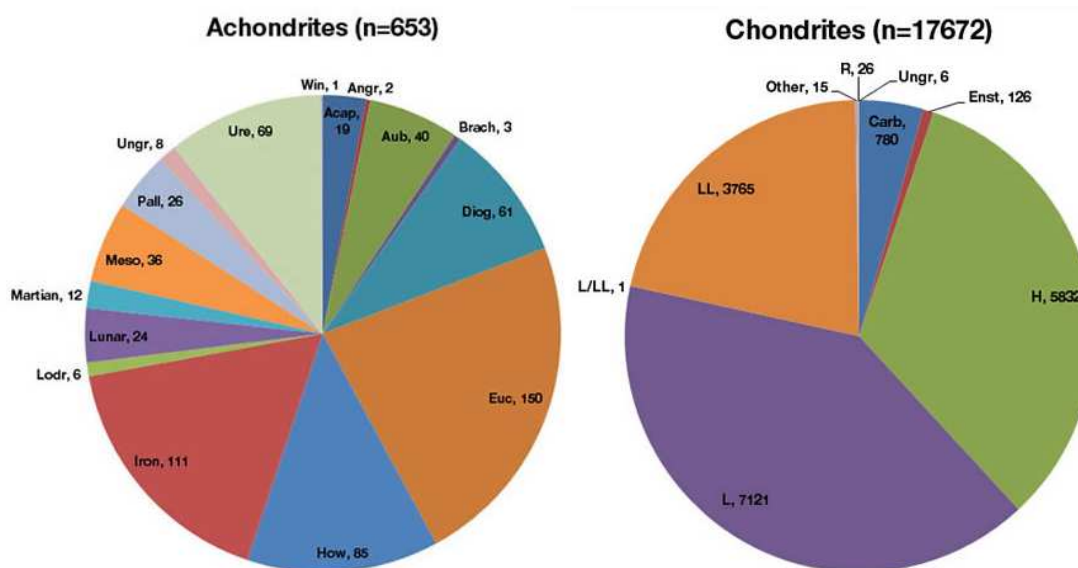
国立極地

連絡先

〒173 東京都

TEL: 03-

FAX: 03-

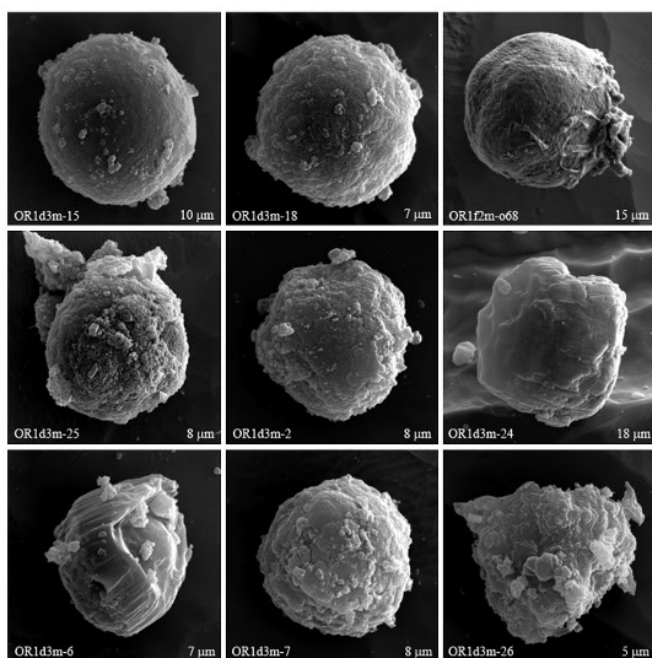
(forrás: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/hu/0/05/NASANIPR.JPG>)(forrás:)<http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/statistics.cfm>)

Antarktisi meteorit kollekciónban az akondrit és kondrit csoportok arányai.

A korai élet lehetséges építő elemei, és biomarkerek a meteoritokban

A Földön a legöregebb anyagminták a Murchison- és Orgueil-meteoritok, a szenes kondritok azon csoportjába tartoznak, amelyek összetétele, a hidrogént és héliumot leszámítva, szinte tökéletesen megegyezik a Napéval. A bennük található szilícium-karbid-, illetve kis sűrűségű grafit szemcsék egy II. típusú szupernóva felrobbanásakor keletkeztek, majd sodródtak be a Naprendszerbe. A meteoritokban található, nagy sűrűségű grafit szemcsék többsége ezzel szemben kisebb tömegű, életük vége felé közeledő vörös óriások körül keletkezett, majd az erős csillagszél juttatta el az éppen formálódó Naprendszerbe.

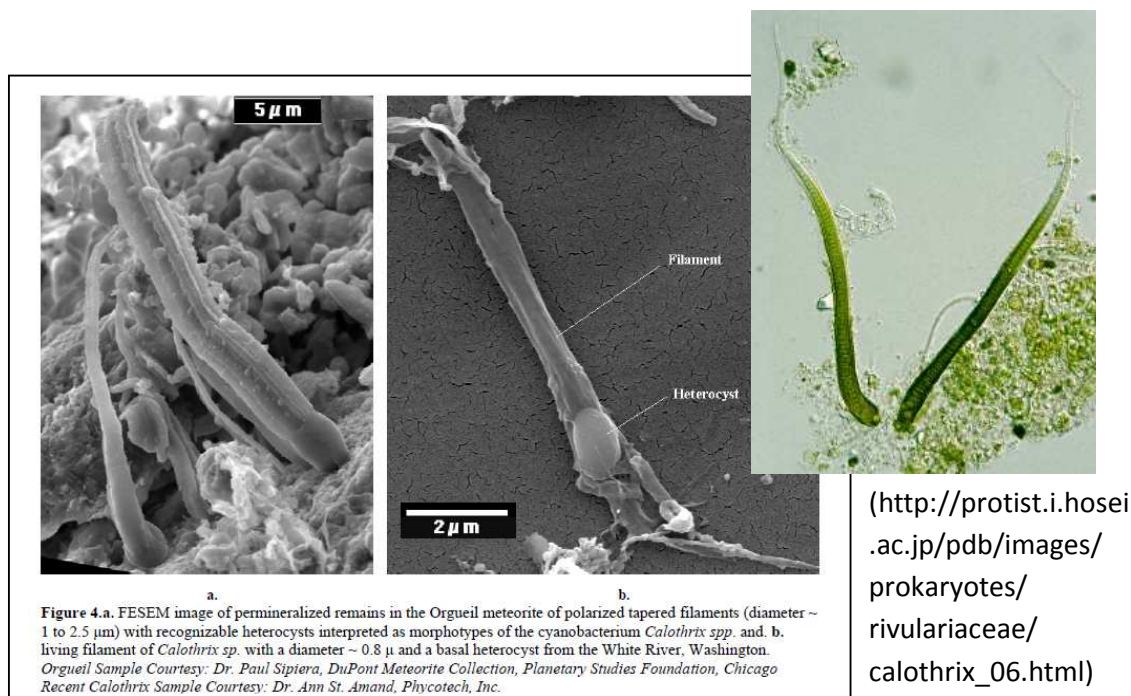
A kutatást vezető Manavi Jadhav (University of Hawaii at Manoa) és kollégái azonban néhány ilyen grafit szemcsénél szokatlan izotóparányokat találtak. A szén klasszikus, ^{12}C izotópja mellett sok ^{13}C szénatom is feltűnt. A modellszámításaik alapján ilyen porszemek a fehér törpe állapot felé tartó, nagyon öreg csillagok utolsó fellángolásakor jöhetnek létre. A feldúsult izotóp a csillagszállal távozik a csillagról, és porszemek alkotórészévé válik.



Grafit szemcsék az Orgueil-meteoritból, elektronmikroszkóp alatt.

Ezek a gömböcskék öregebbek a Földnél is, a lehető legtávolabbi és legrégebbi anyagmintáink az Univerzumból, a Nap előtti csillagokból származnak.

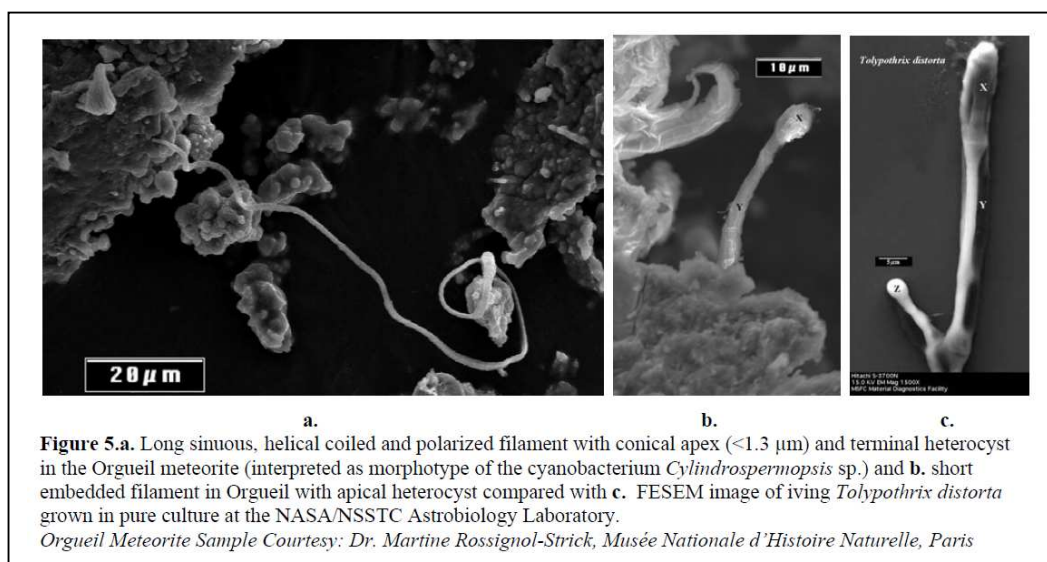
(forrás: Manavi Jadhav, Ernst Zinner, Sachiko Amari, Teruyuki Maruoka, Kuljeet K. Marhas, Roberto Gallino: Multi-element isotopic analyses of presolar graphite grains from Orgueil, www.elsevier.com/locate/gca, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 113 (2013) 193–224, és presolar.wustl.edu/Laboratory_for_Space_Sciences/Publications_2013_files/jadhavetal2013.pdf, és arxiv.org/abs/1310.2679)



A fotomikrográfok (mikroszkóp felvételek) FESEM (Field-emission Scanning Electron Microscope) pásztázó elektronmikroszkóppal készültek.

a) Orgueil meteorit „filaments” (rost, szál) *Calothrix* spp. (species plurale = többféle faj) cianobaktérium morfológia (forma, alak),

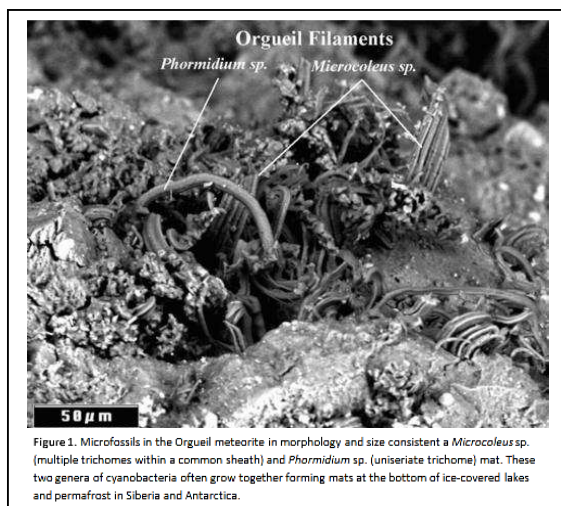
b) élő „filaments” *Calothrix* sp. (species = faj) cianobaktérium morfológia.



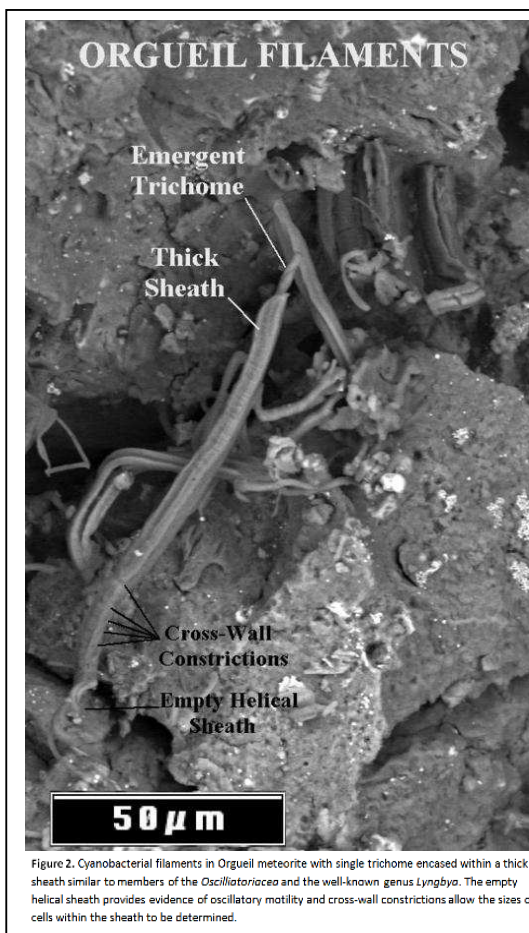
a) és b) Orgueil meteorit „filaments”, cianobaktérium morfológia

c) élő *Tolypothrix distorta*, FESEM mikroszkó felvétel, NASA/NSTC

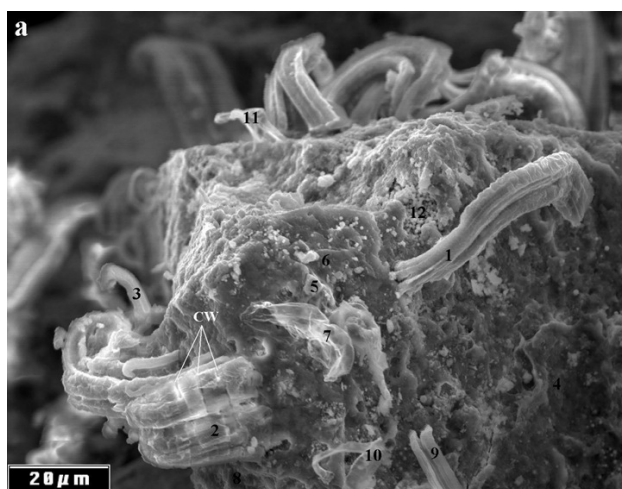
(forrás: Richard B. Hoover: Fossils of Cyanobacteria in CI1 Carbonaceous Meteorites: Implications to Life on Comets, Europa and Enceladus, pdf., Space Science Office, NASA/Marshall Space Flight Center, Huntsville)



Az Orgueil meteoritban talált morfológiák (formák, alakzatok) mérete megfelel a *Microcoleus* sp. (több „trichoma” szörszerű nyúlvány, egy közös köpenyben) és *Phormidium* sp. (egysoros trichoma) fonat. A cianobaktériumok ezen két genus gyakran összenőt szőnyeg alkotó a jéggel borított tavak alján és az örökfagyott Szibériában és az Antarktiszon.



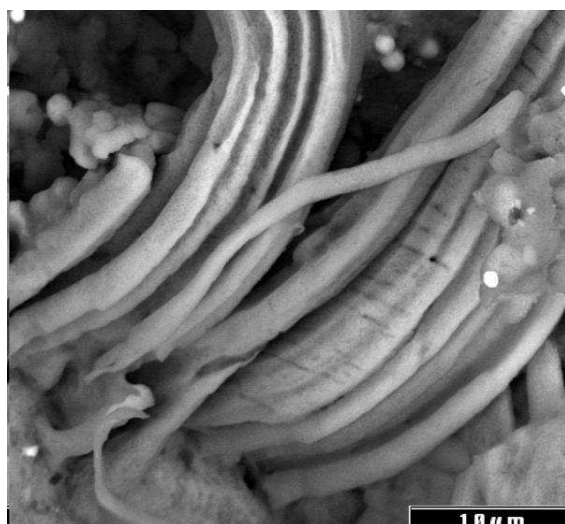
A másik ábrán az Orgueil meteoritban szintén Földi cianobakterium „filamentumok”-ra (rostok) hasonlító formák találhatóak. Az egyszeres trichoma hasonló a *Oscillatoriacea* és a *Lyngbya* genus tagjaihoz.



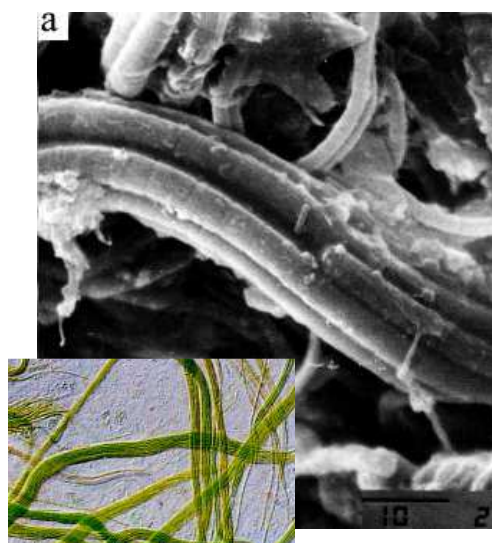
Az elektromiktoográf 1000x-es nagyítással készült Secondary Electron Detector (SED) FESEM felvétel a frissen törött Orgueil CI1 meteorit töredékéről, amelyen sokféle különböző fonalas mikrostruktúra látható.

(forrás: Richard B. Hoover: More Evidence for Indigenous Microfossils in Carbonaceous Meteorites, What's NEW since 2010. augusztus, Astrobiology XIII session, 3-5., 2010. August,

A nagy felbontású Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) képeken a meteoritban talált mikrofosszília formák és modern (élő) cianobaktériumok láthatók.



Biomorfikus struktúra
az Orgueil meteoritban

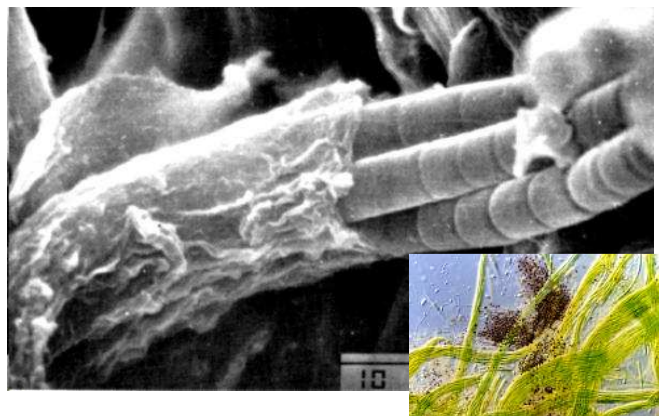


Modern (élő) cianobaktérium,
Microcoleus chthonoplastes

(forrás: Richard B. Hoover, NASA/NSSTC, 21-23 July 2004; sample courtesy of Paul Sipiera, the Dupont Meteorite Collection of the Planetary Studies Foundation és Ludmilla Gerasimenko, Institute of Microbiology, Russian Academy of Sciences és <http://microbes.arc.nasa.gov/gallery/lightms.html>).



Biomorfikus struktúra
az Orgueil meteoritban



Modern (élő) cianobaktérium,
Microcoleus chthonoplastes

(forrás: Alexei Rozanov, Paleontology Institute, Russian Academy of Sciences; sample courtesy of E. Galimov, Vernadsky Institute, RAS, és Ludmilla Gerasimenko, Institute of Microbiology, Russian Academy of Sciences és Richard B. Hoover: Evidence for Indigenous Microfossils in a Carbonaceous Meteorite What'sNEW since 2004. augusztus, NASA/NSSTC, <http://www.panspermia.org/hover2.htm>)

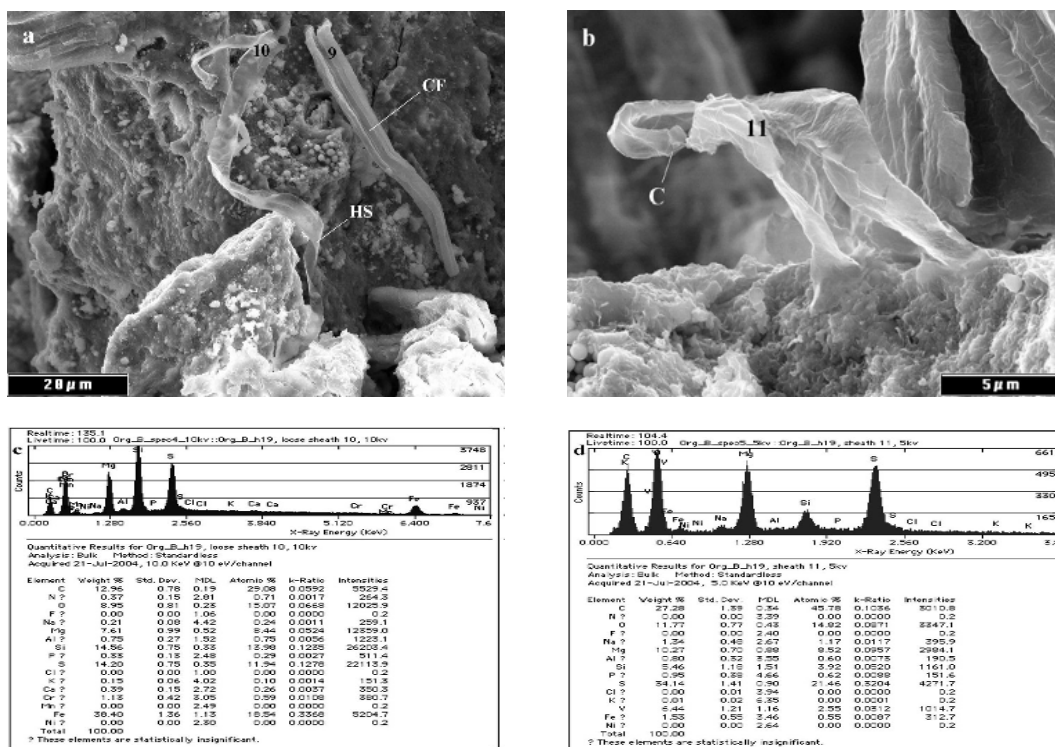
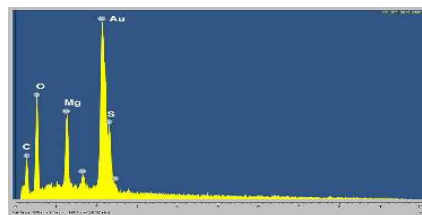
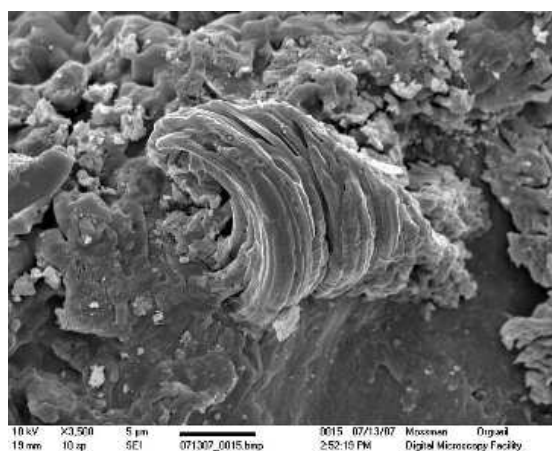


Figure 3. Hitachi FESEM images at 1500X of **a.** collapsed filament **9** and helical coiled empty sheath **10** and **b.** 6000X image of filament **11** showing hook and calyptra or conical apical cell. **c.** EDS spot spectra show elemental compositions **c.** of loose sheath **10** (C 29.1%; N=0.7%) and **d.** sheath **11** (C 47.8%; N<0.5%).
Orgueil Sample Courtesy: Dr. Paul Sipiera, DuPont Meteorite Collection, Planetary Studies Foundation, Chicago

Az a) ábra Hitachi FESEM kép 1500x-os nagyítással, a b) ábra 6000x-os nagyítással készült. A c) és d) ábrák az EDS spot spektrumokat mutatja.

(forrás: Richard B. Hoover: Fossilized bacteria in meteorites are obvious in a newly published article, www.panspermia.org/whatsnew64.htm#110114, és Richard B. Hoover: Fossils of Cyanobacteria in CI1 Carbonaceous Meteorites: Implications to Life on Comets, Europa, and Enceladus, NASA, Journal of Cosmology, 2011, Vol 13, journalofcosmology.com/Life102.html www.panspermia.org/hoovermeteorites.pdf)



Orgueil meteorit pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) képen látható egy lehetséges biomorfikus struktúra, amely részben mineralizálódott. Az EDS diagram az elemi eloszlást mutatja.

(forrás: <http://spie.org/x36351.xml>)

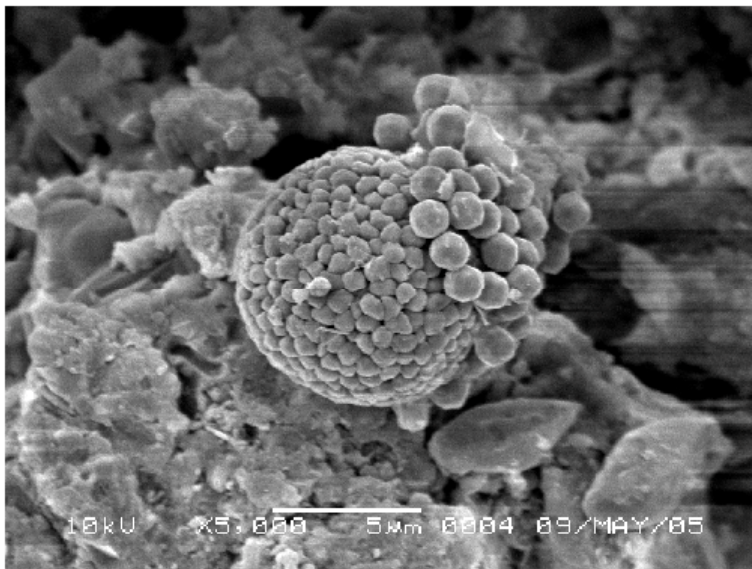
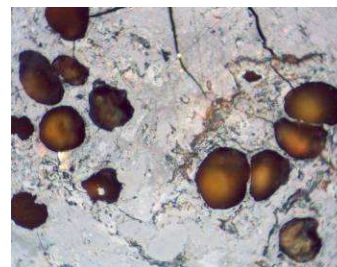
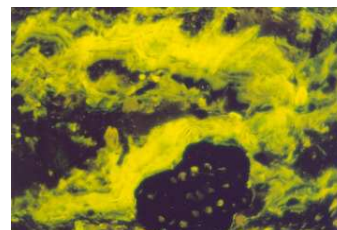


Figure 1. Scanning-electron-micrograph (SEM) image of a sample from the carbonaceous meteorite Orgueil showing a framboidal (named for its raspberry-like appearance) magnetite cluster (center) in the midst of clay minerals and amorphous mineral-lipid groundmass (abundant in aliphatic and aromatic hydrocarbons, fluorescent in blue-light excitation under an incident-light microscope). Other than solid bitumen, no structurally preserved macerals (organic remnants) are visible. % Random bitumen or vitrinite-like reflectance (Ro) = 0.70.



Földi vitrinit



Földi liptinit

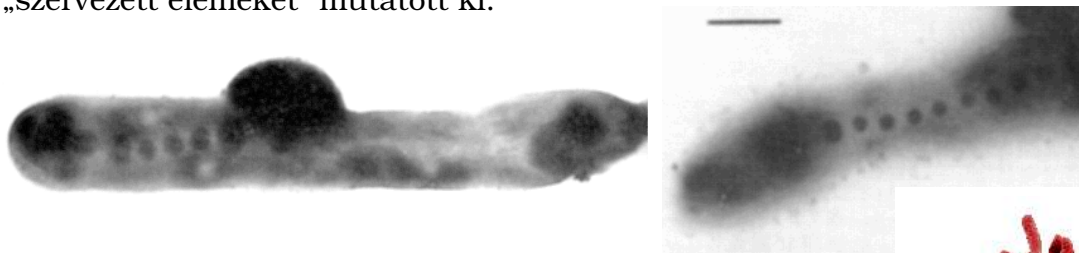
A „macerálok” a kőszenek alapvető elegyrészei.

(forrás: Prasanta K. Mukhopadhyay, David J. Mossman, James M. Ehrman: A universal, unconventional petroleum system exists throughout our solar system, 2009. SPIE 10.1117/2.1200907.1699, <http://spie.org/x36351.xml>, Szerves üledékes kőzetek, http://www.asko.uni-miskolc.hu/~askmf/hpage/oktat/askobev/asvkoz_14_2007.pdf)

A pásztázó elektronmikroszkópos-felvételen (SEM) a széntartalmú Orgueil meteorit darabkában található „framboidal” (málna-szerű megjelenés) magnetit klaszter a közepén agyagásványok és szilárd „bitumen” (a szénülési folyamat azon része, amikor a liptinitből és vitrinitből kőolajszerű, bitumenes anyag képződik), valamint „macerál” szöveti elemek (optikailag homogén, de kémiaiilag különböző, nem kristályos szerkezetű szerves anyagok: vitrinit, liptinit, inertinit) láthatók.

A Földi „macerálok” a kőszenek alapvető elegyrészei. Kémiai összetételük, reflexióképességük, eredetük alapján a következő csoportokra oszthatók: Vitrinit: huminanyagok gélesedett terméke, növényi sejtfalak lignin- és cellulóztartalmából származik. Liptinit: spóra- és pollenszemcsék, algák, magasabb rendű növények ellenálló szöveteinek, zsír- és viaszjellegű vegyületeinek lebontása során képződik. Inertinit: hasonló anyagokból képződik, mint a vitrinit, de oxidációs úton jön létre. Elsősorban huminanyagok oxidációs terméke.

A magyar származású Bartholomew (Bertalan) Nagy és George Claus 1961-ben az Orgueil és Ivuna meteoritokban fosszilis algákra emlékeztető, „szervezett elemeket” mutatott ki.



(forrás: W. C. Tan and S. L. VanLandingham: Electron microscopy of biological-like structures in the Orgueil carbonaceous meteorite,

p 237 v 12 Geophys. Journal of the Royal Astronomical Society, 1967. www.panspermia.org/magneto2.htm és

M. Vainshtein, N. Suzina, V. Sorokin: „A new type of magnet-sensitive inclusions in cells of photosynthetic purple bacteria”, p 182-186 v 20 System. Appl. Microbiol. 1997., http://www.researchgate.net/publication/234145131_A_new_type_of_magnet-sensitive_inclusions_in_cells_of_photosynthetic_purple_bacteria/file/32bfe50f933317b0dd.pdf és Brig Klyce: Fossilized Magnetotactic Bacterium in the Orgueil Meteorite What'sNEW since 1998., www.panspermia.org/magneto.htm és depts.washington.edu/cshlab/html/organisms/rhodopseudomonas.html).



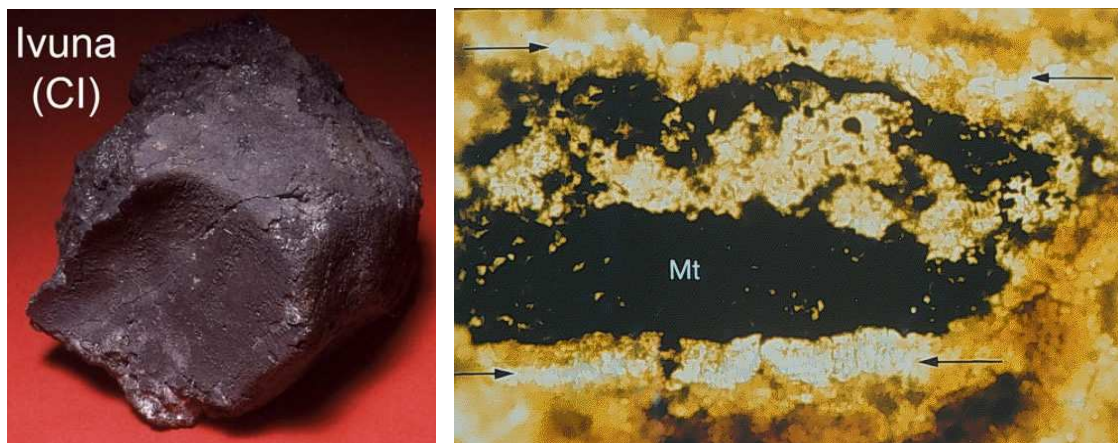
Elektron mikroszkópos fotón egy saválló „filamentary microstructure” (mikroszerkezetes szál) látható, amelyet Sam L. VanLandingham és W.C. Tan 1966-ban fedezett fel az Orgueil meteoritban (hossza ~6 mikrométer). A második ábra Transzmissziós elektronmikroszkóp (TEM) fotó egy lila fotoszintetikus Földi baktérium faj a Rhodopseudomonas rutilis tagja. Mihail Vainshtein (Orosz Tudományos Akadémia) fedezte fel. (skála=0,5µm)

A biomorfikus struktúra a földi mágneses cianobaktériumokhoz és a mágneses Rhodopseudomonas rutilis-hez hasonló.

Az 1970-es évek elején született az az elmélet, amely szerint egy felrobbant, szupernóvává alakult csillag indította be Napunk megszületésének folyamatát. A 4,5 milliárd éves Orgueil meteorit belsejében a kutatók az alumínium 26-os tömegszámú, valamint a vas 60-as tömegszámú izotópját fedezték fel. Mindkét rövid felezési idejű izotóp megtalálható a kozmikus kövezetekben, de a Földön nem. A kutatók arra következtettek, hogy egy szupernóvából származnak.

Ha igazolódna, hogy fosszília található a meteoriton, a lelet a pánspermia elméletét erősítené. Az új eredményből pedig arra lehetne következtetni, hogy felrobbant ősi csillag kozmikus anyagában már léteztek bakteriális formában az élet első nyomai.

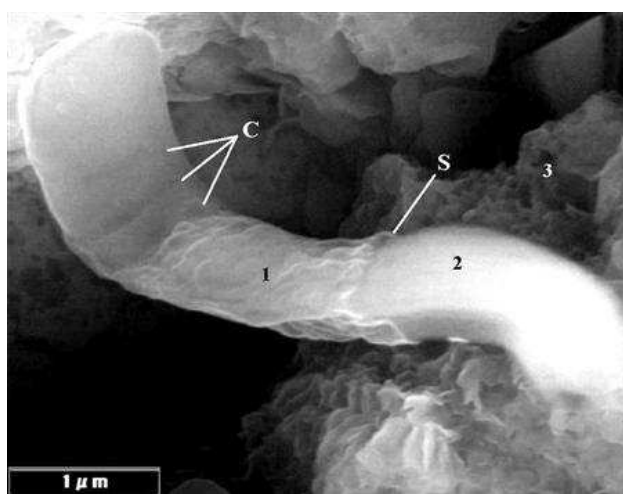
A Tanzániában 1938-ban hullott Ivuna (CI1 szenes kondritos, regolith breccia) 705 grammos meteoritban az aminosavak közül a prebiotikus fejlődésben fontos b-alanint és a glicint azonosították.



(forrás:<http://www4.nau.edu/meteorite/meteorite/book-glossary.html> és Dr. A. Bischoff [Westfälische Wilhelms-Universität, Munich], http://www.lpi.usra.edu/publications/slidesets/marslife/slide_23.html)

A fotomikrográfon karbonát és vas-oxid ásványi anyagok rétegződése, és ~0,3 milliméter átmérőjű karbonát ásványi gömböcskék találhatók.

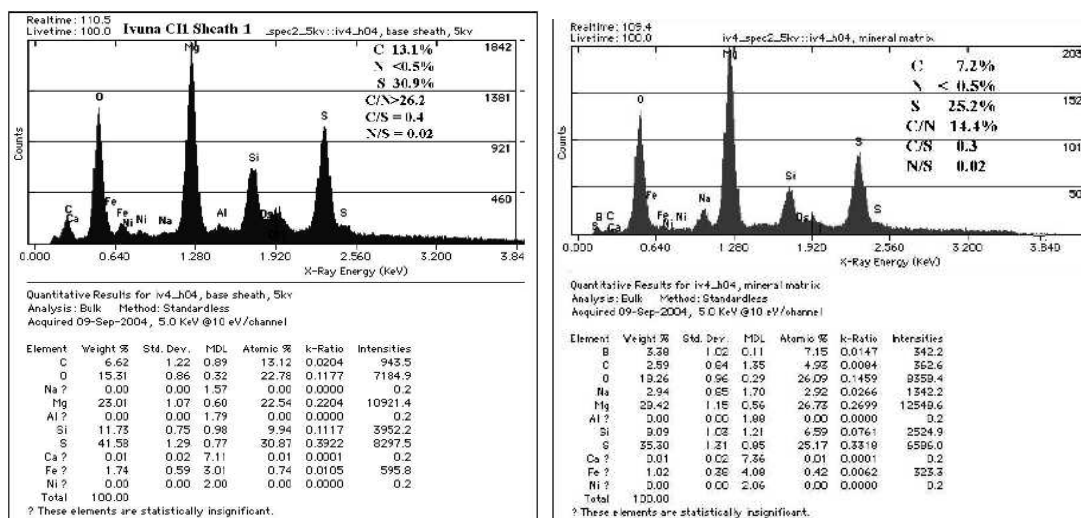
A fehér (áttetsző) anyag magnezit (magnézium-karbonát), a fekete anyag a vas-oxid ásványi magnetit („Mt” jelöléssel). Önmagukban a réteges karbonát gömböcskék, valamint a széntartalmú kondrit meteoritokban található sokféle szerves vegyi anyag még nem elegendő biomarker az élet igazolására.



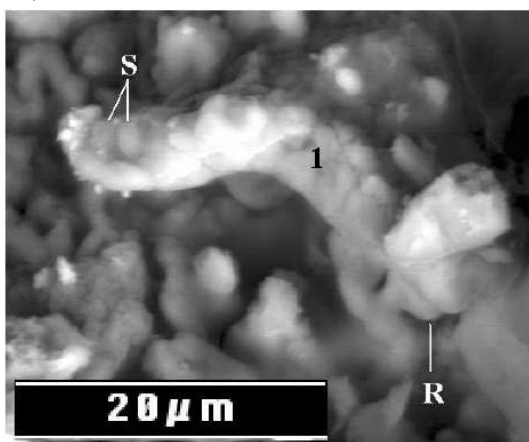
a.) ábra

Forrás:(forrás: Richard B. Hoover: Fossils of Cyanobacteria in CI1 Carbonaceous Meteorites: Implications to Life on Comets, Europa and Enceladus, Space Science Office, NASA/Marshall Space Flight Center, Huntsville, <http://journalofcosmology.com/Life102.html> és http://sdcc3.ucsd.edu/~ir118/Liden2010/Hoover_JOC_MS.pdf <http://www.reuters.com/article/slideShow?articleId=USTRE7252KQ20110307&slide=1#a=1>)

Az a.) ábrán az Ivuna CI1 meteoritban talált 0,8 μm átmérőjű „filament” (rost, szál) látható sötét vonalakkal („C” jelölés), részbenbefoglala egy vékony szénben gazdag köpeny.

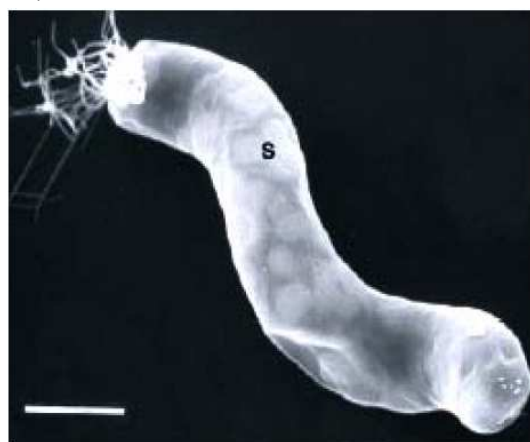


b.) ábra



d.

c.) ábra



e.

Fig. 1.a. Ivuna CII meteorite filament (0.8 μm diameter) with dark lines C, partially encased in thin carbon-rich sheath. b. EDS data of the filament sheath at spot 1 shows biogenic elements N and P (<0.5%). It is enriched in C (13.1%) as compared with nearby meteorite matrix (C 7.2%) at spot 3; d. FESEM Backscattered Electron image of an Ivuna filament with N<0.5%; sulfur-rich globules S and rounded terminus R similar in size, morphology and internal composition to (e.) giant bacterium "Titanospirillum velox" with sulfur (S) globules collected from *Microcoleus* mat of Ebro Delta, Spain. (Scale bar = 5 μm). *Ivuna Meteorite* Courtesy: Dr. Paul Sipiery, Dupont Meteorite Collection, Planetary Studies Foundation, Chicago, Illinois. Fig. 1.e. Courtesy: Dr. Riccardo Guerrero

(forrás: Dr. Paul Sipiery, Dupont meteorit Collection, Planetary Studies Foundation, Chicago, és Dr. Riccardo Guerrero, és Space Science Office, és NASA/MSFC, <http://journalofcosmology.com/Life102.html>)

A b.) EDS adatokat a „filament” burok 1. pontról, a tipikus biogén elemeket mutatja nitrogén (N) és foszfor (P) <0,5%, és a szén dúsított (C) 13,1%, összehasonlítva a közeli 3. pont meteorit mátrix (C) 7,2%-al. A d.) FESEM visszaszórt elektron kép egy Ivuna „filament”-et mutat nitrogén (N) <0,5%, a kén-gazdag („S” jelöléssel) gömböcskék, és lekerekített égződés („R” jelöléssel) hasonló morfológia az e.) óriás baktérium „Titanospirillum Velox”-hoz, amely spanyolországi folyóban az Ebro Delta „Microcoleus” alga szőnyegből került begyűjtésre. (skála = 5 μm).

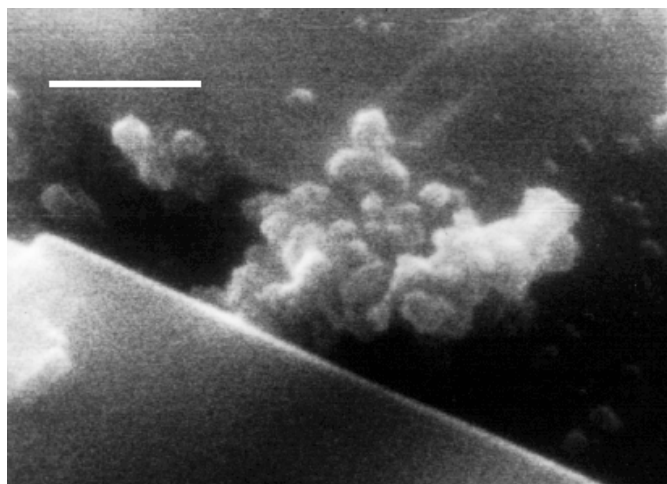
Az Allende CV3 szenes kondritos meteoritot 1969-ben Mexikóban Allende közelében (Chihuahua) találták.



(forrás: L. Welzenbach és T. McCoy, Smithsonian Institution, USA
<http://www.termesztar.hu/anyagok/nagyitas/nagyitas.html>)

A meteorit körrel jelölt területéről készült csiszolat 250-szeres nagyításban.

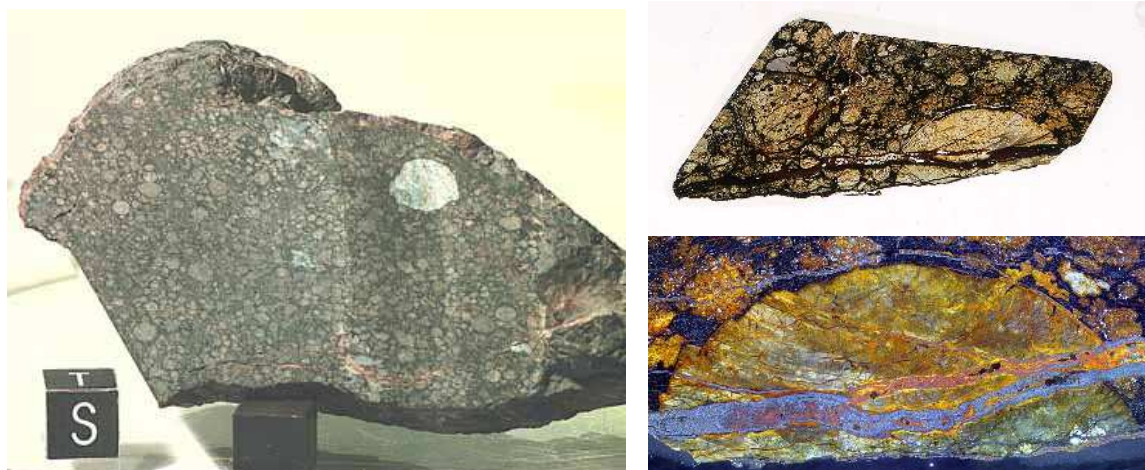
Ez az eddig fellelt aszteroidák közül a második legnagyobb (gyűjtött tömeg 3 tonna), korát ~4,57 milliárd évesnek becsülik. Kémiai, optikai és izotópos vizsgálata elősegíti a Naprendszer születésének megismerését. Anyagában alumínium-, kalcium- és titánium oxidot, szilikát-szemcséket és aminosavakat mutattak ki. Az Allende-meteoritban még olyan fullerént is találtak, amely 400 szénatomból áll. Az ilyen hatalmas kalicka üregében rengeteg idegen atom elfér, amely információt adhat a meteorit eredetéről.



(forrás: D. Smith, Prof.,
 Geology, Univ. of Texas, és
 Folk, R. L.: Nanobacteria:
 surely not figments, but what
 under heaven are they?
 naturalSCIENCE, 1997.,
http://naturalscience.com/ns/articles/01-03/ns_folk.html
 és
<http://naturalscience.com/ns/articles/01-03/folk5.gif>)

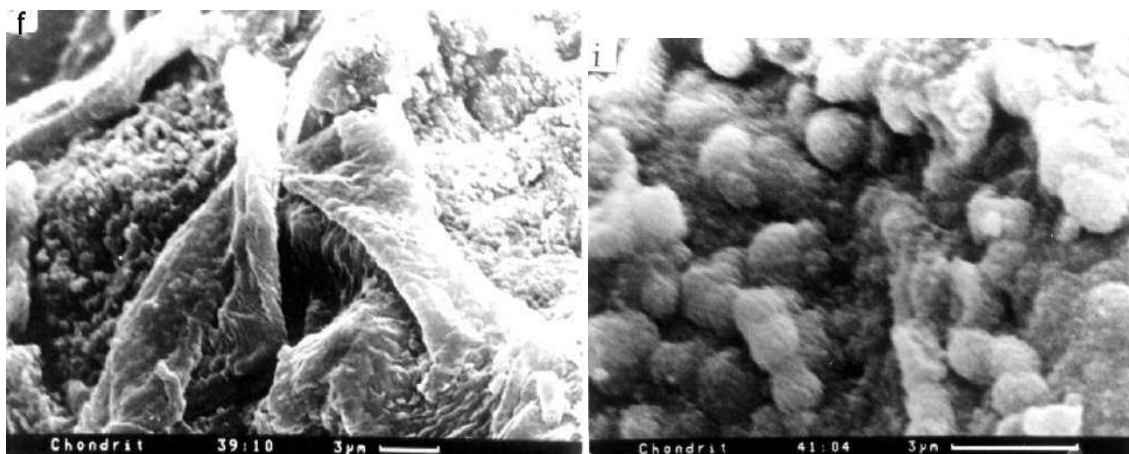
A SEM képen szőlő-szerű klaszterek, nanobaktérium morfológiák (méret 0,02-0,10 μm), hídakat alkotnak két olivin kristály között. (skála = 0,5 μm)

Efremovka CV3 szenes kondritos meteoritot 1962-ban találták Kazasztán területén.



(forrás: <http://www.meteorites.ru/menu/description/efremovka.html> és <http://www.meteorite-times.com/micro-visions/efremovka-cv3/>)

Az Efremovka CV3 meteoritot, a vékonycsiszolata és fénymikroszkópos képe.

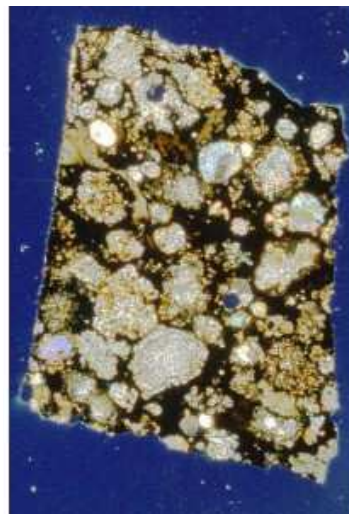
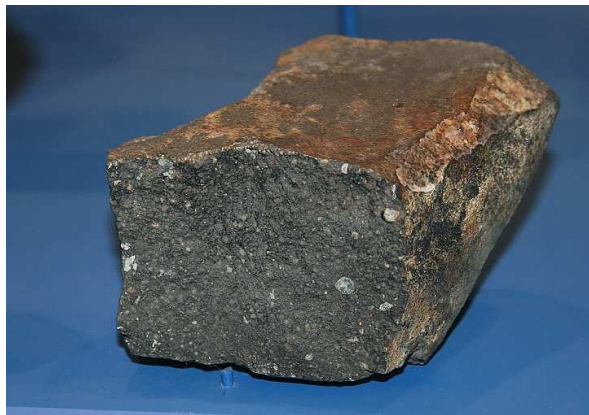


Efremovka meteorit fotomikrográfján modern mikroorganizmusok a *Microcoleus* morfológiára hasonlító formák találhatók.

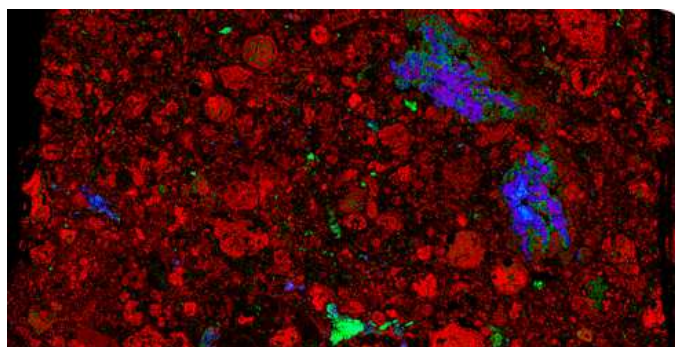
A második fotomikrográf színén az Efremovka meteorit mikroszkópikus részlete, amelyen coccoid baktérium (apró gömbszerű elemekből álló halmazok) morfológia található, *Synechococcus* típusú modern cianobaktériumok struktúrára hasonlít.

(forrás: Stanislav Zhmur: Fossilized Bacteria in Murchison and Efremovka What'sNEW since 2000, I am sending you some microphotos from Murchison and Efremovka meteorites, 2000. január 27., <http://www.panspermia.org/zhmur1.htm>)

Vigarano (CV3) szenes kondritos meteorit,
1910-ben hullott Olaszországban.



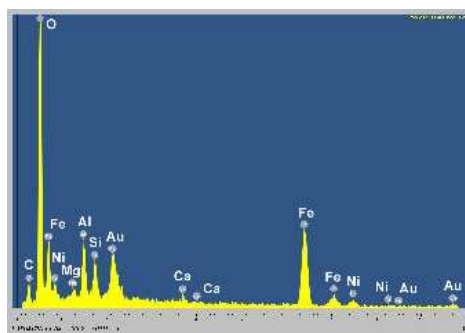
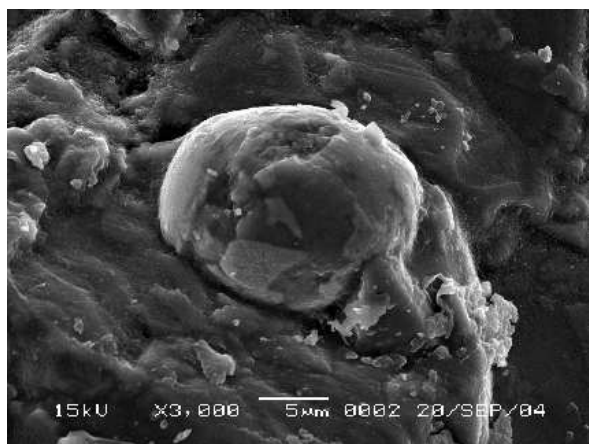
(forrás: MeteoriteCollector.org - USNM – Smithsonian,
<http://www.encyclopedia-of-meteorites.com/meteorite.aspx?id=24174> és
<http://www.meteorites.tv/213-vigarano-thin-section.html> és



<http://www.nhm.ac.uk/research-curation/science-facilities/analytical-imaging/imaging/variable-pressure-sem/1455vp/index.html>

Energy dispersive X-ray (EDX) kép Vigarano meteorit vékonycsiszolat részletéről

(piros = magnézium, kék = aluminium, zöld = kalcium).



(SPIE 10.1117/2.1200907.1699,
<http://spie.org/x36351.xml>)

A SEM képen a Vigarano meteorit részben mineralizálódott szerves maradványai (a magas ovális test egy kis hozzátapadt, lehetséges a bakteriális maradék). Az EDS diagram az elemi eloszlást mutatja.

Ausztráliai Victoria államban, Murchison mellett 1969-ben lehullott, több nagyobb darabra szétrobbant kondritos meteorit volt az első, amelyet már viszonylag friss állapotában (tehát nem sokkal a Földre hullása után) tudtak korszerű analitikai módszerekkel megvizsgálni. Összesen száz kilónyinál is több darabját szedték össze. Német tudósok újabb vizsgálódás során spektrográfiát és egyéb nagyfelbontású elemzőeszközöket használtak, így fedeztek fel a meteoriton 14 ezer különböző anyagot, közöttük 70 aminosavat is, és kutatók szerint akár hétmillió különféle kémiai anyagot is tartalmazhat.

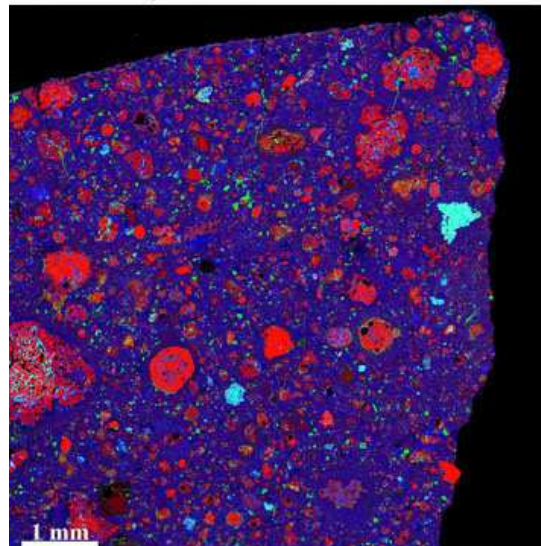
Ez volt az első eset, hogy szénalapú molekulát találtak a meteoritban. A tanulmányukat a Proceedings of the National Academy of Sciences című tudományos lapban (az amerikai tudományos akadémia újságjában) tették közzé.

Murchison, CM2 Carbonaceous Chondrite



© Natural History Museum, London.
(Image courtesy of Natural History Museum, London.)

Murchison, CM2 Carbonaceous Chondrite



(Image courtesy of Alexander Krot, University of Hawaii.)

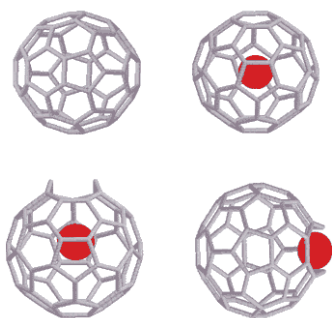
(forrás: Linda M. V. Martel, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, Better Know A Meteorite Collection: Natural History Museum in London, United Kingdom, PSRD: Meteorite Collection in London, United Kingdom, www.psrh.hawaii.edu/July09/Meteorites.London.Museum.html, és www.psrh.hawaii.edu/July09/PSRD-Meteorites.London.Museum.pdf)

A képek a Murchison meteorit mutatják, az elsőn a Natural History Museum-ban (London) őrzött egy darabja, a másodikon pedig egy vékonycsiszolatról készült „kombinált X-ray” (Röntgen) felvétel látható, amelyet Alexander Krot, a University of Hawaii meteorit kutatója készített. A fotomikrográfon a magnézium (piros), kalcium (zöld) és alumínium (kék).

A tudósok azt feltételezik, hogy a Murchison meteorit még a Nap keletkezése előttről származik, körülbelül 4,65 milliárd éves lehet.

A Murchison-meteorit vizsgálata során sok fullerént találtak a meteorit anyagában. A NASA és a Hawaii Egyetem kutatói kiderítették, hogy ezek a távolról jött fullerének távolról jött gázokat zárnak magukba.

A fullerének szénatomokból felépülő kalickaszerű molekulák. A legkisebb közülük a 60 szénatomból álló buckminsterfullerén, más néven futballabdamolekula, a felső mérethatáruk ismeretlen. A szénatomok szoros elhelyezkedése miatt a fullerén olyan áthatolhatatlan kalickát alkot, amely üregében megőrzi a képződésekor belekerült atomokat.

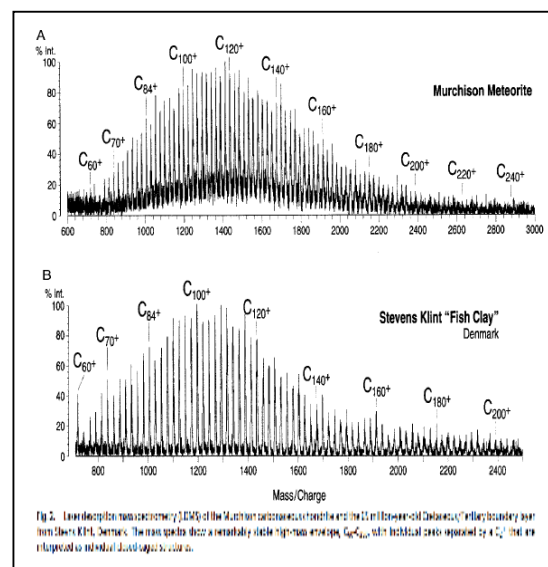


(Extraterrestrial gases found in buckyballs, NASA/AMES NEWS RELEASE 2000. 03. 22., <http://spaceflightnow.com/news/0003/22buckyballs/> és http://george.arc.nasa.gov/dx/basket/pressrelease/00_20AR.html)

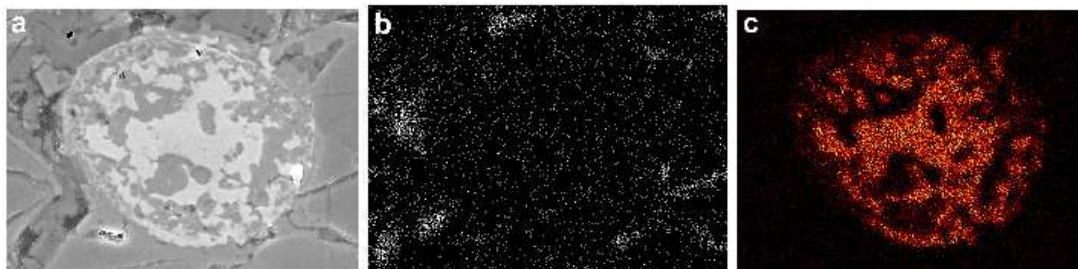
A földönkívüli nemes gázok (például a hélium) atom beágyazódása a fullerén ketrec belsejében (buckminsterfullerén „buckyball”).

A Földön kívüli gázok izotópösszetétele lényegesen különbözik a földi gázokétól. A Földön kívüli hélium például a hélium-4-hez képest jóval nagyobb arányban tartalmaz hélium-3 atomokat, mint a földi, így a földi eredetű és a Földön kívüli eredetű hélium megkülönböztethető egymástól. Ezt használták ki a Murchison-meteoritot vizsgáló kutatók.

Most kidolgozott módszerükkel a kutatók ki akarják deríteni, hogy a földtörténet kezdetén még nagyon gyakori meteoritbecsapódások során hozott gázoknak mekkora szerepük volt a földi atmoszféra kialakításában, és a fullerénekkal érkező szénnek, illetve a bennük érkezett szerves zárványoknak mekkora szerepük volt a földi élet keletkezésében. A módszer emellett arra is módot nyújt, hogy esetleges eddig nem ismert földtörténeti óriásmeteorit-becsapódásokat azonosítsanak a segítségével.

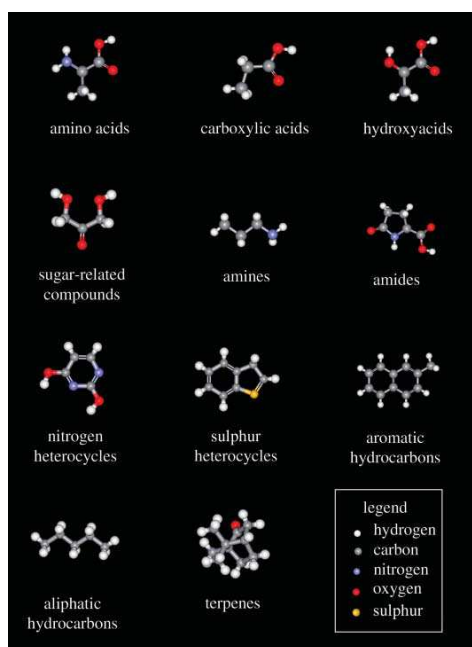


(forrás: Luann Becker, Robert J. Poreda, Ted E. Bunch: Fullerenes: An extraterrestrial carbon carrier phase for noble gases, PNAS 2000. 03. 28., vol. 97 u no. 7 u 2979–2983, www.pnas.org/content/97/7/2979.full.pdf)



(forrás: Prasanta K. Mukhopadhyay, David J. Mossman, James M. Ehrman: A universal, unconventional petroleum system exists throughout our solar system, 2009. július 24., <http://spie.org/x36351.xml>)

A) SEM elektron mikroszkópos képen a széntartalmú Murchison meteoritban szerves maradványok, részben mineralizált (szerves anyag szervesetlenné alakult). A földi biogeokémiai ciklus jellemzője, hogy a szerves és a szervesetlen elemformák körforgásában váltják egymást. Az Energy Dispersive Spectrometry (EDS) képeken B) a szén- és C) a kénmaradványok, biogén elemek. A kén fontos alkotóeleme egyes aminosavaknak (cisztein, metionin), továbbá a fehérjékben diszulfid kötéseket hozhat létre, amely révén stabilizálja a protein szerkezetét. Egyes egyszerű élőlények (baktériumok) a kéntartalmú vegyületek oxidációjából és redukciójából nyerik az energiát.



Murchison széntartalmú kondritos meteoritban kimutatható néhány „compound” (vegyület) osztály: aminosav (L-alanin), karbonsavak (propionsav), hidroxisavak (tejsav), a cukor-rokon vegyületek (dihidroxi-aceton), aminok (propil-amin), amidok (piroglutaminsav), nitrogén-heterociklusok (uracil), kén-heterociklusok (benzotiofén), aromás szénhidrogének (2-metil-naftalin), alifás szénhidrogének (pentán), terpének (kámfor).

(forrás: Mark A. Sephton: Organic matter in carbonaceous meteorites, *Phil. Trans. R. Soc. A* (2005) 363, 2729–2742, doi:10.1098/rsta.2005.1670,

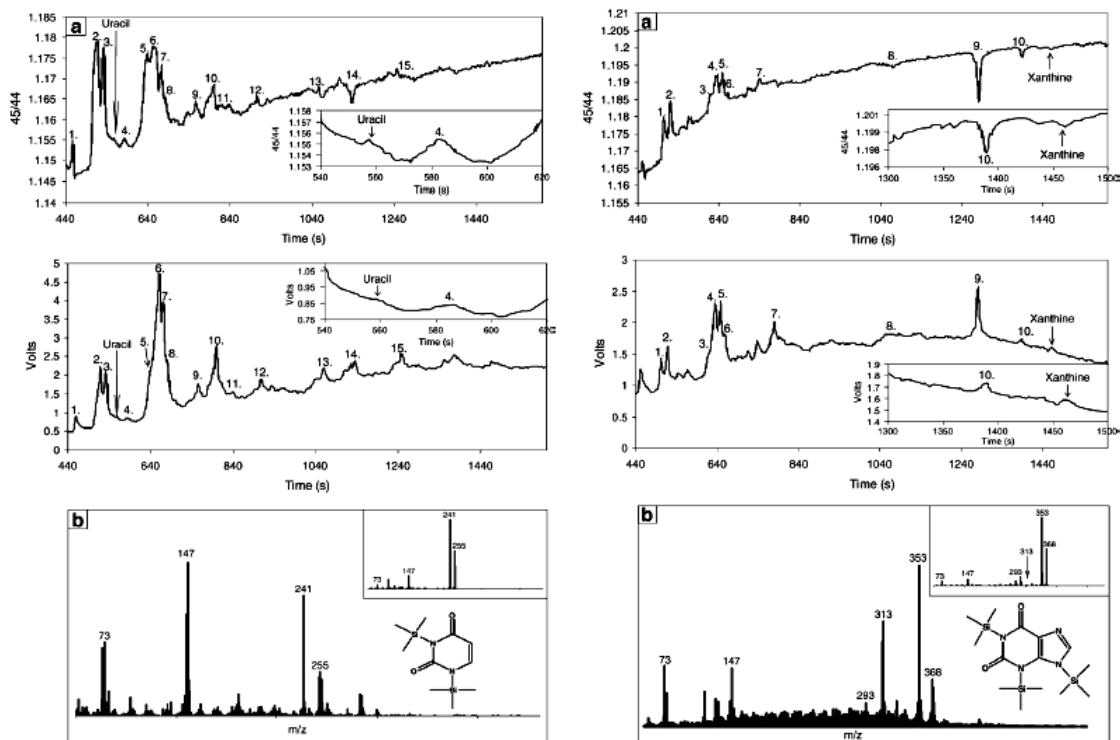
<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/363/1837/2729.full.pdf>)

A kutatók szerint a korai naprendszer ősfelhőin keresztülszágulva gyűjtötte be a szerves molekulákat. Dr. Schmitt-Kopplin úgy véli, hogy a felfedezés válaszokkal szolgálhat a földi élet kialakulásával kapcsolatban.

A csapat rengeteg más meteoritot is vizsgál jelenleg, de a Murchison a legösszetettebb, amivel eddig találkoztak.

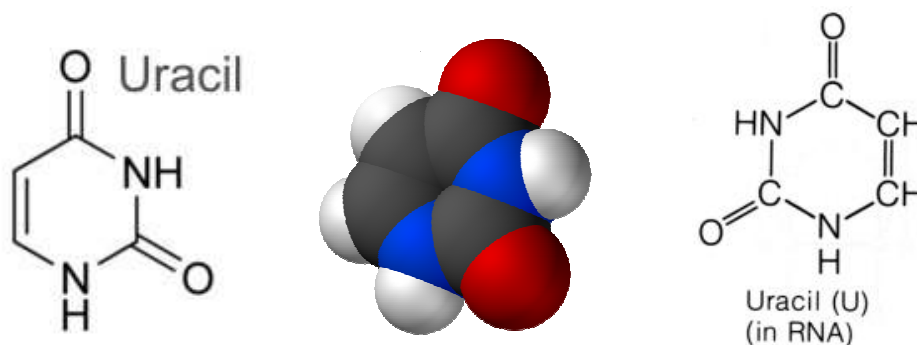
Napjainkban általánosan elfogadott vélemény, hogy a földi élet kialakulását megelőző prebiotikus (bolygónkon az élet kialakulását megelőző, annak megszületéséhez vezető kémiai átalakulások periódusa) fejlődést elősegítették az űrből érkező anyagok.

Brit és amerikai tudósok *Earth and Planetary Science Letters* szakfolyóiratban megjelent tanulmányban azt állítják, hogy a DNS-t és RNS-t felépítő molekulák előfutárai, az uracil és xantin nukleobázisok megtalálhatók a Murchinson meteoritban.



(forrás: Zita Martinsa, Oliver Bottac, Marilyn L. Fogele, Mark A. Sephtonb, Daniel P. Glavin, Jonathan S. Watsonf, Jason P. Dworkinc, Alan W. Schwartzg, Pascale Ehrenfreund: Extraterrestrial nucleobases in the Murchison meteorite, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 270, Issues 1–2, 2008. június 15., pp.130–136, DOI: 10.1016/j.epsl.2008.03.026, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012821X08001866> és http://www.researchgate.net/publication/222818820_Extraterrestrial_nucleobases_in_the_Murchison_meteorite)

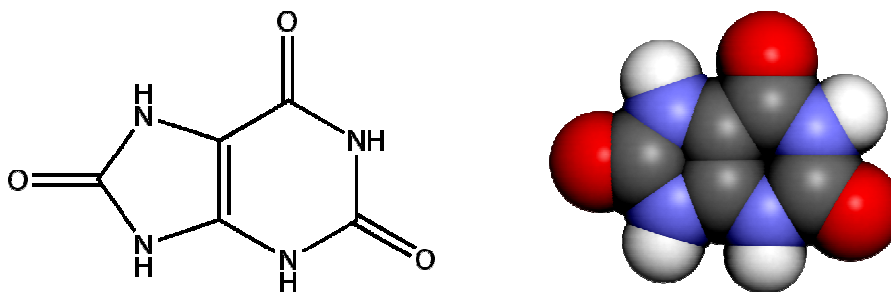
A kutató által megfigyelt anyagokban a szénizotópok aránya jellegzetesen eltért a földitől, ami arra utal, hogy a nukleotidbázisok nem földi szennyeződések, hanem eredetileg is a meteoritban lehettek. A megfigyelés arra utal, hogy a nukleobázisokat képező molekulák is elterjedtek lehetnek a világűrben.



(forrás: <http://www3.imperial.ac.uk/earthscienceandengineering/aboutese/hottopic/pasttopics/alien%20origins> és <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/U/uracil.html>)

Uracil (C₄H₄N₂O₂ IUPAC name: Pyrimidine-2,4(1H,3H)-dione)

Az uracil a négy nukleobázis egyike, mely az RNS-ben található, és a timint helyettesíti az adeninnal szemben, azzal képez bázispárt két hidrogén kötés segítségével. Azonban az uracilból a timinnél jelenlévő metilcsoport hiányzik. Az uracil a timinnel szemben hamarabb alakul át citozinná. Az uracil csak nagyon ritkán jelenik meg DNS-ben.



(forrás: <http://hu.wikipedia.org/wiki/H%C3%BAgysav>)

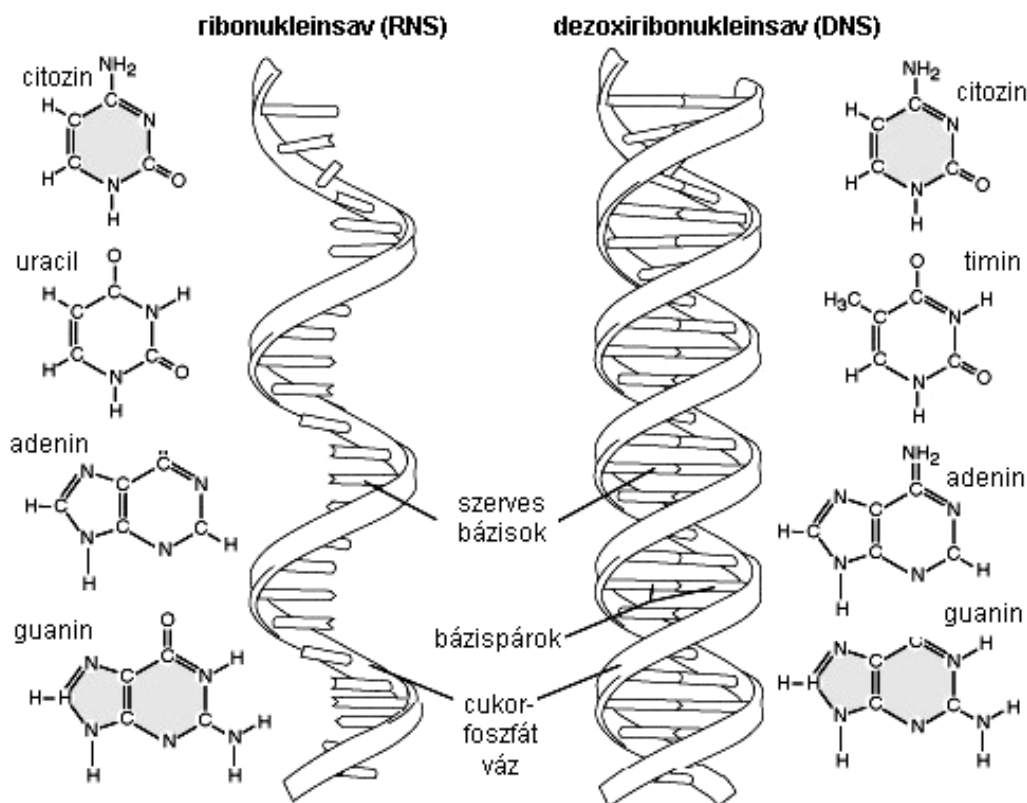
Xantin, húgysav heterociklusos vegyület. (C₅H₄N₄O₃ IUPAC name: 7,9-dihidro-1H-purin-2,6,8(3H)-trion). Az adeninből és a guaninből (illetve az ezekből felépülő nukleozidokból és nukleotidokból (adenozin, guanozin, adenilsav, guanilsav) először enzimek (például adenilát dezamináz, guanilát dezamináz) hatására lehasad az aminocsoport, az adeninből hipoxantin, a guaninból xantin keletkezik.

A tanulmány vezetője, Zita Martins (Department of Earth Science and Engineering és Imperial College London), összegzése szerint 4 milliárd évvel ezelőtt, amikor az első primitív élet kezdett kifejlődni, igen nagy számban záporoztak a Murchinson meteorithoz hasonló űrközetek a Földre.

„Meggyőződésünk, hogy a korai élet felhasználta a meteorit töredékekben a bolygóra érkezett nukleobázisokat a genetikai kódoláshoz, ami képessé tette őket sikeres jégjeik átörökítésére a következő generációikra” - magyarázta Martins.

A tanulmány társszerzője, Mark Sephton professzor (Department of Earth Science and Engineering és Imperial College London) szerint a kutatás rendkívül fontos lépcsőfok a korai élet fejlődési menetének megismerésében.

„Mivel a meteoritok a Naprendszer kialakulásában szerepet játszó anyagok maradványait tömörítik, az élet kulcsfontosságú összetevői, köztük a nukleobázisok, igen elterjedtek lehetnek a kozmoszban. Ahogy az élet egyre több nyersanyagát fedezzük fel az űrben, úgy nő az élet valószínűségének az esélye azokon a helyeken, ahol jelen van a fennmaradáshoz megfelelő kémiai közeg” - tette hozzá Sephton professzor.

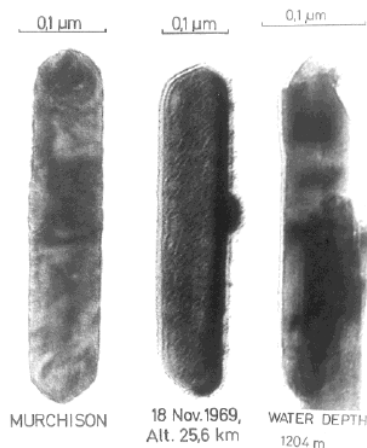


(forrás: <http://www.origo.hu/tudomany/vilagur/20071107-a-foldi-élet-keletkezese-asztrobiologia-kurzus-3-resz.html?pid=1>)

Több jel is arra utal, hogy az élet alapvető építőelemei, a nukleobázisok nagy valószínűséggel földön kívüli eredetűek.

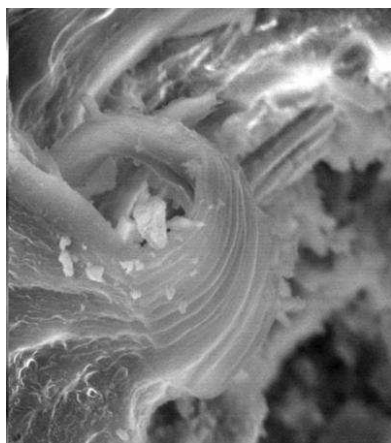
A pánspermia az egyik legtöbb vitát kiváltó elmélet az asztrobiológusok körében. A teória szerint az élet magjai univerzum szerte jelen vannak, és a földi élet is ilyen magokból fejlődött ki, ami meteoriton érkezett bolygónkra. Ez felfedezés most megtámogatta a teóriát.

Hasonló összetételű meteoritok bombázhatták az ősi Marsot is - elméletileg tehát ott is lehetőség nyílt a földihez hasonló összetételű „ősleves” kialakulására.



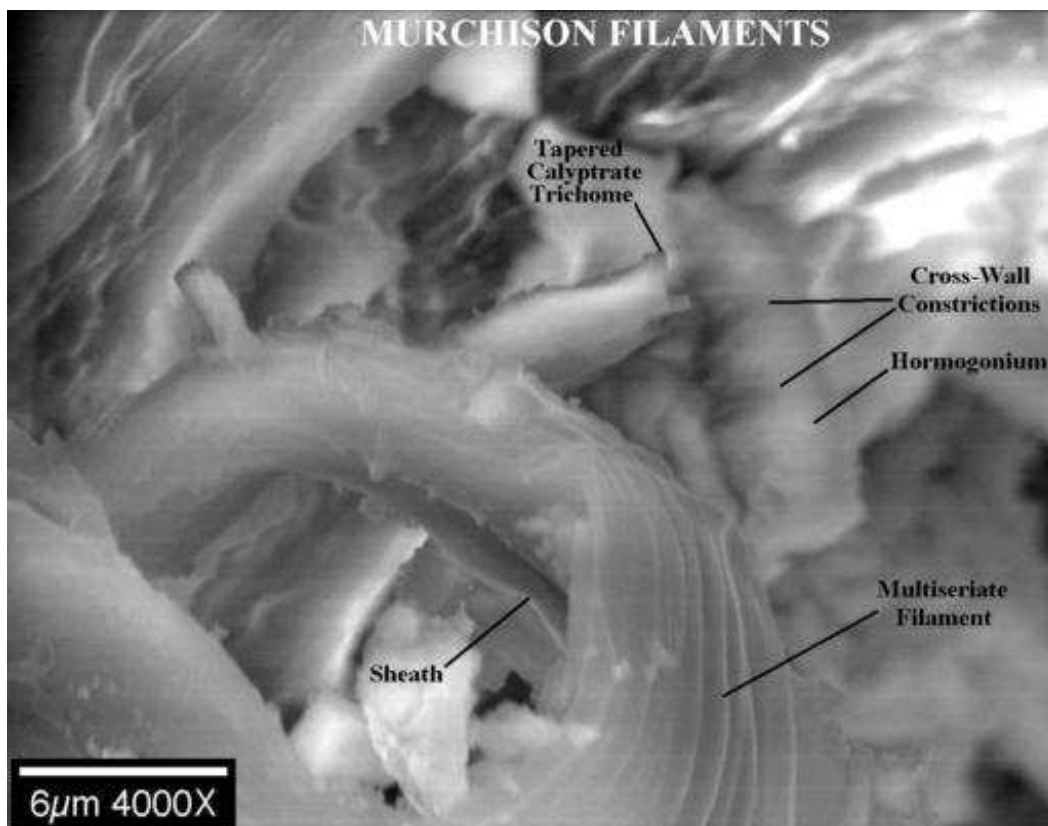
A Murchison meteoritban talált baktérium forma látható, amelyhez hasonló struktúrákat találtak korábban tengeri üledékekben és a légkörben.

(forrás: Chandra Wickramasinghe, Max K. Wallis, Carl H. Gibson, Jamie Wallis, Shirwan Al-Mufti, Nori Miyake: Bacterial morphologies in carbonaceous meteorites and comet dust, [from Pflug 1984], <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1008/1008.3860.pdf>)



(forrás: Fossilized Life Forms in the Murchison Meteorite, What's NEW since, 1997.július 29., és More Evidence for Indigenous Microfossils in Carbonaceous Meteorites What'sNEW since Aug 2010. www.panspermia.org/hover4.htm#whatsnew)

Richard B. Hoover a Murchison formákat mikroorganizmusok megőrzött és elszenesedett maradványainak (microfosszíliák) cianobakteriális szálaknak értelmezi.



Meteoritokban felfedezett, baktériumokra hasonlító alakzatokról számol be Richard Hoover, a NASA szakmai körökben is elismert asztrobiológusa, aki elsősorban Földön kívüli anyagok, valamint extrém körülményeket kedvelő földi életformák, illetve ezek maradványainak mikroskálájú műszeres elemzésével foglalkozik. Expedíciókat vezetett az Antarktiszra és egyéb szélsőséges élőhelyekre, az ott jellemző, rendkívüli tűrőképességű életformákat (extremofileket) kutatva.

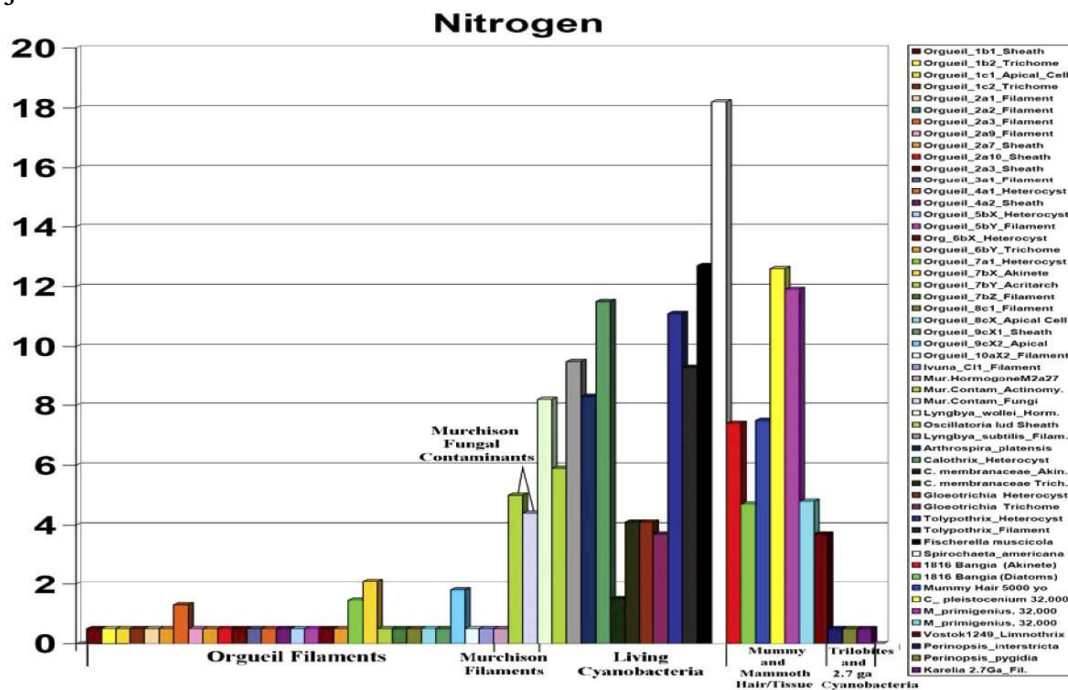
Eszerint a Murchison, Alais, Ivuna és Orgeil nevű, meteoritok belső repedéseiben érdekes, többnyire elnyúlt alakzatokat talált pásztázó elektronmikroszkópos és egyéb műszeres vizsgálatokkal.

A vizsgálatok alapján Hoover arra a következtetésre jutott, hogy nem utólagos földi szennyeződések - tehát akár Földön kívüli életnyomok is lehetnek.

A megfigyelt képződmények alakja, mérete, elrendeződése Hoover szerint a földi cianobaktériumok (kékmoszatok) és egyéb egyszerű, sejtmag nélküli szervezetek után visszamaradt életnyomokra emlékeztet.

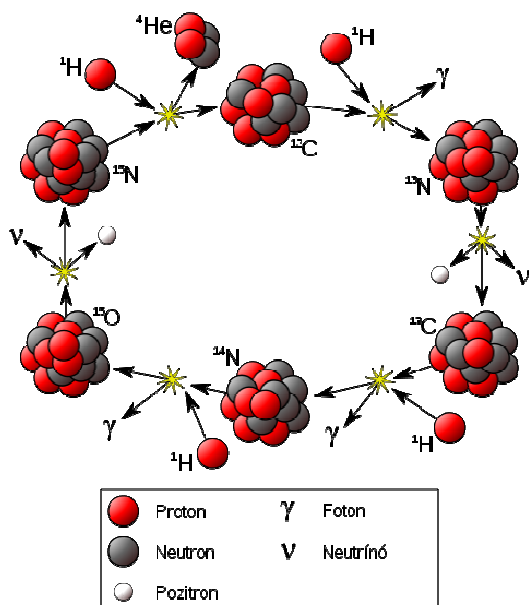
A Hoover által elemzett meteoritok apró, részben mára elpusztult ősi égitestek, a bolygóknál kisebb méretű objektumok, például kisbolygók és üstökösök belsejéből származhatnak.

A formák széntartalmú anyagból állnak, ugyanakkor kémiai és ásványi összetételük nem feleltethető meg egyetlen ismert földi baktériumfosszília jellemzőinek sem. Főleg nitrogéntartalmuk sokkal kisebb a földi fossziliákra jellemző értékeknél.



(forrás: Richard B. Hoover: Fossils of Cyanobacteria in C11 Carbonaceous Meteorites: Implications to Life on Comets, Europa and Enceladus, pdf., Space Science Office, NASA/Marshall Space Flight Center, Huntsville)

Nitrogén előfordul minden élő szervezetben, elsősorban az aminosavakban (és így fehérjékben), valamint a nukleinsavakban (DNS és RNS).



Az elem mozgását a levegőből a bioszférába és a szerves vegyületekbe, majd onnan vissza a légkörbe, a nitrogén ciklus írja le.

A CNO (szén-nitrogén-oxigén)-ciklus vagy Bethe-Weizsäcker-ciklus a két fúziós reakció egyike, amellyel a csillagok a hidrogént héliummá alakítják (a másik a proton-proton ciklus)

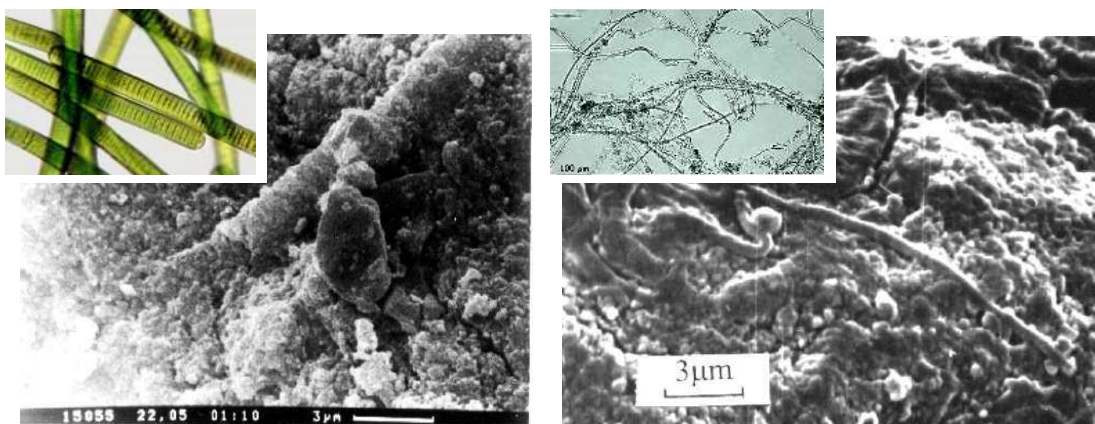
(forrás: <http://hu.wikipedia.org/wiki/CNO-ciklus>)

A CNO-ciklus.

A nitrogén körforgalom egy gáz fázisú biogeokémiai ciklus (az elemek körforgása az élő, az élettelen szervezetek és a környezetük között) mely során az elemi nitrogén a növények számára is felvehető nitrátokká, nitrítékké alakul. Majd a bomlási folyamatok következtében ammónia és ismét elemi nitrogén lesz belőlük. A szerves tartalmat a levegő nitrogéntartalma adja, azonban az élőlények többsége nem képes az elemi nitrogént hasznosítani a szervezetében. A nitrogénmolekulában ugyanis nagyenergiájú hármaskötés található, emiatt a nitrogén kevésbé reakcióképes gáz. Ezért a nitrogént csak egyes mikroorganizmusok képesek átalakítani ammónia sókká és nitrítékké. Ez a folyamat elsősorban az élőlények és a litoszféra között zajlik.

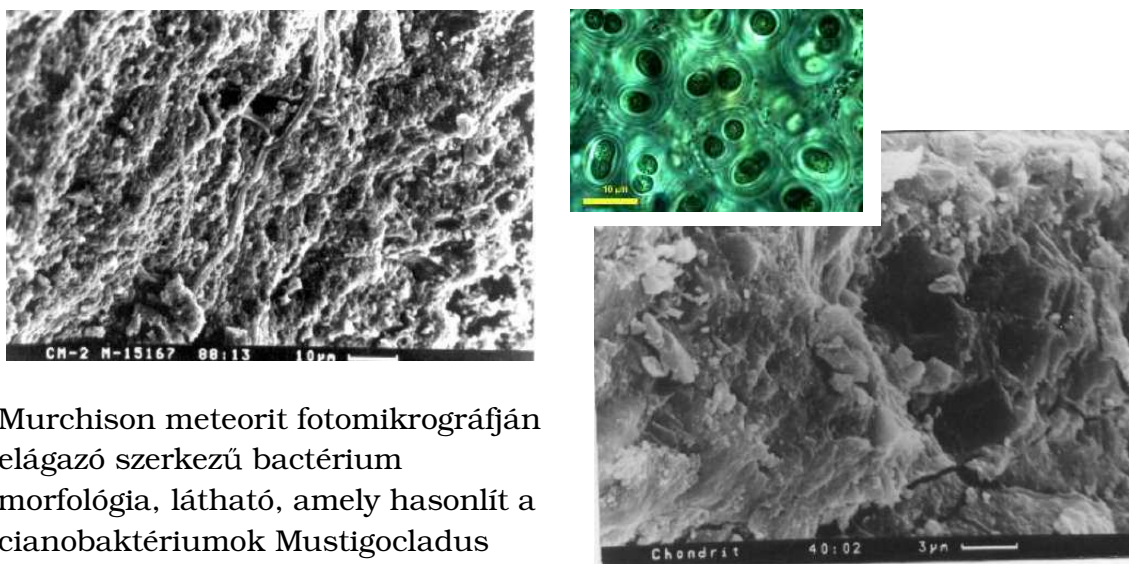
A biológiai nitrogénkötés a nitrogén fixáció. Ez a folyamat az egyetlen szakasza a nitrogén ciklusnak amit a mikroorganizmusok nem energiaszerzés céljából hajtanak végre. Az ezen az úton megkötött nitrogén mennyiség sokkal jelentősebb. A nitrogén fixáló baktériumok a szerves vegyületek lebontásával nyert energia segítségével képesek a légkör nitrogénjét ammóniává alakítani.

A nitrogénnek két stabil izotópjá létezik: ^{14}N és ^{15}N . Messze a leggyakoribb a nitrogén-14 (99,634 %), amely a csillagokban termelődik a CNO-ciklus során. A Föld légkörében lévő molekuláris nitrogén egy kis része (0,73 %) a $^{14}\text{N}^{15}\text{N}$ izotopológ (ez tehát két különböző nuklidot tartalmazó nitrogénmolekula); míg a fennmaradó rész szinte teljes egészében $^{14}\text{N}_2$. A biológiailag közvetített reakciók (pl.: asszimiláció, nitrifikáció és denitrifikáció) általában a talaj ^{15}N dúsulását eredményezik.



A fotomikrográfokon a Murchison meteoritban a Földi cianobakterium „filamentumok”-ra (rostok) hasonlító formák találhatók.

Az egyszeres trichoma hasonló az *Oscillatoria* és a *Lyngbya* genus tagjaihoz. A második fotomikrográfon szintén baktérium morfológiájú trichoma látható, amely a *Phormidium* sp. cianobakteriumra hasonlít. A színes képek a modern (élő) cianobakteriumokat mutatják.



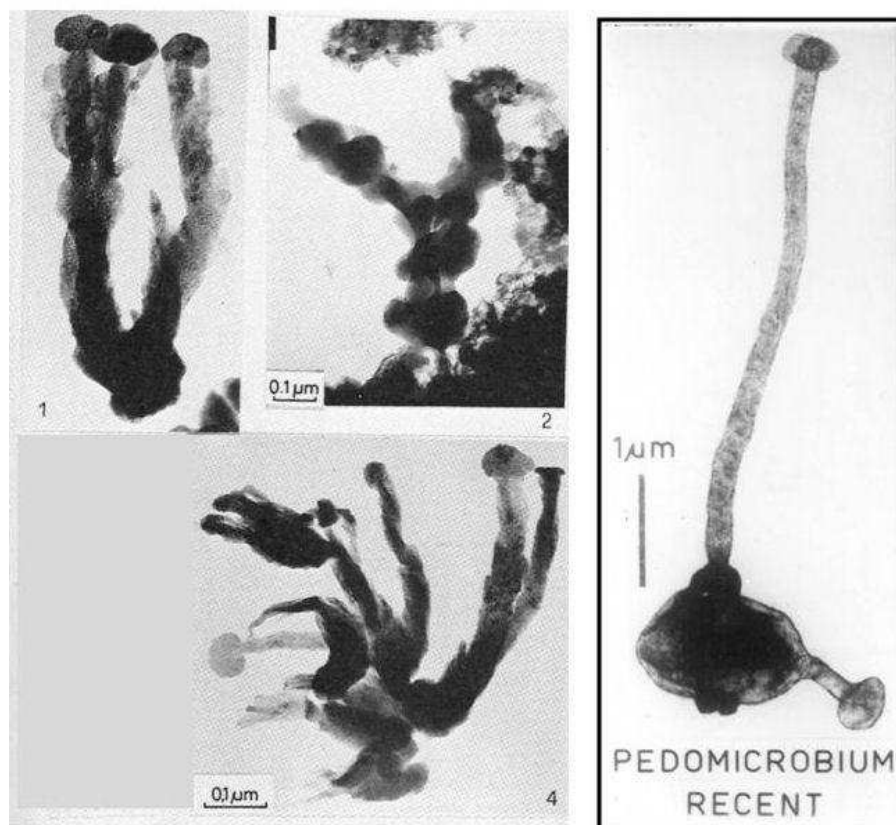
Murchison meteorit fotomikrográfiáján elágazó szerkező baktérium morfológia, látható, amely hasonlít a cianobaktériumok *Mustigocladus* genusára, amelyeket, elágazó és a különböző átmérőjű sejtek jellemeznek.

A második fotomikrográfon színén egy Murchison meteorit baktérium morfológia található, amelyek tokos szerkezet, olyan mint a modern (élő) *Gloecapsa* cianobaktérium kolóniáknak (színes kép).

(forrás: Stanislav Zhmur: Fossilized Bacteria in Murchison and Efremovka What'sNEW since 2000, I am sending you some microphotos from Murchison and Efremovka meteorites, 2000. január 27., <http://www.panspermia.org/zhmur1.htm>)

A kérdéses alakzatok mérete néhány mikrométer körüli. A vizsgált alakzatok közel ugyanakkorák, mint sok földi baktérium.

Ezek a formák zömében több mikrométeresek, így elképzelhető egy olyan szervezetet, ami tartalmazza azokat a létfontosságú részeket, amit egy földi ősbaktérium is tartalmazhatott. Tehát ebben a mérettartományban már elképzelhető egy földihez hasonló primitív élővilág megléte.

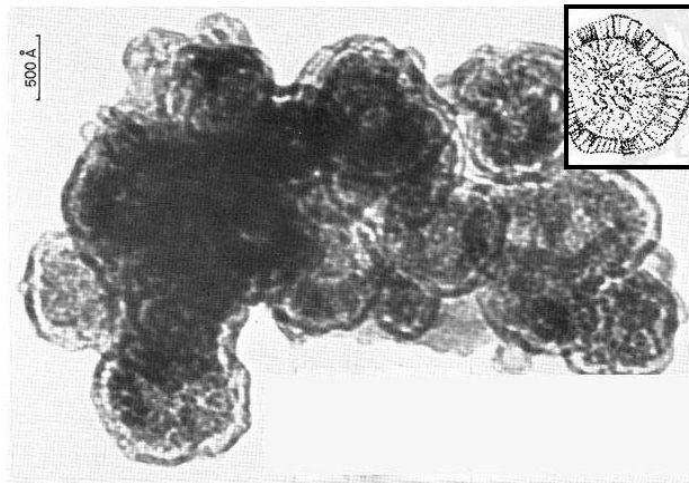


(forrás: Richard B. Hoover, Ph.D.: Fossils of Cyanobacteria in C11 Carbonaceous Meteorites, *Journal of Cosmology*, 2011. március, Vol 13, journalofcosmology.com/Life101.html, NASA/Marshall Space Flight Center, és <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1008/1008.3860.pdf>)

A baloldali képen a Murchison meteoritban talált pedomicrobium morfológia (forma, alak) látható és mellette egy modern pedomicrobium.

Hoover szerint a megfigyelt formák létezésére a legegyszerűbb magyarázat az, hogy Földön kívüli élet tevékenysége nyomán visszamaradt képződmények. Ennek megfelelően apró égitestekben alakultak ki a mi bolygónktól függetlenül, sőt, akár idősebbek is lehetnek a Földnél.

Az elgondolás nem áll távol a Chandra Wickramasinghe és Fred Hoyle által közölt régebbi elgondolástól, amely szerint az élet meteoritok révén terjedhet akár csillagok között is, és bolygónknál lényegesen idősebb - noha erre komoly bizonyítékot még senki nem mutatott fel.



(forrás: Richard B. Hoover, Ph.D.: Fossils of Cyanobacteria in C11 Carbonaceous Meteorites, *Journal of Cosmology*, 2011. március, Vol 13, journalofcosmology.com/Life101.html, NASA/Marshall Space Flight Center, és <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1008/1008.3860.pdf>)

A képen Murchison meteorit struktúra, mely hasonlít a felő sarokban keretezett influenza vírusra. (Hans D. Pflug, 1984.)

Mai ismereteink alapján az ilyen apró égitestekben is van sok olyan szerves anyag, ami például a földi élet keletkezését megelőző prebiotikus folyamatokban közreműködött, mivel a kérdéses meteoritok sok ilyen hozhattak becsapódásaikkal a Földre. Emellett néhány jel arra is utal, hogy egyes apró égitestek belsejében a Naprendszer kialakulása idején folyékony víz is előfordult átmenetileg. Ugyanakkor ennél messzebb nem mentek eddig a kutatók.

A Murchison meteoritban már 1970-ben ki tudtak mutatni számos aminosavat (egyedileg néhány mg/g koncentrációban) valamint nagy molekulájú szénhidrogének bonyolult összetételű elegyét (együttesen néhányszor tíz mg/g koncentrációban). Az eredményeket közlő kutatók az aminosavak között a bioszférában ismeretlen aminosavakat is találtak és a Földön gyakori aminosavak egymás közötti aránya is erősen különbözött az ujjlenyomatokra visszavezethető szennyezéseknél ismert arányoktól (vagyis nem a meteoritdarabok fogdosása révén kerültek a megelemezett mintákba). Mindebből arra a következtetésre jutottak, hogy az általuk a meteoritban kimutatott aminosavaknak – legalábbis egy része – nem földi, hanem kozmikus eredetű. Ennek megállapításában az egyre érzékenyebb analitikai módszerek mellett döntő szerepe van a szénizotóp (valamint nitrogén- és hidrogénizotóp) arányok meghatározásának. A meteoritban kimutatott aminosavak ezen izotóparányai ugyanis jelentősen eltérnek a bioszférából eredő aminosavak megfelelő értékeitől.

	$\delta^{13}\text{C}, \text{‰}$	$\delta^{15}\text{N}, \text{‰}^*$	$\delta^2\text{H}, \text{‰}^{**}$
földi izoleucin	-30,5	+3,4	-178...-195
meteorit aminosavak (átlag)	+23,1	+90	+1370

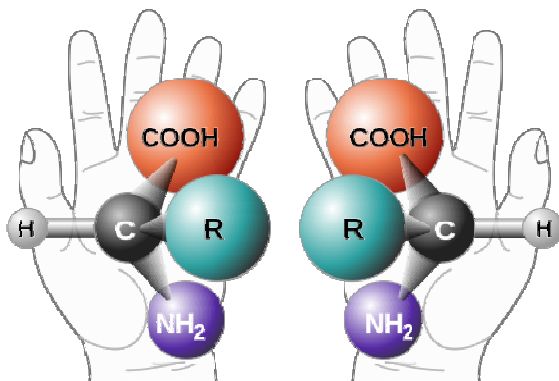
*referencia a levegő nitrogénje
 **referencia az óceánok vize;
 ^2H =deutérium (D)

(forrás: Markó László: Miért „balkezesek” a fehérjéket felépítő aminosavak? A biomolekulák homokiralitásának eredete, Földön kívüli eredet, <http://www.termeszetvilaga.hu/tv99/tv9902/marko2.html>, és Természet Világa, 130. évf. 2. sz. 1999. február, 54–59., www.kfki.hu/chemonet/TermVil/, és www.ch.bme.hu/chemonet/TermVil/)

A meteoritban talált és a földi adatoktól erősen eltérő $\delta^{15}\text{N}$ és $\delta^2\text{H}$ értékek azokhoz az értékekhez állnak közel, amelyek a csillagközi tér molekuláira (pl. HCN, CH_2O) jellemzőek.

További erős érv a Murchison-meteoritban található aminosavak nem földi eredete mellett, hogy eddig több, mint 70 (!) különböző aminosavat sikerült azonosítani és ezek többsége nem fordul elő a bioszférában, közülük csak hatot használnak a földi élőlények.

Az igazán váratlan eredményt azonban azok a vizsgálatok szolgáltatták, amelyeket ezen aminosavak enantiomer-összetételére vonatkozóan végeztek.



Az enantiomer (görög „enantiosz” ellentétes, és „merosz” rész) molekulák tükörképi párjai egymásnak, csakúgy mint a jobb és a bal kéz. Az optikai izoméria a térizoméria egy típusa, neve onnan ered, hogy a molekulák, amelyek esetében az izoméria fellép, optikai aktivitást mutatnak. Az optikai aktivitást mutató molekulákat királis (görög „cheir” kéz) molekuláknak.

(forrás: hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:Chirality_with_hands.svg)

Jelölés: D és L (latin „laevus” bal és „dexter” jobb), vagy S és R (latin „sinister” és „rectus”), (+) és (-). A konfigurációt korábban a D és az L betűkkel jelölték, ma főként a cukroknál és az aminosavaknál használatos. Az optikailag aktív módosulat forgatási irányát (+)-szal jelöljük, ha az az óramutató járásával megegyezik és (-)-szal, ha azzal ellentétes. A javasolt új enantiomer jelölés S és R független a gliceraldehidtől és egyaránt alkalmas a kiralitáscentrumot tartalmazó és nem tartalmazó vegyületek konfigurációjának jelölésére.

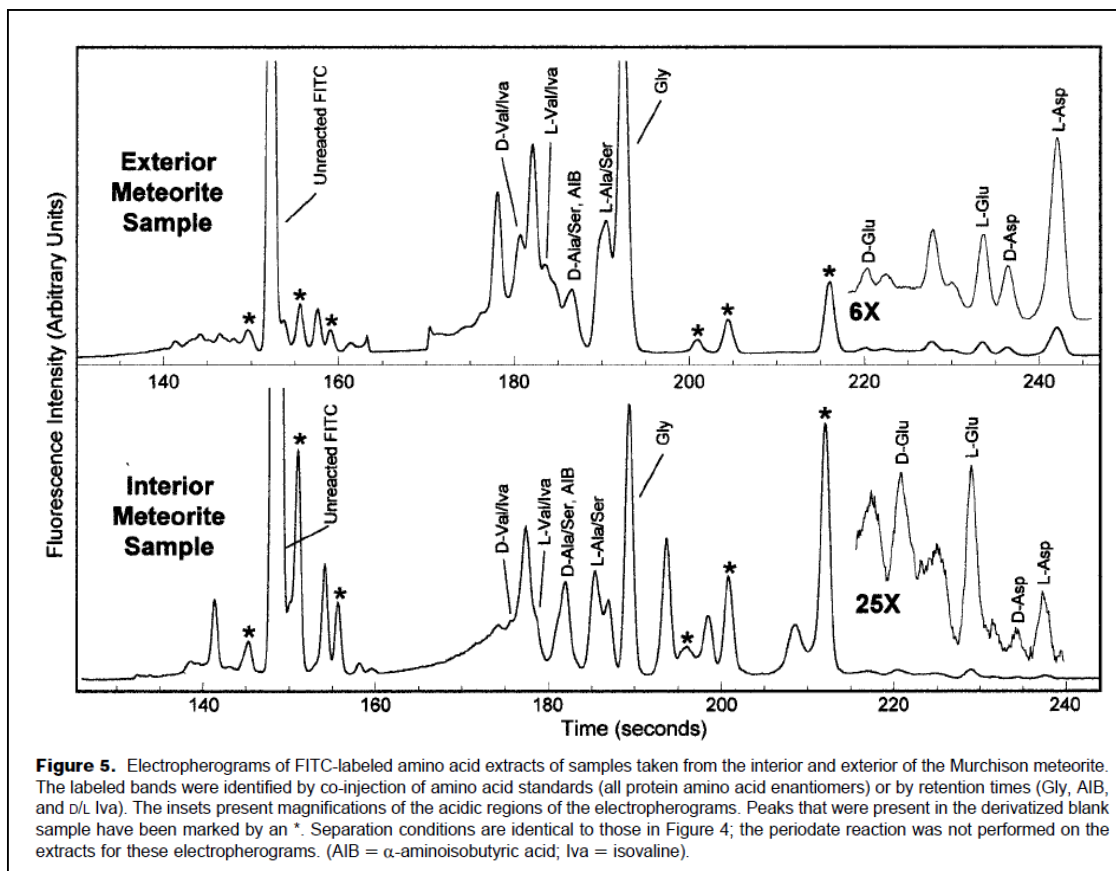
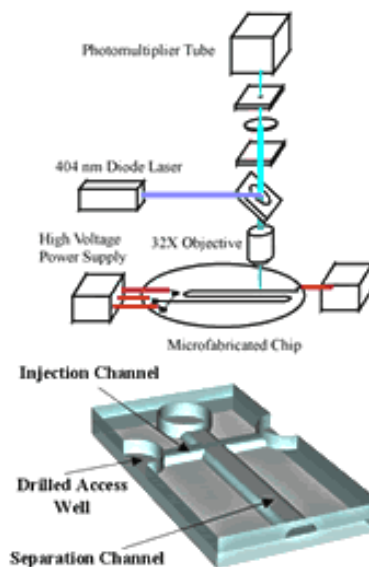


Table 1. Murchison Meteorite Asp and Glu d/L Values

amino acid	microchip CE ^a	HPLC ^b	GC/MS ^c
Glu			
exterior	0.33 ± 0.04	0.3 ± 0.1	na
interior	0.65 ± 0.07	0.7 ± 0.1	0.8
Asp			
exterior	0.21 ± 0.03	0.3 ± 0.1	na
interior	0.30 ± 0.06	0.3 ± 0.1	0.7–0.8

^a D/L ratios were calculated by subtracting best-fit baselines from the electropherograms, determining peak parameters from fitted Gaussians, and taking the ratio of the area of the D-form to that of the L-form. Averages listed are from at least three replicate FITC derivatization reactions. ^b HPLC values from the Scripps Institution of Oceanography and confirmed by G. D. McDonald and K. L. F. Brinton at the Cal Tech Jet Propulsion Laboratory (personal communication). Chromatograms of Murchison amino acid extracts as well as details of the separation conditions have been published previously.^{30,31} ^c GC/MS values for the same interior Murchison sample.^{28,29} The enantiomeric ratio for Asp was estimated from GC peak heights.²⁹ Experimental error was not determined. na, not available.

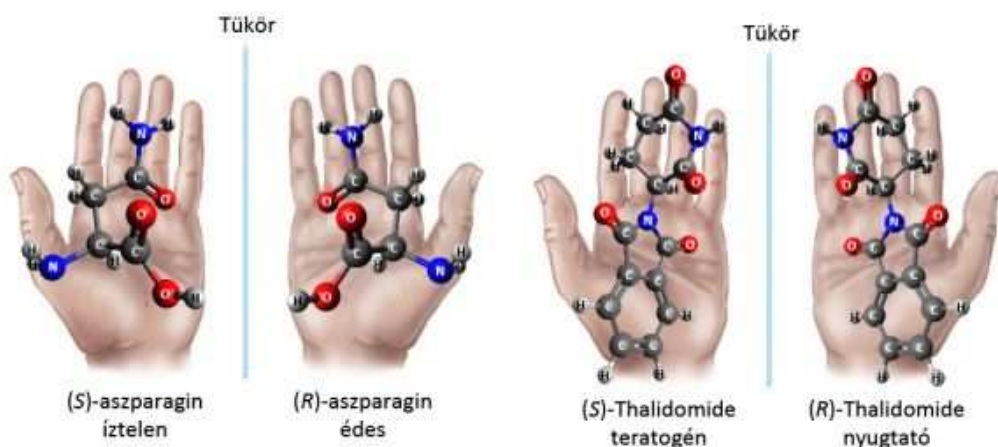


(forrás: Lester D. Hutt, Daniel P. Glavin, Jeffrey L. Bada, Richard A. Mathies: Microfabricated Capillary Electrophoresis Amino Acid Chirality Analyzer for Extraterrestrial Exploration, *Anal. Chem.* 1999, 71, 4000 – 4006, http://astrobiology.berkeley.edu/PDFs_articles/LHutt_AnalChem1999.pdf, és Mars Organic and Oxidant Detector Searching for Signs of Life on Mars ESA Pasteur/ExoMars Mission, astrobiology.berkeley.edu/projects.htm)

A biomolekulák – köztük a fehérjék, szénhidrátok és nukleinsavak homokirális (tükörszimmetrikus formából csak az egyik található meg) egységekből épülnek fel. A fehérjéket felépítő aminosavak balkezesek (L-módosulatok), a szénhidrátok és a nukleinsavak cukor-építőkövei pedig jobbkezesek (D-módosulatok).

Ez a térszerkezeti homogenitás a földi élet alapja: az életet hordozó magas szervezettségű molekulakomplexek, a sejtek és a szövetek a jobb és balkezes építőkövek keverékéből nem jöhettek volna létre.

De a térszerkezeti homogenitás azt is jelenti, hogy az élő szervezetek máshogy reagálnak a környezet jobb és balkezes molekuláira. Ezt hívjuk diasztereomer megkülönböztetésnek (dd). A diasztereomer megkülönböztetés első bizonyított példája az aszparagin: a nem-természetes (D)-(+)-aszparagin édes ízű, míg a természetes (L)-(-)-aszparagin íztelen.



(forrás: http://doktori.bme.hu/bme_palyazat/2013/honlap/Bagi_Peter.htm)

Az aszparagin és a Thalidomide enantiomerjeinek eltérő hatása.

A felesleges enantiomer jelenléte jelentős problémákat okozhat.

Az 1957 őszen piacra dobott thalidomid hatóanyagú Contergan gyógyszer – elsősorban altatószernek szánták, de ajánlották nyugtatóként, sőt pánikbetegség, migrén kezelésére is – rövid idő alatt népszerű lett.

A kismamák számára egyáltalán nem volt ellenjavallat, sőt a gyógyszer egyik legfőbb célcsoportja éppen a várandós nők voltak. Aztán 1958 második felétől megugrott a súlyos fejlődési rendellenességgel – vagy halva – született gyermekek száma. A tragédia következtében több mint tízezer torz újszülött jött a világra, körülbelül háromezren ma is élnek, a legtöbbjük Németországban.

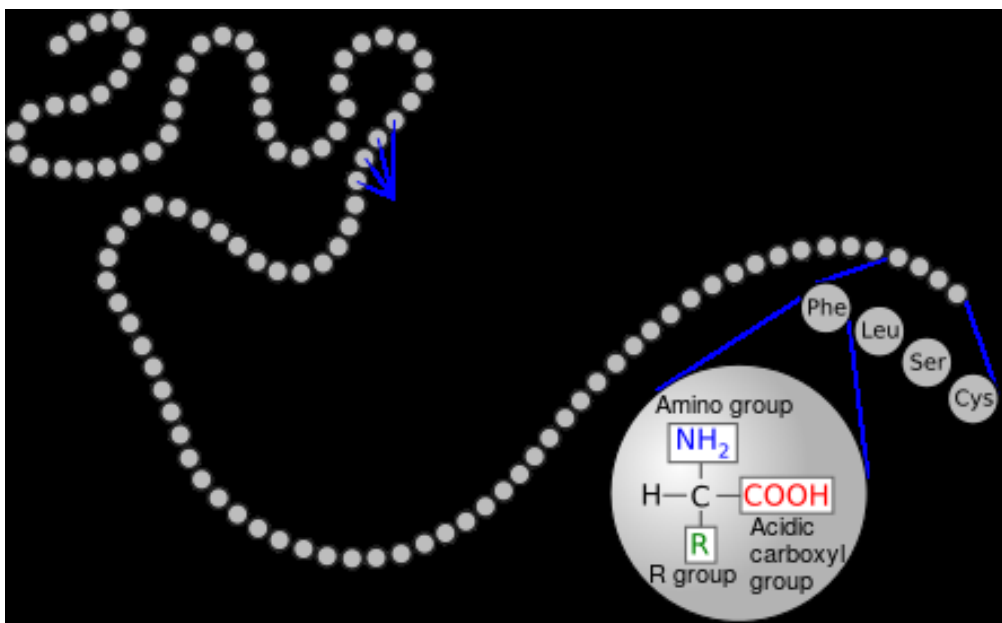
A gyógyszer szörnyű mellékhatásáért az úgynevezett királis molekulák voltak a felelősek: a későbbi vizsgálatok során ugyanis kiderült, hogy a szer gyártásakor keletkező molekulapár közül csak az egyik hatásos fájdalomcsillapító, a másik súlyosan károsítja a magzatot.

A gyógyszergyártók a tragikus esetet megelőzően ezeket gyógyszer-molekulákat a kép és a tükörkép 1:1 arányú keverékeként hozták forgalomba, noha pontosan tudták, a két változat biológiai hatása különböző lehet.

Noha a gyártó azt ígérte, kukába dobja a hatóanyagot, ám a botrány után is folyamatosan kutattak az alternatív alkalmazhatósági lehetőségek után. Ennek köszönhetően – a rák gyógyításában elért eredmények miatt – az Európai Gyógyszerügynökség, az unió illetékes hivatala néhány éve zöld utat adott a gyógyszer újbóli forgalmazásának. Az óvatosság miatt nem ajánlott várandós nőknek, de a hatóanyag-molekulának csak a „jó” változatát tartalmazza a szer.

(forrás: http://hvg.hu/plazs/20110112_legnagyobb_gyogyszerbotranyok)

Testünk felépítésében mintegy 100 000 különböző fehérje vesz részt. A fehérjék szén-, hidrogén-, oxigén-, nitrogén-, valamint gyakran kénatomokból állnak. Rendkívül bonyolult óriásmolekulák; még a legegyszerűbbek is atomok ezreit tartalmazzák, míg a nagyobbak, amelyek már valóban óriások a molekulák között, több százezer vagy több millió atomból állnak.

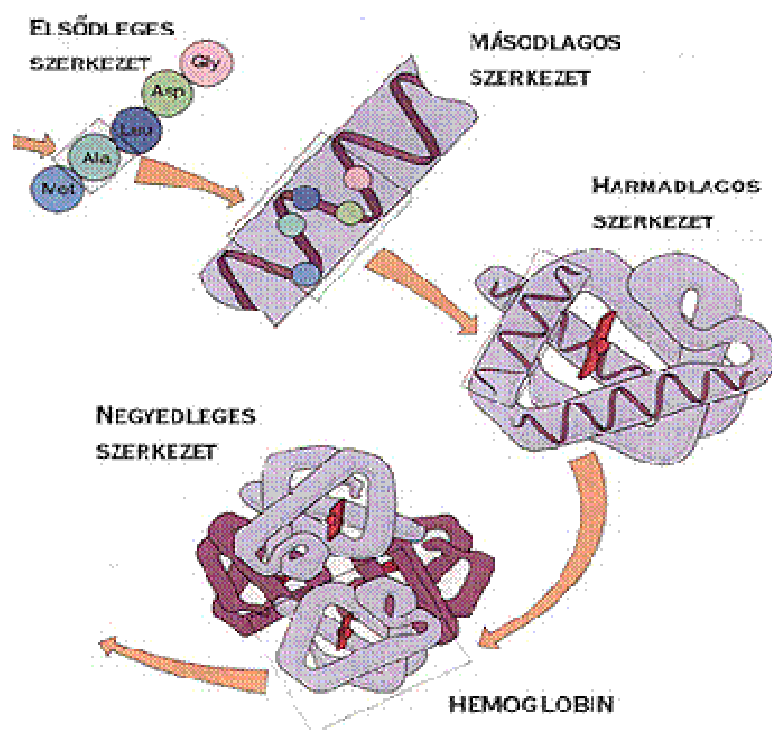


(forrás: commons.wikimedia.org/wiki/File:Protein_primary_structure.svg)

A fehérjék viszonylag önálló egységekből, aminosavakból (α -aminokarbonsavak) épülnek fel, amelyek mint füzért alkotó gyöngyszemek kapcsolódnak sorban egymáshoz. Szinte végtelen sokféleségük ellenére a fehérjéket mindössze 20 (+2) féle aminosav építi fel, közülük 19 homokirális, (aszimmetriás szénatomot tartalmaz). Kivétel a glicin ($\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$) ecetsav, legegyszerűbb fehérjealkotó, amely akirális, optikailag nem aktív.

A fehérjékben a 20 leggyakrabban előforduló aminosavon kívül azok módosított származékai is előfordulnak, így a cisztin, a ciszteinből levezethető diszulfán; a transz-izomer 4-hidroxi-prolin (szerves sztereokémiai elnevezésből, biokémiai megnevezése: eritro- izomer 4-hidroxi-prolin), amely a kollagén 12%-át alkotja; továbbá foszforilált szerin, treonin, hisztidin; valamint O- és N-glikozidok.

Az élő szervezetekben olyan aminosavak is vannak, amelyek nem fehérje alkotóelemek. Ilyenek pl. a peptidoglikánok D-aminosavjai (D-alanin, D-izoglutamin), a gramicidin-S antibiotikumban előforduló L-ornitin (a 2,5-diaminoglutársav (S)-enantiomerje), a pantoténsavban előforduló β -alanin. Ebbe a csoportba tartozik a kreatin (N-metil-N-guanidinoecetsav) is. (forrás: www.och.bme.hu/ifj-nagy/Biomol/b-4-fehj.pdf)

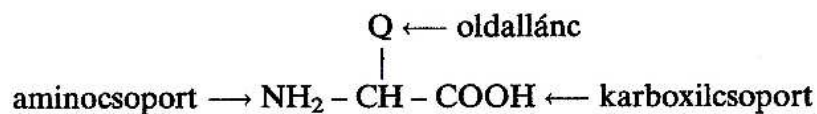


(forrás: <http://guruz.hu/~dezo/Transzport/Beadando/Feherjek.htm>)

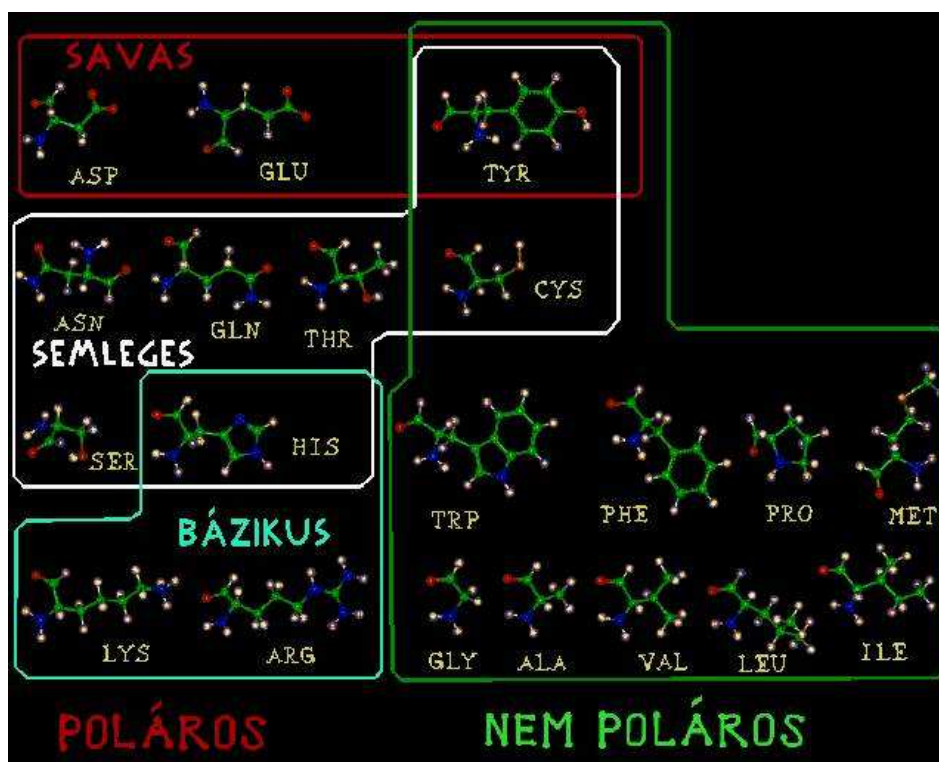
Ha mesterségesen állítunk elő egy aminosavat, a két forma egyenlő arányú (racém) keveréke képződik. Ezzel szemben az élő szervezet aminosavjai mindig (homokiralitás) bal formák. Ennek következtében a belőlük felépülő fehérjemolekulák is mindig aszimmetrikusak, és csakis balra forgató építőköveket tartalmaznak.

(Kivételesen „jobb” oldali konfigurációjú aminosavak is előfordulhatnak egyes szervezetekben, pl. néhány mikroorganizmus sejtfalanyagában vagy anyagcseretermékeiben, így a Gramicidin vagy az Actinomycin-D antibiotikum molekulájában.)

Az egyes aminosavak közötti különbségeket az oldalláncok (jelölés: Q vagy R) szerkezete határozza meg, így ez az alapja csoportosításuknak is.



Az R oldallánc húszféle lehet:

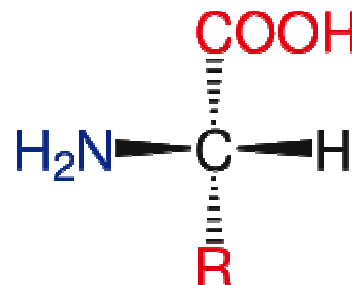


(forrás: A fehérjék szerkezete és az azt meghatározó kölcsönhatások, <http://www.enzim.hu/~szia/folding/ea01/ea01.htm>)

Az élő szervezetekben 25féle α -aminosav található, ezek közül 22 fehérjealkotó (proteinogenic) építőelem α -L-aminosav, ebből 20 az amelyik genetikailag kódolt, a 21. és 22. aminosav szintézis közben épül be a Selenocisztein (Sec) és a Pirrolizin (Pyl). Ezek kapcsolódási sorrendje az aminosav szekvencia, a fehérjék elsődleges szerkezete.

Az aminocsoportnak a karboxilcsoportéhoz viszonyított helyzete alapján α -, β -, γ - stb. aminosavakról beszélünk. A fehérjék (protein, görög „proteios” legelső) kizárólag α -aminosavakból épülnek fel. A többi biológiailag általában jelentéktelen. Az egyetlen élettani jelentőséggel bíró β -aminosav a β -alanin, ennek származékai a pantoténsav és a koenzim-A. Lényeges még az agy anyagcseréjének egyik eleme, a γ -aminovajsav (GABA), valamint a vitamin hatású p-amino-benzoésav.

Az α -aminosavak kiemelkedő jelentőségűek az élővilág számára, mivel a fehérjemolekulák (proteinek) építőkövei. Az α -aminosavak közös szerkezeti jellemvonása, hogy molekuláikban egy aminocsoport és egy karboxilcsoport kapcsolódik ugyanahhoz a szénatomhoz.



L konfigurációjú α -aminosav

(forrás: hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:L-amino_acid_general.svg)

A szervezet fehérjéinek és egyéb nitrogéntartalmú alkotórészeinek felépítéséhez, és ezek újraképzéséhez szükséges aminosavakat a táplálék fehérjei adják. A fehérjeszükséglet tehát aminosav szükségletet jelent. Az emberi szervezetben 14-16% a fehérje-, és hozzávetőlegesen 0,1% a szabad aminosavtartalom.

A természetben előforduló vegyületek között ezrével akadnak olyan anyagok, amelyek molekulái tükörképi párokat alkotnak. A természetben az ilyen fajta anyagokban a „balos” és a „jobbos” molekulák igen gyakran egymással keveredve vannak jelen. A kémikusok ezt a jelenséget sztereoiszomériának nevezik, a „jobb” és „bal” molekulák pedig egymás sztereoiszomerjei. A „bal” és „jobb” megjelölés nem a polarizációs sík elfordításának tényleges irányára, hanem az aszimmetrikus szénatom abszolút térbeli konfigurációjára vonatkozik; ebben a tekintetben, a szervezetben a fehérjealkotó aminosavak mind „bal” oldali molekulák.

Az elmondottak ellenére az élőlényeket ugyanilyen joggal „jobbra forgatóknak” is nevezhetnénk, mivel az aminosavak molekulaszervezetéből fakadó „balra forgató” aszimmetria mellett létezik még egy másikféle aszimmetria is - és ez a fehérjék funkciója szempontjából talán még fontosabb. Ez pedig a maga egészében figyelembe vett fehérjemolekula térbeli helyzete. Az aminosavak összekapcsolódásával keletkező hosszú polipeptidláncok kialakulásakor az egyes aminosavak oly módon „csavarodnak” mindig jobb felé, hogy a fehérjemolekula az elülső vége felől nézve olyan spirális alakját mutatja, amely az óramutató járásával megegyező irányban van felcsavarodva. Ezt a tényt a kaliforniai Technológiai Intézetben dolgozó Linus Pauling és Robert Corey fedezte fel, és ők adták a jobbra csavarodó aszimmetrikus fehérjespirálisnak az alfa-hélix (α -hélix) (hélix = csigavonal) nevet. Ezután egyre világosabb lett, hogy az alfa-hélix jellemző a fehérjemolekulák legnagyobb részére, és hogy ebben a vonatkozásban saját szervezetünk is „jobbra forgató”. (Nyikolaj Sejkov: Élet és szimmetria).

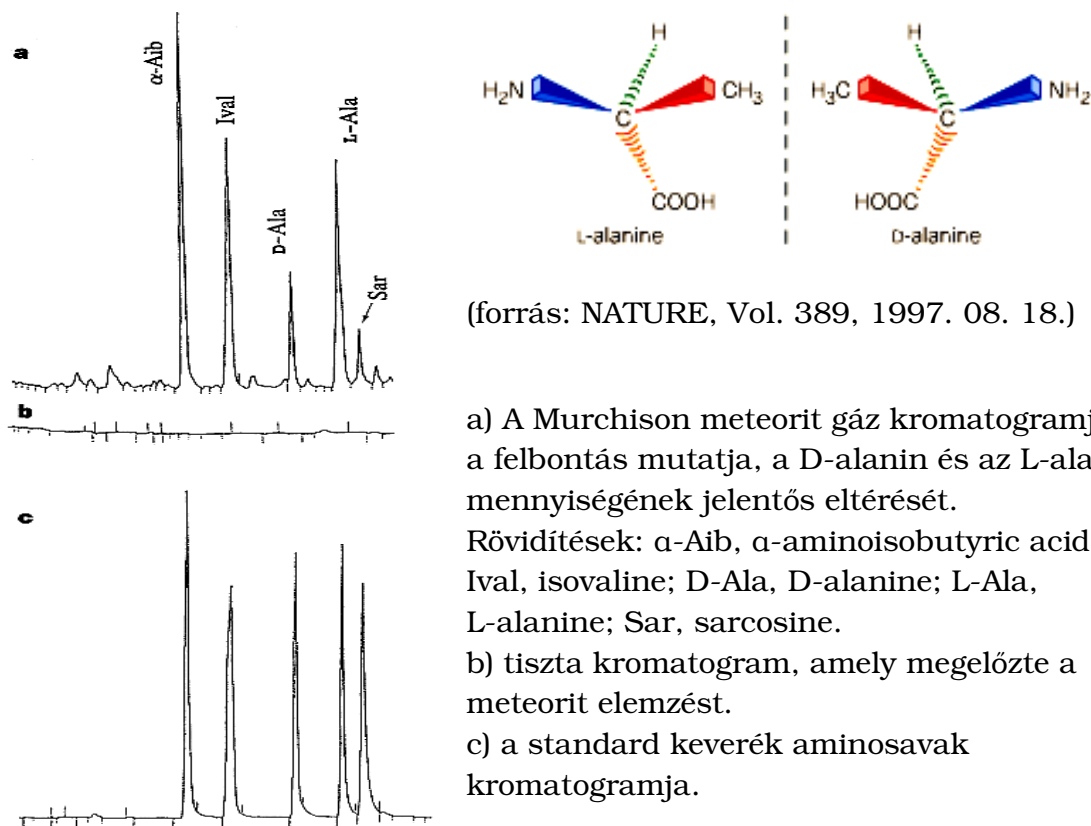


Table 1 Amino-acid abundances and $\delta^{15}\text{N}$ values		
Amino acid	Concentration (nmol g ⁻¹)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)*
α -Aminoisobutyric acid	20.1	+184
Sarcosine	ND†	+129
Isovaline	8.0‡	+66
Glycine	24.5	+37
β -Alanine	12.8	+61
D-Alanine	–§	+60
L-Alanine	10.4‡	+57
L-Leucine	2.5§	+60
D,L-Proline	ND†	+50
D,L-Aspartic acid	4.7§	+61
D-Glutamic acid	–§	+60
L-Glutamic acid	10.8§	+58

*The $\delta^{15}\text{N}$ values are an average of four GC/C/IRMS analyses, the average error being about $\pm 1\%$. Values are reported relative to the standard, atmospheric N_2 :
 $\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = [({}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N})_{\text{sample}} / ({}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N})_{\text{standard}} - 1] \times 10^3$.

† Not determined. Sarcosine was not sufficiently resolved by HPLC; the HPLC method did not detect secondary amines such as proline.

‡ The value for isovaline includes a contribution from valine that co-eluted with isovaline during HPLC analysis.

§ Concentrations reported for L-alanine, L-leucine, D,L-aspartic acid and L-glutamic acid represent the total contribution of both enantiomers for the respective amino acids.

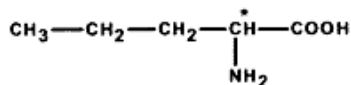
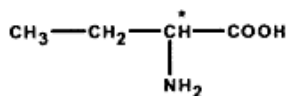
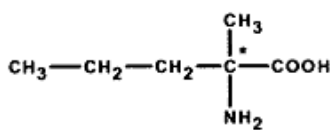
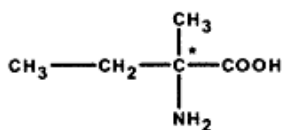
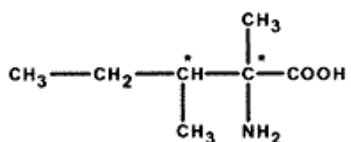
|| $\delta^{15}\text{N}$ value reflects contribution of both enantiomers.

(forrás: M. H. Engel, S. A. Macko: Isotopic evidence for extraterrestrial non-racemic amino acids in the Murchison meteorite, Nature 389, 265-268 (18 September 1997) | doi:10.1038/38460)

Kiderült, hogy meteoritban talált aminosavak nem mind racém elegyek (amely az enantiomerpár mindkét komponensét 50-50%-ban tartalmazza), hanem számos aminosav esetében az L-enantiomer csekély feleslegben van jelen.

Az élettelen égitestek anyagában előforduló aminosavak – ha nem is mindenhol a kozmoszban, de legalábbis a Naprendszerben – nem minden esetben racém elegyek, hanem esetenként az L-enantiomerben dúsabbak. A Murchison meteorit vizsgálati eredményeiből példaként kiemelt A, B és C aminosavak a bioszférában nem fordulnak elő, ez a három aminosav, mivel a királis (a kémiai kiralitás általában olyan asszimmetrikus szénatomtól ered, amelyhez négy különböző atom vagy atomcsoport kapcsolódik), 2. sz. szénatomhoz nem kapcsolódik hidrogén, gyakorlatilag nem tud racemizálódni, vagyis szerkezetében megőrizhette eredeti, kozmikus állapotát.

A D és E aminosavak, amelyek a bioszférában is előfordulnak, gyakorlatilag racém elegyeknek bizonyultak, ami a mérések során esetleg mégis bekövetkezett földi szennyeződést kizárja.



2. táblázat. Aminosavak		
aminosav	konfiguráció#	L-, vagy S-enantiomer feleslege, %
A	2S,3S / 2R,3S	7,6; 7,6; 5,8###
B	2S,3R / 2R,3RB	7,6; 9,2; 10,4###
B	S / R	8,4
C	S / R	2,8
D	L / D	0,4
E	L / D	0,4
C	#Az A, B és C aminosavaknál az L és D jelölések a 2. helyzetű szénatom konfigurációjának definiálására nem alkalmazhatók, mert ahhoz a szénatomhoz nem kapcsolódik hidrogénatom. Ezeknél az S vagy 2S-konfiguráció felel meg a biológiai aminosavak L-konfigurációjának.	
D	##3–3 párhuzamos mérés. Ez az aminosav két asszimmetrikus szénatomot tartalmaz, ezért négy konfigurációja lehetséges.	
E		

(forrás: Markó László: Miért „balkezesek” a fehérjéket felépítő aminosavak? <http://www.termeszetvilaga.hu/tv99/tv9902/marko2.html>, és Természet)

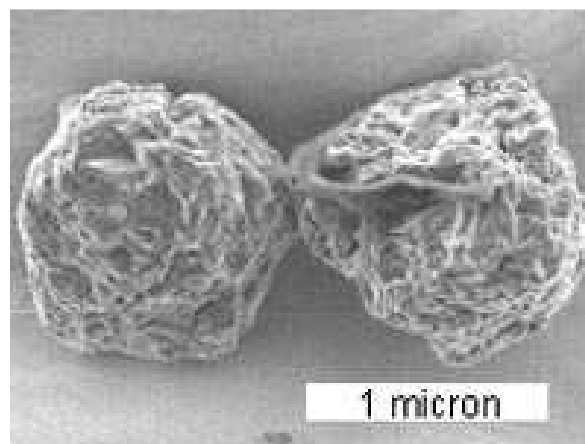
Az olasz Tuscia Viterbo Egyetemen, Raffaele Saladino és kollégái arra voltak kíváncsiak, hogy a gyakorlatban is elő lehetne-e állítani a meteorit segítségével egy kezdetleges „őslevest”.



(forrás: Michael Marshall: New Scientist magazine, 2011. május 07., Issue number 2811., és Origins of Life and Evolution of Biospheres, DOI: 10.1007/s11084-011-9239-0)

Szemcsepár a Murchison-meteoritból

(forrás: Argonne National Laboratory, Department of Energy, en.wikipedia.org/wiki/File:Murchison-meteorite-stardust.jpg)

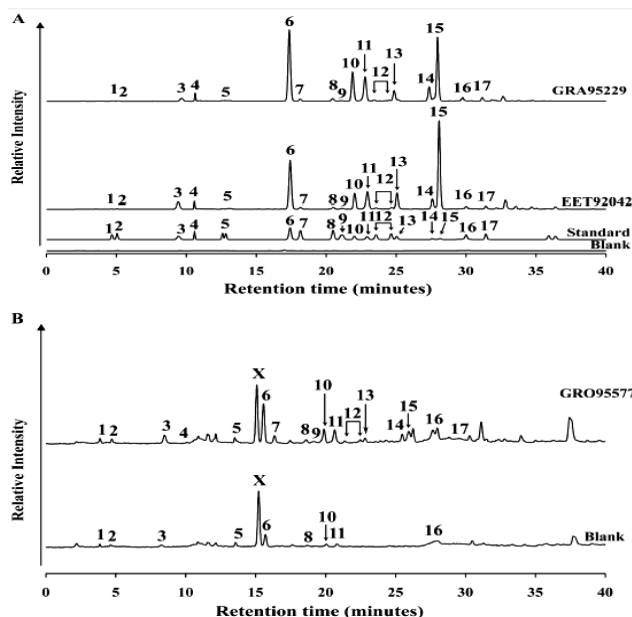


A kutatók 1 gramm Murchison-meteoritot használtak fel kísérletükhöz, amelyről az összes szerves szennyezőanyagot eltávolították, így csak a megmaradt ásványi összetevőket használták fel.

A meteoritban található anyagokat 48 órán át 140 Celsius fokra hevített formamiddal - egy különleges szénvegyülettel - vegyítették.

A kísérlet során beigazlódott az elmélet: nukleinsav - azaz DNS és RNS építőanyaga, valamint aminosav, glicin, karbonsav és kezdetleges cukor keletkezett. Az előállított anyagok elengedhetetlenek a primitív élet kialakulásához állítja Monica Grady az egyesült királyságbeli Milton Keynes Szabadegyetem kutatója. A meteorit ásványai stabilizálhatják az RNS-t. Az RNS a vízzel reakcióba lépve például könnyen lebomlana, a kutatócsapat szerint ezért indíthatják be és gyorsíthatják fel a Murchison-meteorit-hoz hasonló Földre zuhant szikladarabok az élet keletkezésének folyamatát.

Az Antarkiszson folytatott kutatómunka keretében még 1992-ben és 1995-ben talált EET 92042 és GRA 95229 jelű meteoritokban az aminosavaknak, a fehérjék alapvető építőköveinek a gyakoriságát vizsgálták. A két kőzetben mért aminosav-koncentráció magasabb volt bármely korábbi meteoritban azonosítottnál: 180, illetve 249 ppm („parts per million”, milliommód rész, megadja a rendszer millió egységében [tömeg-, vagy térfogat-, vagy anyagmennyiség-koncentráció, stb] az illető komponens mennyiségét ugyanazon egységben). Más meteoritoknál ez az érték általában 15 ppm alatti. A fenti arány tehát több mint tízszerese a korábban tapasztaltaknak.



Amino acid	CR2 EET 92042	CR2 GRA 95229	CR1 GR0 95577
D-aspartic acid	467 ± 71	669 ± 7	13 ± 2
L-aspartic acid	524 ± 76	696 ± 9	19 ± 4
L-glutamic acid	3989 ± 97	3668 ± 319	40 ± 3
D-glutamic acid	2309 ± 339	3005 ± 86	16 ± 6
D,L-serine ^b	742 ± 42	1807 ± 84	50 ± 11
Glycine	26,875 ± 1176	57,796 ± 358	136 ± 14
β-alanine	3005 ± 95	2910 ± 277	122 ± 6
γ-ABA	1975 ± 176	2848 ± 146	54 ± 6
Dl-β-AIB ^c	1526 ± 88	1645 ± 61	30 ± 2
D-alanine	23862 ± 324	50,722 ± 419	74 ± 22
L-alanine	23215 ± 609	50,681 ± 2884	96 ± 20
DL-β-ABA ^b	3094 ± 149	5986 ± 83	49 ± 3
α-AIB	57856 ± 2030	27,679 ± 1113	48 ± 3
D, L-isovaline	<22,798 ^d	<27,844 ^d	<131 ^d
L-valine	3632 ± 60	6053 ± 150	13 ± 4
D-valine	3665 ± 92	5736 ± 205	8 ± 3
Total	180,000	249,000	900

Fig. 1. The 0 to 40 min region (no peaks were observed outside this region) of the HPLC-ED chromatograms. OPA/NAC derivatization (1 min) of amino acids in (a) the standard, the 6M HCl-hydrolyzed hot-water extracts from the CR2 carbonaceous chondrites EET 92042 and GRA 95229, and the serpentine blank, and (b) the 6M HCl-hydrolyzed hot-water extracts from the CR1 carbonaceous chondrite GR0 95577 and corresponding serpentine blank. HPLC-ED chromatograms (a) and (b) are not on the same scale and were not run on the same day. Peaks were identified by comparing the retention time to those in the amino acid standard run on the same day. 1 = D-aspartic acid; 2 = L-aspartic acid; 3 = L-glutamic acid; 4 = D-glutamic acid; 5 = D, L-serine; X = unknown; 6 = glycine; 7 = β-alanine; 8 = γ-ABA; 9 = D, L-β-AIB; 10 = D-alanine; 11 = L-alanine; 12 = D, L-β-ABA; 13 = α-AIB; 14 = D-isovaline; 15 = L-isovaline; 16 = L-valine; 17 = D-valine.

(forrás: Z. Martins, C. M. O'D. Alexander, G. E. Orzechowska, M. L. Fogel, P. Ehrenfreund: Indigenous amino acids in primitive CR meteorites, *Meteoritics & Planetary Science* 42, Nr 12, 2125–2136 (2007), onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1945-5100.2007.tb01013.x/abstract, onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1945-5100.2007.tb01013.x/pdf)

A két ősi meteorit a CR szenes kondritok közé tartozik, fémes vasnikkelt és szulfidot, valamint nagyméretű kondrumokat tartalmaznak, a kőzet tömegének felét alkotják. Jelentős mértékű vizes átalakulás érte őket.

Bennük a hőmérséklet csak annyira emelkedett fel, hogy a vízjég egy része átmenetileg megolvadt - ám annyira nem volt magas hőmérséklet, hogy az ekkor képződött összetett szerves molekulák lebomoljanak.

A megfigyelés arra utal, hogy a korai Naprendszer gazdagabb lehetett különféle szerves anyagokban, mint azt eddig feltételezték. A kondritok kevésbé átalakult anyagú, apró szülőégitesteiben folyékony víz cirkulálhatott a kőzetek repedésiben, változatos kémiai reakciókhoz biztosítva lehetőséget – írja Kereszturi Ákos. (www.origo.hu/tudomany/vilagur/20080318-meteoritok-szerves-anyagot-szallitottak-az-osleveshez.html, 2008.)

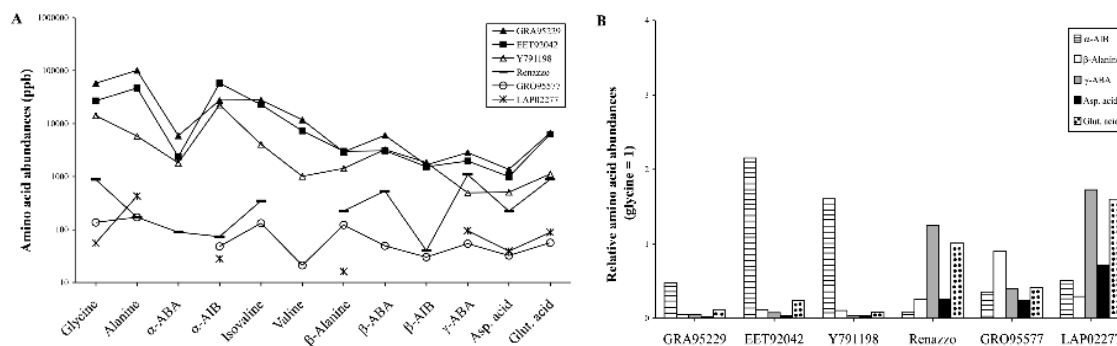


Table 3. Amino acid enantiomeric ratios (D/L) in the CR carbonaceous chondrites EET 92042, GRA 95229, and GRO 95577.^a

Amino acids	CR2		CR2		CR1
	EET 92042 ^b	EET 92042 ^c	GRA 95229 ^b	GRA 95229 ^c	GRO 95577 ^b
Aspartic acid	0.89 ± 0.19	0.88 ± 0.10	0.96 ± 0.02	0.96 ± 0.16	0.68 ± 0.18
Glutamic acid	0.58 ± 0.09	0.69 ± 0.12	0.82 ± 0.08	0.83 ± 0.12	0.40 ± 0.15
Alanine	1.03 ± 0.03	0.97 ± 0.08	1.00 ± 0.06	1.03 ± 0.18	0.77 ± 0.28
β-ABA	^d	0.91 ± 0.07	^d	0.92 ± 0.14	^d
Valine	1.01 ± 0.03	0.94 ± 0.14	0.95 ± 0.04	1.02 ± 0.15	0.62 ± 0.30
β-ABA	^d	0.90 ± 0.05	^d	1.00 ± 0.06	^d

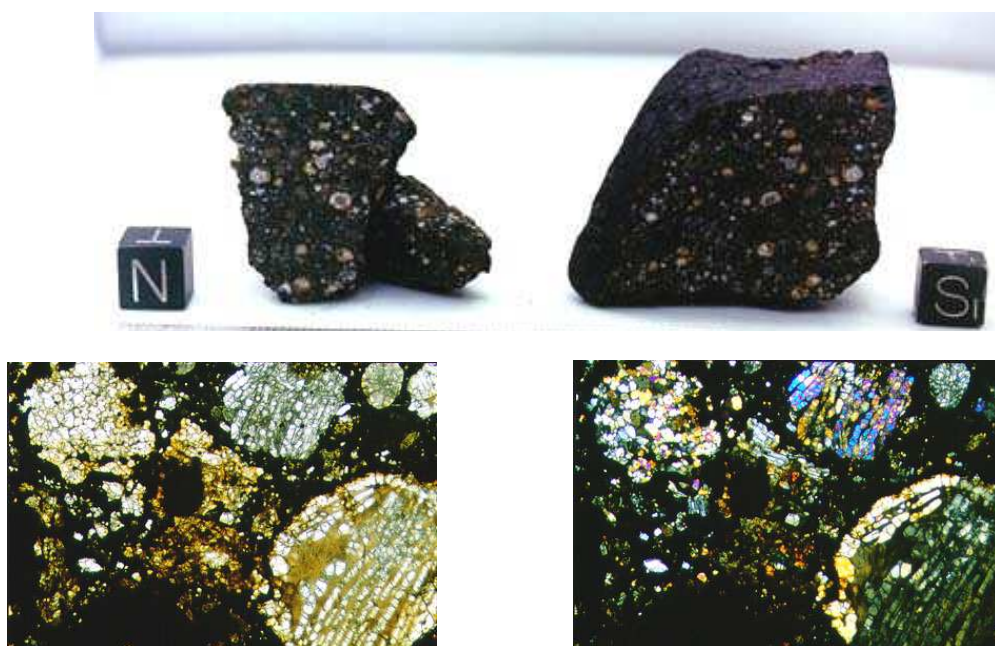
^aThe uncertainties are based on the absolute errors shown in Tables 1 and 2, and are obtained by standard propagation calculations.

^bD/L ratios calculated from the concentrations reported in Table 1, measured by HPLC-FD.

^cD/L ratios calculated from the concentrations reported in Table 2, measured by GC-MS.

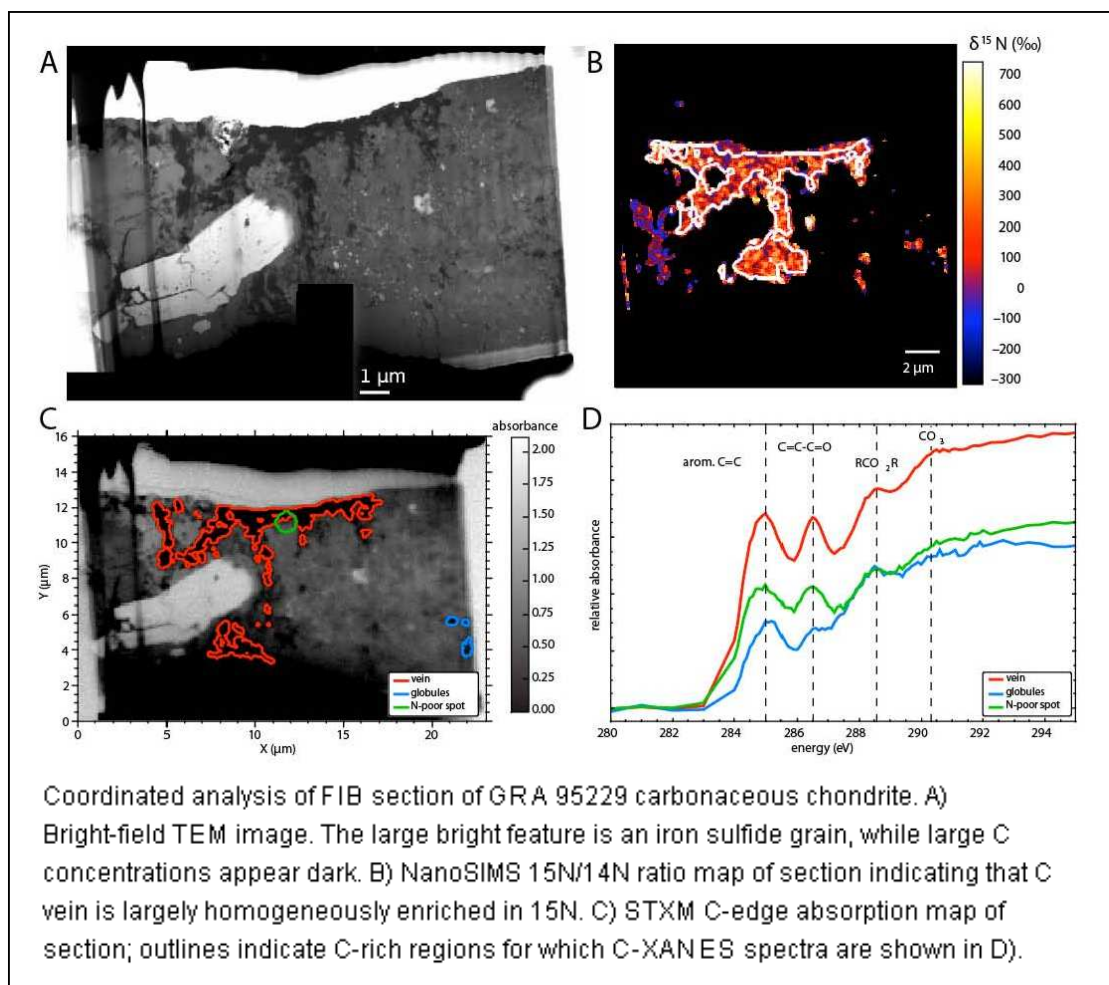
^dNot determined: enantiomeric separation was not possible or amino acid abundance was not determined.

(onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1945-5100.2007.tb01013.x/pdf)



GRA 95229 (CR2) szenes kondritos meteorit,
(NASA Antarctic collection) vékonycsiszolat mikroszkópos kép
Síkban polarizált fényben, kereszt-polarizált fényben vizsgálva.

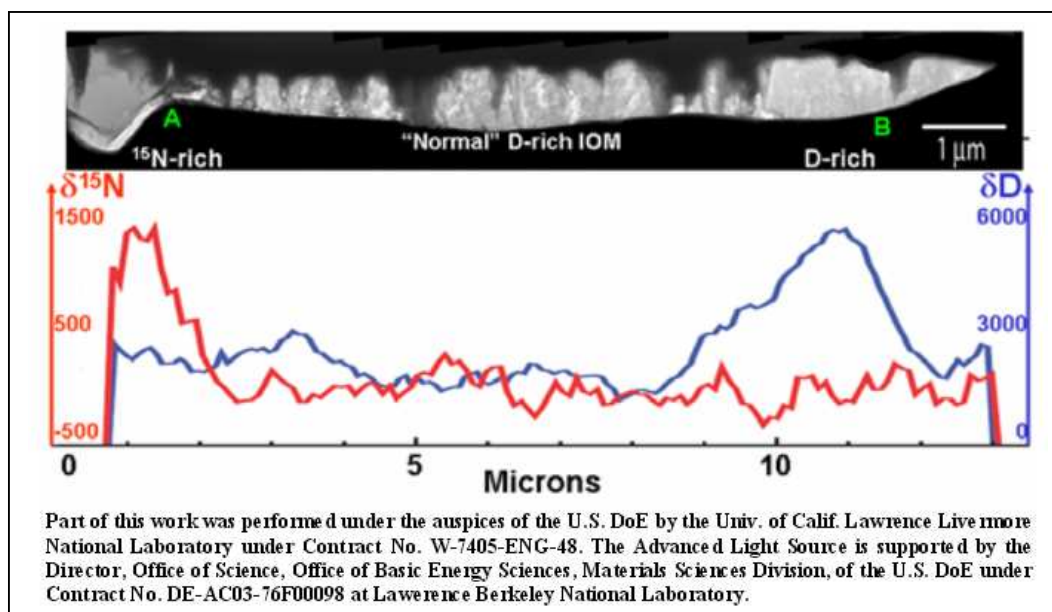
(forrás: <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/amn/amnjul97/petdes.htm>
<http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/amn/amnjul97/GRA95229.HTM>)



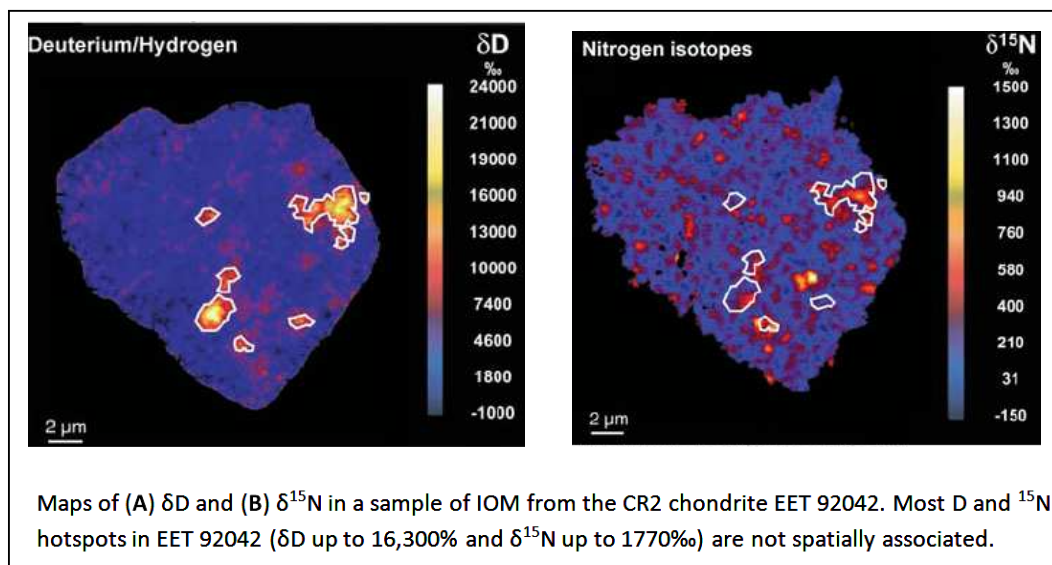
(forrás: Origin and Evolution of Organic Matter in the Solar System, NASA Astrobiology Institute, Carnegie Institution of Washington, 2012., <http://astrobiology.nasa.gov/nai/reports/annual-reports/2012/ciw/project-2-origin-and-evolution-of-organic-matter-in-the-solar-system/>)

A GRA 95229 szenes kondrit egy részének FIB (Focused Ion Beam) összetett elemzését mutatja az ábra.

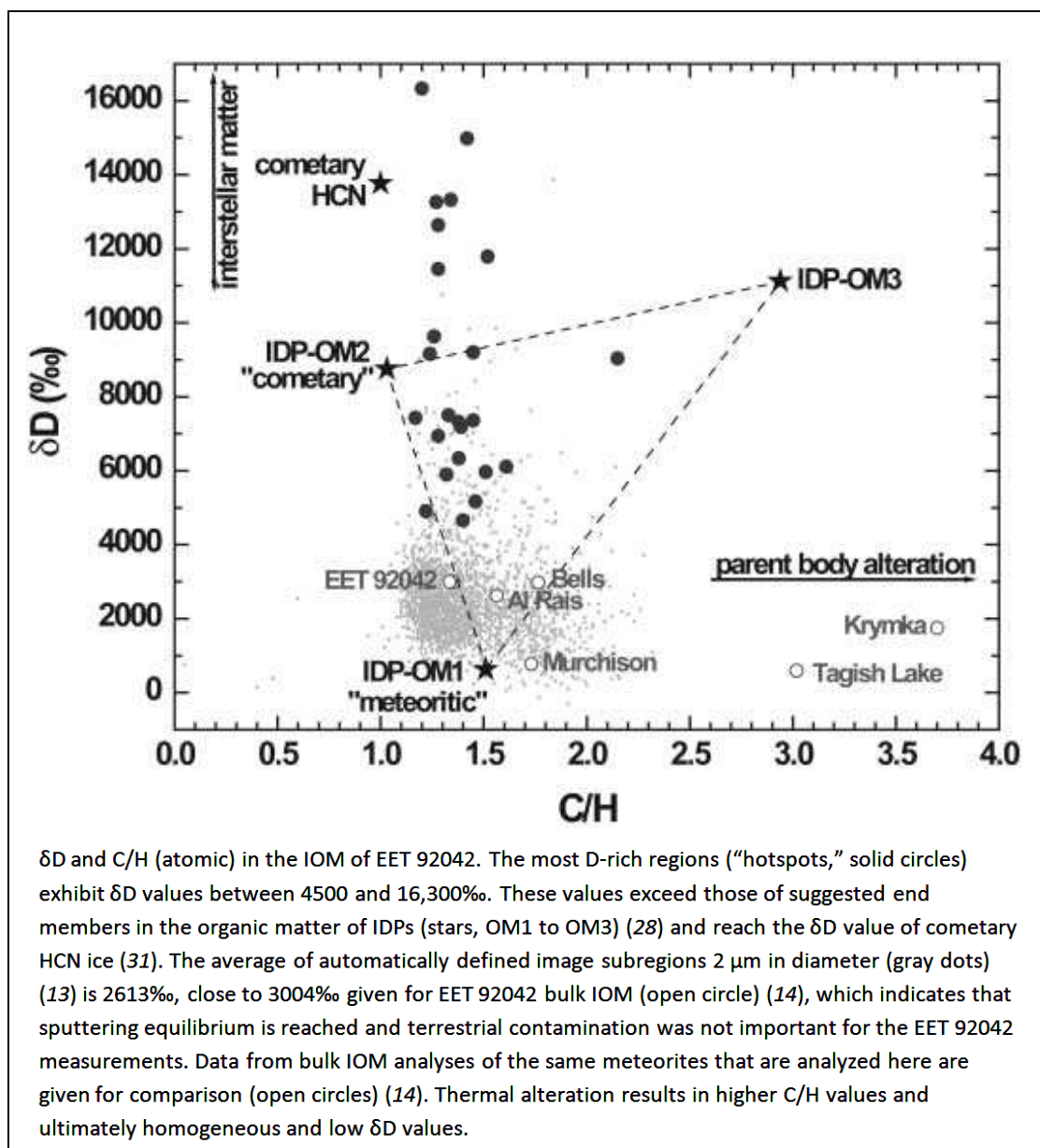
A) A világos terület a TEM (Transmission Electron Microscope) képen egy vas-szulfid (FeS) szemcsé, míg a nagy szén (C) koncentráció sötétnek látszó. B) NanoSIMS (Secondary Ion Mass Spectrometer) képen a $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ aránya azt jelzi, hogy a szén erezet nagyrészt homogén ^{15}N nitrogén izotóppal dúsított, azonban a széngömböcskék területén nem tapasztalható ^{15}N dúsulás, mint ahogy az várható lett volna (hasonlóan a Tagish Lake meteorit mintában). C) STXM (Scanning transmission X-ray microscopy) kép a szén erezet körvonalakat jelzi, a szénben gazdag régiók, amelyek a D) ábrán a C-XANES (Carbon X-ray Absorption Near Edge Structure) spektrumokon láthatók. A C) és D) ábrákon a szén erezet piros, a nitrogénben szegény területet a zöld, a széngömböcskéket a kék vonalak illetve görbék jelölik.



(forrás: H. Busemann, C. M. O'D. Alexander, L. R. Nittler, T. J. Zega, R. M. Stroud, S. Bajt, G. D. Cody, H. Yabuta: Correlated analyses of D- and ¹⁵N-rich carbon grains from CR2 chondrite EET 92042., <http://www.lpi.usra.edu/meetings/metsoc2006/pdf/5327.pdf>)



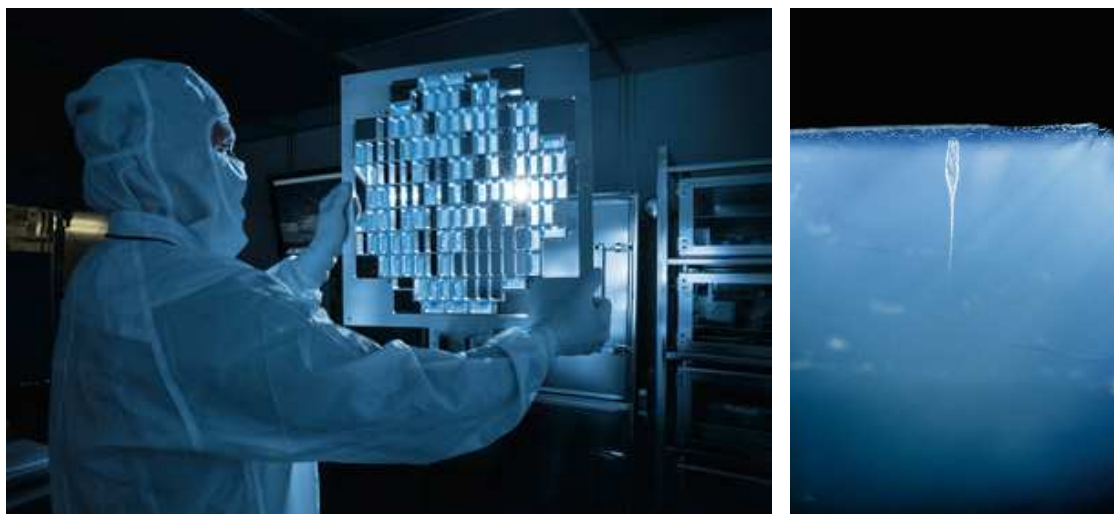
A fotomikrográfon az EET 92042 meteorit mintában található ¹⁵N nitrogén izotóp dúsulás (¹⁴N –hez képest) látható, továbbá a deutérium (nehéz hidrogén) a hidrogén arányában. A koncentráció, a „part per 1000” (‰) értékek a skálán leolvashatók (D 16300 ‰-ig és ¹⁵N 1770 ‰-ig). Az ábrán látható, hogy a nitrogén izotóp anomáliák szinte mindig eltérnek deutérium anomáliák helyétől. Ezek az izotóp különbségek arra utalnak, hogy különböző környezetben alakult ki a csillagközi térben (vagy esetleg a Naprendszer külső peremén).



(forrás: Busemann, H., A. F. Young, C. M. O'D. Alexander, P. Hoppe, S. Mukhopadhyay, and L. R. Nittler (2006. május 05.) Interstellar chemistry recorded in organic matter from primitive meteorites. *Science* 2006., v. 312, p. 727-730., DOI: 10.1126/science.1123878, www.sciencemag.org, www.sciencemag.org/content/312/5774/727.figures-only, www.people.fas.harvard.edu/~mukhop/reprints/2006_Science_PrimitiveMeteorites.pdf)

A diagram összehasonlítja az EET 92042 meteorit mintában található IOM (Insoluble organic matter) szerves anyag deutérium (D) izotóp dúsulást a szén és hidrogén (C/H) arányában

2004-ben a Stardust-űrszonda áthaladt a Wild-2-üstökös kómáján, azaz ritka légkörén. Aerogél nevű speciális anyagába ragadva sok porszemet hozott a Földre, amelyek az üstökös magjából szabadultak ki.



(forrás: Mark Thiessen, ngm.nationalgeographic.com/2013/07/125-solar-system/image-gallery)

Jamie E. Elsila asztrobiológus (NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland) és kollégái 2009-ben az Amerikai Kémiai Társaság washingtoni éves találkozóján fontos felismerést közöltek: megtalálták a glicin ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) aminosavat a mintában.



(forrás: www.daviddarling.info/encyclopedia/G/glycine.html)

A kérdéses anyag biztos azonosítása hosszú időbe telt, ugyanis kétséget kizáróan kellett bizonyítani annak Földön kívüli eredetét. Az eredmény alapján tehát aminosavak nem csak kisbolygókban, hanem üstökösökben is hullhattak a Földre. A glicin az egyik legelterjedtebb és legfontosabb aminosav, amelyet a földi élőlények használnak. Az üstökösök a Naprendszer keletkezésének ősanyagát közel változatlan állapotban őrzik. Összeállításuk után keveset változtak - bár az újabb modellek és megfigyelések alapján sokuk belsejében folyékony víz volt egykor. Az ilyen vizes közegekben elképzelhető, hogy igen összetett molekulákká álltak össze a kémiai alkotóelemek, és a glicinnél bonyolultabb anyagok is kialakulhattak, majd az ősi Földre hullhattak.

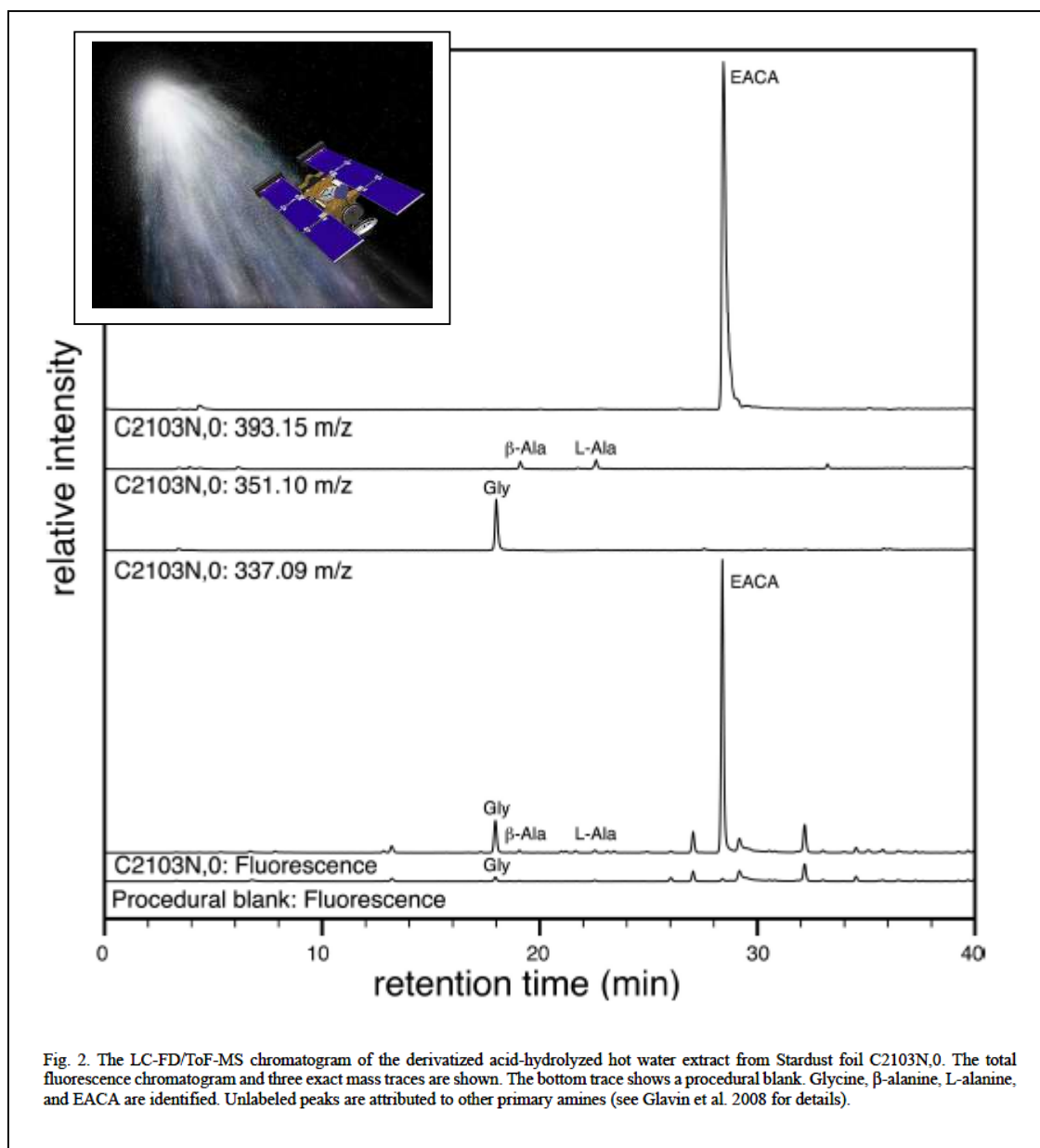


Table 1. Summary of the amino acid concentrations in water extracts of Stardust flight foils^a.

Amino acid	This study						Previous study ^b	
	C2103N,0	C2016N,2	C2017N,0	C2078N,0	C2125N,2		C2092S,0	
		Both sides (total)			Aerogel side (total)	Metal side (total)	Both sides (free)	Both sides (total)
Glycine	34	2	13	19	21	<3	27	68
β-alanine	2	1	1	3	<2	<2	1	7
D-alanine	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<4
L-alanine	2	<1	1	1	1	<3	6	12
EACA ^c	326	51	66	327	186	126	11	1,413

(forrás: Jamie E. Elsila, Daniel P. Glavin, Jason P. Dworkin: Cometary glycine detected in samples returned by Stardust, *Meteoritics & Planetary Science* 44, Nr 9, 1323–1330 (2009),

<http://science.gsfc.nasa.gov/691/analytical/PDF/Elsila2009.pdf>)

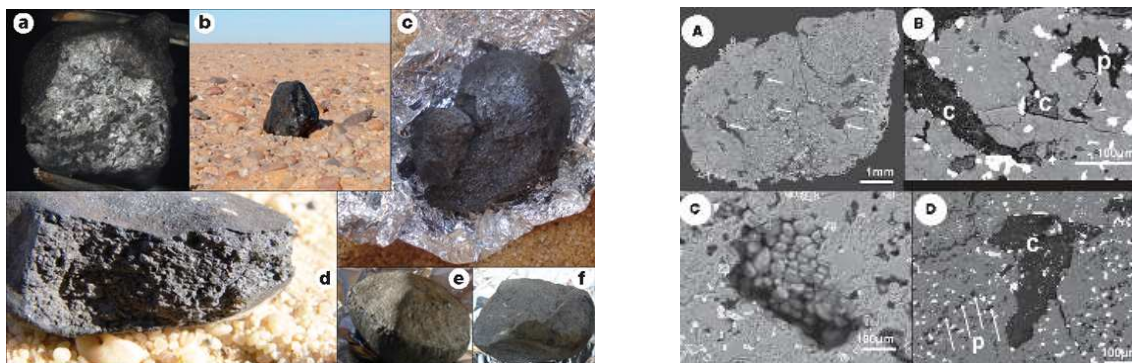
A világűrben hulló meteoritokban lévő aminosavak szerepet játszottak a földi élet keletkezését megelőző prebiotikus fejlődésben, mint arra már több, egymástól független megfigyelés is rámutatott.

Szudán felett 2008 október 7-dikén 5:46 hajnalban felrobbant a 2008 TC₃ jelű kisbolygó (súlya 80 tonna, és átmérője négy méter). Az égitestet még a Földdel való várható találkozása előtt felfedezték, majd néhány helyről a légköri robbanását is megfigyelték.

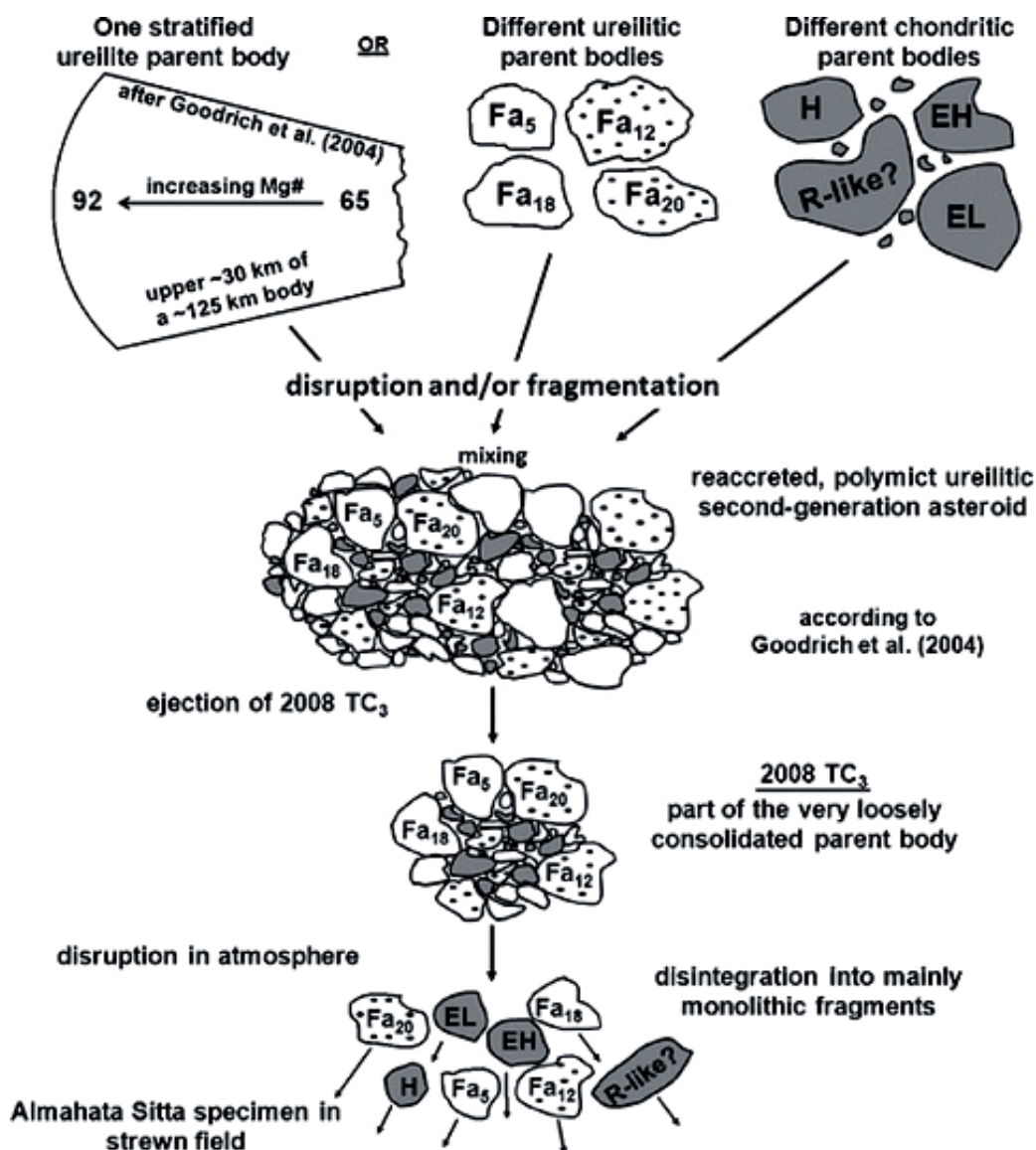


(forrás: Mohamed Elhassan Abdelatif Mahir (Noub NGO) / Muawia Shaddad (Univ. Khartoum) / Peter Jenniskens (SETI Institute), www.skyandtelescope.com/community/skyblog/newsblog/41873107.html)
A 2008 TC₃ aszteroida felrobbanása a légkörben Szudán felett.

Az lehullott „Almahata Sitta” gyűjtőnéven regisztrált 2008 TC₃ meteorit darabokban pedig olyan aminosavakat azonosítottak, amelyek szerkezetük alapján nem földi szennyezések lehetnek, hanem a világűrben érkeztek.

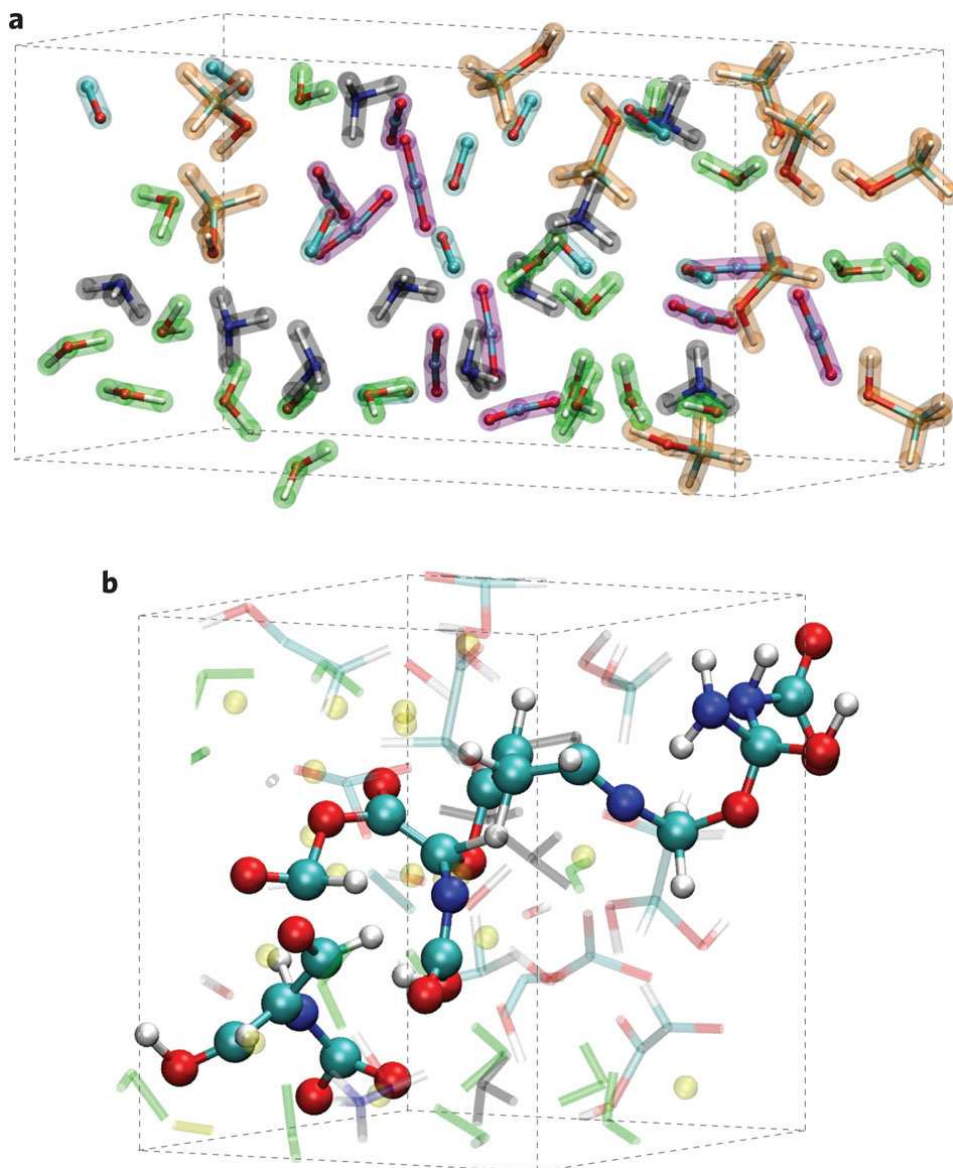


(forrás: P. Jenniskens, M. H. Shaddad, D. Numan, S. Elsir, A. M. Kudoda, M. E. Zolensky, L. Le, G. A. Robinson, J. M. Friedrich, D. Rumble, A. Steele, S. R. Chesley, A. Fitzsimmons, S. Duddy, H. H. Hsieh, G. Ramsay, P. G. Brown, W. N. Edwards, E. Tagliaferri, M. B. Boslough, R. E. Spalding, R. Dantowitz, M. Kozubal, P. Pravec, J. Borovicka, Z. Charvat, J. Vaubaillon, J. Kuiper, J. Albers¹, J. L. Bishop¹, R. L. Mancinelli¹, S. A. Sandford, S. N. Milam, M. Nuevo, S. P. Worden: The impact and recovery of asteroid 2008 TC₃, *Nature* 458, 485-488 (26 March 2009) | doi:10.1038/nature07920, www.nature.com/nature/journal/v458/n7237/abs/nature07920.html)



(forrás: A possible scenario for the genesis of asteroid 2008 TC3, after Addi Bischoff et al., 2010, *Meteoritics & Planetary Science* 45, Nr 10-11, pg. 1652, www.meteoritestudies.com/protected_ALMMS181.HTM)

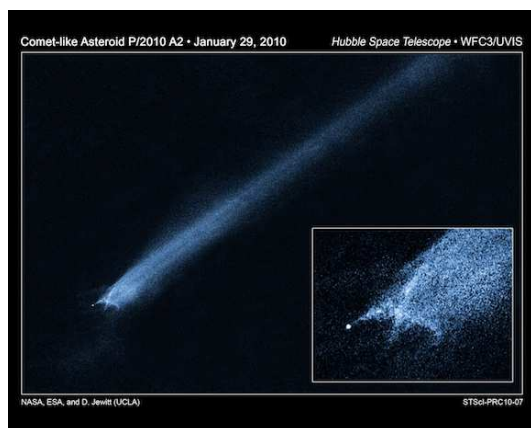
A meteorit szerkezetének és ásványainak vizsgálata alapján a kutatók megállapították, hogy a hullás előtt egy másik égitesttel ütközött, melynek során anyaguk 1000 Celsius-fokra hevült, és az eredetileg bennük lévő szerves molekulák lebomlottak, illetve grafittá alakultak. Ennek ellenére 19 különböző aminosavat találtak a meteoritban. Ezek egy része olyan túlélő lehet, amely valahogy megúsza a korábbi kataklizmát, és nem bomlott le. Azonban több, egymástól független amerikai kutatóintézetben végzett újabb vizsgálatok arra utalnak, hogy az aminosavak egy része a hőhatástól lebomlott molekula-töredékekből épült fel újra a meteorit belsejében, még hozzá viszonylag rövid idő alatt.



a,b At the initial conditions (a) and during shock compression at 9 km s^{-1} (47 GPa) (b). For all of our simulation snapshots, H_2O molecules are coloured green, NH_3 black, CO light blue, CO_2 purple and CH_3OH orange. For the atoms, oxygen is red, hydrogen is white, carbon is light blue and nitrogen is dark blue. In (b) the smaller size of the simulation cell results from the shock compression. For clarity we show only atomic sites for C–N bonded species (opaque) formed during shock compression. All other species (transparent) are shown by their bonds only, excluding H^+ ions, which are shown as yellow spheres. After shock compression, all of the CH_3OH and CO_2 are consumed. A small number of H_2O and NH_3 molecules are still observed, as well as a single CO molecule. Shock compression caused several exotic species to form, including the large carbon chain-like oligomer with several C–N bonds shown in the middle of the snapshot.

(forrás: Nir Goldman, Evan J. Reed, Laurence E. Fried, I.-F. William Kuo, Amitesh Maiti: Synthesis of glycine-containing complexes in impacts of comets on early Earth, Nature Chemistry 2, (2010) doi:10.1038/nchem.827, www.nature.com/nchem/journal/v2/n11/abs/nchem.827.htm)

A kezdeti körülmények (a) és kompressziós sokk alatt 9 km s^{-1} (47 GPa) (b). Szimulációs pillanatfelvételek, a H_2O molekulák zöld színűek, az NH_3 fekete, a CO világoskék, a CO_2 lila és a CH_3OH narancssárga (az oxigén piros, fehér, hidrogén, szén-és nitrogén-világoskék sötétkék).



A NASA Hubble Space Telescope felvételén két aszteroida frontális ütközése látható.

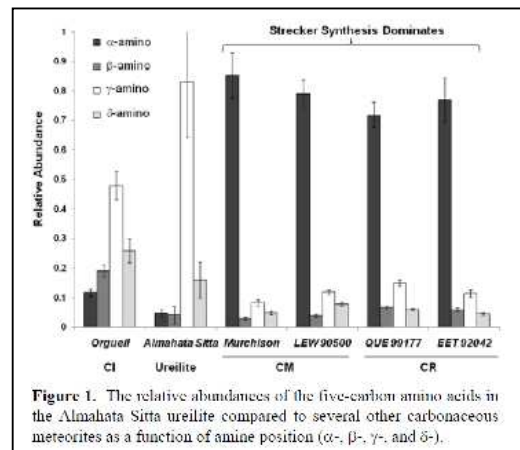
(Ötször gyorsabb, mint egy puszkagolyó, 3 mérföld másodpercenként).

(forrás: NASA, ESA, és D. Jewitt (UCLA)
<http://phys.org/news/2010-12-blocks-life-impossible.html>)

Utóbbi elgondolás abban különbözik a korábbi modellektől, hogy régebben úgy tartották, a meteoritok belsejében csak alacsony hőmérsékleten, a bennük keringő vizes oldatok révén keletkezhetnek aminosavak. Az új vizsgálat azonban arra utal, hogy egy ütközéses robbanást követően, akár magas hőmérsékleten, még gáz fázisban is újraformálódhatnak a szerves molekulák a hűlő anyagban, esetenként aminosavakat alkotva.

Amine Compound Detected	Almahata Sitta (2008 TC ₃)	
	Free (ppb)	Total (ppb)
D-aspartic acid	1.2 ± 0.2	3.0 ± 0.2
L-aspartic acid	1.4 ± 0.3	5.0 ± 1.5
D-glutamic acid	0.5 ± 0.1	3.5 ± 0.4
L-glutamic acid	0.9 ± 0.2	7.7 ± 0.7
Glycine	21 ± 1	69 ± 24
D-alanine	5.0 ± 0.2	11 ± 3
L-alanine	5.1 ± 0.2	11 ± 2
β-alanine	4.2 ± 0.7	17 ± 7
D,L-α-amino- <i>n</i> -butyric acid (α-ABA)	1.7 ± 0.1	5.0 ± 0.5
D-β-amino- <i>n</i> -butyric acid (D-β-ABA)	1.2 ± 0.2	4.5 ± 1.4
L-β-amino- <i>n</i> -butyric acid (L-β-ABA)	1.2 ± 0.8	4.7 ± 1.3
γ-amino- <i>n</i> -butyric acid (γ-ABA)	1.8 ± 0.3	12 ± 1
α-aminoisobutyric acid (α-AIB)	3.6 ± 1.0	7.1 ± 5.8
D,L-valine	1.7 ± 0.4	1.8 ± 0.6
D-norvaline	< 0.3	0.7 ± 0.1
L-norvaline	< 0.2	0.7 ± 0.1
D-isovaline	0.6 ± 0.1	1.3 ± 0.1
L-isovaline	0.7 ± 0.1	1.4 ± 0.1
ε-amino- <i>n</i> -caproic acid (EACA)	3.6 ± 1.8	< 4
ethanolamine (MEA)	19 ± 1	21 ± 1
methylamine (MA)	11 ± 1	13 ± 1
ethylamine (EA)	76 ± 5	105 ± 8
isopropylamine (IPA)	84 ± 10	149 ± 17

Table 1. Summary of the average blank-corrected amino acid and amine concentrations in the unhydrolyzed (free) and 6M HCl acid-hydrolyzed (total), hot-water extracts of the Almahata Sitta meteorite.



Ez a felismerés alátámasztja, hogy nem elhanyagolható szerves anyag mennyiséget eredményezhetett a „Kései Nagy Bombázás” idején a Földre hullott meteoritokból.

(forrás: Daniel P. Glavin, Andrew D. Aubrey, Michael P. Callahan, Jason P. Dworkin, Jamie E. Elsila, Eric T. Parker, Jeffrey L. Bada, Peter Jenniskens, Muawia H. Shaddad: „Extraterrestrial amino acids in the almahata sitta meteorite” *Meteoritics & Planetary Science* 45, Nr 10–11, 1695–1709 (2010) doi: 10.1111/j.1945-5100.2010.01094.x, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1945-5100.2010.01094.x/pdf>)

TABLE IV: Amino Acids in Living Bacteria Terrestrial Fossils and Carbonaceous Meteorites

Protein Amino Acids	Living Bacteria				Fossils		Carbonaceous Meteorites				
	<i>Microcystis</i>	<i>E. coli</i>	<i>Salm. pull</i>	<i>Salm. senf</i>	<i>Fly/Amber</i>	<i>Hadr osaur</i>	Murch. CM2	Murch. CM2	Murray CM2	Orgueil C11	Ivuna C11
	Wt %	Mol/ALA	Mol/ALA	Mol/ALA	Mol/GLY	Mol/GLY	Nmol/g	ppb	ppb	ppb	ppb
L-Alanine ALA	10.3	1.00	1.00	1.00	0.37	0.53	15.3	956	647	69	157
D-Alanine ALA	-	-	-	-			-	720	617	69	82
Arginine ARG	4.4	0.51	0.48	0.52	-	-	-	-	-	-	-
L-Aspartic Acid ASP	12.0	1.01	1.00	1.00	0.23	0.77	8.5	342	65	54	146
D-Aspartic Acid ASP	-	-	-	-			-	100	51	28	30
L-Glutamic acid GLU	12.3	1.14	1.11	1.14	0.57	0.67	18.2	801	261	61	372
D-Glutamic Acid GLU	-	-	-	-			-	537	135	15	8
Glycine GLY	8.7	0.93	1.02	0.96	1.00	1.00	45.8	2919	2110	707	617
Histidine HIS	1.0	0.18	0.21	0.19	-	-	-	-	-	-	-
Isoleucine ILEU	5.0	0.55	0.51	0.55	-	-	-	-	-	-	-
Leucine LEU	8.2	0.83	0.78	0.78	-	-	1.9	-	-	-	-
Lysine LYS	4.4	0.56	0.59	0.56	-	-	-	-	-	-	-
Methionine MET	1.9	0.31	0.37	0.23	-	-	-	-	-	-	-
Phenylalanine PHE	3.8	0.34	0.33	0.33	-	-	-	-	-	-	-
Proline PRO	4.9	0.25	0.26	0.28	-	-	13.5	-	-	-	-
Serine SER	6.6	0.41	0.48	0.43	0.56	0.91	4.7	-	-	-	-
Threonine THR	6.6	0.48	0.50	0.48	-	0.41	-	-	-	-	-
Tryptophan TRY	-	0.05	0.05	0.04	-	-	-	-	-	-	-
Tyrosine TYR	3.4	0.12	0.15	0.08	-	-	-	-	-	-	-
Valine VAL	6.5	0.73	0.66	0.75	-	0.24	8.6	-	-	-	-
Non-Protein Amino Acids											
a-Aminoisobutyric AIB	-	-	-	-				2,901	1,968	39	46
D,L-Isovaline IVA	-	-	-	-							

(forrás: Richard B. Hoover: Fossils of Cyanobacteria in C11 Carbonaceous Meteorites, Journal of Cosmology, 2011, Vol 13, NASA/Marshall Space Flight Center, <http://journalofcosmology.com/Life102.html>)

A táblázat összehasonlítást ad az aminosavak előfordulási arányára az élő baktériumokban, fossziliákban, és szenes kondritos meteorokban.

A legnagyobb mennyiségben (tömeg%)-amino-savak a cianobaktérium *Microcystis* sp.-ben vannak GLU, ASP, ALA, LEU GLY, THR, SER, VAL, PRO ILEU. A GLY fehérje aminosav pedig legnagyobb mennyiségben a Murchison (CM2), Murray (CM2), Orgueil (C11) és Ivuna (C11) széntartalmú meteoritokban fordul elő, és ezt követi az ALA, és az ASP GLU. Azonban ezekben a széntartalmú meteoritokban, a LEU, THR, SER, VAL, ILEU és PRO, fehérje aminosavak, melyeket gazdagon tartalmaz a Földön az élet, vagy teljesen hiányoznak, vagy csak nyomokban észlelhetők. A hiányzó fehérje aminosavak meggyőző bizonyíték arra, hogy a C11 és CM2 széntartalmú meteoritok a belső része nem szennyezett modern cianobaktériumokkal, pollennel, vagy más mikrobiológiai szennyeződésekkel.

Nagy tehát a valószínűsége annak, hogy a „Kései Nagy Bombázás” alatt a Földre érkezett aminosavak nem voltak minden esetben racém elegyek, hanem némi L-enantiomer-felesleggel rendelkeztek. Ezek szerint elképzelhető, hogy a paritássértő gyenge semleges áram (amely az atomokban lévő elektronok valamint az elektronok és neutronok között lép fel) mellett még egy másik, még hozzá kozmikus eredetű külső hatás is az L-aminosav alapú élet kialakulásának kedvezett.

A paritássértő gyenge semleges áram kölcsönhatásnak a legfeltűnőbb következménye az, hogy – meglepő módon – az elektromágneses sugárzásokkal szemben (tehát a fényel szemben is) az atomok királisak, vagyis optikailag aktívak! Elméleti számítások szerint ugyan ez az optikai aktivitás rendkívül csekély mértékű, de az atom rendszámának hatodik hatványával növekszik. Valóban, a legnehezebb elemek esetében a jelenséget kísérletileg is sikerült igazolni: ólomgőz a lineárisan polározott fényt (1500 K, 1 m úthossz) $-4 \cdot 10^{-5}$ fokkal, bizmutgőz (1500 K, 40 cm úthossz) $-5 \cdot 10^{-5}$ fokkal (vagyis balra) forgatta el. Ez az atomi kiralitás tehát valóban igen kismértékű, de mérhető és el kell fogadnunk azt, hogy ezek szerint minden atom és molekula rendelkezik kisfokú kiralitással. Ennek a ténynek következménye, hogy valamely királis szerkezetű szerves molekulának, tehát pl. egy L-aminosavnak az enantiomerje, vagyis a D-aminosav, annak nem tökéletes tükörképe. Mert igaz ugyan, hogy a térbeli szerkezetet tekintve a kettő tükörképe egymásnak, de ugyanakkor ugyanolyan kiralitású atomokból épülnek fel, az atomok tehát egymásnak nem tükörképei. Amennyiben viszont az L- és a D-aminosav egymásnak nem pontosan tükörképe, akkor a két enantiomer energiataralma sem lehet pontosan egyenlő! Ezt a rendkívül kis energiakülönbséget, amit paritássértő energiakülönbségnek neveznek (DE_{ps}). Ennek következtében a racemizálódási reakció egyensúlyi állandója nem pontosan 1, hanem annál kicsit nagyobb, $1+2 \cdot 10^{-17}$, vagyis 1,000 000 000 000 000 02. Molekuláris szinten ez azt jelenti, hogy az egyensúlyi elegyben mólonként átlagosan kb. 1 millióval, grammonként kb. 10000-rel több L-aminosav-molekula van, mint D-aminosav-molekula. Az L-enantiomerek tehát kissé stabilisabbak, mint a D-enantiomerek.

A paritássértő gyenge semleges áram – igaz, hogy csak igen csekély mértékű, de – állandó felesleget biztosított az L-aminosav-enantiomerekből. Ez, hozzáadódva a racém elegy összetételének termikus ingadozása révén megjelenő „véletlen” effektusokhoz, előbb-utóbb mégis elindíthatta az L-enantiomer kiválasztódását. Ha pedig a kiralitásfokozó mechanizmus hatékonyabb volt, mint a racemizálódás, akkor a homokiralitás ki tudott alakulni.

A biomolekulák homokiralitásának eredetére „végleges” válasz egyelőre nincs.

A „Kései Nagy Bombázás” vége felé lehetett egy olyan időszak, amikor egyrészt az Ősföld viszonyai már lehetővé tették a bonyolultabb szerves molekulák kialakulását (már volt folyékony víz), de ugyanakkor még elég sűrűn érkeztek a világrűrből a becsapódó aszteroidákkal további aminosavak. Ezek az aminosavak valószínűleg nem voltak tökéletesen racém elegyek, hanem több volt bennük az L-enantiomer, így ezekből a földi L-aminosav-készlet állandóan újabb utánpótlást kaphatott.

Ez azt eredményezhette, hogy egy-egy becsapódás után a gyors racemizálódás ellenére is újra meg újra a paritásértés által biztosítottnál is nagyobb feleslegben volt jelen az L-enantiomer és a homokiralitáshoz vezető kiválasztódás egy ilyen „pillanatban” tudott hatékonyan elindulni.

Ez a magyarázat nem irreális, mert összhangban van azzal, hogy az élet nyomai már közvetlenül a „Kései Nagy Bombázás” utáni időszakban is kimutathatók – írja Markó László a „Miért „balkezesek” a fehérjéket felépítő aminosavak?” (Természet Világa, 130. évf. 2. sz. 1999.) című cikkében.

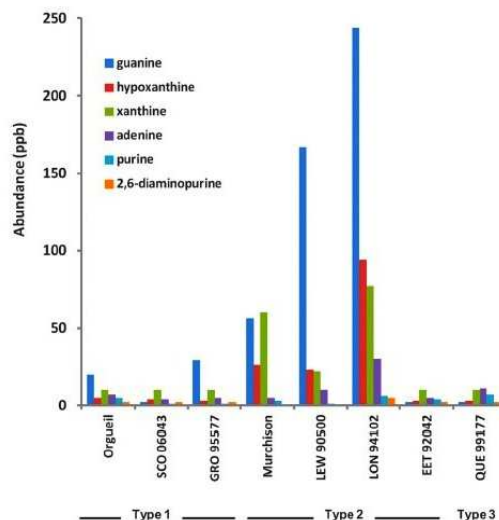
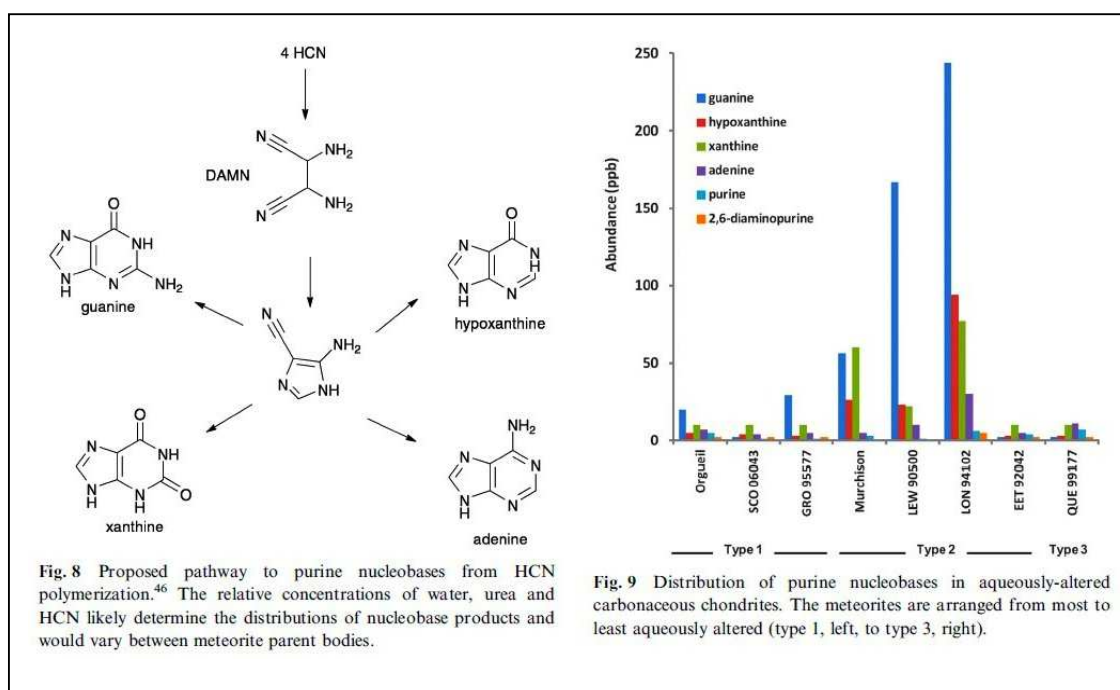
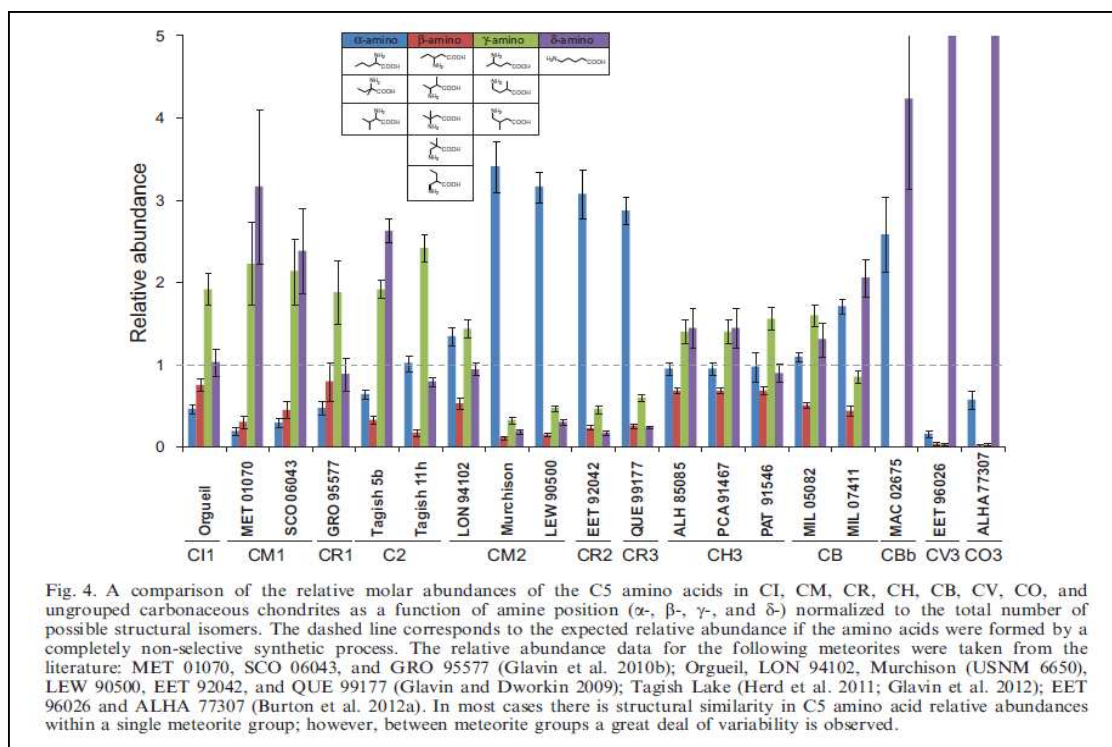


Fig. 9 Distribution of purine nucleobases in aqueously-altered carbonaceous chondrites. The meteorites are arranged from most to least aqueously altered (type 1, left, to type 3, right).

(forrás: Aaron S. Burton, Jennifer C. Stern, Jamie E. Elsila, Daniel P. Glavinb, Jason P. Dworkinb: Understanding prebiotic chemistry through the analysis of extraterrestrial amino acids and nucleobases in meteorites, Chem. Soc. Rev., 2012,41, 5459-5472, DOI: 10.1039/C2CS35109A, <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2012/cs/c2cs35109a>, és <http://science.gsfc.nasa.gov/691/analytical/PDF/BurtonReview2012.pdf>)



(forrás: Aaron S. Burton, Jamie E. Elsila, Jason E. Hein, Daniel P. Glavin, Jason P. Dworkin: Extraterrestrial amino acids identified in metal-rich CH and CB carbonaceous chondrites from Antarctica, *Meteoritics & Planetary Science* 1–13 (2013), doi: 10.1111/maps.12063, és www.researchgate.net/publication/235736699_Extraterrestrial_amino_acids_identified_in_metal-rich_CH_and_CB_carbonaceous_chondrites_from_Antarctica/file/9fcfd512fd0d4e4d6d.pdf)

Bár a jobbkezes aminosavakon alapuló élet is feltehetően jól működne, nem lehetséges a keverésük, magyarázta Jason Dworkin, a NASA Goddard Space Flight Center kutatója, a *Proceeding of National Academy of Sciences (PNAS)* 2009. március 16-i számában megjelent tanulmány társszerzője.

Mivel az élet nem működik jobb- és balkezes aminosavak keverékeként, felmerül a kérdés, hogy mi alapján választott az élet, miért részesíti előnyben a balkezes aminosavakat?

A Goddard munkatársai elemezték több szenes kondrit mintáit, melyek viszonylag nagy mennyiségű vizet is tartalmaztak, egy ritka aminosav, az izovalin után kutattak.

Minden aminosav képes balkezesről jobbkezesre váltani, illetve ugyanennek a fordítottja is igaz. A váltást sugárzás vagy hőmérséklet által felerősített kémiai reakciók idézik elő. Az izovalin rendelkezik azzal a különleges képességgel, hogy évmilliárdokon át megtartsa eredeti elrendezését.

Talán pontosan ezért használja rendkívül ritkán a földi élet, tehát jelenléte a meteoritokban igen kis valószínűséggel lehet földi szennyeződés eredménye.

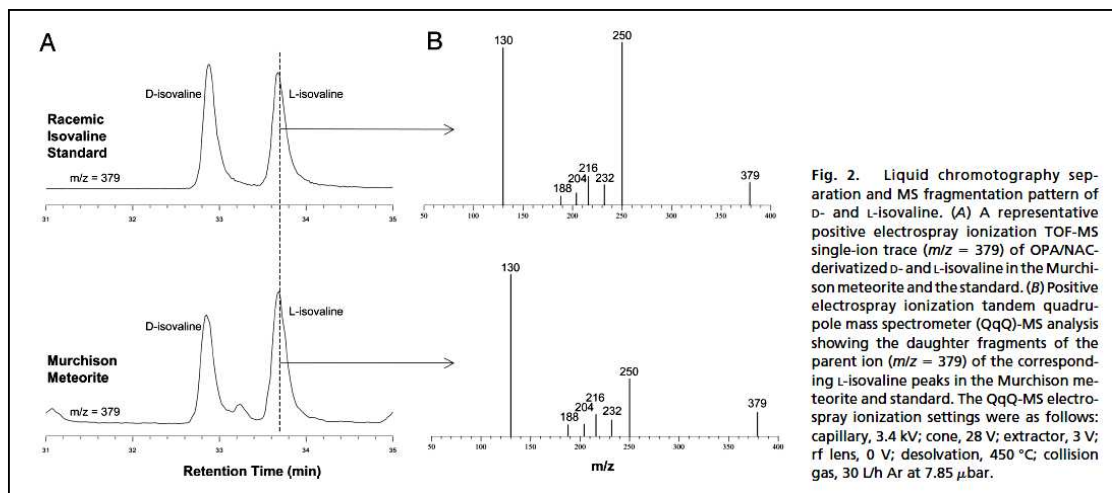
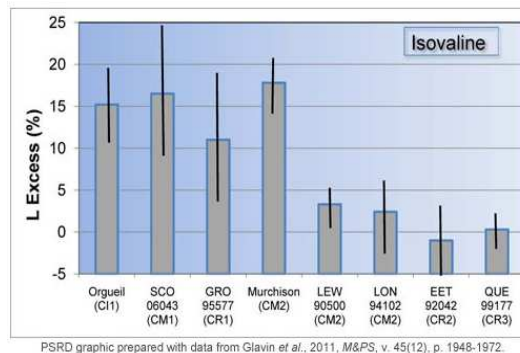


Fig. 2. Liquid chromatography separation and MS fragmentation pattern of D- and L-isovaline. (A) A representative positive electrospray ionization TOF-MS single-ion trace ($m/z = 379$) of OPA/NAC-derivatized D- and L-isovaline in the Murchison meteorite and the standard. (B) Positive electrospray ionization tandem quadrupole mass spectrometer (QqQ)-MS analysis showing the daughter fragments of the parent ion ($m/z = 379$) of the corresponding L-isovaline peaks in the Murchison meteorite and standard. The QqQ-MS electrospray ionization settings were as follows: capillary, 3.4 kV; cone, 28 V; extractor, 3 V; rf lens, 0 V; desolvation, 450 °C; collision gas, 30 L/h Ar at 7.85 μ bar.

(forrás: Glavin, D.P., Dworkin, J.P.: Enrichment of the amino acid L-isovaline by aqueous alteration on CI and CM meteorite parent bodies, *Proceeding of National Academy of Sciences (PNAS)*, USA 106, 5487-5492. <http://science.gsfc.nasa.gov/691/analytical/PDF/GlavinDworkin2009.pdf>)

Sample	Classification	Isovaline (% ee)
ALH 85085	CH3	20.5 \pm 7.1 ^a
Orgueil	CI1	15.2 \pm 4.0 ^b
SCO 06043	CM1	16.5 \pm 7.5 ^c
GRO 95577	CR1	11.0 \pm 7.2 ^c
Murchison	CM2	17.2–18.5 ^c
Murchison	CM2	8.4 ^d
Murchison	CM2	0–15.2 ^c
MIL 07411	CB	14 \pm 4 ^a
PCA 91467	CH3	13 \pm 3 ^a
MIL 05082	CB	9.7 \pm 3.0 ^a
Murray	CM2	6.0 ^f
PAT 91546	CH3	5 \pm 2 ^a
LEW 90500	CM2	3.3 \pm 1.8 ^b
QUE 99177	CR3	0.3 \pm 2.1 ^b
Tagish Lake 5b	C2	7.0+/-1.9 ^{g,h}

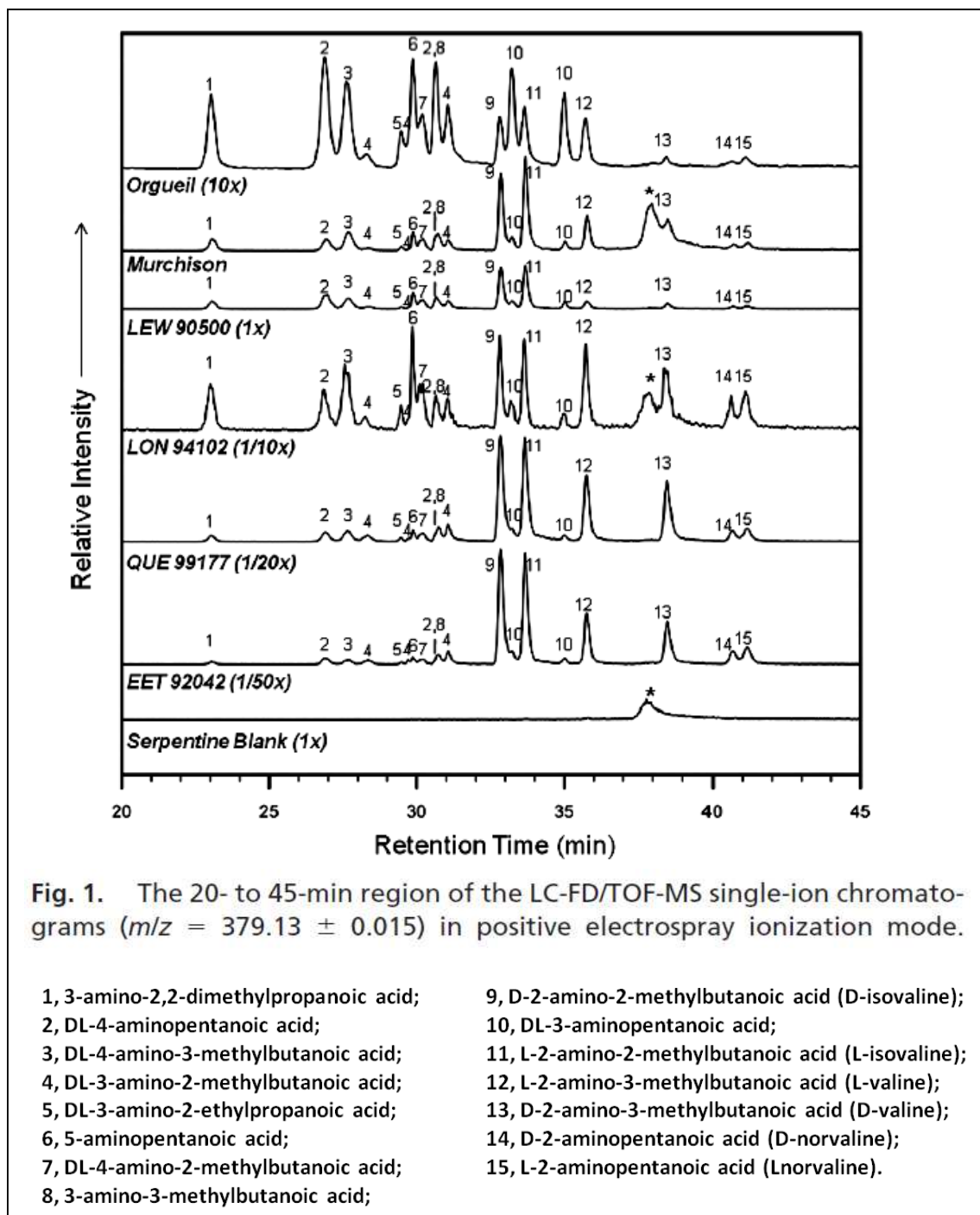
^aThis study; ^bGlavin and Dworkin (2009); ^cGlavin et al. (2010b); ^dCronin and Pizzarello (1997); ^ePizzarello et al (2003); ^fPizzarello and Cronin (2000); ^gHerd et al. (2011); ^hGlavin et al. (2012).



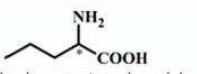
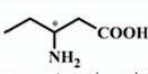
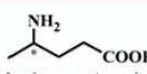
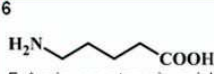
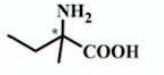
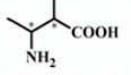
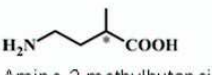
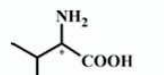
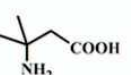
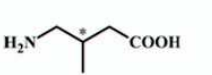
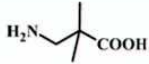
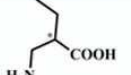
(forrás: G. Jeffrey Taylor: *Wet, Carbonaceous Asteroids: Altering Minerals, Changing Amino Acids*, Planetary Science Research Discoveries, www.psrhawaii.edu/April11/amino_acids.html, és www.psrhawaii.edu/April11/PSR-D-amino_acids.pdf)

(forrás: Aaron S. Burton, Jamie E. Elsila, Jason E. Hein, Daniel P. Glavin, Jason P. Dworkin: *Extraterrestrial amino acids identified in metal-rich CH and CB carbonaceous chondrites from Antarctica*, *Meteoritics & Planetary Science* 1–13 (2013), doi: 10.1111/maps.12063, és www.researchgate.net/publication/235736699_Extraterrestrial_amino_acids_identified_in_metal-rich_CH_and_CB_carbonaceous_chondrites_from_Antarctica/file/9fcfd512fd0d4e4d6d.pdf)

A vizsgálatok kimutatták, hogy három szenes meteoritban Orgueil CI, Murchison CM, LEW 90500 CM, is nagyobb a balkezes izovalin változatok száma a jobbkezeseknél.



(forrás: Glavin, D.P., Dworkin, J.P.: Enrichment of the amino acid L-isovaline by aqueous alteration on CI and CM meteorite parent bodies, Proceeding of National Academy of Sciences (PNAS), USA 106, 5487-5492. <http://science.gsfc.nasa.gov/691/analytical/PDF/GlavinDworkin2009.pdf>)

	α -amino isomer	β -amino isomer	γ -amino isomer	δ -amino isomer
n-	14 (D) 15 (L)  2-Aminopentanoic acid (norvaline; Nva)	10  3-Aminopentanoic acid (3-apa)	2  4-Aminopentanoic acid (4-apa)	6  5-Aminopentanoic acid (5-apa)
sec-	9 (D) 11 (L)  2-Amino-2-methylbutanoic acid (isovaline; Iva)	4  3-Amino-2-methylbutanoic acid (3-a-2-mba & allo-3-a-2-mba)	7  4-Amino-2-methylbutanoic acid (4-a-2-mba)	
iso-	13 (D) 12 (L)  2-Amino-3-methylbutanoic acid (valine; Val)	8  3-Amino-3-methylbutanoic acid (3-a-3-mba)	3  4-Amino-3-methylbutanoic acid (4-a-3-mba)	
neo-		1  3-Amino-2,2-dimethylpropanoic acid (3-a-2,2-dmpa)		
sec-		5  3-Amino-2-ethylpropanoic acid (3-a-2-epa)		

* = chiral carbon

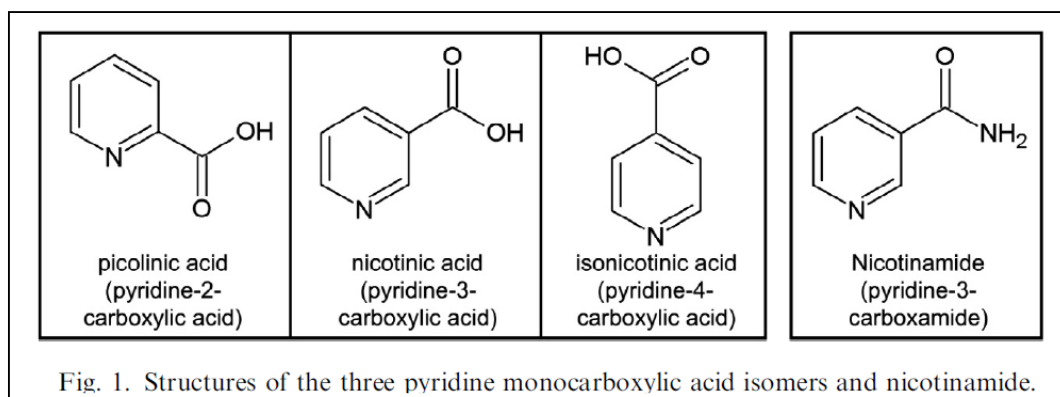
(<http://science.gsfc.nasa.gov/691/analytical/PDF/GlavinDworkin2009.pdf>)

„Azzal, hogy több meteorit típusban is nagyobb számban találtunk balkezes izovalint, alátámaszthatjuk azt az elméletet, miszerint az aszteroidák és üstökösök által a korai Földre hozott aminosavak járultak hozzá a kizárólag balkezes élet elterjedéséhez bolygónkon” - mondta Daniel Glavin, a kutatás vezetője. „Az általunk tanulmányozott meteoritok még a Föld kialakulása előtti időkből származnak. Meggyőződésünk, hogy ugyanaz a folyamat, ami a balkezes izovalin többletet létrehozta, a meteoritokban található többi aminosavnál is érvényesülhetett, azonban a balkezes változatok túlsúlya az eltelt idő alatt elenyészett.”

A felfedezés igazolja és kiszélesíti John Cronin és Sandra Pizzarello egy évtizeddel ezelőtti kutatását, ami elsőként jelezte a balkezes aminosavak túlsúlyát a Murchinson (CM2 típusú) szenes kondrit meteoritban.

A csapat egy sémát is talált a többletre. A különböző meteorit-típusok különböző mennyiségű vízzel rendelkeznek, ami a bennük található agyagokból és vízhordozó ásványokból állapítható meg. A kutatók észlelése szerint a nagyobb vízmennyiséget tartalmazó meteoritokban nagyobb a balkezes izovalin aránya, vagyis elképzelhető, hogy a víz erősíti fel a balkezes aminosav molekulák jelenlétét. „Ez arra utal, hogy a balkezes aminosav többlet létrejöttének valamilyen köze lehet a víz munkájához” - magyarázta Dworkin.

A NASA Goddard Space Flight Center asztrobiológiai laboratóriumában Karen Smith (Pennsylvania State University) és munkatársai 8 különböző (ALH 85013, DOM 03183, DOM 08003, EET 96016, LAP 02333, LAP 02336, LEW 85311, WIS 91600), szénben gazdag meteoritot (CM-2 szenes kondritok) vizsgáltak, melyekben a B₃-vitamin szintje 30-tól 600 ppb (ppb = parts per billion = 0,000000001, nagyjából 1 µg/l) értékig terjedt. A B₃-vitamin mellett találtak más piridinkarbonsav molekulákat, és először piridindikarbonsavat is.

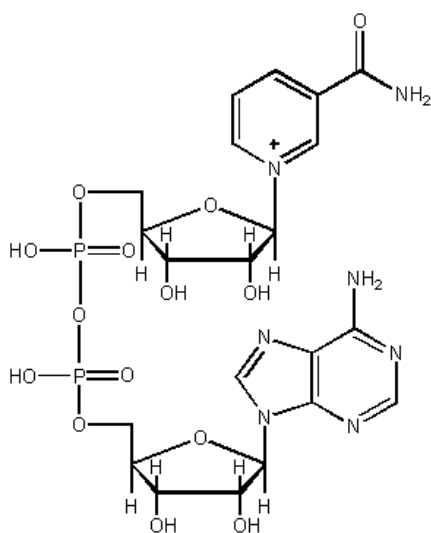


(forrás: Karen E. Smith, Michael P. Callahan, Perry A. Gerakines, Jason P. Dworkin, Christopher H. House. Investigation of Pyridine Carboxylic Acids in CM2 Carbonaceous Chondrites: Potential Precursor Molecules for Ancient Coenzymes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2014; DOI: 10.1016/j.gca.2014.04.001, http://science.gsfc.nasa.gov/691/cosmicice/reprints/Nictonic_acid_GCA_2014.pdf és Vitamin B₃ might have been made in space, delivered to Earth by meteorites, NASA/Goddard Space Flight Center, 2014.április 17., <http://www.sciencedaily.com/releases/2014/04/140417191742.htm>)

Smith szerint kevesebb B₃-vitamin (és más piridinkarbonsav) található azokban a meteoritokban, amelyek vizes aszteroidákból származnak. Elképzelhető, hogy ezek a molekulák a vízzel történt hosszabb érintkezés következtében semmisültek meg. Smith és kollégái olyan előzetes laboratóriumi kísérleteket is végeztek, melyekben a csillagközi térben fennálló feltételeket szimulálták, és kimutatták, hogy a B₃-vitamin és más piridinkarbonsav molekulák is szintetizálódhatnak jég szemcséken. A Smith által vezetett kutatócsoport szerint a meteoritjaikban talált B₃-vitamin és egyéb molekulák esetében kizárható a földi (biológiai) eredet. Az egyik ok, hogy a B₃-vitamint szerkezeti izomerjeivel (ugyanolyan kémiai összetételű molekulák, de az atomok eltérő sorrendben kapcsolódnak) együtt találták. Ezek a molekulák azonban az élet szempontjából irrelevánsak. Ha a B₃-vitamin szennyeződés lett volna, akkor csak a B₃-vitamint találhatták volna meg a mintákban.

A másik, hogy a meteoritokban azonosított B₃-vitamin mennyisége összefügg azzal, hogy az aszteroida, amelyből származnak, milyen módon változott meg a víz hatására. Ez a korreláció pedig nagyon valószínűtlen lenne, ha a vitamin földi szennyeződésből eredne.

A nikotinsav („International Nonproprietary Name” INN elnevezés: niacin, valamint az „International Union of Pure and Applied Chemistry” IUPAC-azonosító: pyridine-3-carboxylic acid, nicotinic acid) vagy B₃-vitamin egy olyan vízben oldódó vitamin, melynek jelentős szerepe van a sejtek energia-háztartásában és a DNS-lánc kijavításában.

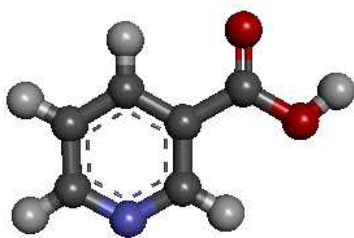


Továbbá fontos szerepet játszik a NAD (nikotinamid-adenin-dinukleotid, C₂₁H₂₇N₇O₁₄P₂) szintetizálásában, (A sejtek a NAD⁺-ot a B₃-vitamin egyik származékából, a nikotinamidból szintetizálják.

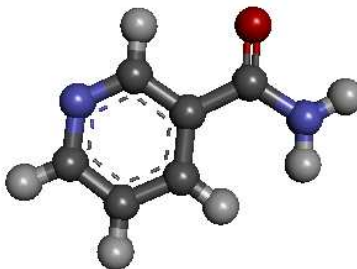
A nikotinamid egy ribóz és egy ADP kapcsolódásával alakul NAD⁺-dá.), ami viszont alapvető jelentőséggel bír az anyagcserében, és valószínűleg nagyon korán megjelent.

(forrás: <http://hu.wikipedia.org/wiki/Nikotinamid-adenin-dinukleotid>)

A nikotinamid (C₆H₆N₂O, másik nevén niacinamid vagy Vitamin PP, vagy 3-pyridinecarboxamide), a nicotinic acid (C₆H₅NO₂) amidja.



Nicotinic acid



Nikotinamid

(forrás: <http://www.e-chembook.eu/cs/heterocyklick-e-slouceniny>)

2001-ben Sandra Pizzarello (Arizona State University) a kanadai Tagish-tó (British Columbia) mellett talált meteoritban szintén azonosította a B₃-vitamint más piridinkarbonsav molekulák mellett.

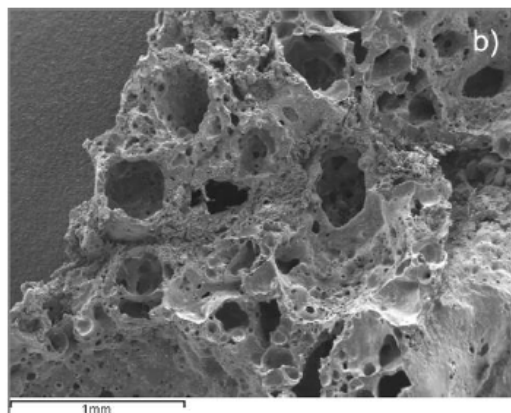
Az új eredmény támogatja azt az elképzelést, miszerint a földi élet kialakulásához szükséges alapvető molekulák a világűrben keletkezhetnek, és üstökösök, illetve meteoritok szállíthatták azokat az ősi Földre.

2012. decemberében 29-én Sri Lankán egy meteorit izzó tűzgolyóként jelent meg és hullott le a szigetország Polonnaruwa City nevű városkája közelében.



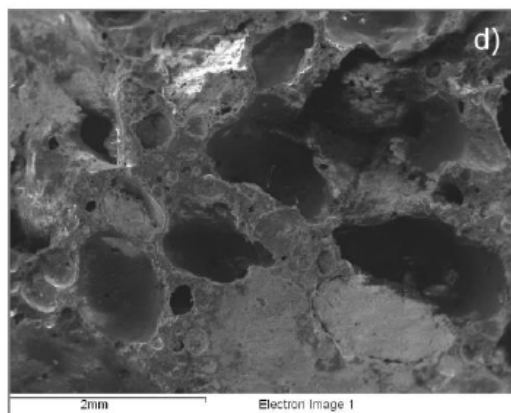
(forrás: <http://www.panspermia.org/whatsnew73.htm#20130414>)

Polonnaruwa meteorit töredékek. Az első képen a meteoritdarab alsó szélén látható nagyobb sötét fúziós kéreg.



(forrás: <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2266435/Does-rock-prove-life-outer-space-Controversial-scientist-claims-fossils-meteor-fragment.html> és <http://www.panspermia.org/walliseta127aug2013.pdf>)

SEM elektron mikroszkóp képek:
a) Aralagonwila (Polonnaruwa) minta P166/001, és b) Ratkinda minta M224/001.



A Journal of Cosmology 2013. március 4-ei számában (Vol.22, No.1, <http://journalofcosmology.com/JOC22/Paper22%281a%29.pdf>) megjelent tanulmány „Incidence of low density meteoroids of the polonnaruwa-type” szerzői N. C. Wickramasinghe, J. Wallis, D.H. Wallis, M.K. Wallis, N. Miyake, S.G. Coulson, Carl H. Gibson, J.T. Wickramasinghe, A. Samaranayake, K. Wickramaratne, Richard B. Hoover a Pollonnaruwa mellett talált meteorit darabkákat a Taurid meteorrajból származó töredékként azonosították. 2009. január 17.-én a dániai Maribor közelében, feltételezve szintén a Taurid meteorrajból hullott meteorit (Haack et al.65, 2011).

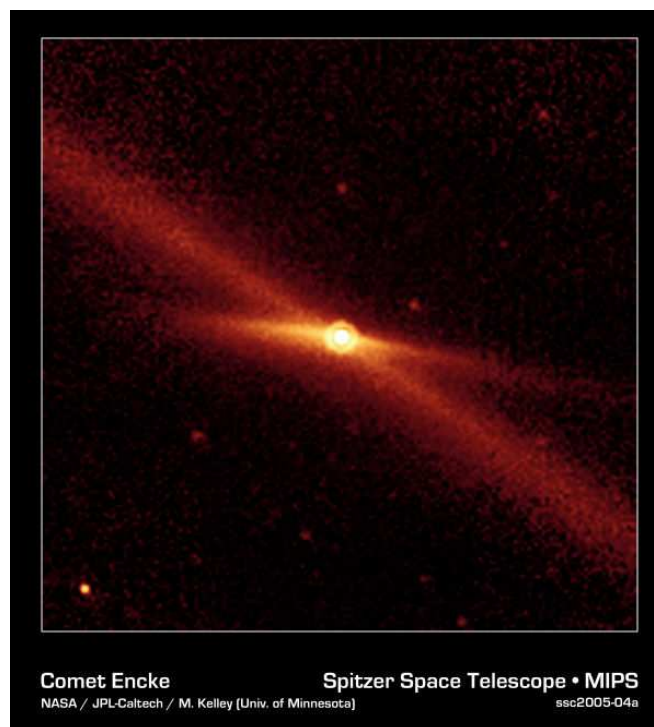


Taurid meteorraj az 2P/Encke üstökösről leszakadt darabok. Az Encke üstökös több mint 50 megfigyeléséről készült feljegyzés. Egyike a legrövidebb keringési periódusú üstökösöknek keringési periódusa 3,3 év, és a napot 4 CSE-re (csillagászati egység) közelíti meg.

(forrás: Hiroyuki Iida of Toyama, Japan, 2005. október 28., http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2005/03nov_taurids/)

2007. április 20.-án a NASA STEREO-A (Solar Terrestrial Relations Observatory) napkutató szondája megfigyelte az Encke üstökös ioncsóvjának leszakadását. Ez volt az első eset hogy űreszközzel sikerült a folyamatot megörökíteni.

(forrás: NASA/JPL-Caltech/M. Kelly (University of Minnesota), <http://thewatchers.adorraeli.com/2012/11/05/taurids-earth-entering-debris-comet-encke/>)

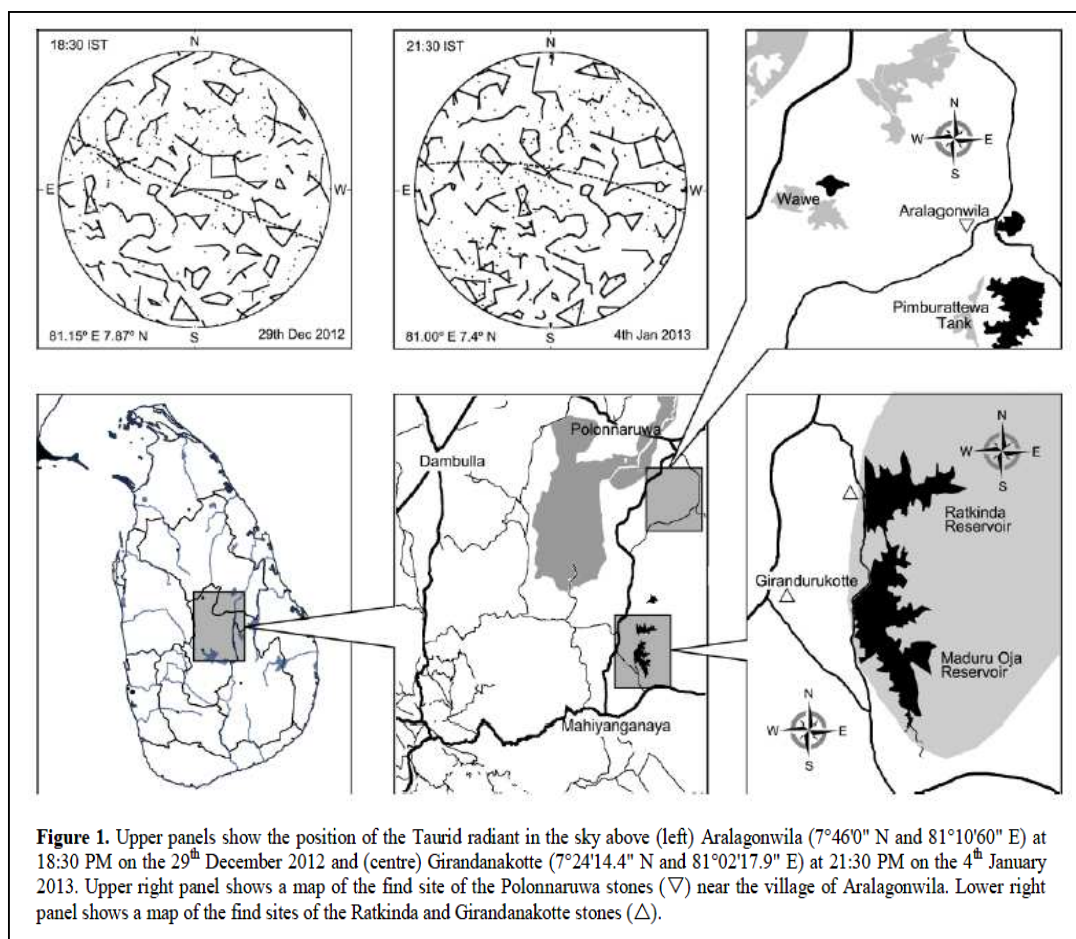


Comet Encke

NASA / JPL-Caltech / M. Kelly (Univ. of Minnesota)

Spitzer Space Telescope • MIPS

ssc2005-04a

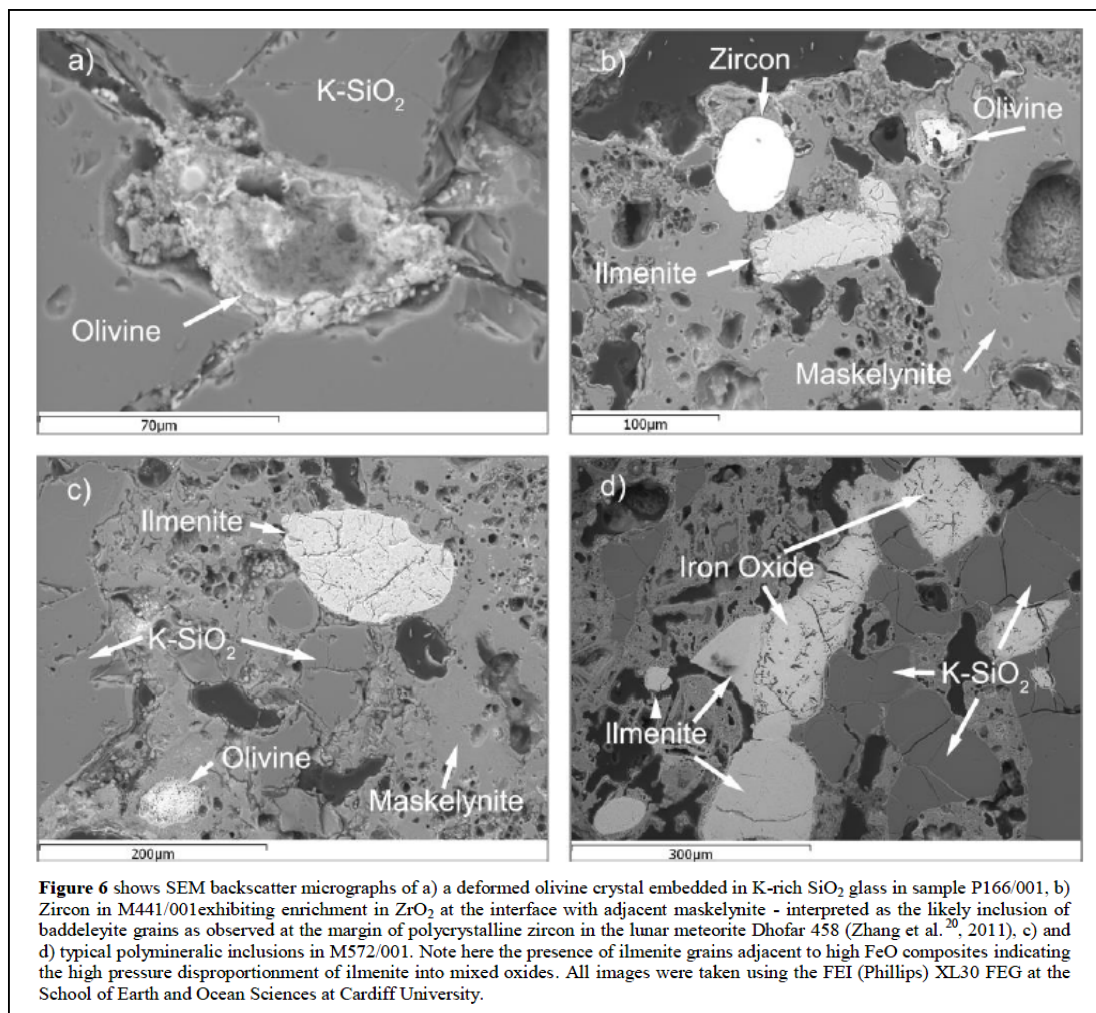


(forrás: Jamie Wallis, N. C. Wickramasinghe, Daryl H. Wallis, Nori Miyake, M.K. Wallis, Richard B. Hoover, Anil Samaranayake, Keerthi Wickramaratne, Anthony Oldroyd: Physical, Chemical and Mineral Properties of the Polonnaruwa Stones, <http://www.panspermia.org/wallisetal27aug2013.pdf>)

A légkörben el nem égett darabjait összegyűjtötték, majd átadták a Földtudományi Egyetemnek, ahol az elektronmikroszkópos vizsgálatok során a belsejében baktérium és növényi fossziliákat mutatta ki.

A meteorit hullások területén talált, vizsgálatához kiválasztott kővek, az Aralagonwila (Polonnaruwa) minták (1.591g) P159/001-01 és (1.661g) P166/001, és a Ratkinda minta (2.247g) M224/001, valamint a Girandanakotte minták (572.162g) M572/001 és (44.127g) M441/001.

Chandra Wickramasinghe brit professzor, a buckinghami egyetem Asztrobiológiai Központjának az igazgatója a kőületen végzett vizsgálatok alapján annak életkorát mintegy 3800 millió évesre teszi, ami nagyjából megegyezik azzal időponttal, amikor a tudomány jelenlegi állásponjtja szerint az élet kialakulhatott a Földön.

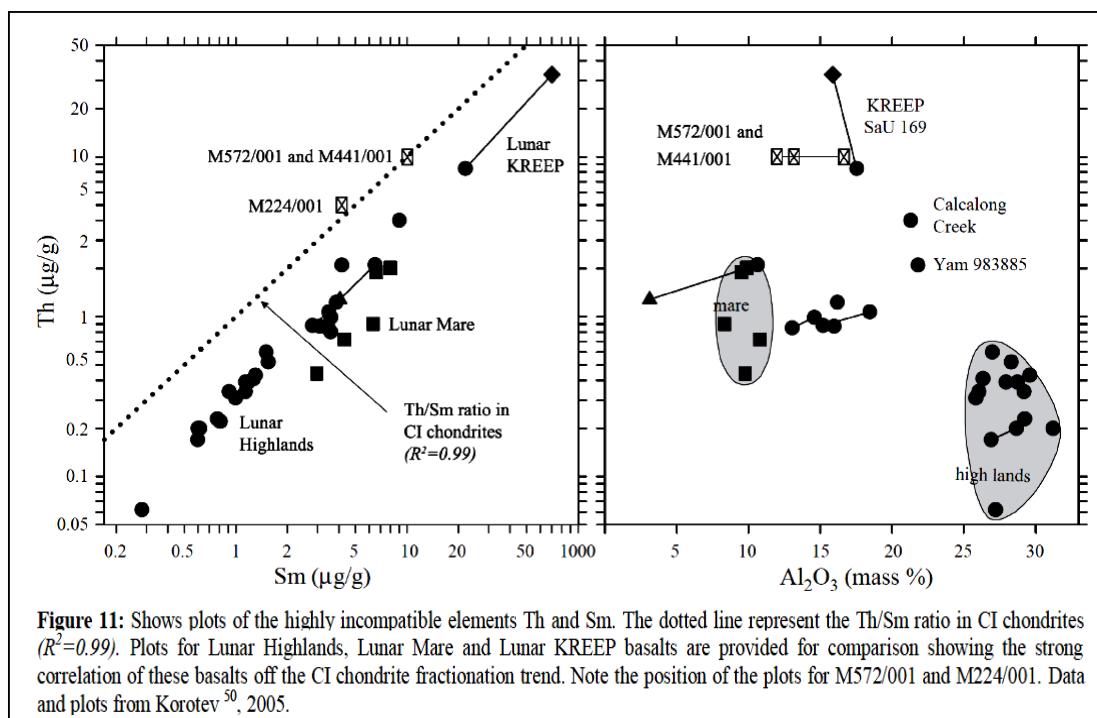


(forrás: <http://www.panspermia.org/wallisetal27aug2013.pdf>)

SEM visszazort elektron mikrográfok: a) P166/001, b) M441/001, c) és d) M572/001 mintákról.

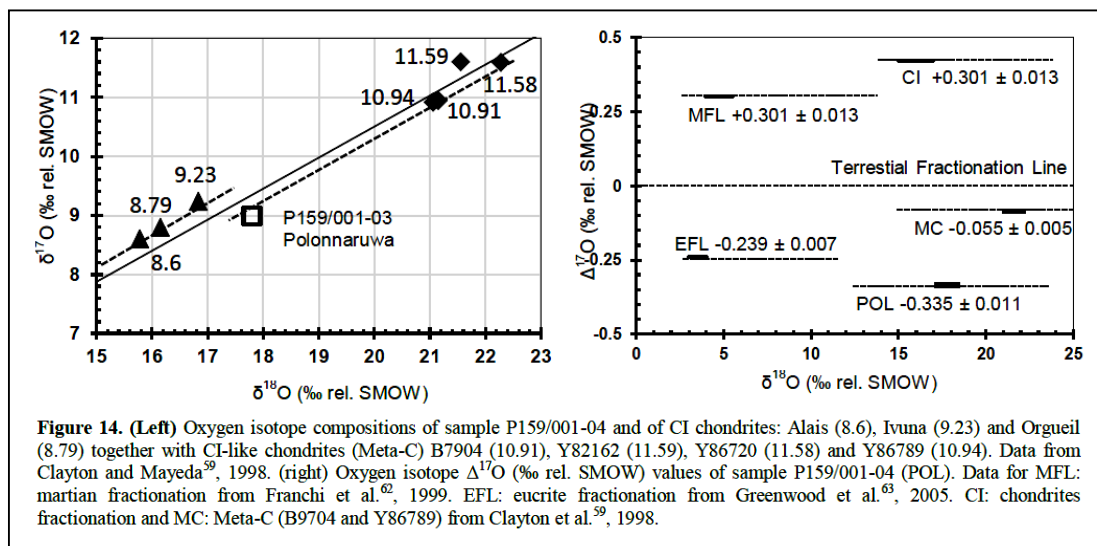
A Polonnaruwa meteorit darabokról adatok, besorolási információk a nemzetközi meteorit adatbázisokban ban (például: The Meteoritical Society, International Society for Meteoritics and Planetary Science, Lunar and Planetary Institute, Meteoritical Bulletin Database, www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php, vagy a Encyclopedia of Meteorite (EoM) Database www.encyclopedia-of-meteorites.com/meteorites.aspx) nem található.

A Wikipedia Phil Plait a „Slate’s Bad Astronomy blog” írójára hivatkozva - aki közismerten skeptikusan fogadja a földön kívüli élet nyomainak eddigi bizonyítékait - a meteorit típusát „Alleged” állítólagosnak minősíti („No, Diatoms Have Not Been Found in a Meteorite”. 15 January 2013., http://www.slate.com/blogs/bad_astronomy/2013/01/15/life_in_a_meteorite_claims_by_n_c_wickramasinghe_of_diatoms_in_a_meteorite.html).



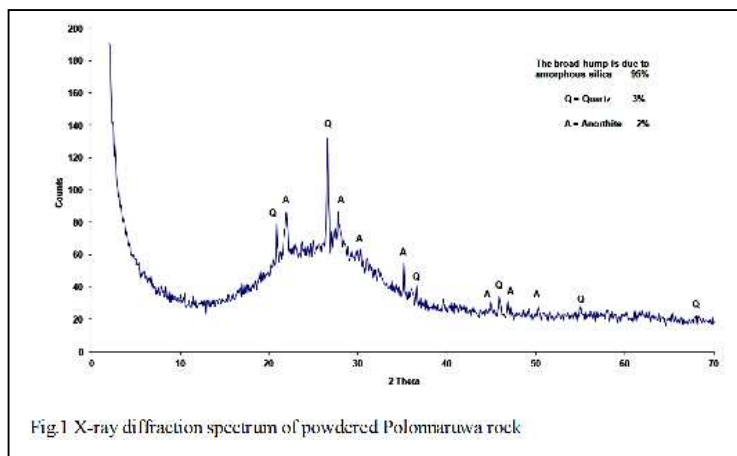
(forrás: <http://www.panspermia.org/wallisetal27aug2013.pdf>)

Az eddigi vizsgálatok az mutatják, hogy Polonnaruwa meteorit a szenes kondrotos meteoritok csoportjához közelálló, de egy lehetséges, új csoport.



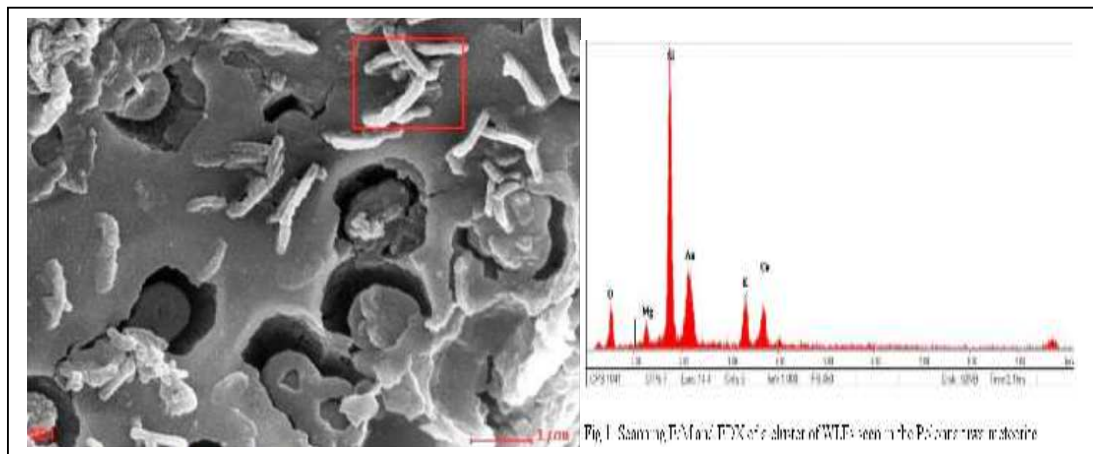
(forrás: Jamie Wallis; Nori Miyake, Richard B. Hoover, Andrew Oldroyd, Daryl H. Wallis, Anyl Samaranyake, K. Wickramaratne, M.K. Wallis, Karl H. Gibson and N.C. Wickramasinghe: „The Polonnaruwa meteorite: oxygen isotope, crystalline and biological composition”. *Journal of Cosmology* *Journal of Cosmology*, Vol. 22, No. 2 (5 March 2013. március 05., <http://journalofcosmology.com/JOC22/Paper22%282%29.pdf>)

A talált (nem megfigyelt) meteoritok esetében az első fontos kérdés, a kozmikus származás bizonyítása. A „Polonnaruwa kő” meteorit eredetét kételkedve fogadó kutatók felvetették, hogy villámcsapás következtében felhevülő homokból létrejövő fulgurit is lehet a talált kőzet. Wickramasinghe csapata megjegyezte, hogy az a hőmérséklet (1770°C), amelyen homok megolvad és fulguritot alkotott, elpárolgatta, és elégette volna az összes szénben gazdag élőlényt és, így megsemmisültek volna kovamoszatok is. Az oxigén izotóp adatok is megerősítik a meteorit eredetét.



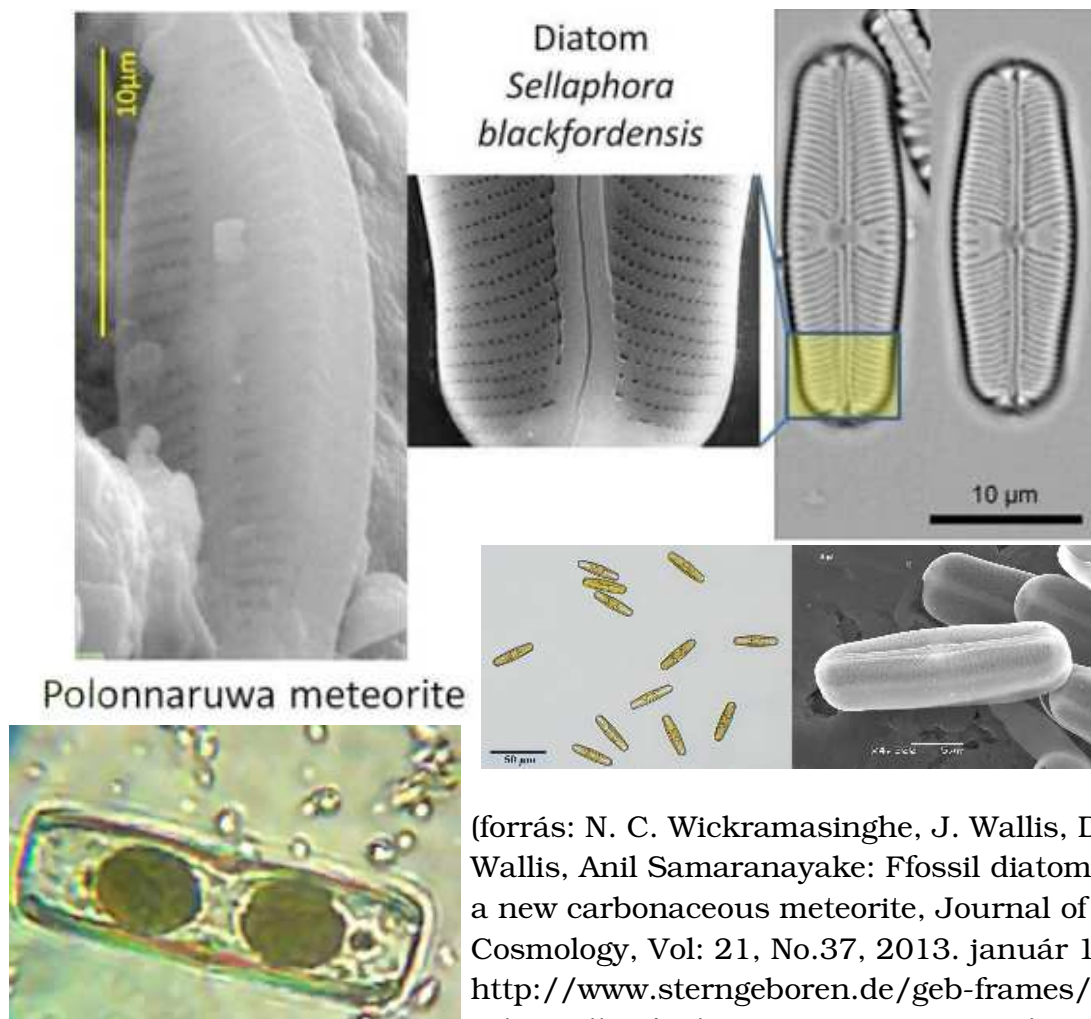
Wickramasinghe végzett röntgendiffrakciós és izotóp elemzéseket is. Az analízis kimutatta, hogy 95% szilícium-dioxid, 3% kvarc és 2% anorthit tartalom, és ezt az eredményt úgy értelmezik, a kutatók mint „ismeretlen típusú, széntartalmú meteorit”.

(forrás: <http://journalofcosmology.com/JOC21/Polonnaruwa5R.pdf>)



(forrás: Milton Wainwright, Christopher E. Rose, Alexander J. Baker, Briston K.J, N. Chandra Wickramasinghe: Typical meteoritic worm - like forms seen in the polonnaruwa meteorite, Journal of Cosmology, Vol.22, No. 12, 2013. július, <http://www.panspermia.org/whatsnew74.htm#20130723> és <http://www.panspermia.org/polonnaruwa11.pdf>)

A Polonnaruwa meteorit minta elektron mikroszkóp kép és EDX diagram. A „worm-like” (WLFs) féregszerű formák lehetséges baktérium fossziliák, az Allen Hills (ALH 84001) marsi meteoritban talált morfológiához hasonló.



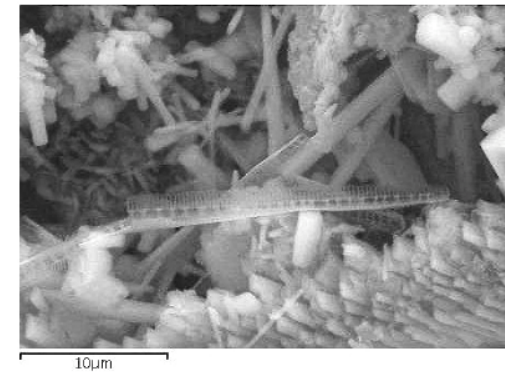
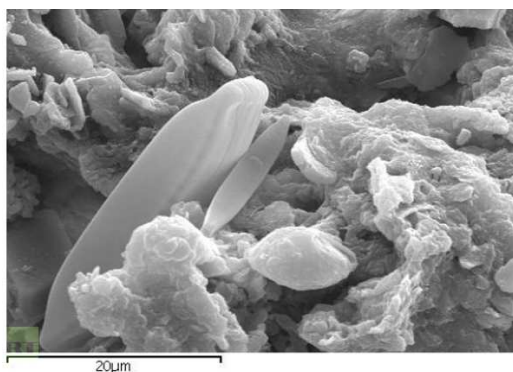
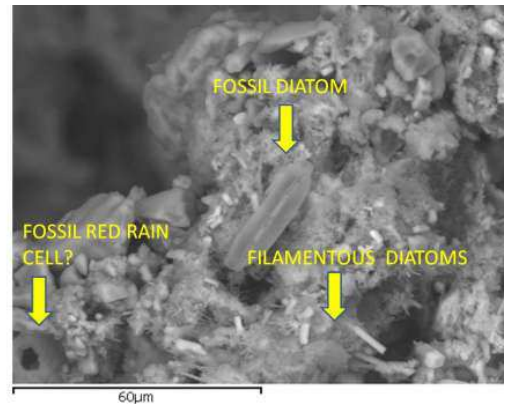
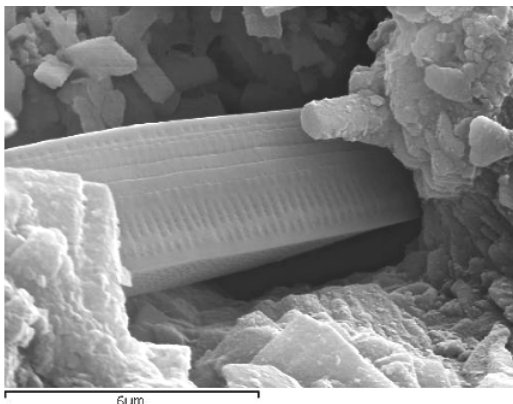
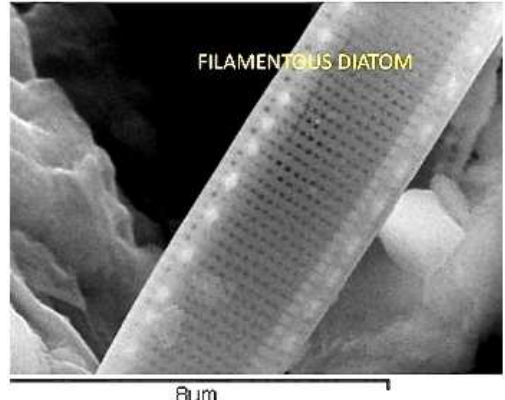
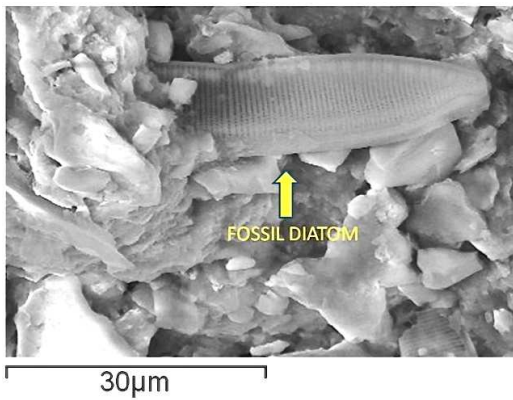
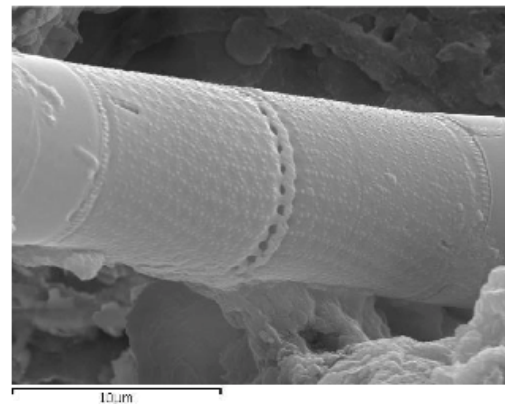
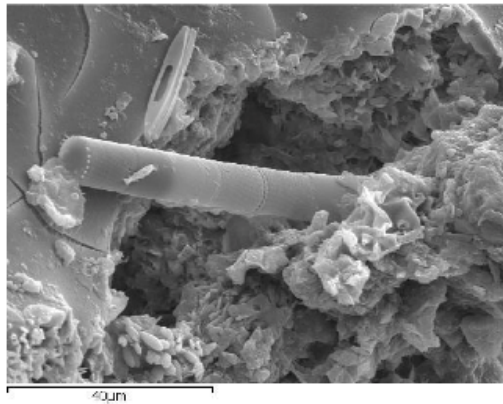
(forrás: N. C. Wickramasinghe, J. Wallis, D.H. Wallis, Anil Samaranayake: Fossil diatoms in a new carbonaceous meteorite, *Journal of Cosmology*, Vol: 21, No.37, 2013. január 10., <http://www.sterngeboren.de/geb-frames/geb-Siedl-H/Polonnaruwa%20-%20H.htm> és

<http://journalofcosmology.com/JOC21/PolonnaruwaRRRR.pdf> és <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1303/1303.2398.pdf> és <http://www.pae.ugent.be/collection/sellaphora.htm> és www.panspermia.org/polonn2.pdf <http://www.panspermia.org/whatsnew72.htm#20130111>)

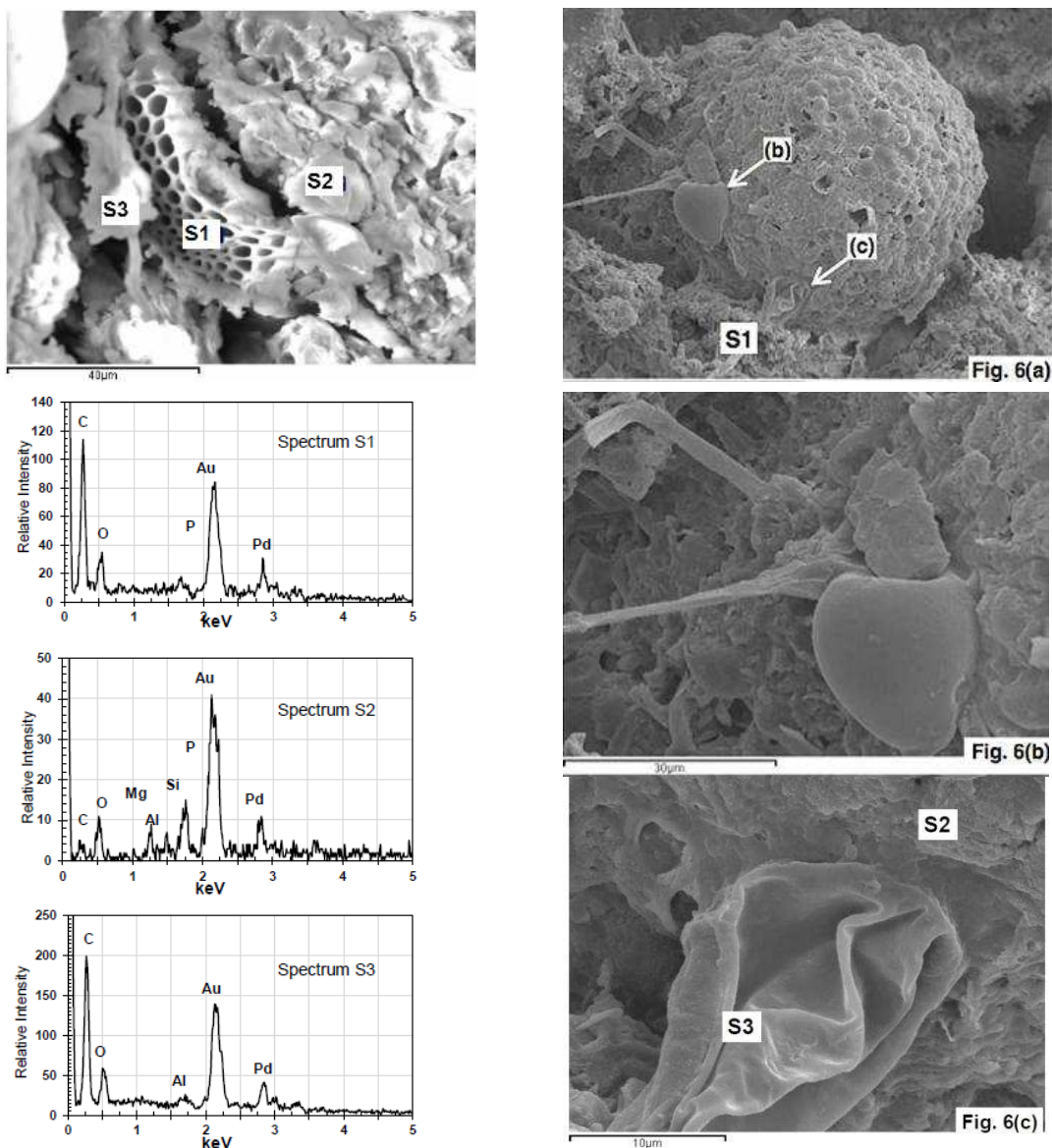
A polonnaruwa meteorit belsejében talált struktúra összehasonlítása egy jól ismert földi modern kovamoszattal (*Sellaphora blackfordensis*).

A Chandra Wickramasinghe professzor szerint kézzelfogható bizonyítéka annak, hogy az emberi élet csirája más bolygókról, vagy galaxisokból került a Földre, és további vizsgálatokkal szeretné kideríteni, hogy milyen hőmérsékleti, légköri és egyéb körülmények uralkodhattak azon a bolygón, ahol évmilliókkal ezelőtt a megkövült, mikroszkopikus kovamoszat élt, és így talán fény derülhet arra is, hogy a világűr melyik részéről érkezhetett.

A mikroszkopikus kovamoszat azonosított példányaik megegyeznek a Földön ma élő fajokéival. Wickramasinghe elmondta még, hogy a meteor belsejében többféle megkövült organizmust is találtak. Míg néhányuk felépítése teljesen megegyezik a Földön korábban megtalált fossziliákéval, addig vannak köztük olyanok is, amelyek teljességgel ismeretlenek a kutatók előtt.

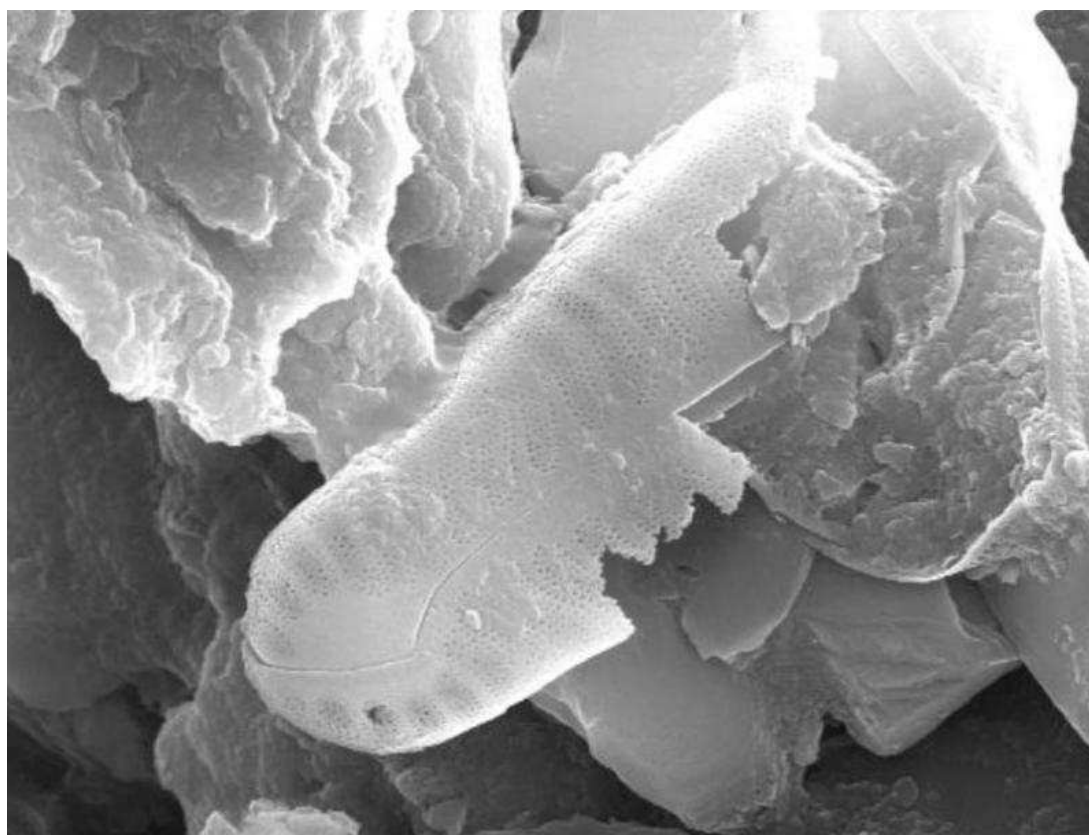


(forrás: <http://www.sterngeboren.de/geb-frames/geb-Siedl-H/Polonnaruwa%20-%20H.htm> és www.panspermia.org/whatsnew74.htm#20130921)



(forrás: Jamie Wallis; Nori Miyake, Richard B. Hoover, Andrew Oldroyd, Daryl H. Wallis, Anyl Samaranayake, K. Wickramaratne, M.K. Wallis, Karl H. Gibson and N.C. Wickramasinghe: „The Polonnaruwa meteorite: oxygen isotope, crystalline and biological composition”. Journal of Cosmology Journal of Cosmology, Vol. 22, No. 2 (5 March 2013. március 05., <http://journalofcosmology.com/JOC22/Paper22%282%29.pdf> <http://www.panspermia.org/joc5mar2013.pdf>)

A meteorit belsejéből származó darabka, SEM (Scanning Electron Microscopic) elektron mikroszkóp képeken látható egy magas széntartalmú részlegesen leromlott biológiai szerkezet. Az S1, S2 és S3 pontok elemeit az EDX (Energy Dispersive X-Ray Analysis) spektrumok mutatják. A nitrogén hiánya és a rendellenes C/O arány (hasonló a bitumenéhez) azt mutatják, hogy ezek a fossziliák aligha lehetnek friss szennyeződések.



8µm

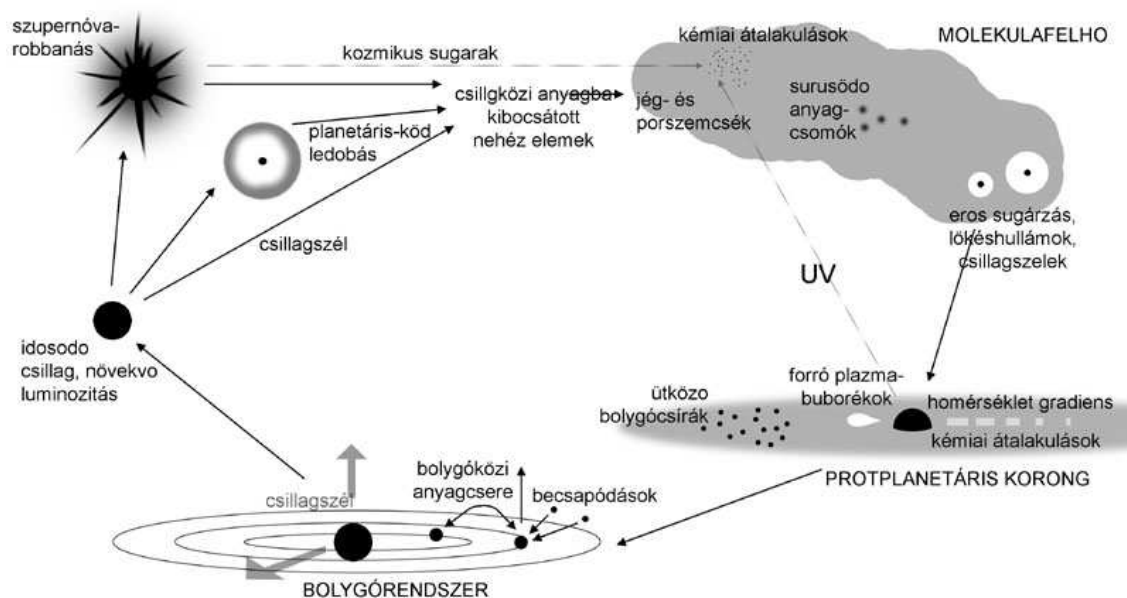
(forrás: N.C. Wickramasinghe, J. Wallis, N. Miyake, Anthony Oldroyd, D.H. Wallis, Anil Samaranayake, K. Wickramaratne, Richard B. Hoover, M.K. Wallis: Authenticity of the life-bearing polonнаруwa meteorite, *Journal of Cosmology*, Vol: 21, No. 39, 2013. 02 04., <http://journalofcosmology.com/JOC21/Polonнаруwa5R.pdf> és www.panspermia.org/polonнаруwa5r.pdf)

Jól elhatárolhatóan látható az elektromikroszkóp képen egy fosszilis kovamoszat (diatom) héj (frustule), amely egybeolvadt a kőzet szerkezettel.

A második döntő kérdés, hogy a meteorit mikrobák a földi szennyeződések-e. Ez különösen kézenfekvő, mert néhány közülük nagyon hasonlít a földi fajokra és néhány él (mikroorganizmusok „freeze-dried” liofilizálódott állapotban a pórusokban zárodtak, de a legtöbb fosszília). Néhány fosszília a kőzet mátrixba van beágyazódva mint a fotomikrográfon látható törött kovamoszat kövület, mely nehezen magyarázható friss szennyeződésként.

A Wickramasinghe professzor vezetésével a kutatók tovább keresik a válaszokat a tisztázandó kérdésekre a Buckingham Centre for Astrobiology, University of Buckingham, (Buckingham, UK), Medical Research Institute (Colombo, Sri Lanka), School of Earth and Ocean Sciences, Cardiff University. (Cardiff, UK), University of California San Diego (La Jolla, CA), School of Mathematics, Cardiff University (Cardiff, UK) intézményekben.

Az asztrobiológiai kutatások kiindulópontja az élet kialakulásához szükséges anyagok megjelenésének, és elterjedésének vizsgálata. Az elemek kialakulásának fő színterei: az ősrobbanás utáni ősi nukleoszintézis (amikor 4-es tömegszámú héliumatommagok ${}^4\text{He}$ születtek), a csillagok belseje (ahol legfeljebb a vasig keletkeznek atom-magok) és a szupernóva-robbanások (amikor a legnehezebb, instabil magok is kialakulnak), valamint a csillagközi anyagban a kozmikus sugárzás hatására zajló reakciók (itt főleg lítium, berillium és bór keletkezik). Elképzelhető, hogy a gammavillanások heves folyamatai közepette is keletkeznek nehézelemek (cink, titán, réz, nikkel).



(forrás: Kereszturi Ákos: Asztrobiológia – modern szintézis a természettudományok között, Magyar Tudomány, 2009/10, 1168, Magyar Tudományos Akadémia folyóirata, Mars Asztrobiológia Kutatócsoport, Magyar Csillagászati Egyesület (MCSE), Nagy Károly Csillagászati Közhasznú Alapítvány, www.matud.iif.hu/09okt/03.htm)

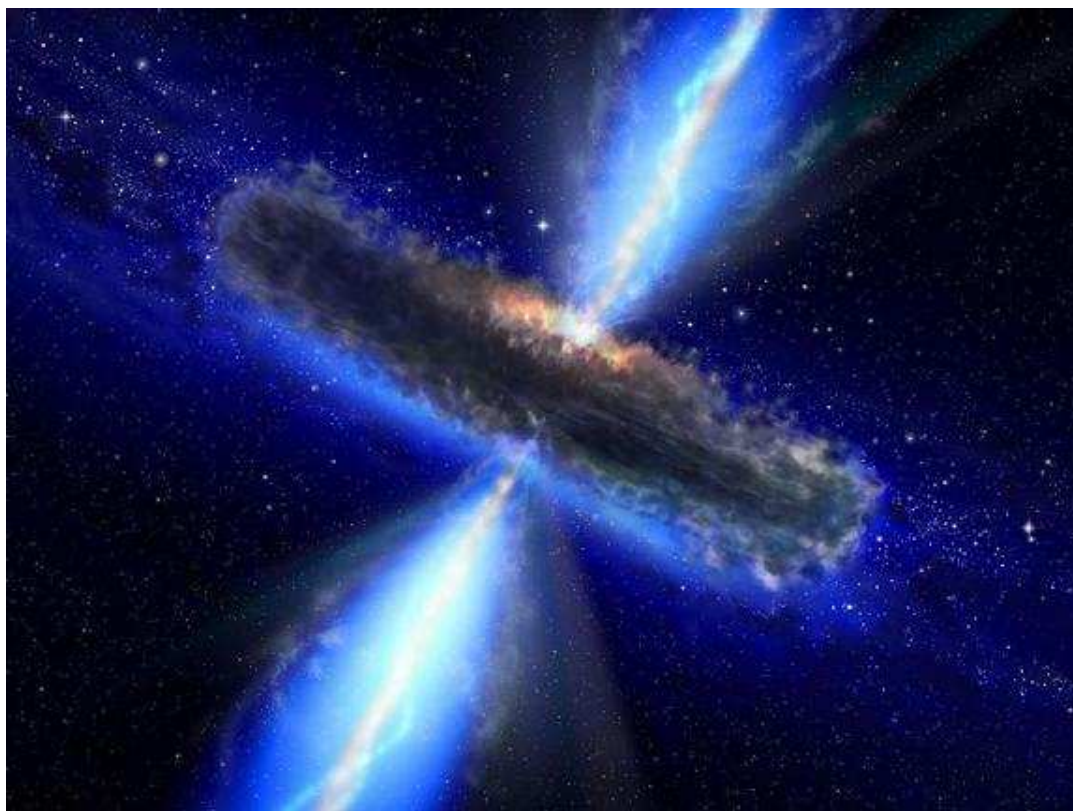
Az ábra az anyagfejlődés asztrobiológiai szempontból fontos, egymással összekapcsolódó lépéseit mutatja.

Az atomok molekulákká kombinálódása már a csillagok külső rétegeiben megkezdődhet, ahol a sűrűség- és hőmérsékletgradiens révén változatos a környezet. Itt a forróság és a lökéshullámok generálta reakciók zajlanak, illetve alacsony hőmérsékletű kiválás/fagyás is lezajlik. Egyes szénben gazdag csillagok külső rétegeiben közel ötven eltérő molekulát azonosítottak már. Itt a szénatomok mellett a szilícium és különböző fémek is gyakran alkotnak molekulákat. A planetáris ködök táguló és hűlő gázburkaiban is épülnek molekulák. A reakciók történhetnek gázfázisban, gáz és a szilárd határfelületeken és a szilárd szemcsék belsejében.

A csillagok anyagkibocsátása az összetételüktől is függ. Tejútrendszerünk fiatal, és ezért fémeiben gazdagabb csillagainak külső rétegében több az oxigén, mint idősebb társaiknál. Az oxigén a hűvös, külső tartományokban a szénatomokkal szén-dioxiddá egyesülhet, amely gáz halmazállapotú. A szénatomok ezért az oxigénben gazdagabb csillagokban kevesebb szén alapú szilárd porszemet alkotnak, itt inkább szilikátos szemcsék keletkeznek. Elképzelhető tehát, hogy a korábban született és oxigénben szegényebb csillagok idős korukban több széntartalmú port bocsátottak ki, mint később kialakult és már születésükkor oxigénben gazdag társaik.

A csillagokban legyártott, és onnan kiszórt elemek további mozgását a galaxis egészének gravitációs tere, a közeli csillagok és nagy molekulafelhők gravitációs zavarai, szupernóva-robbanások és fiatal csillaghalmazok erős csillagszelei befolyásolják.

A csillagközi anyag összetételének térbeli változásait a nagyobb galaxisok központjában lévő szupernagy tömegű fekete lyukak is befolyásolják. Itt az anyag egy része, beléjük spirálózva, a fekete lyukba zuhan, kisebb hányada viszont az ún. akkréciós korong közepéből nagy sebességgel, a korongra merőlegesen két anyagsugár (jet) keretében kirepül. Az így kilökődött anyagban a fekete lyukhoz közeli csillagok által legyártott nehéz elemek is előfordulnak, ezek pedig a kilökődés révén igen távolra juthatnak a galaxisban.



(illusztráció: www.space.com/21575-obese-black-hole-quasar.html)



Életük végén planetáris köd formájában is sok nehéz elemet bocsátanak ki a csillagok. A fotókon a tőlünk kb. 7000 fényévre lévő NGC 5315, IC 4593 és NGC 5307 jelű planetáris ködök láthatók (NASA, ESA, HHT, STScI, AURA)

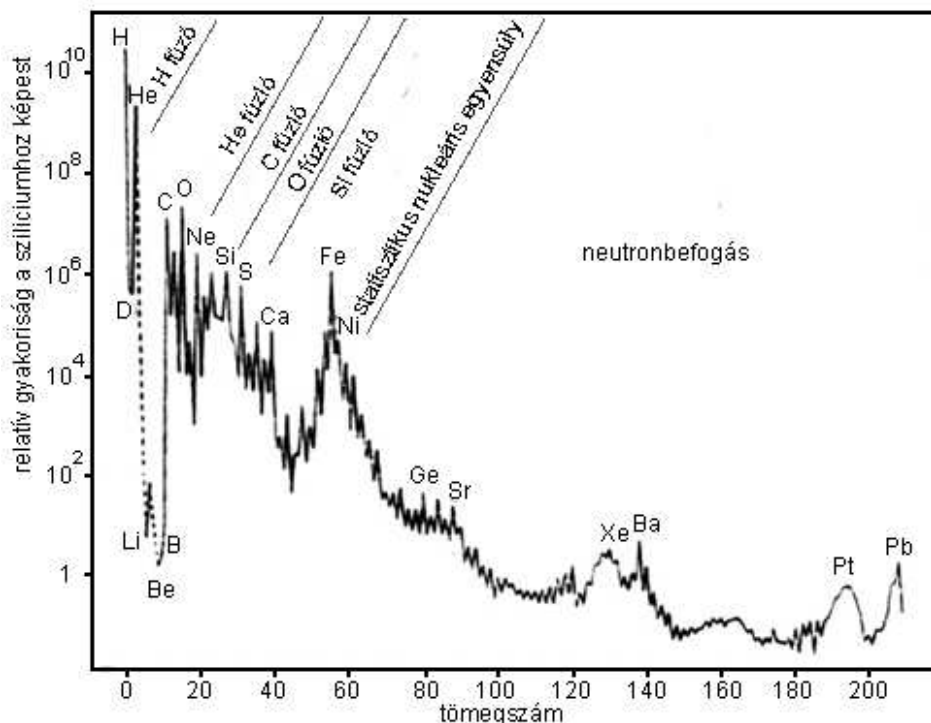


(forrás: Kereszturi Ákos: Elemek és molekulák keletkezése - asztrobiológia kurzus, I. rész, 2007., www.origo.hu/tudomany/vilagur/20070918-az-elemek-es-a-csillagkozi-molekulak-keletkezese-asztrobiologia-i.html)

A kb. 200 fényév átmérőjű Vela szupernóva-maradvány képe az optikai tartományban. A közel 6-11 ezer éve történt robbanás nyomán feltűnt csillag egykor olyan fényes volt az égen, mint a telehold (DSS, ESA, ESO, NASA, FITS Liberator, Davide De Martiny)

A Világegyetem mai összetétele a látható anyagot tekintve kb. 75% hidrogén (H), 24% hélium (He) és 1% egyéb nehezebb elem (utóbbiakat a csillagászatban fémeknek nevezik). Ez a becslés elsősorban a Nap megfigyeléséből indul ki, de sok további csillagnál végeztek hasonló méréseket, emellett az égítetek eltérő korát is megpróbálják figyelembe venni a számításoknál. A durva közelítéssel 4,6 milliárd éves Nap fémtartalma mintegy 2%, Tejútrendszerünkben a 10 milliárd éves csillagoké kb. 0,02%.

Az atommagok kialakulása négyféle úton lehetséges: korábbi atommagok vagy részeik összeállása fúzióval; kialakulásuk neutronbefogással (ekkor kívülről érkező neutronok épülnek be különböző atommagokba). Az így létrejött atommagok a radioaktív bomlás vagy a nagyenergiájú elektromágneses sugárzások következtében széteshetnek, létrehozva a fúzióval nem kialakuló atommagokat. Itt tehát még csak atommagokról beszélünk, amelyek elektronok befogásával alkotnak majd atomokat, azok különböző izotópjai (azonos proton-, de eltérő neutronszámú változatai) pedig elemeket.



(forrás: Kereszturi Ákos: Elemek és molekulák keletkezése - asztrobiológia kurzus, I. rész, 2007., www.origo.hu/tudomany/vilagur/20070918-az-elemek-es-a-csillagkozi-molekulak-keletkezese-asztrobiologia-i.html)

Az egyes elemek atommagjainak relatív gyakoriságát és jellemző keletkezési módját mutatja az ábra. (forrás: MCSE)

A Földön minden élet szén és víz alapú, ez igaz lehet bárhol máshol az univerzumban. A szén kulcsfontosságú a földi élethez. Képes kovalens kötés kialakítására a nem-fém atomokkal, különösen a nitrogénnel, oxigénnel és a hidrogénnel. Az élethez a szénnek oxidált és redukált formában is jelen kell lennie. A szerves savakból (-COOH) és a bázikus aminokból (NH₂-), képződnek az aminosavak. A szén- és oxigéntartalmú vegyületek egyik megnyilvánulási formái a szénhidrátok (CH₂O)_n, amelyek átalakításából az élőlények energiájukat fedezik (a hat szénatomos cukor, a glükóz biológiai oxidációja). A szénhidrátok (és származékaik) azonban az élőlények strukturális felépítésében is fontos szerepet játszanak. A poliszacharidok többek között a növényi sejt falának alapanyagai, míg a ribóz és a dezoxiribóz az RNS és a DNS alapkövei.

A nitrogén (N) és származékai szintén nélkülözhetetlenek. Az ammónia és a belőle származtatott vegyületek, az aminok (NH₂-), minden aminosavban megtalálhatók, amelyek azután víz kilépése közben egymással kötést alkothatnak, aminek hatására di- és poli- peptidek, illetve fehérjék keletkeznek.

A kén (S) fontos alkotóeleme egyes aminosavaknak (cisztein, metionin), továbbá a fehérjékben diszulfid kötések hozhat létre, amely révén stabilizálja a protein szerkezetét. Egyes egyszerű élőlények (baktériumok) a kéntartalmú vegyületek oxidációjából és redukációjából nyerik az energiát. A foszfor (P) származékai, mint például a foszforsav (H₃PO₄) a DNS és az RNS építőköve. A már említett biológiai oxidáció során képződik az ATP nevű, foszfor tartalmú vegyület. Energiaraktárként szolgál, minden fejlett földi élőlényben megtalálható.

A magnézium (Mg) a klorofillok fő alkotója, valamint fontos szerepe van az enzimek működésében.

A víz mindamelllett, hogy poláros oldószer és a biokémiai reakciók színhelyéül szolgál, semleges pH-val rendelkezik, köszönhetően a hidroxidionok és oxóniumionok egyenlő koncentrációjának. Képes oldatba vinni a pozitív töltésű fémionokat, és a negatív töltésű nem-fém ionokat. Az élőlények molekulái a vízhez eltérő módon viszonyulhatnak: lehetnek hidrofóbok (vízben nem oldódnak), illetve hidrofilak (vízben oldódnak). Ezen tulajdonságnak köszönhetően alakulnak ki a sejthártyák. A jég kisebb sűrűségű, mint a folyékony víz. Ennek köszönhetően lebeg, így meggátolja a Föld óceánjainak teljes befagyását. A vízmolekulák között másodlagos kötőerők is kialakulhatnak, köszönhetően annak, hogy a kötésen belül a hidrogén (H) pozitívan polározott, így egy másik vízmolekula nagy elektronegativitású oxigénatomja hidrogén-híd kötést létesíthet vele.

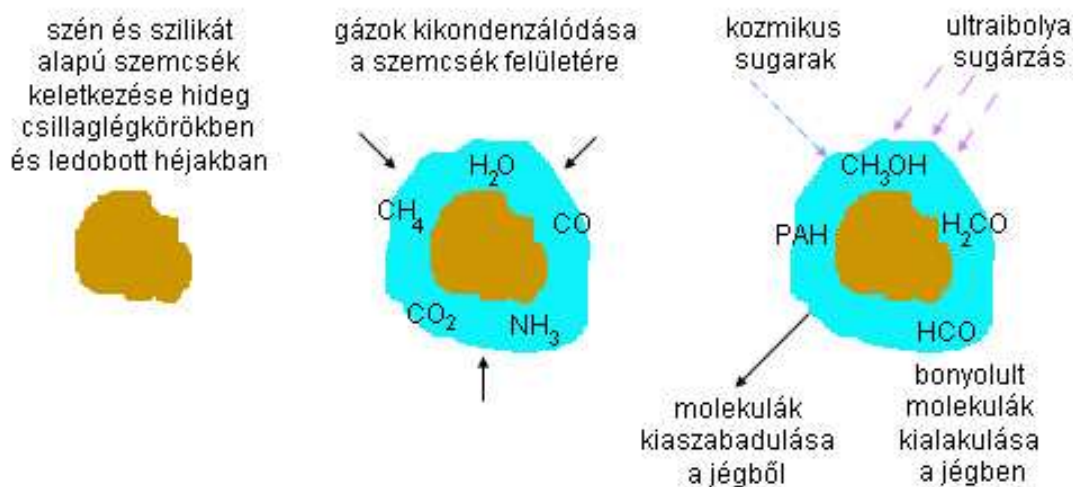
Más kémiai elemek is képesek lehetnek az élet alapjául szolgálni, ezek közül a szilícium a legvalószínűbb alternatíva, de ammónia-alapú életformák is létezhetnek, főleg egy bolygó légkörében.

ember	rendszám, elem	légkör	óceán	föld-kéreg	Föld	Naprendszer
63,00	1 H	0,01	64,33	2,88	0,12	92,38
—	2 He	—	—	—	—	7,46
9,40	6 C	0,01	0,01	0,05	0,09	0,05
1,30	7 N	78,98	—	0,04	—	0,01
25,60	8 O	21,00	32,16	62,55	48,88	0,08
0,04	11 Na	—	1,46	2,64	0,64	—
0,01	12 Mg	—	0,17	1,84	12,5	0,005
—	13 Al	—	—	6,47	1,30	—
—	14 Si	—	—	21,22	14,00	0,005
0,20	15 P	—	—	0,08	0,14	—
0,04	16 S	—	0,09	—	1,40	—
—	17 Cl	—	1,71	—	0,04	—
0,04	19 K	—	0,03	1,22	0,05	—
0,30	20 Ca	—	0,03	1,70	0,46	—
—	26 Fe	—	—	1,92	18,87	—
—	28 Ni	—	—	—	1,4	—

Az élőlényekben ugyanazokat a kémiai elemeket találjuk, mint az élettelen környezetünkben.

Ha az egész Naprendszert vizsgáljuk, ott az elemek több mint 99 százalékát a hidrogén (H, 92,38%) és a hélium (He, 7,46%) alkotja. A maradék viszont meglepően magas arányban tartalmazza az élőkre oly jellemző, O-, C- és N-elemeket

(forrás: Vida Gábor: Az élet keletkezése, Gondolat Kiadó)



A porszemcsék és a hozzájuk kapcsolódó anyagok fejlődésének három egyszerűsített, jellemző fázisa: porszemcse keletkezése, gázok kikondenzálódása, kivált anyagok átalakulása. A 2. és 3. fázis váltakozva is előfordulhat, réteges szerkezetű szemcséket produkálva. (forrás: MCSE)

A porszemcsék felületén megtapadó molekulák egymással reakcióba léphetnek. A vízmolekulákat is tartalmazó szemcséket érő ultraibolya sugárzás és a kozmikus sugarak nyomán összetett szerves molekulák is képződhetnek a hideg porszemcsékben. Ma már több mint százötven különféle molekulát azonosítottak a csillagközi térben, például: glikoaldehid (HOCH_2CHO), acetamid (CH_3CONH_2), a ciklopropenon ($\text{H}_2\text{C}_3\text{O}$), a propenal (CH_2CHCHO), a propanal ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO}$), a ketenimin (CH_2CNH), különféle sokgyűrűs aromás szénhidrogének, és glicin ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) aminosavat is.

A hatnál több atomot tartalmazó csillagközi molekulák mind szénalapúak, az eddig azonosított egyik igen összetett képviselőjük a tizenhárom atomot tartalmazó HC₁₁N. Laboratóriumi vizsgálatok alapján nemcsak az ionok (főleg a kozmikus sugaraktól keletkezett reakcióképes H₃⁺), hanem akár 10–20 K-en a semleges atomok között is bekövetkezhetnek olyan reakciók, amelyek újabb molekulákat eredményeznek.

2 atomos	3 atomos	4 atomos	5 atomos	6 atomos	7 atomos	8 atomos	9 atomos	10 atomos	11 atomos	12 atomos	13 atomos
H ₂	C ₃	c-C ₃ H	C ₅	C ₅ H	C ₆ H	CH ₃ C ₂ N	CH ₃ C ₄ H	CH ₃ C ₂ N	HC ₆ N	(C ₅ H ₅)	HC ₁₁ N
AlF	C ₂ H	I-C ₃ H	C ₄ H	I-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	HC(O)OCH ₃	CH ₃ CH ₂ CN	(CH ₃) ₂ CO	CH ₃ C ₆ H	(C ₂ H ₅ OCH ₃)	
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₄ Si	C ₂ H ₄	CH ₂ C ₂ H	CH ₃ COOH	(CH ₃) ₂ O	(CH ₂ OH) ₂	C ₂ H ₅ CHO	n-C ₃ H ₇ CN	
C ₂	C ₂ S	C ₃ O	I-C ₃ H ₂	CH ₃ CN	HC ₆ N	C ₇ H	CH ₃ CH ₂ OH	CH ₃ CH ₂ CHO			
CH	CH ₂	C ₃ S	c-C ₃ H ₂	CH ₃ NC	CH ₃ CHO	H ₂ C ₆	HC ₇ N				
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	H ₂ CCN	CH ₃ OH	CH ₃ NH ₂	CH ₂ OHCHO	CH ₃ C(O)NH ₂				
CN	HCO	NH ₃	CH ₄	CH ₃ SH	c-C ₂ H ₄ O	(I-HC ₆ H)	C ₉ H ⁺				
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₃ N	HC ₃ NH ⁺	H ₂ CCHOH	(CH ₂ CHCHO)	C ₃ H ₅				
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO	C ₆ H ⁺	CH ₂ CCHCN					
CP	HOC ⁺	HNCO	HC ₂ OOH	NH ₂ CHO	C ₆ H	H ₂ NCH ₂ CN					
SiC	H ₂ O	HNCS	H ₂ CNH	C ₅ N	CH ₂ CHCN						
HCl	H ₂ S	HOCCO ⁺	H ₂ C ₂ O	I-HC ₄ N							
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN	c-H ₇ C ₃ O							
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₃	(H ₂ CCNH)							
NO	MgCN	H ₂ CS	SiH ₄	C ₅ H ⁺							
NS	MgNC	H ₃ O ⁺	H ₂ COH ⁺								
NaCl	N ₂ H ⁺	c-SiC ₃	C ₄ H ⁺								
OH	N ₂ O	CH ₃	HC(O)CN								
PN	NaCN	C ₃ H ⁺									
SO	OCS	HCNO									
SO ⁺	SO ₂	HOCCO ⁺									
SiN	c-SiC ₂	PH ₃ (?)									
SiO	CO ₂	HOCCN(?)									
SiS	NH ₂										
CS	H ₃ ⁺										
HF	SiCN										
SH	AiNC										
HD	SiNC										
(FeO)	HCP										
O ₂	CCP										
CF ⁺											
(SiH)											
PO											
AlO											

H₂NCH₂CN (2008)

+

2H₂O

↓

H₂NCH₂COOH
(glicin)

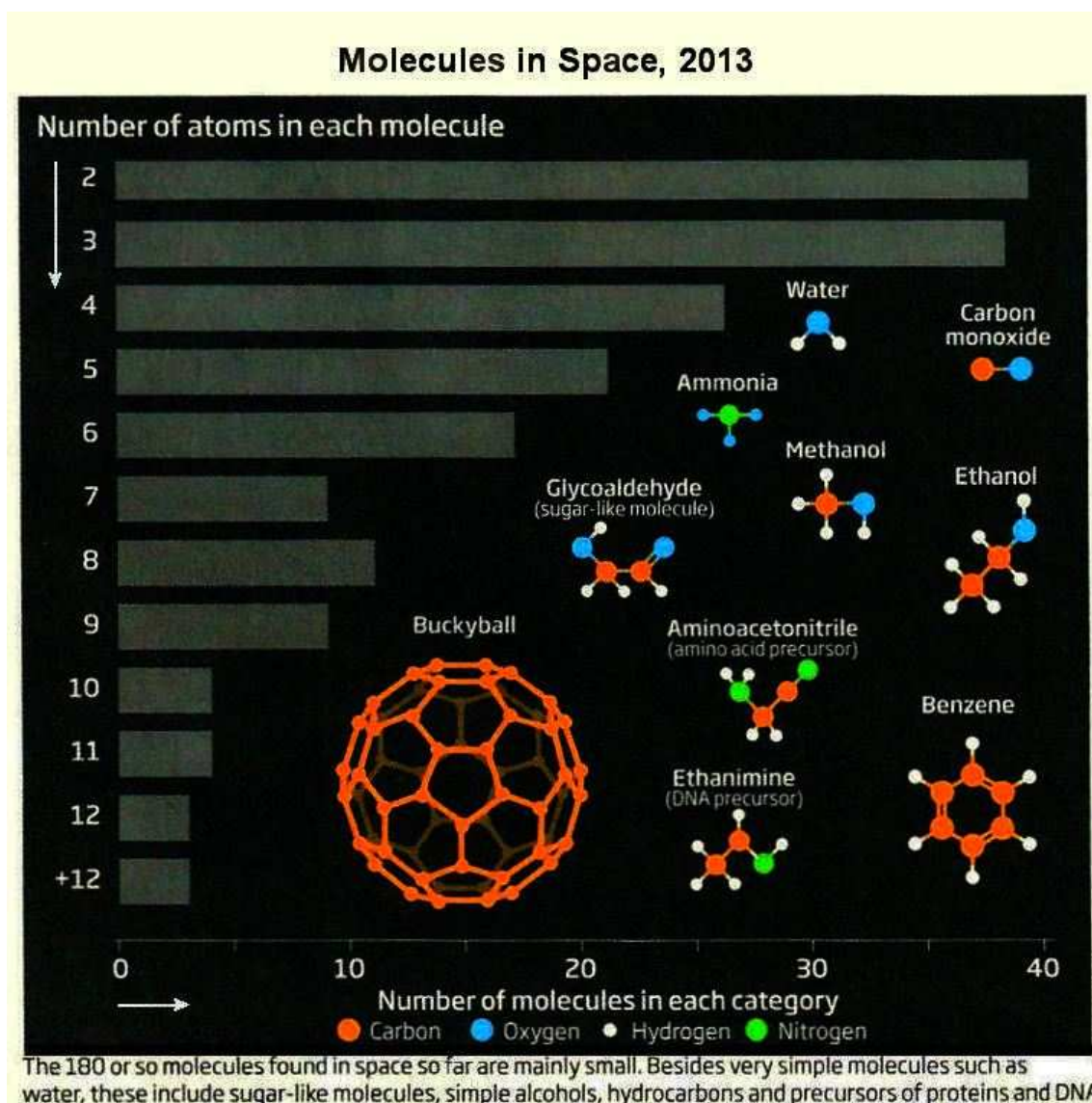
+

NH₃

(forrás: Tarczay György: Balkezes aminosavak: a homokiralitás kialakulásának elméletei, nepszerukemia.elte.hu/alkimia_Tarczay_09.pdf, Alkimia ma előadásorozat ELTE Kémiai Intézet, www.chem.elte.hu/pr/alkimia_ma_2009_10.html)

Az anyag további fejlődésére olyan környezetben nyílik lehetőség, ahol nagy a nehézelemek és a szerves molekulák koncentrációja. Energia van a molekulák kombinálódásához, de nincs annyira meleg, hogy azok mind lebomoljanak. Emellett hasznos valamilyen folyékony közeg is, amelyben a kérdéses molekulák könnyen mozoghatnak, egymással gyakran találkozhatnak.

Minderre a bolygók az ideálisak, amelyek a csillagokkal együtt, a zsugorodó gázfelhőket övező, protoplanetáris korongban születnek– olvashatjuk Kereszturi Ákos asztrobiológus (Mars Asztrobiológia Kutatócsoport) „Asztrobiológia – modern szintézis a természettudományok között„ című írásában (Magyar Tudomány, 2009/10, 1168.).



(forrás: <http://universe-review.ca/F11-monocell.htm>)

<http://universe-review.ca/I11-02-astrochems.jpg>

David Williams: Large molecules in space?

<http://astrogeo.oxfordjournals.org/content/44/6/6.14.abstract>

Oxford Journals, Mathematics & Physical Sciences, Astronomy & Geophysics, Volume 44 Issue 6, Pp. 6.14-6.21.

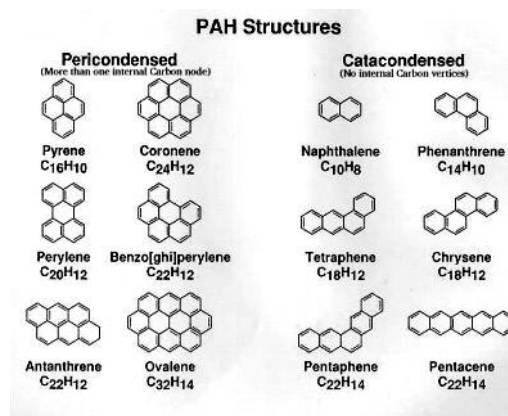
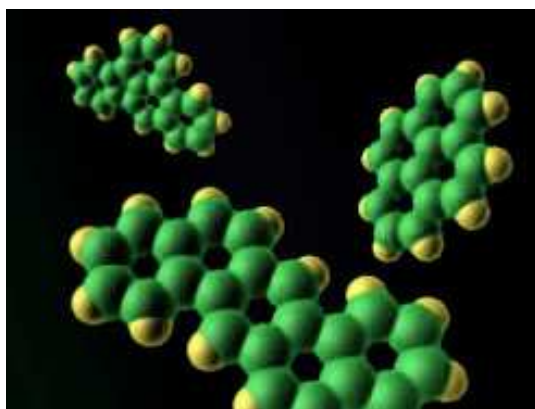
<http://astrogeo.oxfordjournals.org/content/44/6/6.14.full.pdf+html>)

A csillagászok több mint 130 szerves molekulát észleltek 2005-ben az óriás molekuláris felhőkben, ahol a csillagok (és a bolygók) születnek.

Ezek köre az egyszerű két atomos molekuláktól, például a nitrogén-oxid (NO), a nagy lánccal rendelkező 11 szénatomot tartalmazó cyano-pentacetylene (HC₁₁N) is előfordul. 2013-ig különböző eszközökkel kimutatott térben talált molekulák száma körülbelül 180 nőtt.

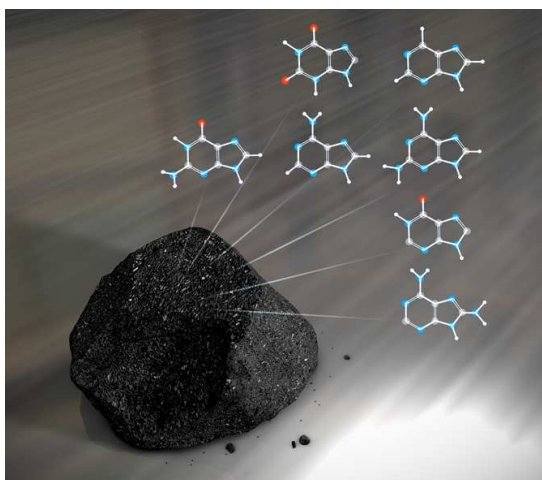
Sok olyan szerves molekula található a csillagközi térben, amelyekkel megegyezők mai ismereteink szerint szerepet játszottak a földi élet születését megelőző, prebiotikus fejlődésben. A megfigyelések alapján nitrilek, aldehidek, savak, alkoholok, cukrok, éterek, ketonok és egyéb hosszú molekulalánú szénhidrogének egyaránt megjelennek a csillagközi felhőkben.

A csillagközi térben lévő szerves anyagok között fontos csoportot alkotnak az policiklusos aromás szénhidrogének, a PAH-ok (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons). Ezek feltehetőleg hűvös csillaglégkörökben keletkeznek, majd onnan csillagszelekkel jutnak ki az űrbe. A PAH-okból további kémiai reakciókkal sokféle szerves molekula képződhet.



(illusztráció: PAH molekulák, NASA)

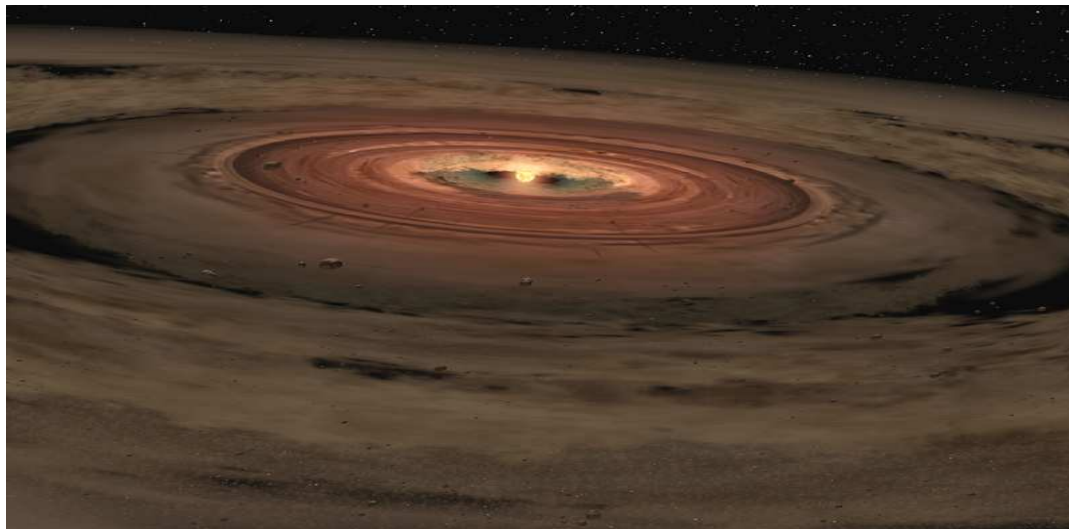
Elképzelhető, hogy a PAH-ok felelnek a diffúz csillagközi sávok (Diffuse Interstellar Bands, DIB) létéért. Egyes megfigyelések, főleg a Spitzer űrteleszkóppal végzett mérések alapján PAH-ok viszonylag korán, már a Nagy Bumot követően 3-4 milliárd évvel azonosíthatók az intenzív csillagkeletkezést mutató galaxisokban.



(illusztráció: NASA Goddard Space Flight Center/Chris Smith, www.nasa.gov/topics/solarsystem/features/dna-meteorites.html, www.astrobio.net/exclusive/5021/meteoroids-might-add-methane-to-exoplanet-atmospheres)

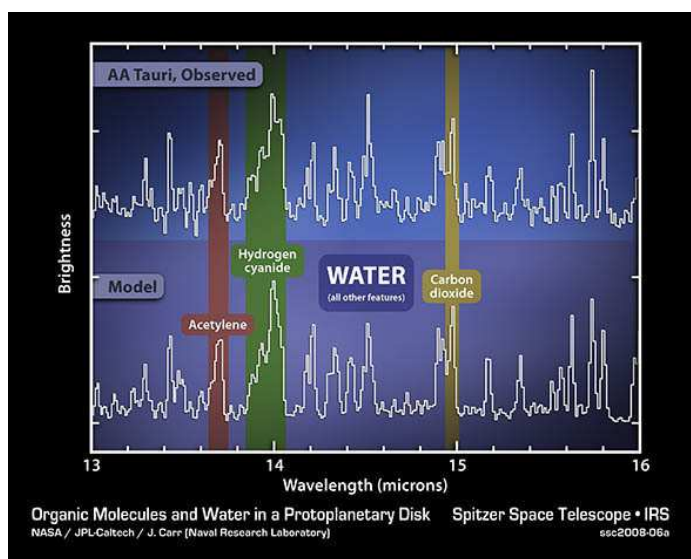
A szén kondritos meteoritok egy lehetséges forrása a korai Föld illékony elemeinek - beleértve a hidrogént, nitrogént és szén-dioxidot - és a szerves anyagoknak is.

John Carr (Naval Research Laboratory, Washington), és Joan Najita (National Optical Astronomy Observatory, Tucson, Ariz.) egy új technológiát alkalmazva vizsgálták a NASA Spitzer-űrteleszkóppal az AA Tauri csillag körüli protoplanetáris korongot.



(forrás: Fantáziarajz egy protoplanetáris korongról, Spitzer Finds Organics and Water Where New Planets May Grow, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2008-042)

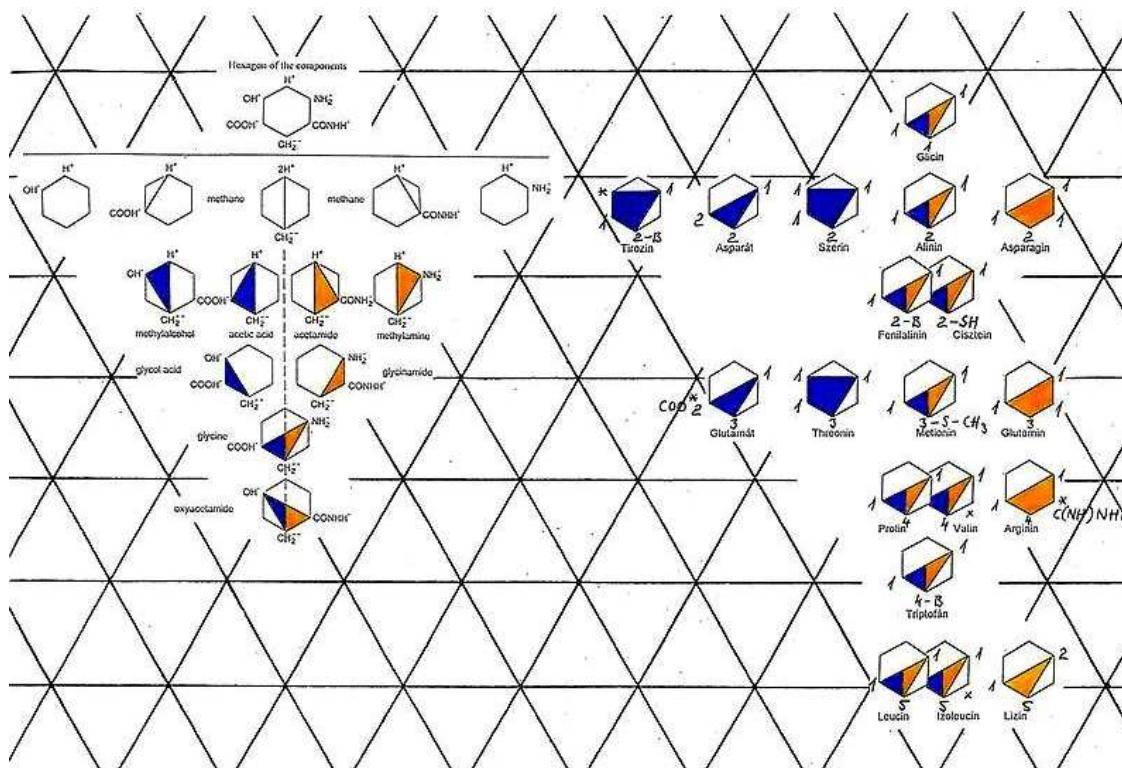
A 450 fényévre lévő, egymillió évnél fiatalabb rendszer centrumában egy csillag formálódik, a körülötte lévő anyagkorongban pedig születő bolygók csirái találhatóak.



A korong anyagában nagy mennyiségű vizgőzt, hidrogén-cianidot, acetilént és szén-dioxidot azonosítottak. A megfigyelés érdekessége, hogy a korongban több egyszerű szerves anyagot találtak, mint ami a környező csillagközi felhőben mért koncentráció alapján várható lett volna, és amelyből a kérdéses rendszer kialakult.

(forrás: NASA Spitzer Space Telescope, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, www.spitzer.caltech.edu/images/1906-ssc2008-06a-A-Young-Stellar-Disk-around-AA-Tauri)

Ez arra utal, hogy nem csupán a csillagközi térben zajlanak szerves anyagokat termelő folyamatok, hanem a belőlük születő bolygórendszerben is tovább folyik a molekulák felépülése. A megfigyelés során a vizgózt a korongnak abban a belső tartományában is kimutatták, ahol a Föld-típusú bolygók születnek.



(forrás: Bérczi Szaniszló rajz- és ábragyűjteménye a Naprendszer anyagairól, <http://hu.wikipedia.org/w/index.php?title=F%C3%A1jl:Vizammonia.jpg&filetimestamp=20081221101535&>)

Az ábrán látható az aminosavak víz-ammónia „szimmetriája”.

Az aminosavak molekulájában előforduló aminocsoport (-NH₂) és karboxilcsoport (-COOH) érdekes lehetőséget vet föl az életformáló aminosavak keletkezésére. Ezek olyan bolygófelszínek közelében keletkezhetnek, ahol mindkét oldószer, az ammónia is és a víz is fontos szerepet játszott.

Ha az aminosavak közül a 20 fehérjealkotót vizsgáljuk, sorba rendezhetjük őket a vizes jelleg és az ammóniás jelleg súlya szerint.

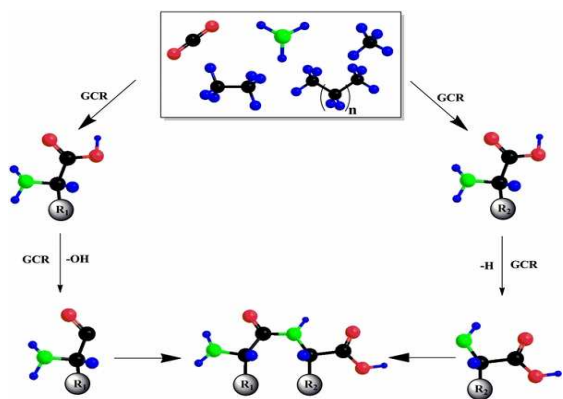
A vizes oldalt képviseli az OH gyök és a COOH gyök, míg az ammóniás oldalt az (-NH₂) gyök és a HNOOH gyök. Az ábra bal oldala az elrendezés mintáját mutatja be a kis hatszögekkel. Az ábra jobb oldala az élet fehérjéit alkotó aminosavak víz-ammónia „szimmetriáját” szemlélteti.

A világűrben uralkodó állapotokat szimulálva amerikai kutatók arra a következtetésre jutottak, hogy a kozmoszban található objektumok – például porfelhők – jeges felületén létrejöhetnek olyan komplex szerves molekulák, amelyek a Földre jutva az élet alapvető építőelemeiként szolgálhattak.

Az amerikai kutatók a kísérlethez egy olyan vákuumkamrát használtak, amelyben a hőmérsékletet tíz Kelvin-fokkal volt az abszolút nulla fog fölött. (Az abszolút nulla fok az a hőmérséklet, amelynél a testből nem nyerhető ki hőenergia. A Kelvin-skálán ez 0 K, a Celsius-skálán -273,15 C.)

Egy „kozmoszbeli” jeges hólabdát szimuláltak, amely szén-dioxidot, nitrogénből és hidrogénből álló ammóniát, illetve szénhidrogéneket – metánt, etánt és propánt – tartalmazott. Amikor a kozmikus sugárzásnak megfelelő nagy energiájú elektronokkal bombázták a „jeges hólabdát”, reakcióként a kémiai anyagok komplex szerves vegyületekké – kiváltképpen dipeptidekké – kezdtek átalakulni.

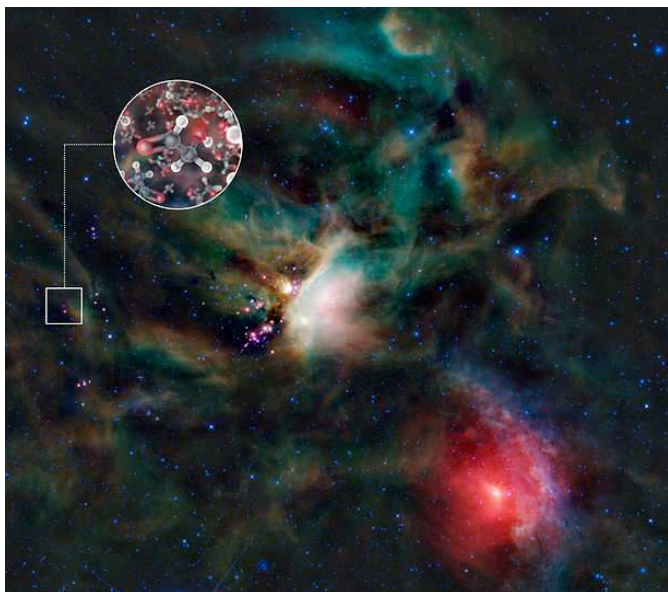
A berkeleyi egyetem tudósai a Mars Organic Analyzer elnevezésű szerves analizátorral - amelyet azért fejlesztettek ki, hogy felfedezhessék és azonosíthassák a legparányibb szerves molekulákat a Naprendszerben - elemezték a kísérlet eredményeként létrejött üledéket. Jó néhány olyan komplex molekula – köztük kilenc aminosav és legalább két dipeptid - jelenlétét tudták kimutatni, amely egyfajta katalizátorként képes (lehetett) a biológiai evolúció beindítására.



A Kaliforniai Egyetem (Berkeley) és a Hawaii Egyetem (Manoa) tudósainak kísérlete azt mutatta, a világűrben megvannak a feltételek ahhoz, hogy két aminosavból álló dipeptidek alakuljanak ki, amelyek a fehérjék nélkülözhetetlen építőkövei, és minden élő szervezetben megtalálhatók.

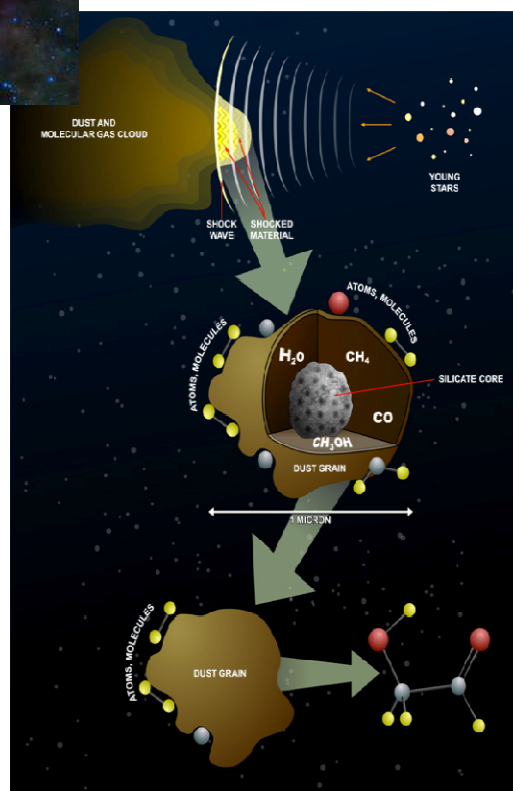
(forrás: R. I. Kaiser, A. M. Stockton, Y. S. Kim, E. C. Jensen, R. A. Mathies. On the formation of dipeptides in interstellar model ices. The Astrophysical Journal, 2013; 765 (2): 111 DOI: 10.1088/0004-637X/765/2/111 <http://iopscience.iop.org/0004-637X/765/2/111/>)

A kutatók véleménye szerint felfedezésük felveti azt a lehetőséget, hogy a szőben forgó szerves molekulák a világűrben érkeztek a Földre – akár üstökösök, akár meteorok felszínén –, ahol aztán elindították azt a folyamatot, amelynek eredményeként fehérjék és enzimek, vagy még összetettebb, az élethez szükséges vegyületek – például cukormolekulák – formálódtak ki.



A kutatók a chilei Atacama sivatagban működő rádiótávcső-rendszerrel, az ALMA-val (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) végezték megfigyeléseiket. A csillag, az IRAS 16293-2422 katalógusjelű nap 400 fényévnnyire, a Kígyótartó (Ophiuchus) csillagképben található.

„A születő csillagot körülvevő por- és gázkorongban találtunk glikolaldehidet ($C_2H_4O_2$, $HOCH_2-CH=O$), ez a cukrok legegyszerűbb alakja, és nem sokban különbözik attól, amivel a kávékat édesítjük. Szénből, oxigénből és hidrogénből álló nyolcatomos molekula, amely más molekulákkal kölcsönhatásba lépve bonyolultabb cukrokat, glukózt és ribózt hoz létre. A ribóz a nukleinsavaknak, így a DNS-nek és az RNS-nek is fontos építőeleme” - hangsúlyozta Jes Jorgensen, a vezető szerző, a koppenhágai Niels Bohr Intézet kutatója.



(forrás: Carroll, P., Drouin, B., Widicus Weaver, S.: „The Submillimeter Spectrum of Glycolaldehyde”. *Astrophysical Journal Letters*, 2010.723: 845–849. Bibcode:2010ApJ...723..845C. doi:10.1088/0004-637X/723/1/845, és <http://en.wikipedia.org/wiki/Glycolaldehyde>)

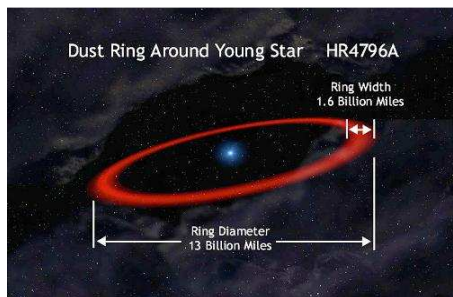
Korábban már észlelték a glikolaldehid-molekulákat a csillagközi térben, ám ez az első, amikor egy Naphoz hasonló csillag környékén fedezték fel. A molekulák körülbelül akkora messzeségben vannak a csillagtól, mint a Nap és az Uránusz közötti távolság.

A Carnegie Intézet csillagászai rendkívül összetett szerves molekulákat találtak egy távoli csillagot körülvevő vörös porfelhőben.



(forrás: John Debes, Carnegie Institution, NASA/ESA Hubble Space Telescope, NASA Astrobiology Institute, <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/H/HR4796A.html> és Red Dust in Planet-Forming Disk May Harbor Precursors to Life, 2008. 01. 03., http://carnegiescience.edu/news/red_dust_planet_forming_disk_may_harbor_precursors_life)

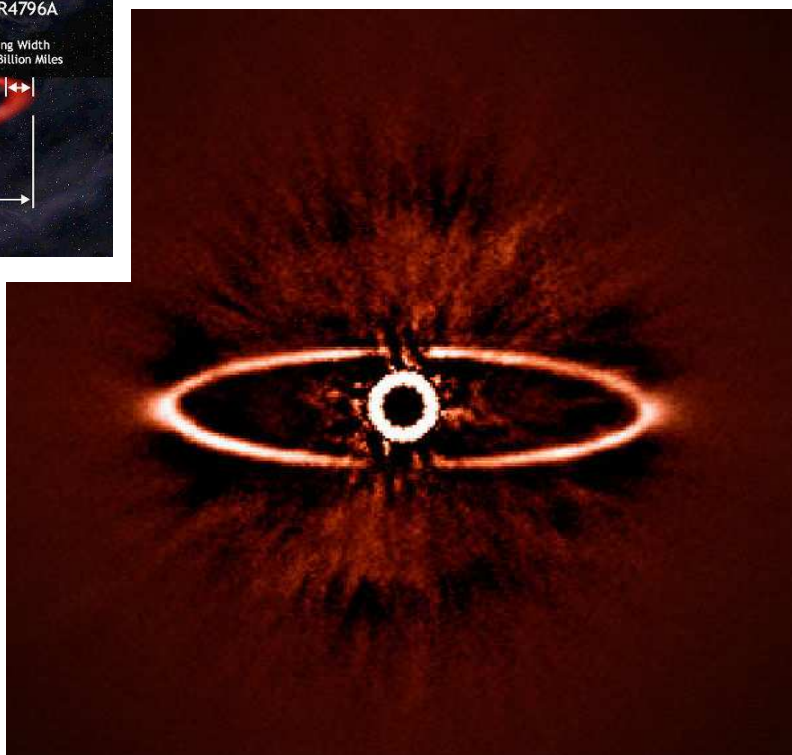
A Kentaur csillagképben elhelyezkedő 8 millió éves HR 4796A jelű csillag elvileg a bolygók kialakításának utolsó szakaszába lépett, ami arra utal, hogy az élet alapvető építőelemei gyakoriak lehetnek a bolygórendszerekben. John Debes, Alycia Weinberg, és Glenn Schneider az Astrophysical Journalban számolt be felfedezésükről. A kutatás a NASA Asztrobiológiai Intézetének támogatásával, a Hubble űrteleszkóp adatain alapul.



(illusztráció: Smith, Schneider, Becklin et al. 1999., <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/H/HR4796A.html>)

(forrás: ESO/J.-L. Beuzit et al./SPHERE Consortium, 2014. 05. SPHERE images the dust ring around the star HR 4796A,

<http://www.eso.org/public/images/eso1417a/> és <http://time.com/tag/astronomy/page/2/> és http://en.wikipedia.org/wiki/File:Dust_ring_around_HR_4796A_%28eso1417a%29.jpg)



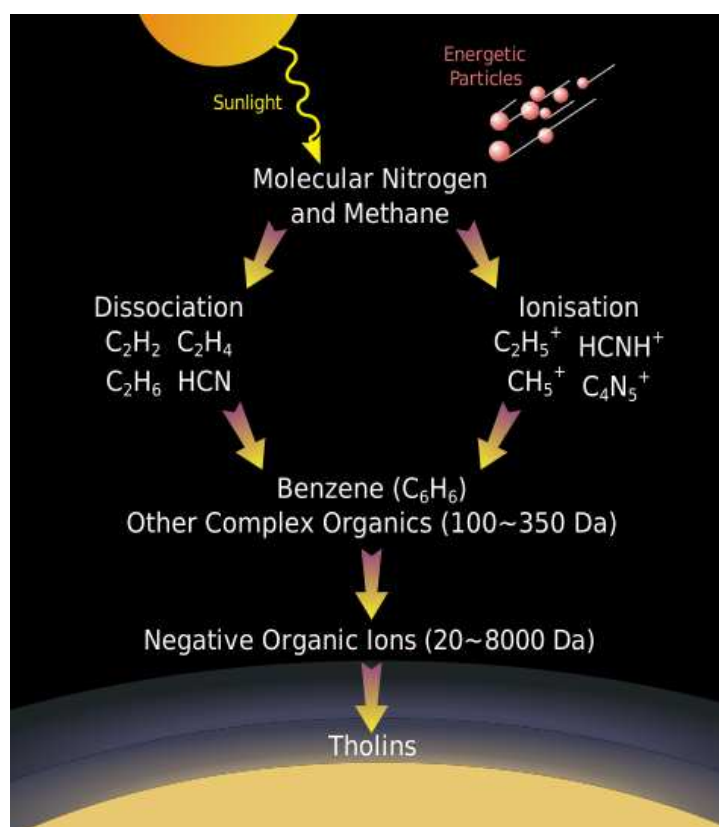
A HR 4796A körülbelül 220 fényévre helyezkedik el a Földtől, leginkább a déli féltékről látható. Porkorongját 1991-ben fedezték fel.

A publikáció szerint a csillag porkorongján szétszóródó látható és infravörös fény nagyon vörösnek tűnik, ez a szín pedig tholinokra (görögül: „sáros”, olyan anyag, amely a külső Naprendszer nitrogénben dús légköreiben ultraibolya sugárzás, vagy elektromos kisülések hatására keletkezik), nagy szerves szénmolekulákra utal. A spektroszkópos vizsgálatok kizárják a hasonló színben megjelenő egyéb anyagokat, mint a vas-oxidot. A tholin ma már nem képződik természetes körülmények között a Földön, mivel a légkör oxigénje igen gyorsan megsemmisítené, elméletileg azonban a fiatal Föld évmilliárdokkal ezelőtt szintén rendelkezett ezekkel a molekulákkal, ami jó eséllyel lehetett az élő organizmusokat felépítő biomolekulák előfutára.

Tholinokat több helyen találhatunk a Naprendszerben, jellemzően üstökösökben, de jelen vannak a szaturnuszi hold, a Titán légkörében is, ők adják az atmoszféra jellegzetes vöröses árnyalatát.

A Carnegie tanulmánya az első, ami tholin jelenlétet mutatott ki a Naprendszeren kívül.

(forrás:
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Formation_of_tholins_in_Titan%27s_upper_atmosphere.svg)



„A csillagászok még csak most kezdenek a Naptól teljesen különböző csillagok körül keringő bolygók után kutatni. A HR 4796A kétszer akkora tömeggel és hőkibocsátással rendelkezik, mint a Nap, fényessége pedig több mint hússzorosa” - mondta Debes. „A rendszer tanulmányozása újabb adalékokkal szolgál azokról a körülményekről, melyben végbe mehet a bolygóformálódás, és talán az élet kialakulása is”

Az élet kialakulásának kutatása a Naprendszerben

Szakirodalom:



(címlap kép forrás: Fényes Lóránd felvétele, Piliscsév

Csillagászat.hu – Magyar Csillagászati Egyesület,

<http://www.csillagaszat.hu/a-het-kepe/a-het-csillagaszati-kepe-ananasz-az-elefantormanyban/> és
www.csillagaszat.hu/wp-content/uploads/2011/09/2011w36-nagy1.jpg)

A felvétel 2011-es nyári szezonban készült, a folyamatosan gyenge időjárás miatt másfél hónapon át. Volt éjszaka, amelyen 40-60, és volt, amelyen mindössze 2 expozíció volt felhasználható a gyenge átlátszóság miatt. Végül a képhez felhasznált össz expozíciós idő nagyjából 8 órát tesz ki, 6,5 perces UHC szűrős és 3 perces szűrő nélküli képekkel, ISO 1600-on fotózva.

Felszerelés: GSO GSN2008 200/800 távcső, SkyWatcher HEQ-5 Pro Synscan mechanika, Lacerta MGEN Autoguider keresőtávcsövön vezetve, Baader UHC-S szűrő. A kép Piliscsévről (szűrős) és Balatonedericsről (szűrő nélküli) készült.

Az Elefántormány-köd csillagközi gáz és por koncentrációja az IC 1396 halmaz közelében, 2400 fényévre Földünkől. A sötét felhő peremét egy nagy tömegű, fényes csillag világítja meg és ionizálja. Jelen ismereteink szerint az Elefántormány-köd egy csillagbölcső.

A Naprendszer nagy valószínűséggel egy hasonló környezetben alakult ki, mint az IC 1396 csillagközi felhők.

72255 Aphanitic Impact Melt Breccia, Lunar and Planetary Institute, Lunar Sample 72255 Compendium, curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/72255.pdf

A possible scenario for the genesis of asteroid 2008 TC3, Addi Bischoff et al. után, 2010, Meteoritics & Planetary Science 45, Nr 10-11, pg. 1652, www.meteoritestudies.com/protected_ALMMS181.HTM

A. Horváth, T. Gánti, Sz. Bérczi, E. Szathmáry, Pócs, T (27–29 October 2003). "Are the dark dune spots remnants of the crypto-biotic-crust of Mars?". 38th Vernadsky-Brown Microsymposium on Comparative Planetology. Moscow, Russia. Retrieved 7 September 2009.

A. Horváth, T. Gánti, Sz. Bérczi, A. Gesztesi, E. Szathmáry, ed. (2002). "Morphological Analysis of the Dark Dune Spots on Mars: New Aspects in Biological Interpretation.", Lunar and Planetary Science XXXIII. Retrieved 24 November 2008.

A. J. Irving¹, S. M. Kuehner, T. E. Bunch, K. Ziegler, G. Chen, C. D. K. Herd, R. M. Conrey, S. Ralew: Ungrouped mafic achondrite Northwest Africa 7325: a reduced, iron-poor cumulate olivine gabbro from a differentiated planetary parent body, 44.th Lunar and Planetary Science Conference, 2013

A. Kereszturi, D. Möhlmann, Sz. Berczi, T. Ganti, A. Horvath, A. Kuti, A. Sik, E. Szathmary: Indications of brine related local seepage phenomena on the northern hemisphere of Mars, Icarus 207 (2010) 149–164, doi:10.1016/j.icarus.2009.10.012, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001910350900428X>

A. Steele, F. M. McCubbin, M. Fries, M. Glamoclija, L. Kater, H. Nekvasil: Graphite in an Apollo 17 Impact Melt Breccia, Science, 2010; julius 2., Vol. 329 no. 5987 p. 51, DOI: 10.1126/science.1190541

Aaron S. Burton, Jamie E. Elsila, Jason E. Hein, Daniel P. Glavin, Jason P. Dworkin: Extraterrestrial amino acids identified in metal-rich CH and CB carbonaceous chondrites from Antarctica, Meteoritics & Planetary Science 1–13 (2013), doi: 10.1111/maps.12063, és www.researchgate.net/publication/235736699_Extraterrestrial_amino_acids_identified_in_metal-rich_CH_and_CB_carbonaceous_chondrites_from_Antarctica/file/9fcfd512fd0d4e4d6d.pdf, és NASA Scientists Find Clues to a Secret of Life, www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2009/left_hand_life.html

Aaron S. Burton, Jamie E. Elsila, Jason E. Hein, Daniel P. Glavin, Jason P. Dworkin: Extraterrestrial amino acids identified in metal-rich CH and CB carbonaceous chondrites from Antarctica, Meteoritics & Planetary Science 1–13 (2013), doi: 10.1111/maps.12063, és www.researchgate.net/publication/235736699_Extraterrestrial_amino_acids_identified_in_metal-rich_CH_and_CB_carbonaceous_chondrites_from_Antarctica/file/9fcfd512fd0d4e4d6d.pdf

Aaron S. Burton, Jennifer C. Stern, Jamie E. Elsila, Daniel P. Glavin, Jason P. Dworkin: Understanding prebiotic chemistry through the analysis of extraterrestrial amino acids and nucleobases in meteorites, Chem. Soc. Rev., 2012, 41, 5459–5472, DOI: 10.1039/C2CS35109A, <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2012/cs/c2cs35109a>, és <http://science.gsfc.nasa.gov/691/analytical/PDF/BurtonReview2012.pdf>

Adam A. Garde, Iain McDonald, Brendan Dyck, Nynke Keulen: Searching for giant, ancient impact structures on Earth: The Mesoarchean Maniitsoq structure, West Greenland. – Earth Planet. Sci. Let., vol. 337–338,

Addi Bischoff et al., 2010, Meteoritics & Planetary Science 45, Nr 10-11, pg. 1652, www.meteoritestudies.com/protected_ALMMS181.HTM

Almár Iván : Élethordozó meteoritok? Életrevaló helyek és körülmények - A SETI szépsége, <http://mek.oszk.hu/11100/11104/html/SETISZEP/SS03ELME.HTM>

Almár Iván: A Lunar Prospector és a Hold jege, Csillagászati évkönyv 1999

Almár Iván-Both Előd-Horváth András: Űrtan, Springer Kiadó 1996

Almár Iván-Horváth András: Űrhajózási lexikon, Akadémiai-Zrínyi Kiadó 1981

An image of the lunar surface, collected by the LRO Narrow Angle Cameras, NASA / GSFC / ASU, images/news2/Moon-Contains-Three-Kinds-of-Water-2.jp, és http://farm6.static.flickr.com/5186/5640340024_f65b50af91_z.jpg

Anaglyph by Nathaniel Burton-Bradford, NASA/GSFC/Arizona State University, www.universetoday.com/94998/moon-craters-3-d/

Antal Embey-Isztin: „Basaltic volcanism on the terrestrial planets: a window y interiors” Bazalt vulkanizmus a föld-típusú bolygók: betekintés az égitestek belsejébe, ACTA GGM DEBRECINA Geology, Geomorphology, Physical Geography Series Debrecen Vol. 2, 53–57 2007)

Apollo 15: Regolith breccia, (sample # 15299)

www.open.ac.uk/earth-research/tindle/AGT/AGT_Home_2010/NASA_15299A.html

<http://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/15299.pdf>, és

OU-NASA Virtual Microscope, <http://projects.kmi.open.ac.uk/microscope/sections/15299/>

Apollo 17 Mission, Sample 70017, Photo Number S-73-15721,

www.lpi.usra.edu/lunar/samples/atlas/lab_view/?mission=Apollo%2017&sample=70017&side=e, és alatta a mikroszkópi kép 20x –os nagyításban:

High-titanium mare basalt, lunar thin section, Kurt Hollocher, 2003,

http://minerva.union.edu/hollochk/c_petrology/moon_rocks/70017.htm,

az ábra jobboldalán: NASA, Lunar and Meteorite Petrographic Thin Section Program,

<http://curator.jsc.nasa.gov/education/LPETSS/70017.cfm>

Asimov, Isaac: A Hold tragédiája, Kozmosz könyvek 1979

Asphaug et al., 2006. Nature, v. 439, p. 155-160

Astronomy Picture of the Day, Mars Exploration Rover Mission, Cornell, JPL, NASA, Rover Model: D. Maas, Synthetic Image: Z. Gorjian, K. Kuramura, M. Stetson, E. De Jong. <http://apod.nasa.gov/apod/ap051214.html>

Atlas Of The Orion Nebula's Protoplanetary Discs,

<http://lpb.fieldofscience.com/2009/12/atlas-of-orion-nebulas-protoplanetary.html>,

NASA, ESA and L. Ricci (ESO)

http://3.bp.blogspot.com/_R_fTYHVWAZI/SyZvJXaJZLI/AAAAAAAAA8Q/oaINl6pnszQ/s1600-h/proplyd26.jpg

B Hollósi Miklós: arangolások a kiralitás birodalmában, <http://chemonet.hu/mkf/akademia/hollosi.html>

Balogh Gábor: Meteoritok Tűzgömbök Világa, <http://tuzgomb.blogspot.hu/p/meteoritok-uj.html>

Baráz Csaba: Kozmikus sebhely (asztróbléma) a Bükkben. Nyomozás egy 20 millió évvel ezelőtti meteoritbecsapódás után. (2013), Zöld Horizont 8. évf. 1-2. szám (24-25.) 8-9.,

<http://lithosphaera.hu/2013/06/kozmi-kus-sebhely-asztroblema-a-bukkb-en/>,

http://lithosphaera.hu/wp-content/uploads/2013/06/x18783_Hipotezis_print.pdf,

Bell, M. S. (2007) Experimental Shock Decomposition of Siderite and the Origin of Magnetite in ALH 84001. Meteoritics and Planetary Science, v. 42, p. 935-949.

Bérczi Sz. (2001): Kis Atlasz a Naprendszeréről (1): Planetáris és anyagtérképek holdközvetekről, meteoritekről. UNICONSTANT. Püspökladány (ISBN 963-00-6314-XÖ, 963 00 6315 8)

- Bérczi Sz. (2001): Kis Atlasz a Naprendszeréről (1): Planetáris és anyagtérképek holdközvetekről, meteoritokról. UNICONSTANT. Püspökladány (ISBN 963-00-6314-XÖ, 963 00 6315 8)
- Bérczi Sz., Gucsik A., Hargitai H., Józsa S., Kereszturi Á., Nagy Sz., Szakmány Gy. (szerk.: Bérczi Sz.) (2008): Kis atlasz a Naprendszeréről (11): Közetszövetek a Naprendszerben. ELTE TTK Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Budapest (ISBN 978-963-284-034-5)
- Bérczi Sz., Maros G., Szabó Sóki L., Varga T.: „A naprendszer anyagai” (2001) videofilm anyagából, ELTE TTK, Általános Fizika Tanszék, Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport
- Bérczi Szaniszló a Naprendszer anyagairól készült ábragyűjtemény hu.wikipedia.org/wiki/Kondritok
- Bérczi Szaniszló Naprendszer-anyagokról készült rajz és ábragyűjteménye, <http://hu.wikipedia.org/wiki/Kondritok>
- Bérczi Szaniszló Naprendszeranyagokról készült rajzgyűjteménye, ELTE TTK – MTA KAVÜCS, hu.wikipedia.org/wiki/Holdk%C5%91zetek
- Bérczi Szaniszló, Gucsik Arnold, Hargitai Henrik, Horvai Ferenc, Illés Erzsébet, Kereszturi Ákos, Nagy Szabolcs János: A Naprendszer kisenciklopédiája – A Naprendszer formakincse: Becsapódások folyamata, nyomai és hatásai. ELTE TTK – MTA Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, 2005. <http://planetologia.elte.hu/nyomtat.phtml?cim=hold-irassal.html>
- Bérczi Szaniszló, Gucsik Arnold, Hargitai Henrik, Józsa Sándor, Kereszturi Ákos, Nagy Szabolcs, Szakmány György: Kis Atlasz A Naprendszeréről (11), Közetszövetek a naprendszerben, ELTE TTK/MTA Geonómia Bizottság Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Budapest _ 2008, planetologia.elte.hu/atlasz/atlasz11.pdf
- Bérczi Szaniszló, Gucsik Arnold, Hargitai Henrik, Józsa Sándor, Kereszturi Ákos, Nagy Szabolcs, Szakmány György (szerk. Bérczi Szaniszló) (2008): Kis atlasz a Naprendszeréről (11): Közetszövetek a Naprendszerben. ELTE TTK Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, Budapest (ISBN 978-963-284-034-5)
- Bérczi Szaniszló: A mars kőzetei a marsi meteoritok alapján, ELTE TTK Anyagfizikai Tanszék, Fizikai Szemle 2007/8. 260., http://epa.oszk.hu/00300/00342/00207/pdf/FizSzem_EPA00342_2007_08_260-264.pdf, <http://www.wold.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz0708/berczi0708.html>
- Bérczi Szaniszló: Égítéstfejlődések a Naprendszerben: Kisbolygó, Hold, Mars, Föld., ELTE TTK, Általános Fizika Tanszék, <http://planetologia.elte.hu/1cikkek.phtml?cim=egitestfejlodesek-1.html>
- Bérczi Szaniszló: Holdi fejlődéstörténet a Holdról gyűjtött kőzetminták alapján, ELTE TTK, Általános Fizika Tanszék, Kozmikus Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport, (KAVÜCS), <http://planetologia.elte.hu/1cikkek.phtml?cim=egitestfejlodesek-2.html>
- Bérczi Szaniszló: Holdközvetek Magyarországon, Természet Világa 1994. július
- Bérczi Szaniszló: Kristályoktól a bolygótetekig, Akadémiai Kiadó 1991
- Bérczi Szaniszló: Kristályoktól Bolygótetekig. (210 old.) Budapest Akadémiai Kiadó, (1991)
- Bérczi Szaniszló: Planetológia. Egyetemi jegyzet, J3-1154. Budapest Tankönyvkiadó, (1978):
- Biogén elem, Wikipédia, a szabad enciklopédia, http://hu.wikipedia.org/wiki/Biog%C3%A9n_elem
- Biológia 11., A sejtek felépítése és anyagcseréje, A biogén elemek, https://www.mozaweb.hu/Lecke-Biologia-Biologia_11-A_sejtek_felepitesi-102501 és Biogén elem, Wikipédia, a szabad enciklopédia, http://hu.wikipedia.org/wiki/Biog%C3%A9n_elem

- Birger Rasmussen, Ian R. Fletcher, Courtney J. Gregory, Janet R. Muhling, Alexandra A. Suvorova: Tranquillityite: The last lunar mineral comes down to Earth, *Geology* 2011. 11 23, <http://geology.gsapubs.org/content/40/1/83.abstract>
- Birger Rasmussen: The Geological Society of America, Moon rocks' made here: tranquillityite discovered in Western Australia, <http://theconversation.com/moon-rocks-made-here-tranquillityite-discovered-in-western-australia-4956>
- Bishop Klobuczeky and Curate-General Wolfgang Kukuljevic & the Hraschina meteorite, *Naturhistorisches Museum Wien*, <http://www.nhm-wien.ac.at/en?null>
- blogs.nature.com/news/
- Bodács István: A Hold és hatásai a Földre, A Hold geológiája, belső felépítés, Diplomamunka, Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Kar Kísérleti Fizikai Tanszék, (Szeged: 2000) <http://mek.oszk.hu/00500/00558/html/dip2.htm>
- Bodács István: A Hold és hatásai a Földre, Diplomamunka, Szegedi Tudományegyetem Természettudományi Kar Kísérleti Fizikai Tanszék (Szeged: 2000)
- Bókkon István: A nanobaktériumok világa, *BIOKÉMIA*, A Magyar Biokémiai Egyesület tájékoztatója Quarterly Bulletin of the Hungarian Biochemical Society, XXVI. évf. 2. szám 2002. június, <http://webio.hu/biokemia/tartalom/b200206.pdf> <http://www.nationalacademies.org/ssb/nanopanel2kajander.htm> és E. Olavi Kajander, Neva Çiftçioğlu: Nanobacteria: An alternative mechanism for pathogenic intra- and extracellular calcification and stone formation, *Proc. Nat. Acad. Sci.* 95:8274-8279 www.pnas.org/content/95/14/8274.full és <http://www.pnas.org/content/95/14/8274.full>
- Both Előd: Mit vonz a Hold?, *Természet világa* 2000. április
- Bradley, J. P., Harvey, R. P., McSween, H. Y., Jr., 1997, No "nanofossils" in martian meteorite. *Nature*, v. 390.
- Brig Klyce: Fossilized Magnetotactic Bacterium in the Orgueil Meteorite What'sNEW since 1998., www.panspermia.org/magneto.htm
- Brooks, J., Shaw, G. (1973): Origin and development of living systems. Academic Press, London, New York (Magyar kiadása: Az élő rendszerek eredete és fejlődése. Gondolat Könyvkiadó, Budapest, 1981)
- Budó Ágoston: Kísérleti fizika I., Tankönyvkiadó 1992
- C. M. Lisse, J. VanCleve, A. C. Adams, M. F. A'Hearn, Y. R. Fernández, T. L. Farnham, L. Armus, C. J. Grillmair, J. Ingalls, M. J. S. Belton, O. Groussin, L. A. McFadden, K. J. Meech, P. H. Schultz, B. C. Clark, L. M. Feaga, J. M. Sunshine: Spitzer Spectral Observations of the Deep Impact Ejecta, *Science* 313, 635 (2006); DOI: 10.1126/science.1124694
- C. Patuelli, R. Serra, S. Coniglione, M. Chiarini: Crystalline microstructures in Libyan Desert Glass: Effect of microgravity environment, *Microgravity and Space Station Utilization*, vol. 3, no. 4, 2002, www.b14643.de/Sahara/LDG/index.htm
- C. R. Neal, G. Kramer: The composition of krep: A detailed study of KREEP basalt 15386., Department of Civil Engineering and Geological Sciences, University of Notre Dame, Lunar and Planetary Science XXXIV (2003), www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2003/pdf/2023.pdf
- Carl B. Agee, Nicole V. Wilson, Francis M. McCubbin, Karen Ziegler, Victor J. Polyak, Zachary D. Sharp, Yemane Asmerom, Morgan H. Nunn, Robina Shaheen, Mark H. Thiemens, Andrew Steele, Marilyn L. Fogel, Roxane Bowden, Mihaela Glamoclija, Zhisheng Zhang, Stephen M. Elardo: Unique Meteorite from Early

Amazonian Mars: Water-Rich Basaltic Breccia Northwest Africa 7034, *Science* 15 February 2013: Vol. 339 no. 6121 pp. 780-785 DOI: 10.1126/science.1228858, www.sciencemag.org/content/339/6121/780, és <http://asmerom.unm.edu/Research/Papers/Agee%20et%20al%20Martian%207034%20Science%20%202013.pdf>

Carroll, P., Drouin, B., Widicus Weaver, S.: „The Submillimeter Spectrum of Glycolaldehyde”. *Astrophysical Journal Letters*, 2010.723: 845–849. Bibcode:2010ApJ...723..845C. doi:10.1088/0004-637X/723/1/845, és <http://en.wikipedia.org/wiki/Glycolaldehyde>

Chandra Wickramasinghe Ph.D. Centre for Astrobiology, Cardiff University, UK: Microfossils in Meteors and Comet Dust: A Vindication of Panspermia, <http://journalofcosmology.com/Life101.html#5>

Chandra Wickramasinghe, Max K. Wallis, Carl H. Gibson, Jamie Wallis, Shirwan Al-Mufti, Nori Miyake: Bacterial morphologies in carbonaceous meteorites and comet dust, <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1008/1008.3860.pdf>

Charles Meyer, Lunar Sample Compendium, Astromaterials Research and Exploration Science (ARES), National Aeronautics and Space Administration, (NASA), OU-NASA Virtual Microscope, www.open.ac.uk/earth-research/tindle/AGT/AGT_Home_2010/NASA_74220A.html <http://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/74220.pdf>

Charles Meyer: Mars Meteorite Compendium: Chassigny, <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/mmc/Chassigny.pdf>, és <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/mmc/Chassigny.pdf>

Charles Meyer: The Lunar Petrographic, Educational, Thin Section Set, NASA Lyndon B., Johnson Space Center, 2003. szeptember, <http://curator.jsc.nasa.gov/education/lpetss/index.cfm>, http://curator.jsc.nasa.gov/education/lpetss/documents/CMEYER_booklet2003.pdf <http://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/15016.pdf>

Charles Meyer: The Lunar Petrographic, Educational, Thin Section Set, NASA Lyndon B. Johnson Space Center, 2003. szeptember, <http://curator.jsc.nasa.gov/education/lpetss/index.cfm>, és http://curator.jsc.nasa.gov/education/lpetss/documents/CMEYER_booklet2003.pdf,

Chi Ma, Oliver Tschauer, John R. Beckett, George R. Rossman, Wenjun Liu: Panguite, (Ti⁴⁺,Sc,Al,Mg,Zr,Ca)_{1.8}O₃ a new ultra-refractory titania mineral from the Allende meteorite: Synchrotron micro-diffraction and EBSD, *American Mineralogist*, Volume 97, pages 1219–1225, 2012., www.its.caltech.edu/~chima/publications/2012_AM_panguite.pdf

Christopher R. Webster, Paul R. Mahaffy, Sushil K. Atreya, Gregory J. Flesch, Kenneth A. Farley, a MSL Science Team: Low Upper Limit to Methane Abundance on Mars, *Science* 2013. 09. 18. Vol. 342 no. 6156 pp. 355-357 DOI:10.1126/science.1242902, *Scienceexpress*, [www.sciencemag.org/content/early/recent/19 September 2013/Page1/10.1126/science.1242902](http://www.sciencemag.org/content/early/recent/19%20September%202013/Page1/10.1126/science.1242902)

Cisar, J.O., D.-Q. Xu, J. Thompson, W. Swaim, L. Hu and D.J. Kopecko. 2000. An alternative interpretation of nanobacteria-induced biomineralization. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 97:11,511-11,515.

Claus, G., and Nagy, B. A Microbiological Examination of Some Carbonaceous Chondrites, *Nature*, 192, 594 (1961). *Nature* 192, 594 - 596 (18 November 1961); doi:10.1038/192594a0, DOI: 10.1117/2.1200907.1699, <http://www.readcube.com/articles/10.1038/192594a0>

Comins, Neil F.: *Mi lenne a Földön, ha...?*, Panem-Grafo Kiadó 1994

Csengeri Timea, Sik András: *Aki MER, az nyer – avagy két rover felfedezései a Marson*, <http://www.omikk.bme.hu/archivum/pavlics/dokumentumok/pavlicstx261-01.htm>

Cserny Tibor et al.: *Általános földtan és gyakorlat. Kézirat. Sopron. 2006.*

D.S. McKay, S.J. Clemett, K.L. Thomas-Keprta, S.J. Wentworth, E.K. Gibson, Jr, F. Robert, A.B. Verchovsky, C.T. Pillinger, T. Rice, B. Van Leer: Observation and Analysis of in Situ carbonaceous matter in Nakhla: Part I., Lunar and Planetary Science XXXVII (2006), www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2006/pdf/2251.pdf

Dana Berry; orrás: Robin Canup, SWRI, <http://ngm.nationalgeographic.com/2013/07/125-solar-system>

Daniel P. Glavin, Andrew D. Aubrey, Michael P. Callahan, Jason P. Dworkin, Jamie E. Elsila, Eric T. Parker, Jeffrey L. Bada, Peter Jenniskens, Muawia H. Shaddad: „Extraterrestrial amino acids in the almahata sitta meteorite” Meteoritics & Planetary Science 45, Nr 10–11, 1695–1709 (2010) doi: 10.1111/j.1945-5100.2010.01094.x, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1945-5100.2010.01094.x/pdf>

Daniel P. Glavin, Jeffrey L. Bada, Karen L. F. Brinton, Gene D. McDonald: Amino acids in the Martian meteorite Nakhla, PNAS, 1999 augusztus 03., vol. 96 no. 16, 8835–8838, <http://www.pnas.org/content/96/16/8835.full>

David S. McKay, Everett K. Gibson Jr., Kathie L. Thomas-Keprta, Hojatollah Vali, Christopher S. Romanek, Simon J. Clemett, Xavier D. F. Chillier, Claude R. Maechling, Richard N. Zare: Search for Past Life on Mars: Possible Relic Biogenic Activity in Martian Meteorite ALH84001, SCIENCE 1996. augusztus 16., VOL. 273, no. 5277 pp. 924-930, DOI: 10.1126/science.273.5277.924, <http://www.sciencemag.org/content/273/5277/924>
<http://www.earth.northwestern.edu/people/seth/351/search.life.pdf>,

David Williams: Large molecules in space?
<http://astrogeo.oxfordjournals.org/content/44/6/6.14.abstract>
Oxford Journals, Mathematics & Physical Sciences, Astronomy & Geophysics, Volume 44 Issue 6, <http://astrogeo.oxfordjournals.org/content/44/6/6.14.full.pdf+html>

Davies, Paul: Az utolsó három perc, Kulturtrade kiadó, 1994.

Department of Earth and Planetary Sciences, Washington University in St. Louis, http://meteorites.wustl.edu/lunar/moon_meteorites_list_alpha.htm

Department of Earth and Planetary Sciences, Washington University in St. Louis, list of lunar meteorites, http://meteorites.wustl.edu/lunar/moon_meteorites_list_alumina.htm

Dorschner, Johann: A bolygók - a Föld testvérei?, Gondolat kiadó 1980

Dr. George Rossman California Institute of Technology's Geology and Planetary Sciences department, www.spitzer.caltech.edu/images/1471-ssc2005-18c-Ingredients-of-a-Comet

Dr. Harangi Szabolcs: Bevezetés a közzetanba 2. Földtudományi BSc szak, ELTE FFI Közzetan-Geokémiai Tanszék, ppt diaképek, http://elte.pene.hu/e107_files/downloads/download.php?fname=.%20foldtud/1.%20felev/bevezetes_az_asvany_es_kozettanba/kozettan/jelszo_nelkuli/Bevezetes_kozettanba_BSc_2.pdf.

Dust Devils on Mars, ESP_014426_2070, HiRISE Science Team (14 October 2009), Aeolian Processes, NASA/JPL/University of Arizona, www.uahirise.org/science_themes/aeolian.php, www.uahirise.org/science_themes/aeolian_processes_1.php?page=4 www.uahirise.org/ESP_014426_2070

E. Ammannito, M. C. De Sanctis, E. Palomba, A. Longobardo, D. W. Mittlefehldt, H. Y. McSween, S. Marchi, M. T. Capria, F. Capaccioni, A. Frigeri, C. M. Pieters, O. Ruesch, F. Tosi, F. Zambon, F. Carraro, S. Fonte, H. Hiesinger, G. Magni, L. A. McFadden, C. A. Raymond, C. T. Russell, J. M. Sunshine: Olivine in an unexpected location on Vesta's surface, Nature 2013. 12. 05., 504, 122–125, doi:10.1038/nature12665, nature.com/nature/journal/v504/n7478/fig_tab/nature12665_SF2.html

E. Chatzitheodoridis, S. Haigh, I. Lyon: Crystalline clays in an intriguing ovoid structure in Nakhla, 44th Lunar and Planetary Science Conference 2013., www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2013/pdf/2040.pdf és www.meteoritestudies.com/protected_NAKHLA.HTM

E. Imre Friedmann, Jacek Wierzchos, Carmen Ascaso, Michael Winklhofer: Chains of magnetite crystals in the meteorite ALH84001: Evidence of biological origin, PNAS February 27, 2001 vol. 98 no. 5., <http://www.pnas.org/content/98/5/2176.full> és <http://www.pnas.org/content/98/5.toc> és <http://www.pnas.org/content/98/5/2176.full.pdf+html>
NASA Ames Research Center,
www.nasa.gov/centers/ames/news/releases/2001/01images/magneticbacteria/bacteria.html

E. Ohtani, S. Ozawa, M. Miyahara, Y. Ito, T. Mikouchi, M. Kimura, T. Arai, K. Sato, K. Hiragae: Coesite and stishovite in a shocked lunar meteorite, Asuka-881757, and impact events in lunar surface, Proc Natl Acad Sci U S A. Jan 11, 2011; 108(2): 463–466. 2010. 12. 17., PMID: PMC3021006, doi: 10.1073/pnas.1009338108 www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3021006/ és www.pnas.org/content/108/2/463/F2.large.jpg
<http://meteorites.wustl.edu/lunar/stones/asuka881757.htm>

E. T. Simpson, T. Kasama, M. Posfai, P. R. Buseck, R. J. Harrison, R. E. Dunin-Borkowski: Magnetic induction mapping of magnetite chains in magnetotactic bacteria at room temperature and close to the Verwey transition using electron holography. Journal of Physics: Conference Series 17 (2005) 108–121.

Elena A. Zhegallo, Alexei Yu. Rozanov, Galina T. Ushatinskaya, Richard B. Hoover, Ludmila M. Gerasimenko and Alla L. Ragozina, Atlas of Microorganisms from Ancient Phosphorites of Khubsughul (Mongolia), NASA/TP 209901 (In English and Russian), pp. 1-167, 61 Figs. (2000).

Erik H. Hauri, Thomas Weinreich, Alberto E. Saal, Malcolm C. Rutherford, James A. Van Orman: High Pre-Eruptive Water Contents Preserved in Lunar Melt Inclusions, Science 8 July 2011. július 08. Vol. 333 no. 6039 pp. 213-215, DOI: 10.1126/science.1204626, és Ferris Jabr: Apollo 17 moon rocks are surprisingly wet, www.newscientist.com/article/dn20511-apollo-17-moon-rocks-are-surprisingly-wet.html

ESA, <http://spaceflightnow.com/news/n1001/09marslife/>

Fényes Lóránd, Csillagászat.hu – Magyar Csillagászati Egyesület, <http://www.csillagaszat.hu/a-het-kepe/a-het-csillagaszati-kepe-ananasz-az-elefantormanyban/> és www.csillagaszat.hu/wp-content/uploads/2011/09/2011w36-nagy1.jpg

Fisk et al.: 2006., Oregon State University, http://www.meteoritestudies.com/protected_NAKHLA.HTM

Földtörténeti időskála, regmorrison.edublogs.org/files/2013/05/Evolution-timescale-2g32nm.jpg, és regmorrison.edublogs.org/files/2013/05/Evolution-timescale-1w2ws0w.pdf

Folk, R. L. (1992) Bacteria and nanobacteria revealed in hard grounds, calcite cements, native sulfur, sulfide materials, and travertines. Geol. Soc. Amer., Annual Meeting, Program Abstracts., 104.

Folk, R. L. (1993) Dolomite and dwarf bacteria (nanobacteria). Geol. Soc. Amer., Annual Meeting, Program Abstracts., A-397.

Folk, R. L.: Nanobacteria: surely not figments, but what under heaven are they? *naturalSCIENCE*, 1997., http://naturalscience.com/ns/articles/01-03/ns_folk.html és <http://naturalscience.com/ns/articles/01-03/folk5.gif>

Fossilized Life Forms in the Murchison Meteorite, What's NEW since, 1997.július 29., és More Evidence for Indigenous Microfossils in Carbonaceous Meteorites What'sNEW since Aug 2010. www.panspermia.org/hover4.htm#whatsnew

Fossilized Life Forms in the Murchison Meteorite, What's NEW since, 1997.július 29.

Franck Marchis, Daniel Hestroffer, Pascal Descamps, Jérôme Berthier, Antonin H. Bouchez, Randall D. Campbell, Jason C. Y. Chin, Marcos A. van Dam, Scott K. Hartman, Erik M. Johansson, Robert E. Lafon, David Le Mignant, Imke de Pater, Paul J. Stomski, Doug M. Summers, Frédéric Vachier, Peter L. Wizinovich, Michael H. Wong: "A low density of

0.8 g cm⁻³ for the Trojan binary asteroid 617 Patroclus", in: Nature 439, 565-567 (02 02. 2006)

doi:10.1038/nature04350, IMCCE-Observatoire de Paris,

www.nature.com/nature/journal/v439/n7076/abs/nature04350.html, és

astro.berkeley.edu/~fmarchis/Science/Asteroids/Patroclus/figTrojans.jpg,

Lynette Cook, (W. M. Keck Observatory): Study of Patroclus and Menoetius A Double Trojan System,

<http://astro.berkeley.edu/~fmarchis/Science/Asteroids/Patroclus/>

Francois Fressin et. al., Two Earth-sized planets orbiting Kepler-20, Nature (2011) doi:10.1038/nature10780,

www.universetoday.com/91989/first-earth-sized-exoplanets-found-by-kepler/

G. Jeffrey Taylor (Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology): Interstellar Organic Matter in Meteorites, Planetary Science Research Discoveries (May, 2006)

Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT), CFH12K camera (2001) / Jean-Charles Cuillandre / Edizioni

Scientifiche Coelum, Star Formation Region IC 1396,

www.psrд.hawaii.edu/May06/meteoriteOrganics.html

www.psrд.hawaii.edu/May06/PSRD-meteoriteOrganics.pdf

www.cfht.hawaii.edu/hawaiianstarlight/English/Poster-IC1396.html

www2.ifa.hawaii.edu/newsletters/article.cfm?a=138&n=14

G. Jeffrey Taylor and Linda M. V. Martel: Wee Rocky Droplets in Comet Dust,

www.psrд.hawaii.edu/Dec08/PSRD-cometDust.pdf

G. Jeffrey Taylor and Linda M. V. Martel: Wee Rocky Droplets in Comet Dust, Planetary Science Research Discoveries, www.psrд.hawaii.edu/Dec08/cometDust.html, és

www.psrд.hawaii.edu/Dec08/PSRD-cometDust.pdf

G. Jeffrey Taylor: Did an Impact Make the Mysterious Microscopic Magnetite Crystals in ALH 84001? Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology www.psrд.hawaii.edu/Oct07/magnetite-origin.html és

www.psrд.hawaii.edu/Oct07/PSRD-magnetite-origin.pdf

G. Jeffrey Taylor: Fossils in Martian Meteorite: Real or Imagined?, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, www.psrд.hawaii.edu/Dec97/LifeonMarsUpdate2.html és

www.psrд.hawaii.edu/Dec97/PSRD-LifeonMarsUpdate2.pdf

G. Jeffrey Taylor: Heating, Cooling, and Cratering: One Asteroid's Complicated Story, Planetary Science Research Discoveries, 2008. július 08.,

www.psrд.hawaii.edu/July08/H-chondrite-parent.html, és

www.psrд.hawaii.edu/July08/PSRD-H-chondrite-parent.ppt

G. Jeffrey Taylor: Meteoritic Minerals Tell a Story of Multistage Cooling, Break-up, and Reassembly of an Asteroid, Planetary Science Research Discoveries, 2013. április 30.

www.psrд.hawaii.edu/April13/PSRD-multistage-cooling.pdf, és

www.psrд.hawaii.edu/April13/PSRD-multistage-cooling.ppt

G. Jeffrey Taylor: New Lunar Meteorite Provides its Lunar Address and Some Clues about Early Bombardment of the Moon, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, www.psrд.hawaii.edu/Oct04/SaU169.html,

www.psrд.hawaii.edu/Oct04/PSRD-SaU169.pdf, 2004. október 31.

G. Jeffrey Taylor: New Martian Meteorite is Similar to Typical Martian Crust, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, www.psrд.hawaii.edu/Jan13/NWA7034.html, www.psrд.hawaii.edu/Jan13/PSRD-NWA7034.pdf, és <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/mmc/NWA7034.pdf>, Meyer 2012.

G. Jeffrey Taylor: The Complicated Geologic History of Asteroid 4 Vesta,
www.psr.d.hawaii.edu/June09/Vesta.granite-like.html,
www.psr.d.hawaii.edu/June09/PSRD-Vesta.granite-like.pdf

G. Jeffrey Taylor: Wet, Carbonaceous Asteroids: Altering Minerals, Changing Amino Acids, Planetary Science Research Discoveries, www.psr.d.hawaii.edu/April11/amino_acids.html, és www.psr.d.hawaii.edu/April11/PSRD-amino_acids.pdf

Ganguly, J., Tirone, M., Chakraborty, S., and Domanik, K. (2013) H-Chondrite parent asteroid: A multistage cooling, fragmentation, and re-accretion history constrained by thermometric studies, diffusion kinetic modeling and geochronological data. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 105, p. 206-220.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2012.11.024>.
http://www.geo.arizona.edu/sites/www.geo.arizona.edu/files/pictures/H-Chondrites_13.pdf

Gánti T., Sz. Bérczi, A. Horváth, A. Kereszturi, T. Pócs, A. Sik, E. Szathmáry: Hypothetical time sequence of the morphological changes in global and local levels of the dark dune spots in polar region of Mars. *Lunar and Planetary Science XXXVII* (2006), www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2006/pdf/1918.pdf

Gánti, Tibor; András Horváth, Szaniszló Bérczi, Albert Gesztesi and Eörs Szathmáry (31 October 2003). "Dark Dune Spots: Possible Biomarkers on Mars?". *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 33 (s 4–5): 515–557. doi:10.1023/A:1025705828948. Retrieved 18 November 2008.

Gánti, Tibor; András Horváth, Szaniszló Bérczi, Albert Gesztesi and Eörs Szathmáry (12–16 March 2001). "Probable Evidences of Recent Biological Activity on Mars: Appearance and Growing of Dark Dune Spots in the South Polar Region", 32nd Annual Lunar and Planetary Science Conference, Houston, Texas, abstract no.1543. Retrieved 20 November 2008.

GEOL212: Planetary Geology Fall 2013, www.geol.umd.edu/~jmerck/geol212/lectures/25.html

Geológiai időskála, Ray Troll's, greenforecast.com/what-is-the-geologic-time-scale/

George M. Garrity, Editor-in-Chief, *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, 2nd Ed., Vol. 1, The Archaea and Deeply Branching and Phototrophic Bacteria, New York, Springer-Verlag, 2001.

Glavin, D.P., Dworkin, J.P.: Enrichment of the amino acid L-isovaline by aqueous alteration on CI and CM meteorite parent bodies. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106, 5487-5492.
<http://science.gsfc.nasa.gov/691/analytical/PDF/GlavinDworkin2009.pdf>

Gnos E., Hofmann B. A., Al-Kathiri A., Lorenzetti S., Eugster O., Whitehouse M. J., Villa I. M., Jull A. J. T., Eikenberg J., Spettle B., Krahenbuhl U., Franchi I. A., and Greenwood R. C. (2004) Pinpointing the source of a lunar meteorite: Implications for the evolution of the Moon. *Science*, v. 305, p. 657-659. és G. Jeffrey Taylor PSRD, 2004. október 31., www.psr.d.hawaii.edu/Oct04/PSRD-SaU169.pdf

Gnos E., Hofmann B. A., Al-Kathiri A., Lorenzetti S., Eugster O., Whitehouse M. J., Villa I. M., Jull A. J. T., Eikenberg J., Spettle B., Krahenbuhl U., Franchi I. A., and Greenwood R. C. (2004) Pinpointing the source of a lunar meteorite: Implications for the evolution of the Moon. *Science*, v. 305, p. 657-659.

Gyollai Ildikó: Termikus és sokkmetamorf jelenségek egy kis égitest fejlődésében a magyarországi és antarktisi meteoritok petrográfiai, raman- és infravörös spektroszkópiás vizsgálata alapján. Diplomadolgozat, ELTE-TTK, Anyagfizikai Tanszék, ELTE 2009,

H. Busemann, A. F. Young, C. M. O'D. Alexander, P. Hoppe, S. Mukhopadhyay, and L. R. Nittler (2006) Interstellar chemistry recorded in organic matter from primitive meteorites. *Science* 2006., v. 312, p. 727-730., DOI: 10.1126/science.1123878, www.sciencemag.org,
www.sciencemag.org/content/312/5774/727.figures-only,
www.people.fas.harvard.edu/~mukhop/reprints/2006_Science_PrimitiveMeteorites.pdf, és

G. Jeffrey Taylor: Interstellar Organic Matter in Meteorites, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, 2006. május 26., <http://www.psrd.hawaii.edu/May06/meteoriteOrganics.html>,
<http://www.psrd.hawaii.edu/May06/PSRD-meteoriteOrganics.pdf>

H. Busemann, C. M. O'D. Alexander, L. R. Nittler, T. J. Zega, R. M. Stroud, S. Bajt, G. D. Cody, H. Yabuta: Correlated analyses of D- and ¹⁵N-rich carbon grains from CR2 chondrite EET 92042.,
<http://www.lpi.usra.edu/meetings/metsoc2006/pdf/5327.pdf>

H. Y. McSween, Jr.: Mars, University of Tennessee, Knoxville, TN, USA,
http://eps.mcgill.ca/~courses/c666/Module_3/22%20Mars.pdf

Harry Noller : bacterial ribosome , <http://publications.nigms.nih.gov/insidethecell/chapter1.html>

Hayabusa's Scientific and Engineering Achievements during Proximity Operations around Itokawa, 2005 Topics index, Institute of Space and Astronautical Science, ISAS és Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA, www.isas.jaxa.jp/e/snews/2005/1102.shtml

Hédervári Péter: A Hold - és meghódítása, Gondolat kiadó 1970

Hédervári Péter: A Hold fizikája, Gondolat kiadó 1962

Herrmann, Joachim: Csillagászat, Springer Kiadó 1992

Hiroyuki Iida of Toyama, Japan, 2005. október 28., http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2005/03nov_taurids/

Hoagland, Richard C.; Bara, Mike (2007). Dark Mission: The Secret History of NASA. Port Townsend: Feral House. p. I. ISBN 978-1-932595-26-0. ; Ibid., 2009, p. 57.

Hollósi, M., Laczkó, I., Majer, ZS. A sztereokémia és kiroptikai spektroszkópia alapjai, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest (2004)

Hoover, R. B. "Comets, Carbonaceous Meteorites and the Origin of the Biosphere" in Biosphere Origin and Evolution (N. Dobretsov, N. Kolchanov, A. Rozanov and G. Zavarzin, Eds.) Springer US, New York 55-68, (2008). <http://www.springerlink.com/content/u17384273280174/>

Hoover, R. B. "Microfossils in Carbonaceous Meteorites" [abstract], doi:10.1117/12.832643, SPIE 7441, (2009).

Hoover, Richard B. Meteorites, Microfossils and Exobiology. Instruments Methods and Missions for the Investigation of Extraterrestrial Microorganisms, SPIE 3111, 115-136, 1997.

Hoover, Richard B. Microfossils of cyanobacteria in carbonaceous meteorites. Instruments, Methods and Missions for Astrobiology X, Proc. SPIE 6694, 669408, 2007.

Horváth András, Gánti Tibor, Bérczi Szaniszló, Pócs Tamás, Kereszturi Ákos, Sik András: Marsi sötét dűnefoltok: az élet lehetősége a Marson? Magyar Tudomány, 2006/11 1357.
<http://epa.oszk.hu/00600/00691/00035/12.html>

Horváth Gábor: A holdak kötött keringése, az árapály-effektus és az árapályfűtés, Fizikai Szemle, 1991. március

Horváth, András; Ákos Kereszturi, Szaniszló Bérczi, András Sik, Tamás Pócs, Tibor Gánti, Eörs Szathmáry. (February 2009). "Analysis of Dark Albedo Features on a Southern Polar Dune Field of Mars". *Astrobiology* 9 (1): 90–103. Bibcode:2009AsBio...9...90H. doi:10.1089/ast.2007.0212. PMID 19203240. Retrieved 7 09. 2009.

How Pure Is the Comet? www.skyandtelescope.com/news/3491846.html

I. Jabeen, A. Ali, N. R. Banerjee, G. R. Osinski, S. Ralew, S. DeBoer: Oxygen Isotope Compositions of Mineral Separates from NWA 7325 Suggest a Planetary (Mercury?) Origin, 45th Lunar and Planetary Science Conference (2014), www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2014/pdf/2215.pdf

Ian O'Neill: Could AA Tauri Hold the Biochemical Key to Extra-Terrestrial Life?, Universe Today, 2008. március 13., NASA, JPL-Caltech, www.universetoday.com/13143/could-aa-tauri-hold-the-biochemical-key-to-extra-terrestrial-life/

Spitzer Finds Organics and Water Where New Planets May Grow, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Calif., www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2008-042

Identification of origin of particles brought back by Hayabusa, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) 2010 november 16., (JST) www.jaxa.jp/press/2010/11/20101116_hayabusa_e.html

Illés Erzsébet: A Hold új arca, Természet Világa 1996. március

Illés Erzsébet: A Hold ütközéses keletkezése, Meteor csillagászati évkönyv 1999.

Illés Erzsébet: Bolygótestek tektonikája, Természet Világa 1995. április

Illés Erzsébet: Erős lokális mágneses terek a Holdon, Meteor csillagászati évkönyv 2000.

Illés Erzsébet: Mégis van vasmagja a Holdnak?, Meteor csillagászati évkönyv 2000

Institute of High Energy Physics, IHEP, Kínai Tudományos Akadémia Nagyenergiás Kutatóintézete, www.moondaily.com/reports/Change_3_satellite_payload_APXS_obtained_its_first_spectrum_of_lunar_regolith_999.html és

Chinese National Space Administration (CNSA)/China Central Television (CCTV), 2013. http://planetary.s3.amazonaws.com/assets/images/3-moon/20131215_yutu_on-moon.jpg

Irion, Robert: Craft Hints at Moon Core, Astronomy 1999. január,

Itay Halevy, Woodward W. Fischer, and John M. Eiler: Carbonates in the Martian meteorite Allan Hills 84001 formed at 18 ± 4 °C in a near-surface aqueous environment PNAS 2011 108 (41) 16895-16899; published ahead of print October 3, 2011, doi:10.1073/pnas.1109444108,

www.pnas.org/content/108/41/16895.full.pdf+html?sid=5066cd99-820e-4124-9d8d-6e5a909871bf
www.origo.hu/tudomany/vilagur/20111017-meleg-es-nedves-osi-mars-az-alh-84001-meteor.html

Ivanova, M.A., et al.: „The first known occurrence of calcium monoaluminate, in a calcium aluminum-rich inclusion from the CH chondrite Northwest Africa 470”: Meteoritics & Planetary Science (2002) 37, 1337-1444

J. Kelly Beatty: Comet Borrelly: Dry and Hot, Sky & Telescope, 2003. Laurence Soderblom, USGS és NASA/JPL, www.skyandtelescope.com/news/3305961.html?page=1&c=y

J. M. Sunshine, M. F. A'Hearn, O. Groussin, J.-Y. Li, M. J. S. Belton, W. A. Delamere, J. Kissel, K. P. Klaasen, L. A. McFadden, K. J. Meech, H. J. Melosh, P. H. Schultz, P. C. Thomas, J. Veverka, D. K. Yeomans, I. C. Busko, M. Desnoyer, T. L. Farnham, L. M. Feaga, D. L. Hampton, D. J. Lindler, C. M. Lisse, D. D. Wellnit: Exposed Water Ice Deposits on the Surface of Comet 9P/Tempel 1, Science 311, 1453 (2006); DOI: 10.1126/science.1123632, <http://planetary.brown.edu/pdfs/3779.pdf>

J. W. Boyce, S. M. Tomlinson, F. M. McCubbin, J. P. Greenwood, A. H. Treiman: The Lunar Apatite Paradox, Science, 2014; DOI: 10.1126/science.1250398, és www.sciencemag.org/content/early/2014/03/19/science.1250398, és www.sciencemag.org/content/suppl/2014/03/19/science.1250398.DC1

Jamie Wallis, N. C. Wickramasinghe, Daryl H. Wallis, Nori Miyake, M.K. Wallis, Richard B. Hoover, Anil Samaranayake, Keerthi Wickramaratne, Anthony Oldroyd: Physical, Chemical and Mineral Properties of the Polonnaruwa Stones, <http://www.panspermia.org/wallisetal27aug2013.pdf>

Jamie Wallis; Nori Miyake, Richard B. Hoover, Andrew Oldroyd, Daryl H. Wallis, Anil Samaranayake, K. Wickramaratne, M.K. Wallis, Karl H. Gibson and N.C. Wickramasinghe: „The Polonnaruwa meteorite: oxygen isotope, crystalline and biological composition”. *Journal of Cosmology* Journal of Cosmology, Vol. 22, No. 2 (5 March 2013. március 05., <http://journalofcosmology.com/JOC22/Paper22%28%29.pdf>

Jan D. Kramersa, Marco A.G. Andreolib, Maria Atanasovad, Georgy A. Belyanina, David L. Blocke, C Franklynb, Chris Harrisf, Mpho Lekgoathib, Charles S. Montrossg, Tshepo Ntsoaneb, Vittoria Pischeddah, Patience Segonyaneb, K.S. (Fanus) Viljoena, Johan E. Westraadtg: Unique chemistry of a diamond-bearing pebble from the Libyan Desert Glass strewnfield, SW Egypt: Evidence for a shocked comet fragment, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 382, 15 November 2013, Pages 21–31, és www.b14643.de/Sahara/LDG_Hypatia/piece_large.jpg

Jayawardhana, Ray: Deconstructing the moon, *Astronomy* 1998. szeptember,

Jezero-kráter, astrobob.areavoices.com/2008/07/17/and-the-beat-goes-on/

Joe McCall: The „Tagish Lake meteorite” *Geoscientist* 2007. Április, 17.5

John Debes, Carnegie Institution, NASA/ESA Hubble Space Telescope, NASA Astrobiology Institute, <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/H/HR4796A.html> és
Red Dust in Planet-Forming Disk May Harbor Precursors to Life, 2008. 01. 03.,
http://carnegiescience.edu/news/red_dust_planet_forming_disk_may_harbor_precursors_life

Junjun Zhang, Nicolas Dauphas, Andrew M. Davis, Ingo Leya, Alexei Fedkin: „The proto-Earth as a significant source of lunar material” *Nature Geoscience*, 2012 március 25., 5, 251–255 doi:10.1038/ngeo1429

K.L. Thomas-Keprta, S.J. Clemett, D.S. McKay, E.K. Gibson, S.J. Wentworth: Origins of magnetite nanocrystals in Martian meteorite ALH84001, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73 (2009) 6631–6677, www.elsevier.com/locate/gca, és www.sciencedirect.com és www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/403099main_GCA_2009_final_corrected.pdf

Kaiserliche Akademie der Wissenschaften, Vienna, <http://en.wikipedia.org/wiki/Hrascina>)

Kajander, E. O., Ciftcioglu, N. (1998) Nanobacteria: An alternative mechanism for pathogenic intra- and extra cellular calcification and stone formation. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 95: 8274–8279.

Kajander, E. O., Kuronen, I., Akerman, K., Peltteri, A., Ciftcioglu, N. (1997) Nanobacteria from blood, the smallest culturable, autonomously replicating agent on Earth. *Proc. SPIE*, 3111: 420–428.

Karen E. Smith, Michael P. Callahan, Perry A. Gerakines, Jason P. Dworkin, Christopher H. House. Investigation of Pyridine Carboxylic Acids in CM2 Carbonaceous Chondrites: Potential Precursor Molecules for Ancient Coenzymes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2014; DOI: 10.1016/j.gca.2014.04.001, http://science.gsfc.nasa.gov/691/cosmicice/reprints/Nictonic_acid_GCA_2014.pdf
Vitamin B3 might have been made in space, delivered to Earth by meteorites, NASA/Goddard Space Flight Center, 2014.április 17., <http://www.sciencedaily.com/releases/2014/04/140417191742.htm>
<http://www.csillagaszat.hu/hirek/nr-egyeb-naprendszer/apro-objektumok/nr-apro-ustokosok/a-b3-vi%C2%ADta%C2%ADmin-me%C2%ADte%C2%ADo%C2%ADri%C2%ADtek%C2%ADkel-er%C2%ADkez%C2%ADhe%C2%ADtett-az-ur%C2%ADbol/>
Did vitamin B3 come from space?, *EarthSky/Earth, Science Wire, Space*,
http://earthsky.org/space/did-vitamin-b3-come-from-space?utm_source=EarthSky+News&utm_campaign=d3cbd5d513-EarthSky_News&utm_medium=email&utm_term=0_c643945d79-d3cbd5d513-393970565

Kathie L. Thomas-Keprta, Dennis A. Bazylinski, Joseph L. Kirschvink, Simon J. Clemett, David S. McKay, Susan J. Wentworth, Hojatollah Vali, Everett K. Gibson Jr., Christopher S. Romanek: Elongated prismatic magnetite crystals in ALH84001 carbonate globules: Potential Martian magnetofossils, PII S0016-7037(00)00481-6, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 64, No. 23, pp. 4049–4081, 2000., <http://web.gps.caltech.edu/~jkirschvink/pdfs/magnetofossils.pdf>

Keiko Nakamura-Messenger, Scott Messenger, Lindsay P. Keller, Simon J. Clemett, Michael E. Zolensky: Organic Globules in the Tagish Lake Meteorite: Remnants of the Protosolar Disk, *Science* 1 December 2006: Vol. 314 no. 5804 pp. 1439-1442, DOI: 10.1126/science.1132175, <http://www.sciencemag.org/content/314/5804/1439.abstract>, <http://www.sciencemag.org/content/314/5804/1439.figures-only>, <http://worldtracker.org/media/library/Science/Science%20Magazine/2006/Science.Magazine.5804.2006-12-01.pdf>

Ker Than: Strange Mars Photo Includes Tantalizing „Tree” Illusion, *SPACE.com*, 2010. január 13., NASA/JPL/University of Arizona, www.space.com/7775-strange-mars-photo-includes-tantalizing-tree-illusion.html, és <http://www.davidpratt.info/mars-life.htm#m4>

Kereszturi Ákos: „Életet segítő meteorzárporok” [origo] 2007. 01. 04. 8:45 www.origo.hu/tudomany/vilagur/20070104eletet.html

Kereszturi Ákos: Asztrobiológia – modern szintézis a természettudományok között, *Magyar Tudomány*, 2009/10, 1168, *Magyar Tudományos Akadémia folyóirata*, Mars Asztrobiológia Kutatócsoport, Magyar Csillagászati Egyesület (MCSE), Nagy Károly Csillagászati Közhasznú Alapítvány, www.matud.iif.hu/09okt/03.htm

Kereszturi Ákos: Asztrobiológia – modern szintézis a természettudományok között, *Magyar Tudomány*, 2009/10, 1168., Mars Asztrobiológia Kutatócsoport, Magyar Csillagászati Egyesület, www.matud.iif.hu/09okt/03.htm

Kereszturi Ákos: Elemek és molekulák keletkezése - asztrobiológia kurzus, I. rész, 2007., www.origo.hu/tudomany/vilagur/20070918-az-elemek-es-a-csillagkozi-molekulak-keletkezese-asztrobiologia-i.html

Kereszturi Ákos: Hetvenszer is kipusztulhattak volna a dinoszauruszok, 2012. 05. 02., <http://www.origo.hu/tudomany/vilagur/20120427-kesei-nagy-bombazas-beccsapodasai-tobb-kisbolygo-bombazta-a-foldet.html>

Kereszturi Ákos: Meteoritokszerves anyagot szállítottak az ősleveshez, 2008 www.origo.hu/tudomany/vilagur/20080318-meteoritok-szerves-anyagot-szallitottak-az-osleveshez.html

Kereszturi Ákos: Planetológia, Fejezetek a Mars fejlődéstörténetéből, *Magyar Tudomány*, 2006/8 946., ELTE TTK Természetföldrajzi Tanszék, Collegium Budapest, Magyar Csillagászati Egyesület, www.matud.iif.hu/06aug/05.html

Kereszturi, Ákos: A Kései Nagy Bombázási Időszak. *Hírek.csillagaszat.hu*, 2005. szeptember 23.

Kereszturi, Ákos: Bombázták a belső Naprendszert. [Origo] *Világűr*, 2009. március 26

Kereszturi, Ákos: Meteorzárporok fűthették az ősi Földet és a Marsot. [Origo] *Világűr*, 2009. június 5.

Kevin Gill: Mars illusztráció, <http://allthingsgeography.tumblr.com/post/41698926262/discoverynews-blue-not-red-did-ancient-mars>

Kim DeRose: Misleading mineral may have resulted in overestimate of water in moon, ScienceDaily, University of California - Los Angeles, 2014. április 01., www.sciencedaily.com/releases/2014/04/140401131137.htm
www.csillagaszat.hu/hirek/nr-egyeb-naprendszer/nr-fold-es-hold/tulbecsult-viz-a-holdon/

Kleine, T., Touboul, M., Van Orman, J. A., Bourdon, B., Maden, C., Mezger, K., and Halliday, A. N. (2008) Hf-W thermochronometry: Closure temperature and constraints on the accretion and cooling history of the H chondrite parent body, *Earth and Planetary Science Letters*, doi:10.1016/j.epsl.2008.03.013.

Known Lunar Meteorites, http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/lmc/lunar_meteorites.cfm

Lars E. Borg, James N. Connelly, Maud Boyet, Richard W. Carlson: „Chronological evidence that the Moon is either young or did not have a global magma ocean” *Nature*, 2011. szeptember 01. 477, 70–72
 doi:10.1038/nature10328

Lauren M. White, Everett K. Gibson, Kathie L. Thomas-Keptra, Simon J. Clemett, David S. McKay: Putative Indigenous Carbon-Bearing Alteration Features in Martian Meteorite Yamato 000593, *Astrobiology Volume 14, Number 2: 170-181; 2014.*, DOI: 10.1089/ast.2011.0733, <http://prehistoria.foroactivos.net/t901-el-meteorito-yamato-000593-muestra-indicios-de-que-en-marte-pudo-haber-existido-actividad-biotica> és *El Meteorito Yamato 000593 Muestra Indicios de que en Marte pudo haber Existido Actividad Biótica* <http://prehistoria.foroactivos.net/t901-el-meteorito-yamato-000593-muestra-indicios-de-que-en-marte-pudo-haber-existido-actividad-biotica>, <http://astrobob.areavoices.com/2014/02/28/tiny-spherules-hint-at-evidence-of-life-in-mars-meteorite-yamato-000593/> és <http://www.geologypage.com/2014/03/nasa-scientists-find-evidence-of-water.html> és <http://sg.hu/cikkek/103700/vizes-mars-avagy-ujra-vitazhatunk-a-marsi-eletrol>

Leslie Mullen: How Small Can Life Be?
<http://www.astrobio.net/topic/origins/extreme-life/how-small-can-life-be/>

Lewis, C. (2000): *The Dating Game*. Cambridge University Press, Cambridge

Linda M. V. Martel, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, Better Know A Meteorite Collection: Natural History Museum in London, United Kingdom, PSRD: Meteorite Collection in London, United Kingdom, www.psrд.hawaii.edu/July09/Meteorites.London.Museum.html, és www.psrд.hawaii.edu/July09/PSRD-Meteorites.London.Museum.pdf

Linda M. V. Martel: Getting to Know Vesta, *Planetary Science Research Discoveries*, 2007. 11. 27., Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, www.psrд.hawaii.edu/Nov07/HEDs-Vesta.html, www.psrд.hawaii.edu/Nov07/PSRD-HEDs-Vesta.pdf

Linda M.V. Martel: Pretty Green Mineral - Pretty Dry Mars?, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, www.psrд.hawaii.edu/Nov03/olivine.html, <http://www.psrд.hawaii.edu/Nov03/PSRD-olivineMars.pdf>

Linda Martel: Asteroid Itokawa Samples, *Planetary Science Research Discoveries (PSRD)*, és Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology 2011. www.psrд.hawaii.edu/CosmoSparks/Feb11/ItokawaSamples.html, www.psrд.hawaii.edu/CosmoSparks/Feb11/PSRD-ItokawaSamples.pdf

Linda Martel: Asteroid Itokawa Samples, *Planetary Science Research Discoveries (PSRD)*, és Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology 2011. www.psrд.hawaii.edu/CosmoSparks/Feb11/ItokawaSamples.html, www.psrд.hawaii.edu/CosmoSparks/Feb11/PSRD-ItokawaSamples.pdf
<http://physicsworld.com/cws/article/news/2011/aug/25/peering-into-the-past-of-near-earth-asteroids>,
<http://images.iop.org/objects/phw/news/15/8/26/hayabusa2.jpg>

Linda Moulton Howe: Deep Impact Spectra, Carbonate, PATHs and Some Amilo Precursors in Comet Tempel 1, 2005., bibliotecapleyades.net/ciencia/ciencia_asteroids_comets_deepimpact14.htm, és Carey Michael Lisse, Ph.D., Prof. of Physics, University of Maryland, a Deep Impact Science Team, a kutatásvezető Chandra X-Ray és a Spitzer teleszkóp Deep Impact spektrométer eredmények.)

LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter) + LCROSS, NASA/GSFC, NASA/ARC, CDR (Critical Design Review), <http://lunar.gsfc.nasa.gov/> és <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/lro>

Luann Becker, Robert J. Poreda, Ted E. Bunch: Fullerenes: An extraterrestrial carbon carrier phase for noble gases, PNAS 2000. 03. 28., vol. 97 u no. 7 u 2979–2983, <http://www.pnas.org/content/97/7/2979.full.pdf+html>
 Extraterrestrial gases found in buckyballs, NASA/AMES NEWS RELEASE 2000. 03. 22., <http://spaceflightnow.com/news/0003/22buckyballs/> és http://george.arc.nasa.gov/dx/basket/pressrelease/00_20AR.html

Lunar and Planetary Institute, Lunar Samples, Lunar Samples by Category, <http://www.lpi.usra.edu/lunar/samples> és <http://www.lpi.usra.edu/lunar/samples/atlas/>

Lunar and Planetary Institute, S76-24072, KREPP-bazalt 15386, www.lpi.usra.edu/lunar/samples/atlas/detail/?mission=Apollo%2015&sample=15386, és www.lpi.usra.edu/lunar/samples/atlas/misc_view/?mission=Apollo%2015&sample=15386&source_id=S76-24072 és <http://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/15386.pdf>

Lunar Meteorite Compendium Samples, <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/lmc/lmc.cfm#breccia>

Lunar Sample 14305, Apollo 14 Mission, Photo Number: S-71-31391 www.lpi.usra.edu/lunar/samples/atlas/lab_view/?mission=Apollo%2014&sample=14305&side=n

Lynch, F.L. and R.L. Folk. 1996. Possible nanobacterial mediation in the alteration of volcanic rocks to clay minerals in South Italy (abstract). Geological Society of America Annual Meeting, Program Abstracts, A90.

M. Appel, R. Ramstad, A. J. Brown, C. P. McKay, S. Fredriksson: Potential model for dark albedo features in the martian polar region observed at 81°n 156°e., 41 st Lunar and Planetary Science Conference (2010), Luleå University of Technology, Department of Physics, SETI Institute, NASA Ames Research Center, www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2010/pdf/1562.pdf

M. Cristina De Sanctis, Eleonora Ammannito, M. Teresa Capria, Fabrizio Capaccioni, Jean-Philippe Combe, Alessandro Frigeri, Andrea Longobardo, Gianfranco Magni, Simone Marchi, Tom B. McCord, Ernesto Palomba, Federico Tosi, Francesca Zambon, Francesco Carraro, Sergio Fonte, Y. J. Li, Lucy A. McFadden, David W. Mittlefehldt, Carle M. Pieters, Ralf Jaumann, Katrin Stephan, Carol A. Raymond, Christopher T. Russell: Vesta's mineralogical composition as revealed by the visible and infrared spectrometer on Dawn, *Meteoritics & Planetary Science* 1–19 (2013), doi: 10.1111/maps.12138. 2013. 07. 08., www.planetary.brown.edu/pdfs/4782.pdf, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/maps.12138/abstract>

M. H. Engel, S. A. Macko: Isotopic evidence for extraterrestrial non- racemic amino acids in the Murchison meteorite, *Nature* 389, 265-268 (18 September 1997) | doi:10.1038/38460

M. Vainshtein, N. Suzina and V. Sorokin, "A new type of magnet-sensitive inclusions in cells of photosynthetic purple bacteria", p 182-186 v 20 *System. Appl. Microbiol.* (1997).

M. Vainshtein, N. Suzina, E. Kudryashova, and E. Ariskina. 2002. New magnet-sensitive structures in bacterial and archaeal cells. *Biol. Cell* 94:29-35.

M. Vainshtein, N. Suzina, V. Sorokin: „A new type of magnet-sensitive inclusions in cells of photosynthetic purple bacteria”, p 182-186 v 20 *System. Appl. Microbiol.* 1997., http://www.researchgate.net/publication/234145131_A_new_type_of_magnet-sensitive_inclusions_in_cells_of_photosynthetic_purple_bacteria/file/32bfe50f933317b0dd.pdf

M.R. Fisk, R. Popa, O.U. Mason, M.C. Storrie-Lombardi, E.P. Vicenzi: Iron-Magnesium Silicate Bioweathering on Earth (and Mars?), *ASTROBIOLOGY*, Volume 6, Number 1, 2006, Mary Ann Liebert, Inc.

Malin, Michael C.; K. S. Edgett (2000). "Frosting and Defrosting of Martian Polar Dunes", *Lunar and Planetary Science XXXI*. Malin Space Science Systems. Retrieved 3 September 2009.
<http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2000/pdf/1056.pdf> és <http://www.matud.iif.hu/06nov/12.html>

Manavi Jadhav, Ernst Zinner, Sachiko Amari, Teruyuki Maruoka, Kuljeet K. Marhas, Roberto Gallino: Multi-element isotopic analyses of presolar graphite grains from Orgueil, *www.elsevier.com/locate/gca*, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 113 (2013) 193–224, és presolar.wustl.edu/Laboratory_for_Space_Sciences/Publications_2013_files/jadhavetal2013.pdf, és arxiv.org/abs/1310.2679

Manavi Jadhav, Ernst Zinner, Sachiko Amari, Teruyuki Maruoka, Kuljeet K. Marhas, Roberto Gallino: Multi-element isotopic analyses of presolar graphite grains from Orgueil, *www.elsevier.com/locate/gca*, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 113 (2013) 193–224,

Manavi Jadhav, Marco Pignatari, Falk Herwig, Ernst Zinner, Roberto Gallino, Gary R. Huss: Relics of ancient post-AGB stars in a primitive meteorite, *Astrophysical Journal Letters* 2013. október 23., <http://arxiv.org/abs/1310.2679>

Maria Lugaro, Alexander Heger, Dean Osrin, Stephane Goriely, Kai Zuber, Amanda I. Karakas, Brad K. Gibson, Carolyn L. Doherty, John C. Lattanzio, Ulrich Ott: Stellar origin of the ¹⁸²Hf cosmochronometer and the presolar history of solar system matter, *Science* 2014. augusztus 08., Vol. 345 no. 6197 pp. 650-653, DOI: 10.1126/science.1253338, <http://www.sciencemag.org/content/345/6197/650.abstract> és Molnár László: Kozmikus időgép: pillantás a Nap keletkezését megelőző időszakba, http://www.csillagaszat.hu/hirek/nap_keletkezes_meteoritok/

Mariana Ruiz LadyofHats: Bacteria cell, hu.wikipedia.org/wiki/Bakt%C3%A9riumok

Marik Miklós (szerk.): *Csillagászat*, Akadémiai Kiadó 1989

Mark A. Sephton: Organic matter in carbonaceous meteorites, *Phil. Trans. R. Soc. A* (2005) 363, 2729–2742, doi:10.1098/rsta.2005.1670, <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/363/1837/2729.full.pdf>
<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/363/1837/2729.full.pdf+html>

Markó László: Miért „balkezesek” a fehérjéket felépítő aminosavak? A biomolekulák homokiralitásának eredete, Földön kívüli eredet, <http://www.termeszetvilaga.hu/tv99/tv9902/marko2.html>, és *Természet Világa*, 130. évf. 2. sz. 1999. február, 54–59. o., www.kfki.hu/chemonet/TermVil/, és www.ch.bme.hu/chemonet/TermVil/

Mars Curiosity Rover Discovers Rocks Formed By Rushing Water, <http://talkingpointsmemo.com/idealab/mars-curiosity-rover-discovers-rocks-formed-by-rushing-water-photos>

Mars Exploration Rover Mission, Cornell, JPL, NASA, <http://apod.nasa.gov/apod/ap070703.html>, és <http://marsrover.nasa.gov/gallery/specialEffects/opportunity/index.html>

Mars Global Surveyor, Mars Orbiter Camera, Defrosting Polar Dunes—„They Look Like Bushes!”, MGS MOC Release No. MOC2-166, 10 August 1999., MGS MOC Release No. MOC2-166, 1999. 08 10, www.msss.com/mars_images/moc/8_10_99_releases/moc2_166/ és MOC narrow-angle image M08-04688, www.msss.com/moc_gallery/m07_m12/images/M08/M0804688.html
www.msss.com/moc_gallery/m07_m12/nonmaps/M08/M0804688.gif

Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), University of Arizona/HiRISE-LPL, photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA11858, és www.uahirise.org/ESP_011776_0930, és NASA Findings Suggest Jets Bursting From Martian Ice Cap, Arizona State University/Ron Miller, www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2006-100

Mars Reconnaissance Orbiter at Nilosyrtis, NASA/JPL/Corby Waste, https://solarsystem.nasa.gov/multimedia/display.cfm?Category=Spacecraft&IM_ID=2206

Martian T. D. Swindle, D. A. Kring: „Studies of weathering products in the Lafayette meteorite: implications for the distribution of water on both early and recent Mars”, Workshop on Early Mars, 1997., és E. P. Vicenzi, K. Tobin, P. J. Heaney, T. C. Onstott, J. Chun: „Carbonate in Lafayette meteorite: A detailed microanalytical study”, 60th Annual Meteoritical Society Meeting, 1997., és Treiman A. H., Barrett R. A., Gooding J. L.: „Preterrestrial aqueous alteration of the Lafayette (SNC) meteorite”, *Meteoritics* vol. 28, no. 1, p. 86-97, 03/1993, <http://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=12412> és <http://www.sciencecafe.com/hu/cs-2013-11-14-2202/lehetseges-hogy-mars-osi-legkoret-bolygo-kozetei-ejtettek-csapdaba>

Martin Fisk, 2006., Oregon State University, <http://oregonstate.edu/ua/ncs/archives/2006/mar/study-martian-meteorite-reveals-markings-similar-bacteria-etched-rocks-earth>

McKay, D. S., Gibson, E., Jr., Thomas-Keptra, K., and Vali, H., 1997, Reply. *Nature*, v. 390, p. 455.

Meglepő eredmény az üstökösök anyagának eredetéről, www.csillagaszat.hu/hirek/nr-egyeb-naprendszer/nr-a-naprendszer-keletkezese-es-fejlolese/meglepo-eredmeny-az-ustokosok-anyaganak-eredeterol/

Mennyire tiszta egy üstökös? www.csillagaszat.hu/hirek/nr-egyeb-naprendszer/nr-a-naprendszer-keletkezese-es-fejlolese/mennyire-tiszta-egy-ustokos/

Meteorite Compendium: Chassigny, <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/mmc/Chassigny.pdf>

Meteorites, A Meteorite Collection mainly from the Planetary and Space Sciences Research Institute (now Physical Sciences) at the Open University, http://www.open.ac.uk/earth-research/tindle/AGT/AGT_Home_2010/Meteorites/Meteorites.html

Meyer, Charles: Holdközetek, közzetani vizsgálatok a holdi vékonycsiszolat-készleten, ELTE-TTK jegyzet, 1994

MGs MOC Release No. MOC2-166, 1999. 08 10, www.msss.com/mars_images/moc/8_10_99_releases/moc2_166/ és MOC narrow-angle image M08-04688, és www.msss.com/moc_gallery/m07_m12/nonmaps/M08/M0804688.gif

Michael Benson/NASA/JPL/University of Arizona/Kinetikon Pictures, MRO, 2010. január 27., www.redicecreations.com/article.php?id=21959

Michael Carroll/Alien Volcanoes by Lopes and Carroll, The Johns Hopkins University Press, 2008, http://messenger.jhuapl.edu/the_mission/artistimpression/rupes.html

Michael L. Sitko, Carey M. Lisse, Michael S. Kelley, Elisha F. Polomski, David K. Lynch, Ray W. Russell, Robin L. Kimes, Barbara A. Whitney, Michael J. Wolff, and David E. Harker: Infrared spectroscopy of comet 73P/Schwassmann-Wachmann 3 using the Spitzer space telescope, *The Astronomical Journal*, 2011., Volume 142, Number 3, 142-80, doi:10.1088/0004-6256/142/3/80, <http://iopscience.iop.org/1538-3881/142/3/80/article>, és http://iopscience.iop.org/1538-3881/142/3/80/pdf/1538-3881_142_3_80.pdf

Michael Marshall: *New Scientist* magazine, 2011. május 07., Issue number 2811., és *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, DOI: 10.1007/s11084-011-9239-0

Michael Marshall: *New Scientist* magazine, 2011. május 07., Issue number 2811. és *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, DOI: 10.1007/s11084-011-9239-0

Michael Mumma, Trent Schindler/NASA, (2009. január 15.)
www.nasa.gov/mission_pages/mars/news/marsmethane_media.html

Mihai Andrei: Shorties: Stunning pictures of Fukang Pallasite, <http://www.zmescience.com/other/great-pics/shorties-pictures-of-fukang-pallasite/>

Milton Wainwright, Christopher E. Rose, Alexander J. Baker, Briston K.J, N. Chandra Wickramasinghe: Typical meteoritic worm - like forms seen in the polonnuwa meteorite, *Journal of Cosmology*, Vol.22, No. 12, 2013. július, <http://www.panspermia.org/whatsnew74.htm#20130723> és <http://www.panspermia.org/polonnuwa11.pdf>

Mitch Jacoby: A Comet's Chemical Composition, Space-based IR telescope reveals assortment of substances in Tempel 1, *Space Science* 2006. július 17, Volume 84, Number 29. p. 7, és *Chemical & Engineering News*, pubs.acs.org/cen/news/84/i29/8429notw1.html

Mitch Jacoby: A Comet's Chemical Composition, Space-based IR telescope reveals assortment of substances in Tempel 1 *Space Science*, July 17, 2006 Volume 84, Number 29. p. 7, és *Chemical & Engineering News*, pubs.acs.org/cen/news/84/i29/8429notw1.html

Mohamed Elhassan Abdelatif Mahir (Noub NGO) / Muawia Shaddad (Univ. Khartoum) / Peter Jenniskens (SETI Institute), www.skyandtelescope.com/community/skyblog/newsblog/41873107.html

N. C. Wickramasinghe, J. Wallis, D.H. Wallis, M.K. Wallis, N. Miyake, S.G. Coulson, Carl H. Gibson, J.T. Wickramasinghe, A. Samaranayake, K. Wickramaratne, Richard B. Hoover: Incidence of low density meteoroids of the polonnuwa-type, *Journal of Cosmology*, Vol.22, No.1, 2013. március 4. <http://journalofcosmology.com/JOC22/Paper22%281a%29.pdf>

N. C. Wickramasinghe, J. Wallis, D.H. Wallis, M.K. Wallis, S. Al-Mufti, J.T. Wickramasinghe, Anil Samaranayake, K. Wickramaratne: On the cometary origin of the polonnuwa meteorite, *Journal of Cosmology*, Vol. 21, No. 38, 13 January 2013. január 13., <http://www.panspermia.org/polonn2.pdf> <http://www.panspermia.org/whatsnew72.htm#20130111>

N. Dello Russo, R. J. Vervack Jr, C. M. Lisse, H. A. Weaver, H. Kawakita, H. Kobayashi, A. L. Cochran, W. M. Harris, A. J. McKay, N. Biver: The volatile composition and activity of comet 103p/hartley 2 during the epoxi closest approach, *The Astrophysical Journal Letters*, 2011., Volume 734, Number 1, *ApJ* 734 L8 [doi:10.1088/2041-8205/734/1/L8](https://doi.org/10.1088/2041-8205/734/1/L8), <http://iopscience.iop.org/2041-8205/734/1/L8/article>, és http://iopscience.iop.org/2041-8205/734/1/L8/pdf/2041-8205_734_1_L8.pdf

N.C. Wickramasinghe, J. Wallis, N. Miyake, Anthony Oldroyd, D.H. Wallis, Anil Samaranayake, K. Wickramaratne, Richard B. Hoover, M.K. Wallis: Authenticity of the life-bearing polonnuwa meteorite, *Journal of Cosmology*, Vol: 21, No. 39, 2013. február 04., <http://journalofcosmology.com/JOC21/Polonnuwa5R.pdf> és <http://www.panspermia.org/polonnuwa5r.pdf>

Nakamura, T., Noguchi, T., Tsuchiyama, A., Ushikubo, T., Kita, N. T., Valley, J. M., Zolensky, M. E., Kakazu, Y., Sakamoto, K., Mashio, E., Uesugi, K., and Nakano, T. (2008) Chondrulelike Objects in Short-Period Comet 81P/Wild 2. *Science*, v. 321, p. 1644-1667. [doi:10.1126/science.1160995](https://doi.org/10.1126/science.1160995).

NASA Ames Research Center, www.oarval.org/MarsLife.htm

NASA photo AS17-137-20990, National Aeronautics and Space Administration, en.wikipedia.org/wiki/File:Apollo_17_orange_soil.jpg
www.open.ac.uk/earth-research/tindle/AGT/AGT_Home_2010/NASA_74220A.html

NASA, Astromaterials Curation, Apollo Sample Catalogs, <http://curator.jsc.nasa.gov/lunar/samplecatalog/index.cfm#>

<http://curator.jsc.nasa.gov/lunar/index.cfm>

<http://curator.jsc.nasa.gov/lunar/catalogs/index.cfm>

<http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/alsj/frame.html?>

NASA, <http://blogs.agu.org/martianchronicles/2009/12/01/life-on-mars/>

NASA, Lunar and Meteorite Petrographic Thin Section Program,

<http://curator.jsc.nasa.gov/education/thinsections.cfm>

NASA, Lunar and Meteorite Petrographic Thin Section Program,

<http://curator.jsc.nasa.gov/education/thinsections.cfm>, és

OU-NASA Virtual Microscope,

www.open.ac.uk/earth-research/tindle/AGT/AGT_Home_2010/NASA_List.html

NASA/David McKay, 2009. november,

www.thelivingmoon.com/43ancients/02files/Mars_Images_69_Martian_Meteorites.html

NASA/David McKay, en.wikipedia.org/wiki/File:407304main_jsc2009e243549.jpg

NASA/David McKay, www.meteoritestudies.com/protected_NAKHLA.HTM

NASA/David McKay, www.thelivingmoon.com/43ancients/02files/Mars_Images_69_Martian_Meteorites.html

<http://spaceflightnow.com/news/n1001/09marslife/>

<http://meteorite-recovery.tripod.com/2010/mar10.htm>

NASA/Goddard, <http://news.nationalgeographic.com/news/2013/10/131029-maven-mars-nasa-space-science/>

NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington, 2013. 02. 18.

http://messenger.jhuapl.edu/gallery/sciencePhotos/pics/MDIS_global_enhancedcolor_map_rot_140.globe.bright.png

NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington,

http://messenger.jhuapl.edu/news_room/presscon11_multi.html

NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington,

http://messenger.jhuapl.edu/the_mission/artistimpression/colormercury_br.html

NASA/Johnson Space Center photograph S76-25456,

www.lpi.usra.edu/lunar/samples/atlas/lab_view/?mission=Apollo%2011&sample=10049&side=w,

www.lpi.usra.edu/lunar/missions/apollo/apollo_11/samples/,

www.lpi.usra.edu/lunar/samples/atlas/thin_section/?mission=Apollo%2011&sample=10049&source_id=JSC04196

NASA/JPL, Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), 34 Terabits dat,

http://mars.jpl.nasa.gov/mro/gallery/artwork/MRO_data.html

NASA/JPL, Spirit Flexes Its Arm to Use Microscope on Mars' Soil,

NASA/JPL/Caltech www.universetoday.com/97620/curiosity-finds-evidence-of-an-ancient-streambed-on-mars

NASA/JPL/Cornell, 2004-02-26, PD-USGOV-NASA,

http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/mars/mars_exploration_rovers/merb_images.html

NASA/JPL/Cornell, PIA04995: First Color Image from Spirit, 2004-01-06,

<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA04995>

- NASA/JPL/Cornell/USGS,
<http://marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery/all/1/m/046/1M132266947EFF05AMP2987M2M1.HTML>
- NASA/JPL/MSL, www.skyandtelescope.com/astronomy-news/methane-goes-missing-onmars/
- NASA/JPL/University of Arizona, www.nasa.gov/mission_pages/MRO/news/mro-20070920.html
- NASA/JPL-Caltech/Ken Kremer/Marco Di Lorenzo,
www.universetoday.com/99802/curiosity-drills-historic-1st-bore-hole-into-mars-rock-for-first-ever-science-analysis/
- NASA/JPL-Caltech/LANL/CNES/IRAP, 2012. augusztus 19.,
<http://arstechnica.com/science/2012/08/curiositys-pit-crew-finishes-up/> és
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA16089.jpg>
- NASA/JPL-Caltech/M. Kelly (University of Minnesota), <http://thewatchers.adorraeli.com/2012/11/05/taurids-earth-entering-debris-comet-encke/>
- NASA/JPL-CALTECH/MSSS, <http://quest.utk.edu/2013/follow-the-water/>
- NASA/JPL-Caltech/UA, www.sciencedaily.com/releases/2012/04/120406105725.htm
- NASA/JPL-Caltech/University of Guelph, 2012, december 03.,
www.universetoday.com/98763/curiosity-update-no-definitive-discovery-of-organics-yet/ és
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA16572.jpg>
- NASA/JSC, <http://phys.org/news180264793.html>
<http://cdn.phys.org/newman/gfx/news/hires/2009/martianmeteorite.jpg>
<http://meteorite-recovery.tripod.com/2010/mar10.htm>
- NASA/Lauren Spencer 2008., és White et al. 2014, SEM képek,
http://en.wikipedia.org/wiki/File:407319main_jsc2009e243553.jpg és
 Yamato-000593: Meteorite Provides More Evidence that Water Once Flowed on Mars, Sci-News.com, 2014. március 03., <http://www.sci-news.com/space/science-yamato000593-meteorite-water-mars-01789.html>
- NASA/Lauren Spencer, 2008. május 15., http://en.wikipedia.org/wiki/File:407319main_jsc2009e243553.jpg ,
 Yamato-000593: Meteorite Provides More Evidence that Water Once Flowed on Mars, Sci-News.com, 2014. március 03., <http://www.sci-news.com/space/science-yamato000593-meteorite-water-mars-01789.html>
- Nili Fossae, NASA/JPL/JHUAPL/MSSS/Brown University, http://www.dailygalaxy.com/my_weblog/2012/03/-mars-vast-fields-of-volcanic-glass-.html
- Nir Goldman, Evan J. Reed, Laurence E. Fried, I.-F. William Kuo, Amitesh Maiti: Synthesis of glycine-containing complexes in impacts of comets on early Earth, *Nature Chemistry* 2, 949–954 (2010)
 doi:10.1038/nchem.827, www.nature.com/nchem/journal/v2/n11/abs/nchem.827.htm
- Northwest Africa 7034 – The First Impact Breccia Meteorite from Mars, <http://www.imca.cc/mars/martian-meteorites.htm>
- Nyikolaj Sejkov: *Élet és szimmetria*, (Budapest: Gondolat Kiadó, 1987)
- Olivine, Carbonate, and Phyllosilicates in Nili Fossae, 2007. 01. 13.
http://crism.jhuapl.edu/gallery/featuredImage/image.php?image_id=180
- Origin and Evolution of Organic Matter in the Solar System, NASA Astrobiology Institute, Carnegie Institution of Washington, 2012., <http://astrobiology.nasa.gov/nai/reports/annual-reports/2012/ciw/project-2-origin-and-evolution-of-organic-matter-in-the-solar-system/>

OU-NASA Virtual Microscope, Go straight to a microscope,
http://www.open.ac.uk/earth-research/tindle/AGT/AGT_Home_2010/NASA_List.html

OU-NASA Virtual Microscope, Samples Sorted by Mission
http://www.open.ac.uk/earth-research/tindle/AGT/AGT_Home_2010/NASA_MenuAlt.html

P. Jenniskens, M. H. Shaddad, D. Numan, S. Elsir, A. M. Kudoda, M. E. Zolensky, L. Le, G. A. Robinson, J. M. Friedrich, D. Rumble, A. Steele, S. R. Chesley, A. Fitzsimmons, S. Duddy, H. H. Hsieh, G. Ramsay, P. G. Brown, W. N. Edwards, E. Tagliaferri, M. B. Boslough, R. E. Spalding, R. Dantowitz, M. Kozubal, P. Pravec, J. Borovicka, Z. Charvat, J. Vaubaillon, J. Kuiper, J. Albers¹, J. L. Bishop¹, R. L. Mancinelli¹, S. A. Sandford, S. N. Milam, M. Nuevo, S. P. Worden: The impact and recovery of asteroid 2008 TC₃, *Nature* 458, 485-488 (26 March 2009) | doi:10.1038/nature07920,
www.nature.com/nature/journal/v458/n7237/abs/nature07920.html

Paul B. Niles, David C. Catling, Gilles Berger, Eric Chassefière, Bethany L. Ehlmann, Joseph R. Michalski, Richard Morris, Steven W. Ruff, Brad Sutter: Geochemistry of Carbonates on Mars: Implications for Climate History and Nature of Aqueous Environments,
Space Sci Rev (2013) 174:301–328, DOI 10.1007/s11214-012-9940-y,
http://faculty.washington.edu/dcatling/Niles2013_CarbonatesOnMarsReview.pdf

Pizzarello S., Schrader D.L., Monroe A.A., Lauretta D.S.: Large enantiomeric excesses in primitive meteorites and the diverse effects of water in cosmochemical evolution, *PNAS*
www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1204865109 (2012). és Bill Steigerwald: „Pizzarello: Antarctic meteorites and cosmochemical evolution” NASA Goddard Space Flight Center,
<http://chemistry.asu.edu/news/ResearchUpdate.asp>, <http://chemistry.asu.edu/news/Faculty.asp>

Planet-Forming Disk Around a Baby Star, NASA Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology,
www.spitzer.caltech.edu/images/1852-ssc2007-14d-Planet-Forming-Disk-Around-a-Baby-Star

Pócs T., A. Horváth, T. Gánti, Sz. Bérczi, E. Szathmáry: On the basis of terrestrial analogue site studies are the dark dune spots remnants of the crypto-biotic-crust of mars? *Microsymposium* 38, MS079, 2003.,
http://www.planetary.brown.edu/planetary/international/Micro_38_Abs/ms079.pdf

Pócs, T., A. Horváth, T. Gánti, Sz. Bérczi, E. Szathmáry (2003). "Possible crypto-biotic-crust on Mars?", ESA SP-545. European Space Agency. Retrieved 24 November 2008.

Pósfai Mihály: Mágneses baktériumok, *Fizikai Szemle* - 58. évf. 5. sz. (2009. május),
http://epa.oszk.hu/00300/00342/00228/pdf/FizSzem-200905_174-178.pdf és Pósfai Mihály, R E Dunin-Borkowski: Magnetic nanocrystals in organisms (2009), in: *Elements*, DOI: 10.2113/gselements.5.4.235,
www.rafaledb.com/papers/J-2009-Elements-magnetic-nanocrystals-in-organisms.pdf

Pósfai Mihály: Szabályozott tulajdonságokkal rendelkező mágneses nanokristályok biomimetikus szintézise, Pannon Egyetem, Környezettudományi Intézet, *Veszprém*, 2013. április 12.
http://oldmk.uni-pannon.hu/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1204&Itemid=

Powell, Corey S.: Új Hold, *Tudomány* 1991. október

Prasanta K. Mukhopadhyay, David J. Mossman, James M. Ehrman: A universal, unconventional petroleum system exists throughout our solar system, 2009. *SPIE* 10.1117/2.1200907.1699, <http://spie.org/x36351.xml>, Szerves üledékes kőzetek, http://www.asko.uni-miskolc.hu/~askmf/hpage/oktat/askobev/asvkoz_14_2007.pdf

Prasanta K. Mukhopadhyay, David J. Mossman, James M. Ehrman: A universal, unconventional petroleum system exists throughout our solar system, 2009. július 24.,<http://spie.org/x36351.xml>

R. I. Kaiser, A. M. Stockton, Y. S. Kim, E. C. Jensen, R. A. Mathies. On the formation of dipeptides in interstellar model ices. *The Astrophysical Journal*, 2013; 765 (2): 111 DOI: 10.1088/0004-637X/765/2/111
<http://iopscience.iop.org/0004-637X/765/2/111/>

R.C. Friedman, G.J. Taylor, and A. Treiman, 1995, "Processes in Thick Lava Flows: Nakhrites (Mars) and Theo's Flow (Ontario, Earth)" in Abstracts of the Lunar and Planetary Science Conference XXVI, p. 429-430.

R.C. Friedman, T.J. McCoy, and G.J. Taylor, 1994, "Constraints on the Physical Details of Nakhlite Formation" in Abstracts of the Lunar and Planetary Science Conference XXV, p. 391-392.

Rachel C. Friedman Lentz: Meteorites from Mars, Rocks from Canada,
www.psr.d.hawaii.edu/Dec96/Nakhrites.html,
www.psr.d.hawaii.edu/Dec96/PSRD-Nakhrites.pdf,

Ralph Harvey, Case Western Reserve University, www.psr.d.hawaii.edu/Oct96/LifeonMars.html

Randy L. Korotev: Lunar Meteorites, Department of Earth and Planetary Sciences, Washington University in St. Louis, Jeff Gillis, http://meteorites.wustl.edu/lunar/moon_meteorites.htm

Rhawn Joseph, Ph.D.: Life on Mars, Red Planet - God of War, Martian meteorites Nakhla and shergotty,
<http://brainmind.com/Mars.htm>

Richard B. Hoover, NASA/NSSTC, 21-23 July 2004; sample courtesy of Paul Sipiera, the Dupont Meteorite Collection of the Planetary Studies Foundation és Ludmilla Gerasimenko, Institute of Microbiology, Russian Academy of Sciences, Alexei Rozanov, Paleontology Institute, Russian Academy of Sciences; sample courtesy of E. Galimov, Vernadsky Institute, RAS, és Richard B. Hoover: Evidence for Indigenous Microfossils in a Carbonaceous Meteorite What'sNEW since 2004. augusztus, NASA/NSSTC,
<http://www.panspermia.org/hover2.htm> és <http://microbes.arc.nasa.gov/gallery/lightms.html>

Richard B. Hoover, Ph.D.: Fossils of Cyanobacteria in CI1 Carbonaceous Meteorites, Journal of Cosmology, 2011. március, Vol 13, journalofcosmology.com/Life101.html, NASA/Marshall Space Flight Center
 NASA/Marshall Space Flight Center,

Richard B. Hoover: Evidence for Indigenous Microfossils in a Carbonaceous Meteorite What'sNEW since 2004. augusztus, NASA/NSSTC, <http://www.panspermia.org/hover2.htm>

Richard B. Hoover: Fossilized bacteria in meteorites are obvious in a newly published article,
www.panspermia.org/whatsnew64.htm#110114,

Richard B. Hoover: Fossils of Cyanobacteria in CI1 Carbonaceous Meteorites: Implications to Life on Comets, Europa and Enceladus, Space Science Office, NASA/Marshall Space Flight Center, Huntsville,
<http://journalofcosmology.com/Life102.html> és http://sdcc3.ucsd.edu/~ir118/Leiden2010/Hoover_JOC_MS.pdf
http://www.reuters.com/article/slideshow?articleId=USTRE7252_KQ20110307&slide=1#a=1

Richard B. Hoover: Fossils of Cyanobacteria in CI1 Carbonaceous Meteorites: Implications to Life on Comets, Europa, and Enceladus, NASA, Journal of Cosmology, 2011, Vol 13, journalofcosmology.com/Life102.html
http://sdcc3.ucsd.edu/~ir118/Leiden2010/Hoover_JOC_MS.pdf, és www.panspermia.org/hovermeteorites.pdf

Richard B. Hoover: More Evidence for Indigenous Microfossils in Carbonaceous Meteorites, What's NEW since 2010. augusztus, Astrobiology, www.panspermia.org/hover4.htm

Richard Blakemore: Magnetotactic Bacteria, Science, New Series, 1975. oktober 24., Vol. 190, No. 4212.,
www.calpoly.edu/~rfrankel/RPBScience75.pdf

Richard Hoover, Alexei Yu. Rozanov, S. I. Zhmur and V. M. Gorlenko: Further Evidence of Microfossils in Carbonaceous Chondrites, in: Instruments, Methods, and Missions for Astrobiology, Richard B. Hoover, Editor, Proceedings of SPIE Vol. 3441, p 203-216., 1998.

Richard Hoover, Alexei Yu. Rozanov, S. I. Zhmur and V. M. Gorlenko, "Further Evidence of Microfossils in Carbonaceous Chondrites", in *Instruments, Methods, and Missions for Astrobiology*, Richard B. Hoover, Editor, *Proceedings of SPIE Vol. 3441*, p 203-216 (1998).

Robert Roy Britt: Mars Face Makeover: Controversial Formation Observed from New Angles, ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum), 2006. 09. 21., www.space.com/2922-mars-face-makeover-controversial-formation-observed-angles.html és www.davidpratt.info/mars-life.htm#m4

Robert Zubrin: Curiosity's Radiation Results, NASA/JPL-Caltech/MSSS, www.spacenews.com/sites/spacenews.com/files/images/articles/031113sn_Curiosity.jpg

Robin Canup, Kaliforniai Egyetem, Riverside, NASA PR, 2009.04.09. http://science1.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/09apr_theia/
www.csillagaszat.hu/fold_es_hold/20090415-theia-stereo-kereses.html

Romain Tartèse, Mahesh Anand, Thomas Delhaye: NanoSIMS Pb/Pb dating of tranquillityite in high-Ti basalts (#1274), The Open University, Milton Keynes, / The Natural History Museum, London / Université de Rennes, Rennes, www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2013/eposter/1274.pdf

Ron Baalke 1995., www4.nau.edu/meteorite/Meteorite/Book-GlossaryN.html, és www2.jpl.nasa.gov/snc/nakhla.html, és

Kereszturi Ákos: Asztrobiológia – modern szintézis a természettudományok között, *Magyar Tudomány*, 2009/10, 1168, www.matud.iif.hu/09okt/03.htm

S. C. Lowry, P. R. Weissman, S. R. Duddy, B. Rozitis, A. Fitzsimmons, S. F. Green, M. D. Hicks, C. Snodgrass, S. D. Wolters, S. R. Chesley, J. Pittichová and P. van Oers: The internal structure of asteroid (25143) Itokawa as revealed by detection of YORP spin-up, *Astronomy & Astrophysics*, 2014. január 07., doi.org/10.1051/0004-6361/201322602,
www.aanda.org/articles/aa/abs/2014/02/aa22602-13/aa22602-13.html
www.eso.org/public/archives/releases/sciencepapers/eso1405/eso1405a.pdf

S.D.J. Russell, F.J. Longstaffe, P.L. King, T.E. Larson: „The oxygen-isotope composition of chondrules and isolated forsterite and olivine grains from the Tagish Lake carbonaceous chondrite” *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 74, Issue 8, 15 April 2010, 2484-2499

Sandra Pizzarello, Devin L. Schrader, Adam A. Monroe, Dante S. Lauretta: Large enantiomeric excesses in primitive meteorites and the diverse effects of water in cosmochemical evolution, *Proc Natl Acad Sci USA*, 2012; 109(30): 11949-11954., [doi: 10.1073/pnas.1204865109](https://doi.org/10.1073/pnas.1204865109),
www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3409747/

Seresné Hartai Éva: Általános, szerkezeti és történeti földtan. Oktatási segédlet 2001

Sid Perkins: ScienceShot: Anatomy of an Odd Asteroid, ESO/ JAXA, <http://news.sciencemag.org/physics/2014/02/scienceshot-anatomy-odd-asteroid>, és www.eso.org/public/news/eso1405/

Sik András-Simon Tamás: Holdunk tartogat még meglepetéseket!, *Természet Világa* 1999. május

Sky and Telescope, 1998. március, 20.o., 1999 augusztus,

Smith, Schneider, Becklin et al. 1999., <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/H/HR4796A.html>

SPHERE images the dust ring around the star HR 4796A,
<http://www.eso.org/public/images/eso1417a/> és <http://time.com/tag/astronomy/page/2/> és http://en.wikipedia.org/wiki/File:Dust_ring_around_HR_4796A_%28eso1417a%29.jpg

Stanislav I. Zhmur and Lyudmila M. Gerasimenko. „Biomorphic forms in carbonaceous meteorite Allende and possible ecological system - producer of organic matter hondrites” in *Instruments, Methods and Missions for Astrobiology II*, Richard B. Hoover, Editor, *Proceedings of SPIE Vol. 3755 p. 48-58 (1999)*.

Stanislav Zhmur: Fossilized Bacteria in Murchison and Efremovka What'sNEW since 2000, I am sending you some microphotos from Murchison and Efremovka meteorites, 2000. január 27.,
<http://www.panspermia.org/zhmur1.htm>

Sterne und Weltraum: Drei neue Elemente in der Mond-Atmosphäre, 1999./1,

Szabó M. Gyulai: Kisbolygók és üstökösök fizikai paramétereinek meghatározása fotometriai módszerekkel (Doktori értekezés), Szegedi Tudományi Egyetem, Kísérleti Fizikai Tanszék, Szeged, 2005.

Széky Pál: A Hold hatása a Föld élővilágára, *Természet Világa* 1993. április

Takashi Mikouchi, Michael Zolensky, Marina Ivanova, Osamu Tachikawa, 1 Mutsumi Komatsu, Loan Le, and Matthieu Gounelle: Dmitryivanovite: A new high-pressure calcium aluminum oxide from the Northwest Africa 470 CH3 chondrite characterized using electron backscatter diffraction analysis, *American Mineralogist*, Volume 94, pages 746–750, 2009

Tarczay György: Balkezes aminosavak: a homokiralitás kialakulásának elméletei,
nepszerukemia.elte.hu/alkimia_Tarczay_09.pdf, Alkímia ma előadásorozat ELTE Kémiai Intézet,
www.chem.elte.hu/pr/alkimia_ma_2009_10.html

The Gateway to Astronaut Photography of Earth,
www.eol.jsc.nasa.gov/scripts/sseop/photo.pl?mission=STS51I&roll=33&frame=56AA

The Lunar Meteorite Compendium, <http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/lmc/index.cfm>

The Lunar Sample Compendium, <http://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/index.cfm>

Thomas Witzke, http://tw.strahlen.org/fotoatlas1/armalcolite_foto.html

Torrella Francisco, Morita Richard Y.: „Microcultural Study of Bacterial Size Changes and Microcolony and Ultramicrocolony Formation by Heterotrophic Bacteria in Seawater”, (1 February 1981) *Applied and Environmental Microbiology*, Feb. 1981, p. 518-527 Vol. 41, No. 2., 0099-2240/81/020518-10\$02.00/0, PMC 243725. PMID 16345721. <http://aem.asm.org/content/41/2/518.long>

Tóth Imre: „Kutatás a Holdat létrehozó ősi becsapódás törmelékei után” *Hírek.csillagászat.hu*, 2009. április 15.,
www.csillagaszat.hu/fold_es_hold/20090415-theia-stereo-kereses.html

Tóth Imre: Grafit a Holdon, www.csillagaszat.hu

Treiman, A. H., Maloy, A. K., Shearer Fr., C. K., Gross, J.: Magnesian Anorthositic Granulites in Lunar Meteorites Allan Hills A81005 and Dhofar 309: Geochemistry and Global, (2010), *Significance, Meteoritics and Planetary Science*, v. 45(2), doi: 10.1111/j.1945-5100.2010.01014.x.

Linda M. V. Martel: Unraveling the Origin of the Lunar Highlands Crust, 2010. 08. 30.,
www.psrhawaii.edu/Sept10/highlands-granulites.html, és www.psrhawaii.edu/Sept10/PSRD-highlands-granulites.pdf és <http://meteorites.wustl.edu/lunar/stones/alha81005.htm>
<http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/lmc/lmc.cfm#breccia>
http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/PDFFiles/F02_ALHA81005v3.pdf

Trieloff, M., Jessberger, E. K., Herrwerth, I., Hopp, J., Fieni, C., Ghelis, M., Bourot-Denise, M., and Pellas, P. (2003) Structure and thermal history of the H-chondrite parent asteroid revealed by thermochronometry, *Nature*, v. 422, p. 502-506.

Vadász Elemér: Földtörténet és földfejlődés Akadémiai Kiadó, Budapest, 1957.

Varga Péter: A Föld forgásának története, Természet Világa, 1994. november,

Vida Gábor: Az élet keletkezése, (Budapest: Gondolat Kiadó 1981)

Virginia M. Miller, George Rodgers, Jon A. Charlesworth, Brenda Kirkland, Sandra R. Severson, Todd E. Rasmussen, Marineh Yagubyan, Jeri C. Rodgers, Franklin R. Cockerill, III, Robert L. Folk, Ewa Rzewuska-Lech, Vivek Kumar, Gerard Farell-Baril, John C. Lieske: Evidence of nanobacterial-like structures in calcified human arteries and cardiac valves, *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 287: H1115–H1124, 2004. május 13, 10.1152/ajpheart.00075.2004., <http://ajpheart.physiology.org/content/287/3/H1115>
<http://ajpheart.physiology.org/content/ajpheart/287/3/H1115.full.pdf>
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/sci/tech/3729487.stm>

Vízfolyások a Marson, www.space.com/11117-mars-reconnaissance-orbiter-anniversary-red-planet.html

Völgyesi Lajos, sci.fgt.bme.hu/volgyesi/

W. C. Tan and S. L. VanLandingham: Electron microscopy of biological-like structures in the Orgueil carbonaceous meteorite, p 237 v 12 *Geophys. Journal of the Royal Astronomical Society*, 1967.
www.panspermia.org/magneto2.htm és

M. Vainshtein, N. Suzina, V. Sorokin: „A new type of magnet-sensitive inclusions in cells of photosynthetic purple bacteria”, p 182-186 v 20 *System. Appl. Microbiol.* 1997.,
http://www.researchgate.net/publication/234145131_A_new_type_of_magnet-sensitive_inclusions_in_cells_of_photosynthetic_purple_bacteria/file/32bfe50f933317b0dd.pdf és

Brig Klyce: Fossilized Magnetotactic Bacterium in the Orgueil Meteorite What'sNEW since 1998.,
www.panspermia.org/magneto.htm és depts.washington.edu/cshlab/html/organisms/rhodopseudomonas.html

White LM et al. 2014. Putative Indigenous Carbon-Bearing Alteration Features in Martian Meteorite Yamato 000593. *Astrobiology* 14 (2): 170-181; doi: 10.1089/ast.2011.0733

Z. Martins, C. M. O'D. Alexander, G. E. Orzechowska, M. L. Fogel, P. Ehrenfreund: Indigenous amino acids in primitive CR meteorites, *Meteoritics & Planetary Science* 42, Nr 12, 2125–2136 (2007), <http://meteoritics.org>,
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1945-5100.2007.tb01013.x/abstract>,
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1945-5100.2007.tb01013.x/pdf>
<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0803/0803.0743.pdf>

Zita Martinsa, Oliver Bottac, Marilyn L. Fogle, Mark A. Sephtonb, Daniel P. Glavinc, Jonathan S. Watsonf, Jason P. Dworkinc, Alan W. Schwartzg, Pascale Ehrenfreundd: Extraterrestrial nucleobases in the Murchison meteorite, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 270, Issues 1–2, 15 June 2008, Pages 130–136, DOI: 10.1016/j.epsl.2008.03.026, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012821X08001866>
http://www.researchgate.net/publication/222818820_Extraterrestrial_nucleobases_in_the_Murchison_meteorite

www.csillagaszat.hu/bolygokozi_anyag/20131110-posztagb-szemcsek.html

www.csillagaszat.hu/hirek/nr-egyeb-naprendszer/nr-mars/tizenket-merfold-magas-porordogot-fotoztak-a-marson/

www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2166589/The-oldest-biggest-asteroid-crater-discovered-Greenland-suggesting-huge-impact-billion-years-ago.html

www.encyclopedia-of-meteorites.com/meteorite.aspx?id=23530, és

G. Jeffrey Taylor: Magma and Water on Mars, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology,

www.psr.d.hawaii.edu/Dec05/Magma-WaterOnMars.html,
www.psr.d.hawaii.edu/Dec05/PSRD-Magma-WaterOnMars.pdf

www.enterprisemission.com/_articles/03-08-2004/crinoid_cover-up.htm
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/pia05457>
<http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA05457.jpg>

www.francesca.mi.it/bulli1.JPG

www.lpi.usra.edu/lpi/meteorites/life.html#PAH

www.lpi.usra.edu/lpi/meteorites/s96-1229.gif

www.lpi.usra.edu/lpi/meteorites/s9612609.gif

www.msss.com/mars_images/moc/extended_may2001/face/face_E03-00824_proc_50perc.gif

www.msss.com/mars_images/moc/extended_may2001/face/index.html

www.nasa.gov/audience/forstudents/nasaandyou/home/comets_bkgd_en.html

www.nasa.gov/centers/ames/news/releases/2001/01images/magneticbacteria/bacteria.html

www.psr.d.hawaii.edu/Archive/Contents.html

www.psr.d.hawaii.edu/Mar97/LifeonMarsUpdate.html és
<http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/mmc/ALH84001.pdf>

www.researchgate.net/publication/259361092_TERMIKUS_S_SOKKMETAMORF_JELENSGEK_EGY_KIS_GITEST_FEJLDSBEN_A_MAGYARORSZGI_S_ANTARKTISZI_METEORITOK_PETROGRFIAI_RAMAN_S_INFRAVR_SPEKTROSZKOPIS_VIZSGLATA_ALAPJN

www.satellitesights.com/satelliteimage/The_Badlands_Guardian_Alberta_Canada

www.space.com

www.spaceflightnow.com/mars/msl/130922methane/#.U26kTdwaySM

www.urvilag.hu/nyomtat/tavoli_vilagok_kutato/20120514_egy_nagy_kisbolygo_titkai

www.urvilag.hu/spirit_es_opportunity/20140111_egy EVTIZEDE_ERT_A_MARSRA_A_SPIRIT

www.urvilag.hu/urszondak_a_marsnal/20131128_erdekessegek_a_mavenrol_1resz

<http://biogeodb.stri.si.edu/pacificalgae/search/Phormidium>

http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Cyanobacteria/cyano_colonies/cyano_colony_page/cyano_colony_key.html

<http://cosmicdiary.org/lfenton/2014/05/19/debunking-hoaglands-glass-worms-with-hirise/>

<http://curator.jsc.nasa.gov/education/LPETSS/breccias.cfm>,
<http://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lets/breccias.pdf>

http://en.wikipedia.org/wiki/File:Formation_of_tholins_in_Titan%27s_upper_atmosphere.svg

http://en.wikipedia.org/wiki/Richard_C._Hoagland

http://esamultimedia.esa.int/images/marsexpress/310-230906-3253-6-3d4-Cydonia_H.jpg

http://hvg.hu/plazs/20110112_legnagyobb_gyogyszerbotran yok
http://doktori.bme.hu/bme_palyazat/2013/honlap/Bagi_Peter.htm

http://index.hu/tudomany/urkutatas/2010/09/15/naprendszerunk_keletkezesenek_titkairol_arulkodik_a_fracia_meteorit/

<http://io9.com/5923648/why-did-all-the-planet+forming-dust-around-this-star-disappear-in-only-three-years>

<http://journalofcosmology.com/JOC21/Polonnaruwa5R.pdf>

<http://m.origo.hu/tudomany/vilagur/20140721-ustokos-kutatas-a-rosetta-szonda-also-szenzacios-felfedezese.html>

http://mars.jpl.nasa.gov/mer/gallery/press/opportunity/20040302a/07-ss-07-moess1-B038R1_br.jpg

<http://marsmobile.jpl.nasa.gov/msl/news/whatsnew/index.cfm?fuseaction=shownews&newsid=1388>
<http://www.spaceflightnow.com/mars/msl/130922methane/#.U26kTdwaySM>
www.csillagaszat.hu/hirek/nr-egyeb-naprendszer/nr-mars/a-curiosity-szerint-is-elveszett-a-marsi-legkor-egy-resze/
www.urvilag.hu/curiosity/20130929_nincs_metan_a_marson

http://marsrover.nasa.gov/mission/tm-opportunity/images/MERB_Sol2055_1.jpg
http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_rocks_on_Mars, és NASA/JPL/US Geological Survey
http://mars.jpl.nasa.gov/mer/gallery/press/opportunity/20040302a/12-ss-12-striped-B038R1_br.jpg

<http://marsrovers.jpl.nasa.gov/newsroom/pressreleases/20040116a.html>
http://marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery/press/spirit/20040116a/2F127512485EFF0309P1003LOM1-A13R1_br.jpg

<http://meteorites.wustl.edu/lunar/stones/mil05035.htm>, és
http://curator.jsc.nasa.gov/antmet/PDFFiles/B08_MIL05035v3.pdf

<http://microbes.arc.nasa.gov/gallery/lightms.html>

http://mta.hu/mta_hirei/jelentos-reszt-vallaltak-akademiai-kutatok-a-rosetta-urszonda-fejleszteseben-133432/

http://naturalscience.com/ns/articles/01-03/ns_folk.html

<http://naturalscience.com/ns/cover/cover14.html>

<http://newsdesk.si.edu/snapshot/nakhla-meteorite-fragment>, Smithsonian's National Museum of Natural History, (1911-ben hullott), ésG. Jeffrey Taylor: Magma and Water on Mars, Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, www.psr.d.hawaii.edu/Dec05/Magma-WaterOnMars.html, www.psr.d.hawaii.edu/Dec05/PSRD-Magma-WaterOnMars.pdf

<http://planetologia.elte.hu/>

<http://planetologia.elte.hu/atlasz/01becsapodas.pdf>

<http://planetologia.elte.hu/nyomtat.phtml?cim=hold-irassal.html>

<http://planetologia.elte.hu/nyomtat.phtml?cim=kondritos.html>

http://planktonnet.awi.de/sci_images_detail.php?itemid=57947

<http://popularsciencewriting.blogspot.hu/2012/11/nasa-mission-to-destroy-earth.html>

http://presolar.wustl.edu/Laboratory_for_Space_Sciences/Publications_2013_files/jadhavetal2013.pdf

http://protist.i.hosei.ac.jp/pdb/images/prokaryotes/rivulariaceae/calothrix_06.html
<http://publications.nigms.nih.gov/insidethecell/chapter1.html>
<http://rosetta.esa.int/>
http://rosetta.esa.int/images/Comet_on_3_August_2014.jpg
<http://rsd.gsfc.nasa.gov/marslife/photos.htm>
http://science1.nasa.gov/media/medialibrary/2001/02/28/ast28feb_1_resources/Themeteorite.gif
<http://spider.seds.org/spider/Mars/Marsrock/marsrocks.html>
<http://spider.seds.org/spider/Mars/Marsrock/s94-032549.jpg>
http://science1.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2004/02mar_meridianiwater/
<http://sg.hu/cikkek/57209/az-elet-elofutarait-eszleltek-a-kentaurban>
<http://spaceflightnow.com/news/n1401/03spirit/>
<http://www.nasa.gov/vision/universe/solarsystem/release-062504.html>
<http://thetechjournal.com/science/nuclear-bomb-can-save-earth.xhtml/attachment/collision-of-asteroid?PageSpeed=noscript>
<http://www.csillagaszat.hu/hirek/nr-egyeb-naprendszer/apro-objektumok/nr-apro-kisbolygok/lopatko-alakupalyan-kiseri-a-foldet-egy-uj-kisbolygo/>
<http://www.csillagaszat.hu/uncategorized/gyorshir-a-rosetta-szonda-sikeresen-megerkezett-ustokosehez/>
<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2266435/Does-rock-prove-life-outer-space-Controversial-scientist-claims-fossils-meteor-fragment.html> és <http://www.panspermia.org/wallisetal27aug2013.pdf>
<http://www.davidpratt.info/mars-life.htm#m4>
http://www.ehman.org/meteorite_origins_ed.html
<http://www.enterprisemission.com/>
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Mars_Express/Cydonia_-_the_face_on_Mars
<http://www.jpl.nasa.gov/asteroidwatch/newsfeatures.cfm?release=2013-300> és <http://www.jpl.nasa.gov/images/asteroid/20131017/asteroid20131017-full.jpg>
<http://www.lpi.usra.edu/lpi/meteorites/sc924f1a.jpg>
http://www.lpi.usra.edu/publications/slidesets/marslife/slide_23.html
<http://www.meteorite-times.com/micro-visions/efremovka-cv3/>
http://www.msss.com/mars_images/moc/science_paper/f5/
http://www.msss.com/mars_images/moc/4_5_00_cydonia/moc2_msss_labels.gif
http://www.msss.com/moc_gallery/ab1_m04/images/M0400291.html
http://www.nasa.gov/centers/johnson/pdf/403099main_GCA_2009_final_corrected.pdf
<http://www.ng.hu/Tudomany/2004/05/Nanobakteriumok-uj-eletforma-vagy-bulvartudomany>

<http://www.origo.hu/tudomany/20100114-megsem-elolenyek-a-nanobakteriumok.html>
<http://www.origo.hu/tudomany/20100114-megsem-elolenyek-a-nanobakteriumok.html>
<http://www.origo.hu/tudomany/elet/20040520ujabb1.html>
<http://www.origo.hu/tudomany/real/000127ahold.html>
<http://www.origo.hu/tudomany/vilagur/20080521-marskutatas-egy-korszak-merfoldkovei-kepekben.html>
<http://www.origo.hu/tudomany/vilagur/20111017-meleg-es-nedves-osi-mars-az-alh-84001-meteor.html>
<http://www.panspermia.org/whatsnew73.htm#20130414>
<http://www.pnas.org/search?fulltext=Mars+ALH+84001+&submit=yes&x=0&y=0>
http://www.slate.com/blogs/bad_astronomy.html
<http://www.termesztar.hu/anyagok/nagyitas/nagyitas.html>
http://www.thelivingmoon.com/43ancients/02files/Mars_Images_05a.html
<http://www.universetoday.com/113693/rosetta-on-final-approach-to-historic-comet-rendezvous-watch-live-here/>
<http://www.urvilag.hu>
http://www3.imperial.ac.uk/newsandeventspggrp/imperialcollege/newssummary/news_13-6-2008-14-44-59?newsid=38534
<http://www4.nau.edu/meteorite/Meteorite/Book-GlossaryC.html>,
www.meteoris.de/img/ncc-snc/Chassigny-0.456g.JPG, és
NASA, Johnson Space Center, www2.jpl.nasa.gov/snc/chassigny.html, és
Lunar and Planetary Institute, www.lpi.usra.edu/science/treiman/publications.shtml, www.lpi.usra.edu/science/treiman/Chassigny.jpg
<http://www4.nau.edu/meteorite/meteorite/book-glossaryi.html>
<https://www.geolsoc.org.uk/Geoscientist/Archive/April-2007/The-Tagish-Lake-meteorite>