Asztrobiológia: hol és miként keressünk Földön kívüli életet?

Élő Adás, ELTE TTK, 2016.02.24.

Kereszturi Ákos
MTA CSFK KTM CSI
NASA NAI TDE

Mi az asztrobiológia?

asztrobiológia
bioasztronómia
exobiológia

- Földön kívüli élet lehetősége utáni kutatás
- interdiszciplináris téma
- természettudomány, mert:
  - megfigyelés,
  - mérés,
  - megismételhető kísérlet

Nem tartoznak ide:
- nem bizonyítható,
- nem egzakt megfigyelések

Mai előadás:
- lakhatóság
- tényezők/heyszínek
- hol/hogyan keressük

Az asztrobiológia mátrix

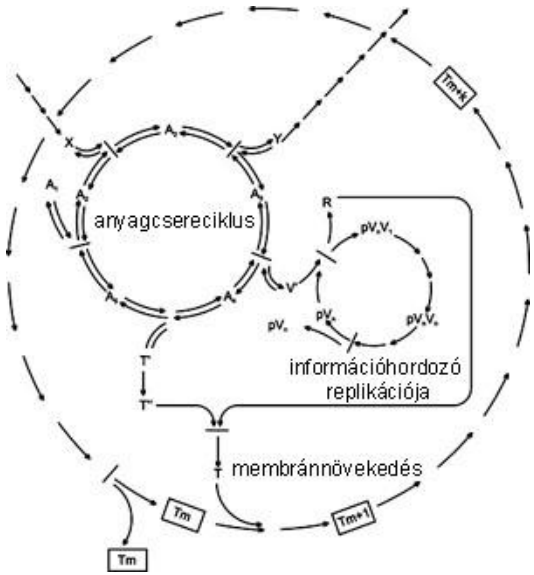
	Planetológia		Csillagászat			szerveződés / fejlődés	
Fizika			elemek keletkezése elemek kibocsátása		tömeg társ	abiogén	atomok
kémia+fizika			csillagközi anyag kémiája		galaktikus környezet	prebiotikus	molekulák
kémia+fizika	szoláris köd kémiája		csillag és bolygókeletkezés		szomszédok sugátzása		
biológia+kémia+fizika	bolygók keletkezése exobolygók	becsapódások, anyagcsere	Protonap aktivitása	szomszédok pertur-bációi		élet keletkezése	sejtek, örökítőanyag
biológia+kémia+fizika	kezdeti felszín és légkör fejlődés		Nap aktivitás változása	környező csillagok, galaktikus árapály-mező	közeli szupernóvák, halmazok, molekulafelhők		
biológia+kémia+fizika	belső-, felszín- és légkör fejlődés					evolóció	többsejtűek
biológia+kémia+fizika	bioszféra visszahatása az anyag-körforgásra, éghajlatra						ökoszisztéma

Élet keresése

- mi az élet?
- földi élet
  - specifikus jellemzők (víz, CH alapú, kémia dominálta)
  - egyedi?
  - definíció nehéz
    - élet fogalma, Gánti Tibor (~1970)
    - kölcsönható kémiai rendszerek:
      - anyagcsere
      - információ másolás
      - membrán, elkülönülés a környezettől
    - műszer tervezéséhez kell
    - földi példák → víz és szén alapú
    - nincs sok választás… → földihez hasonlót kell keresni

- lakhatóság
  - élet keletkezése
  - élet fennmaradása, fejlődése
  - minimális kritériumok a paraméterekről
  - keresés vezérfonala

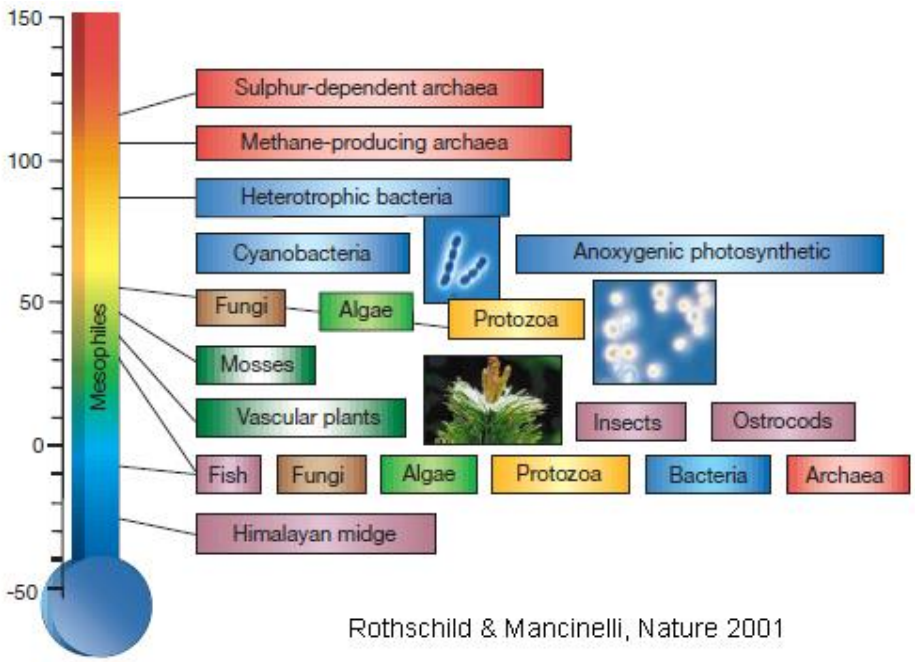
Kemoton absztrakt modell (Gánti 1974)



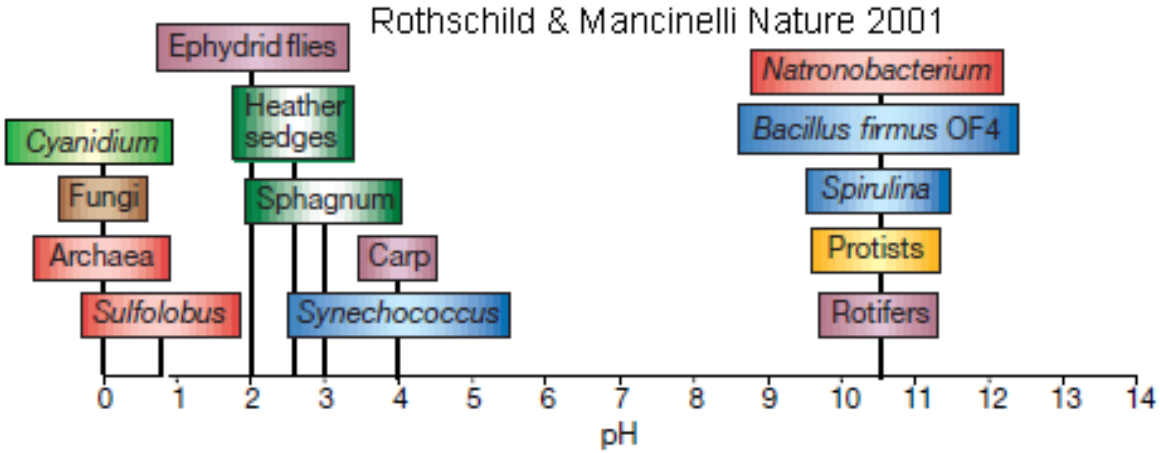
Ha túl „extra”, miről ismerjük fel?

Élet ott lehet, ahol lakható a környezet

- lakhatóság
  - NASA definíció:
    - kiterjedt folyékony vizes közeg
    - komplex szerves molekulák keletkezhetnek
    - energiaforrás metabolizmushoz
  - élet keletkezése
  - élet fennmaradása
  - élet fejlődése
  - minimális paraméterek…
- kérdések:
  - bolygó méretű környezet?
  - mely paraméterek számítanak?
  - csak besugárzással?
  - csak felszíni vízzel?
- földi példa:
  - fejlett élet felszínen
  - egyszerű a mélyben is
  - keletkezés a mélyben?



Rothschild & Mancinelli, Nature 2001



Rothschild & Mancinelli Nature 2001

Mit keressünk? lakhatóságot befolyásoló paraméterek

- „egyszerű” megközelítés: földihez hasonló bolygók
- megközelítés paraméterek felől:
  - anyagok
    - reakcióközeg (oldószer): víz, CH, egyéb… (?)
  - energiaforrások
    - elektromágneses sugárzás (pl. napfény)
    - részecskesugárzás (?)
    - hőhatás (kémiai következmények)
    - kémiai (energianyerésre hasznos molekulák)
  - katalizátorok (reakciósebesség növelése)
  - idő tényező
    - hosszútávon stabil
    - milyen hosszú? Földi élet keletkezése ~100 millió év
  - stabilitás/változékonyság - előny, hátrány?)

túl sok a paraméter…
tényezők külön-külön vizsgálhatók
együtt igen nehéz…

Ideális környezet kicsi és elszigetelt is lehet

Elemek (atommagok) keletkezése

- fúzió
- radioaktív bomlás
- foto-dezintegráció
- neutronbefogás: lassú/gyors

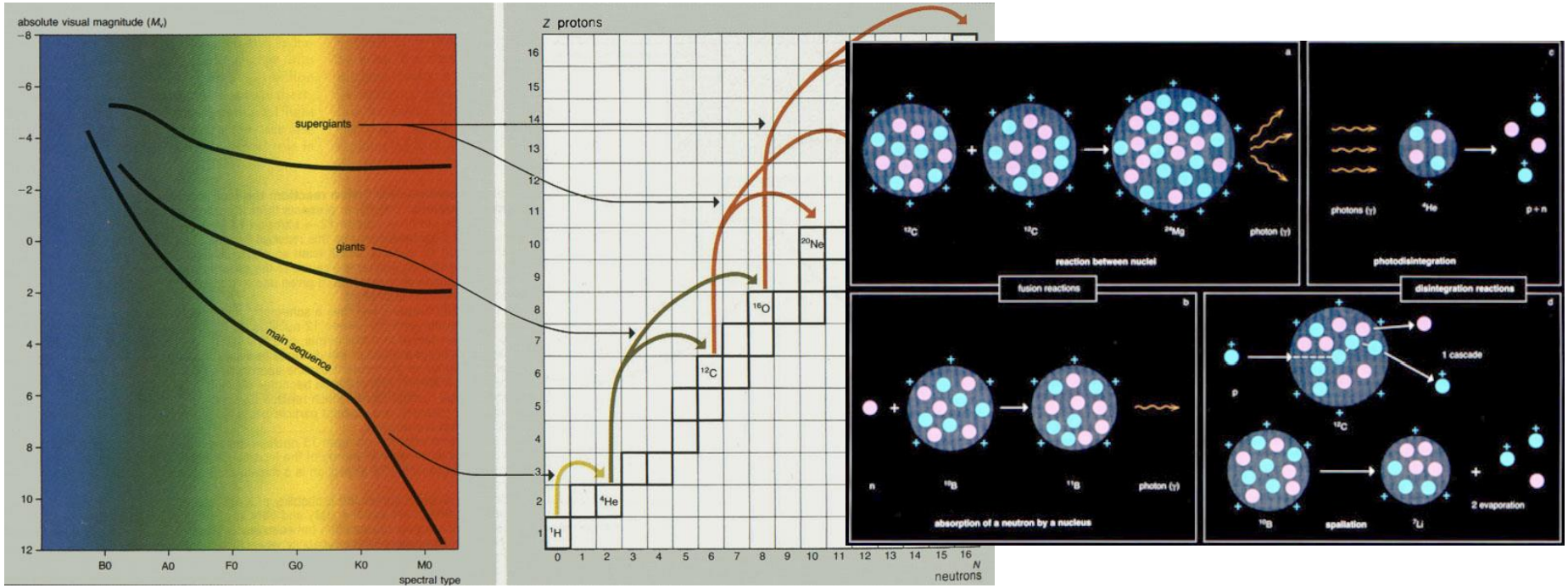
nukleonszintézis:

- Ősrobbanás után 3 perccel: ^{2}D, ^{3}He, ^{4}He, ^{7}Li
- csillagokban He, és attól felfelé
  - fúzió He – Fe között
  - szupernóva-robbanás $\rightarrow$ gyors n^{o} befogás: Fe felett
- csillagközi térben:
  - maghasadás kozmikus sugaraktól: Li, B, Be

Anyagkibocsátás

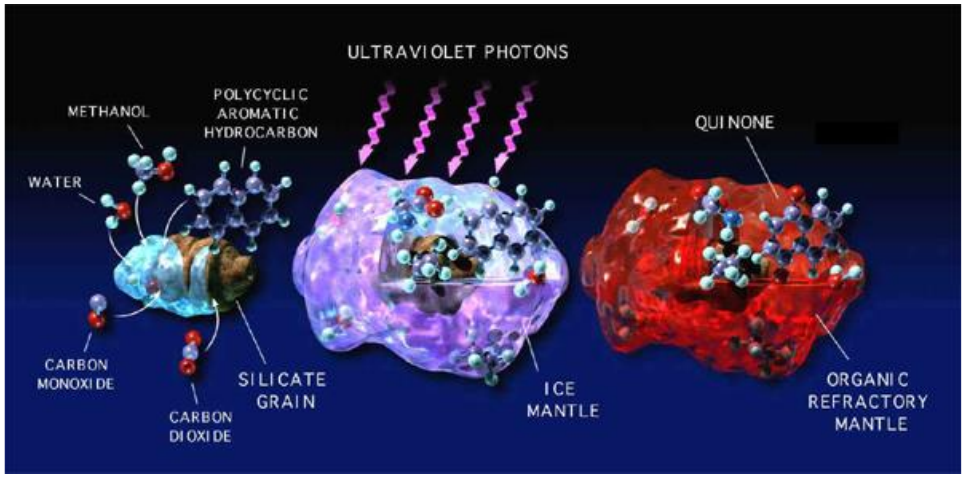
csillagszelek

szupernóva-robbanások



Csillagközi anyag kémiája

- jelenleg 181 molekula
- glicin, legegyszerűbb aminosav is
- főleg jégszemcsék belsejében
- molekulafelhők
- polimerzáció csillagközi térben



OUT OF THIS WORLD

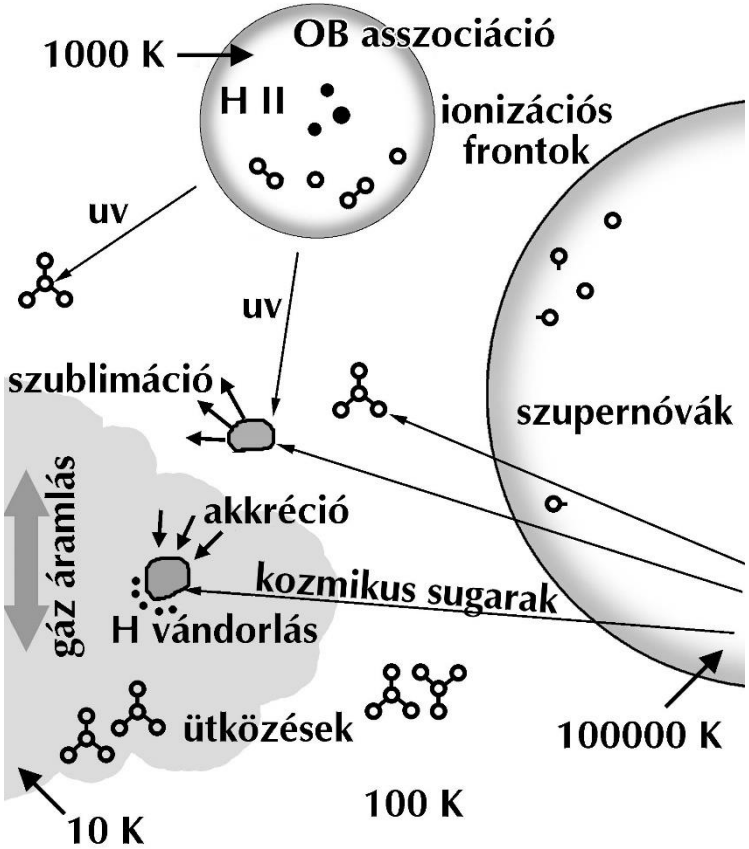
A wealth of molecules is found in interstellar clouds

2 atoms		3 atoms		4 atoms		5 atoms	
H_2	NO	C_3	MgCN	c-C_3H	HNCS	C_5	HC_2NC
AlF	NS	C_2H	MgNC	l-C_3H	$HOCO^+$	C_4H	HCOOH
AlCl	NaCl	C_2O	N_2H^+	C_3N	H_2CO	C_4Si	H_2CHN
C_2	OH	C_2S	N_2O	C_3O	H_2CN	l-C_3H_2	H_2C_2O
CH	PN	CH_2	NaCN	C_3S	H_2CS	c-C_3H_2	H_2NCN
CH^+	SO	HCN	OCS	C_2H_2	H_3O^+	CH_2CN	HNC_3
CN	SO^+	HCO	SO_2	HCCN	NH_3	CH_4	SiH_4
CO	SiN	HCO^+	c-SiC_2	$HCNH^+$	SiC_3	HC_3N	H_2COH^+
CO^+	SiO	HCS^+	CO_2	HNCO			
CP	SiS	HOC^+	NH_2				
CSi	CS	H_2O	H_3^+				
HCl	HF	H_2S	SiCN				
KCl	SH	HNC	AlNC				
NH	FeO	HNO					

6 atoms		7 atoms	8 atoms	9 atoms
C_5H	CH_3SH	C_6H	CH_3C_3N	CH_3C_4H
l-H_2C_4	HC_3NH^+	CH_2CHCN	$HCOOCH_3$	CH_3CH_2CN
C_2H_4	HC_2CHO	CH_3C_2H	CH_3COOH	$[CH_3]_2O$
CH_3CN	NH_2CHO	HC_5N	C_7H	CH_3CH_2OH
CH_3NC	C_5N	$HCOCH_3$	CH_2OHCHO	HC_2N
CH_3OH		NH_2CH_3		C_8H
		c-C_2H_4O		
		CH_2CHOH		

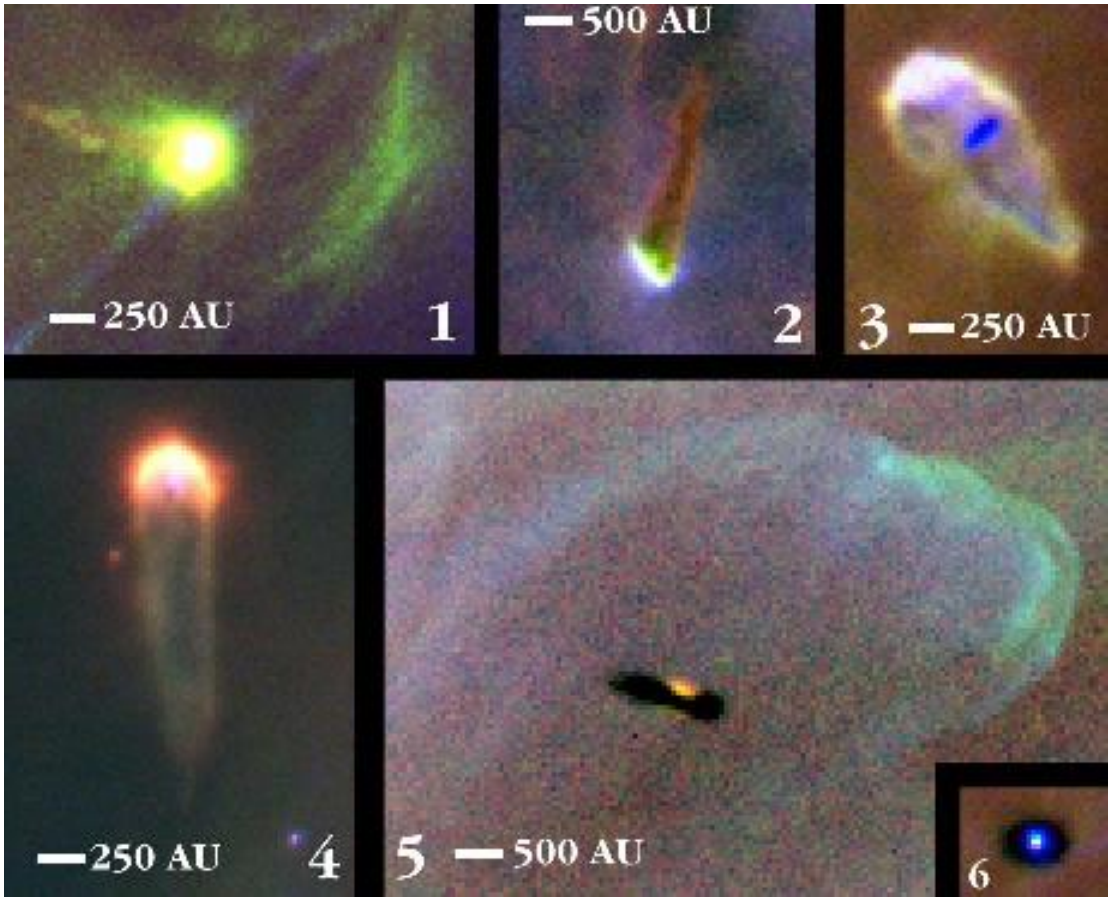
10 atoms	11 atoms	13 atoms
CH_3C_5N	HC_9N	$HC_{11}N$
$[CH_3]_2CO$		
NH_2CH_2COOH		

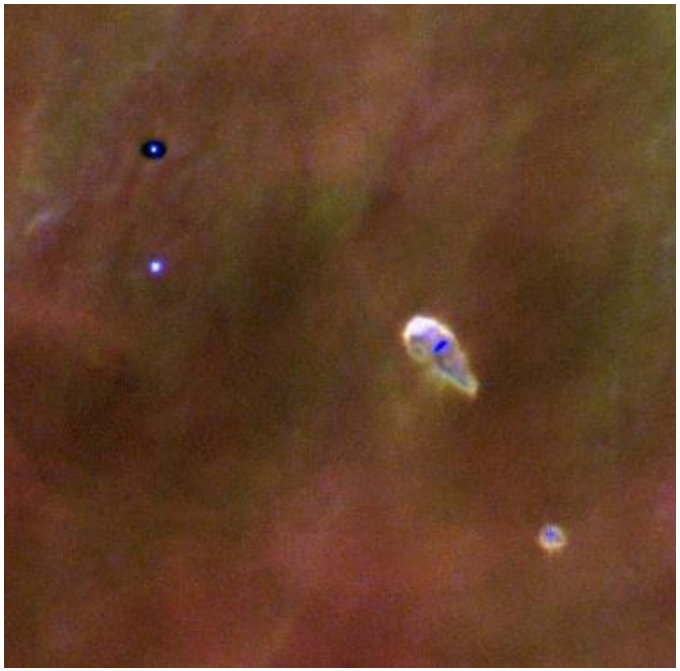
NOTE: Evidence suggests that much larger molecules such as polycyclic aromatic hydrocarbons and fullerenes are also present.
SOURCE: National Radio Astronomy Observatory



Bolygókeletkezés

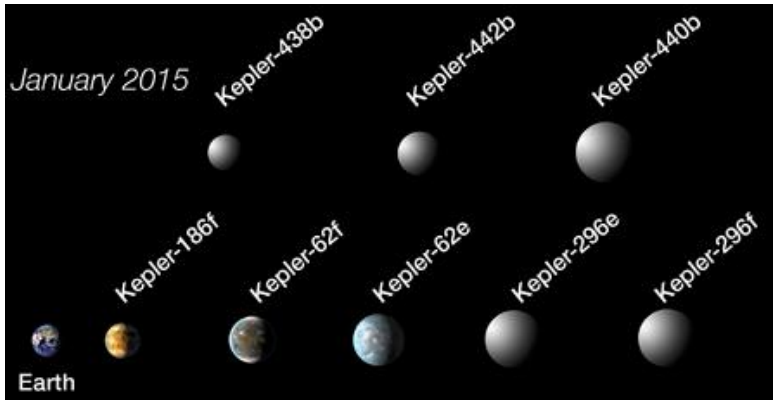
- protoplanetáris korongok: csillagkeletkezéshez jellegzetesen kapcsolódnak
- 100-1000 Cs.E. átmérő
- szomszédok sugárzásai, csillagszelek erodálnak
- heterogén, nagyon sokféle bolygó és rendszer (vízbolygó, gyémántbolygó stb.)

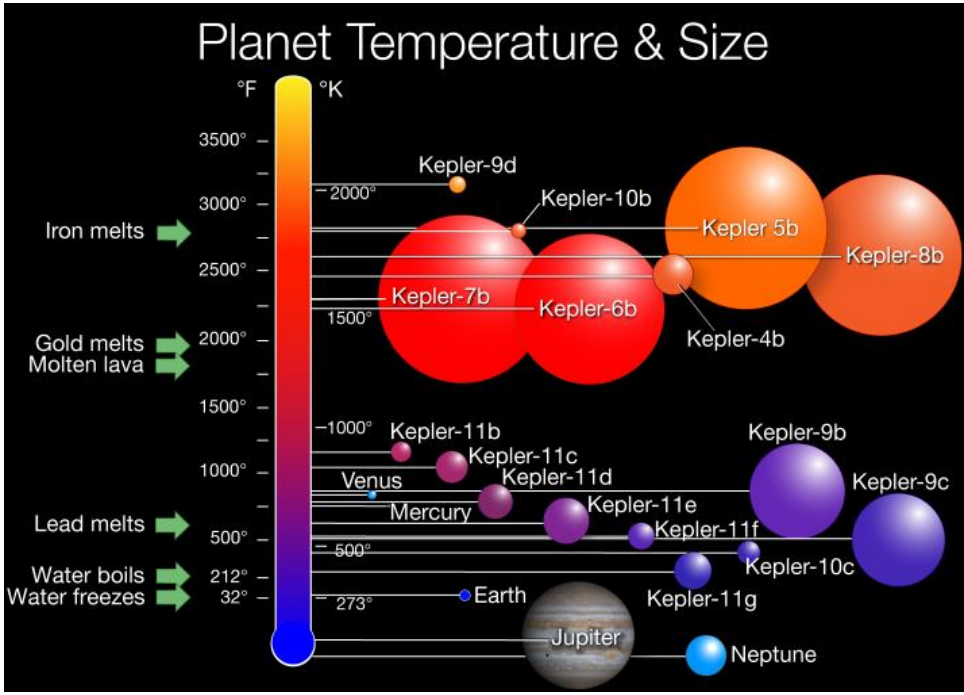


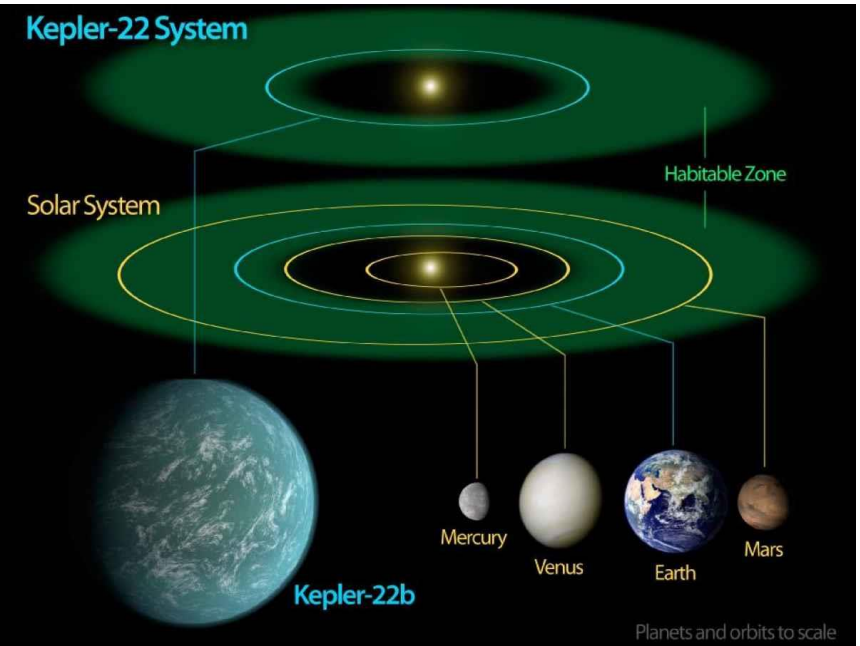


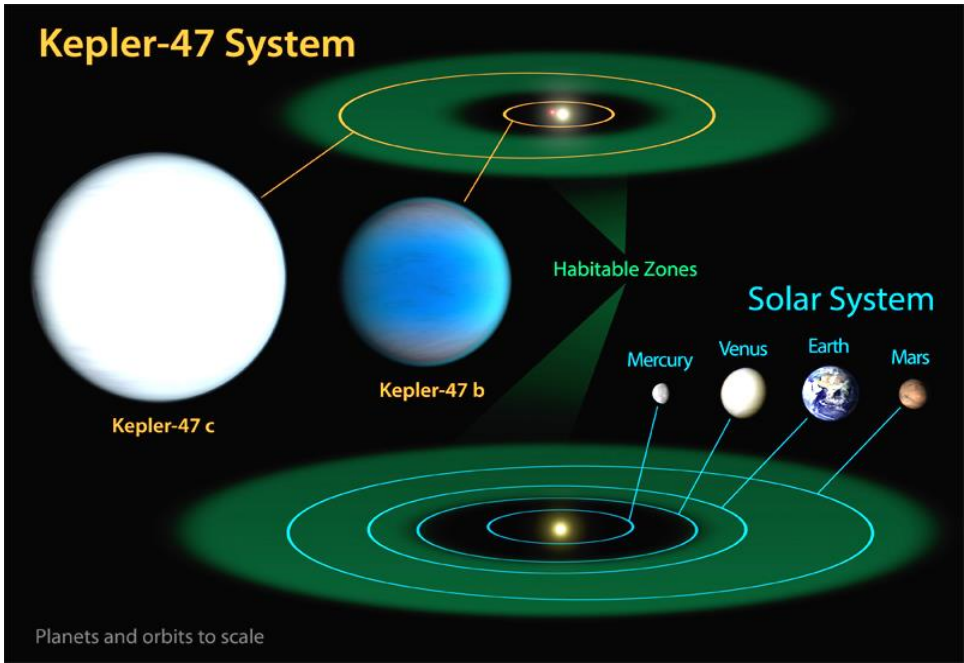
Exobolygók - ideális helyszínek hol?

- földihez hasonló életnek ideális
- csillag körüli lakhatósági zónában (CHZ)
- Föld típusú bolygó felszínén
- stabilan létezhet folyékony víz





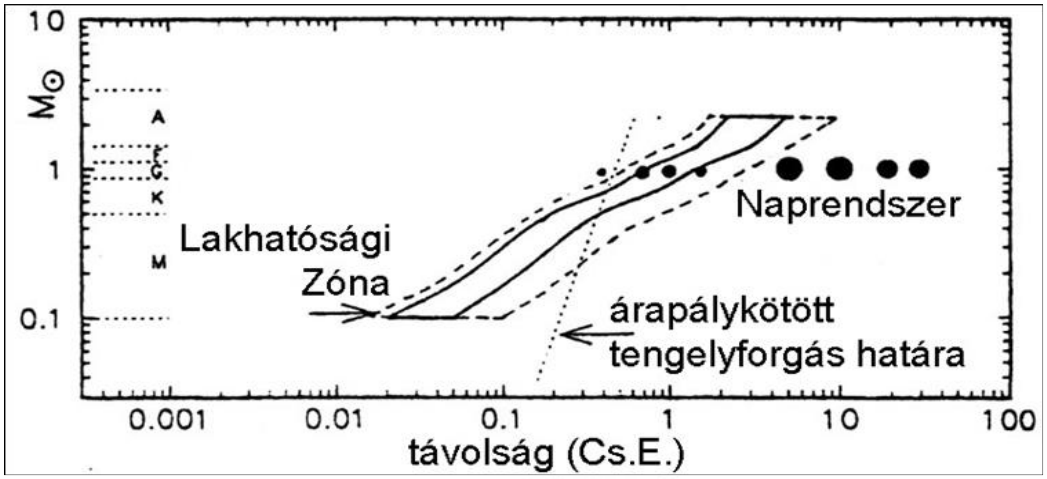


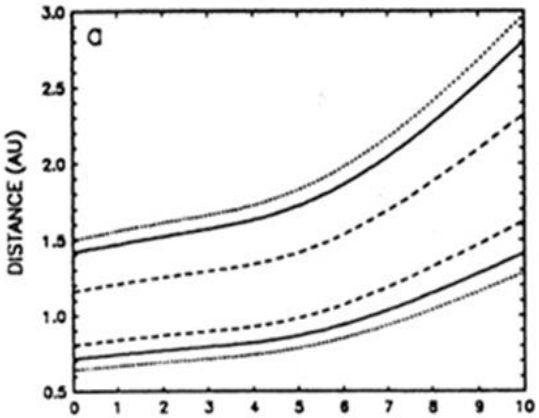


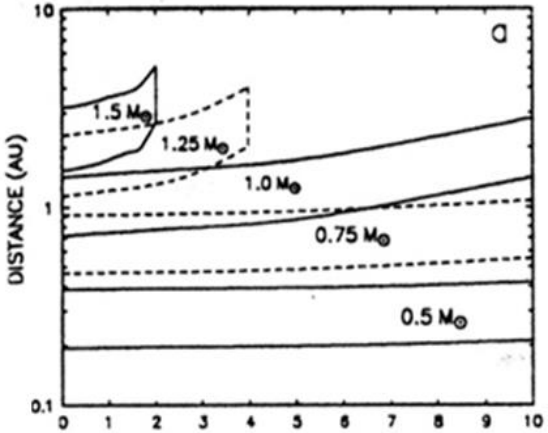
„Klasszikus” lakhatósági zóna (CHZ)

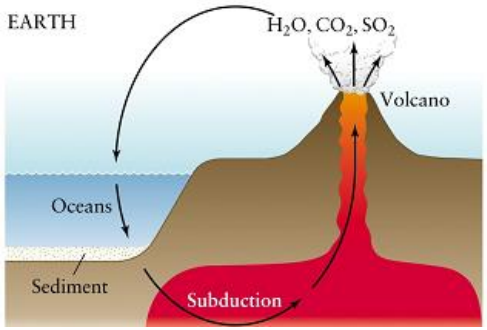
Határai:

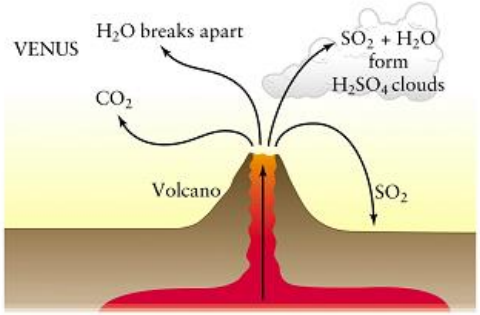
- belső: elszabadult üvegház (Vénusz)
  - besugárzás
  - üvegházhatás
  - erősödő víz párolgás
  - H_2O gazdag légkör
  - óceán elpárolgás
  - H_2O erős üvegházhatás
  - H_2O elszökés
  - CO_2 légkörben marad
- külső: fagyott víz (~Mars?)
  - jeges felszín
  - magas albedo
  - ritka légkör
  - gyenge üvegházhatás

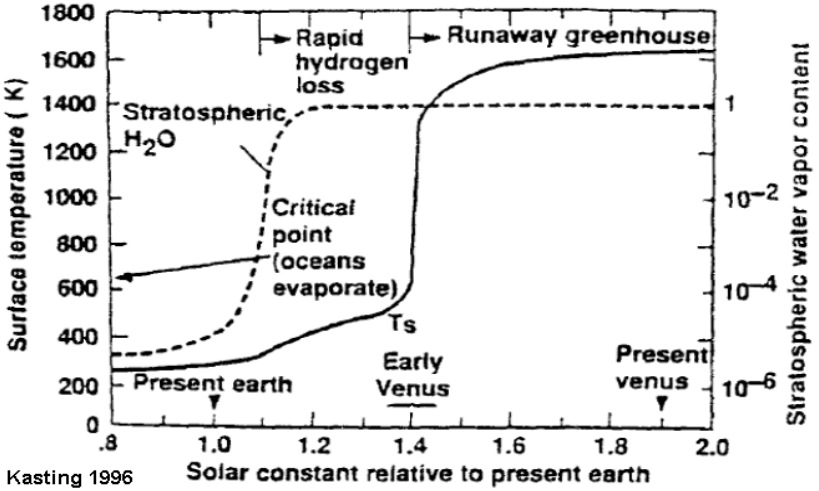










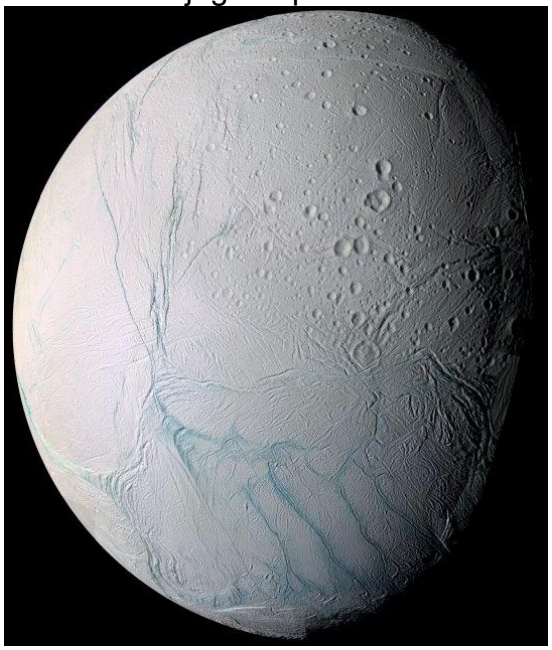


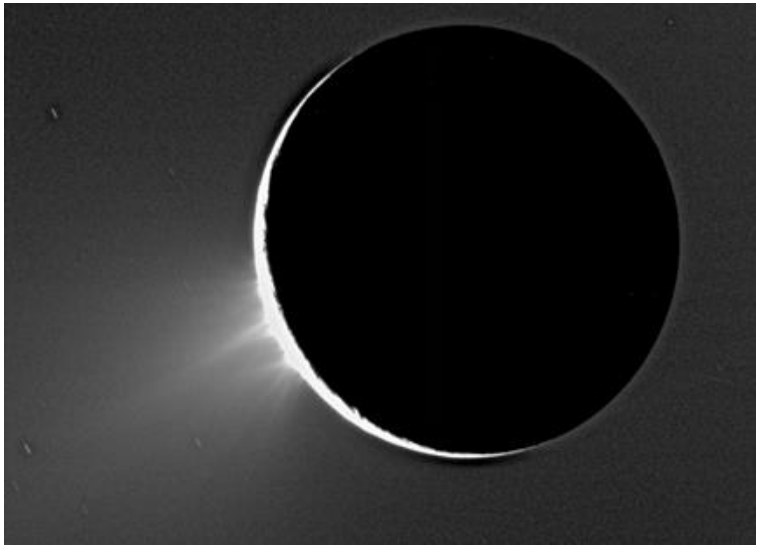
Enceladus vulkáni jellegű aktivitása

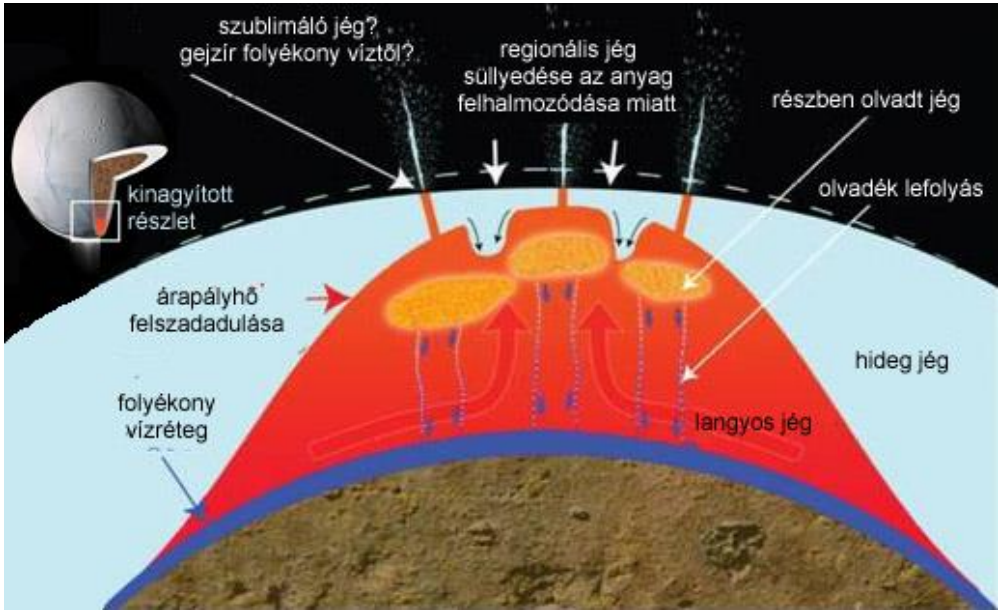
- aszimmetrikus, ritka légkör
- délen aktív repedések:
  - párhuzamos törések
  - fiatalok, finomszemcsés anyag
  - környezetüknél melegebbek
  - repedésekből anyagkiáramlás
  - folyékony víz heves párolgása?
  - H_2O, CO_2, szerves anyag
- kilövellt szemcsék
  - sós-jeges anyag (Na)
  - szerves komponensek is
  - nanométeres „kova szemcsék”:

  >90 °C hidrotermális aktivitás

Kék: friss jég a repedések mentén

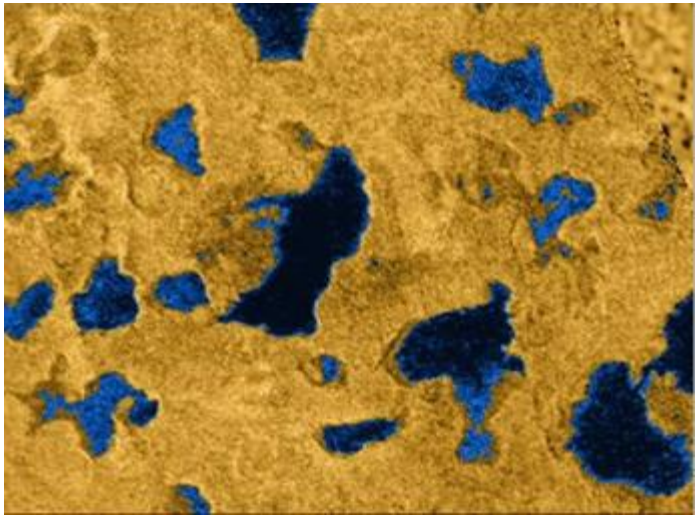


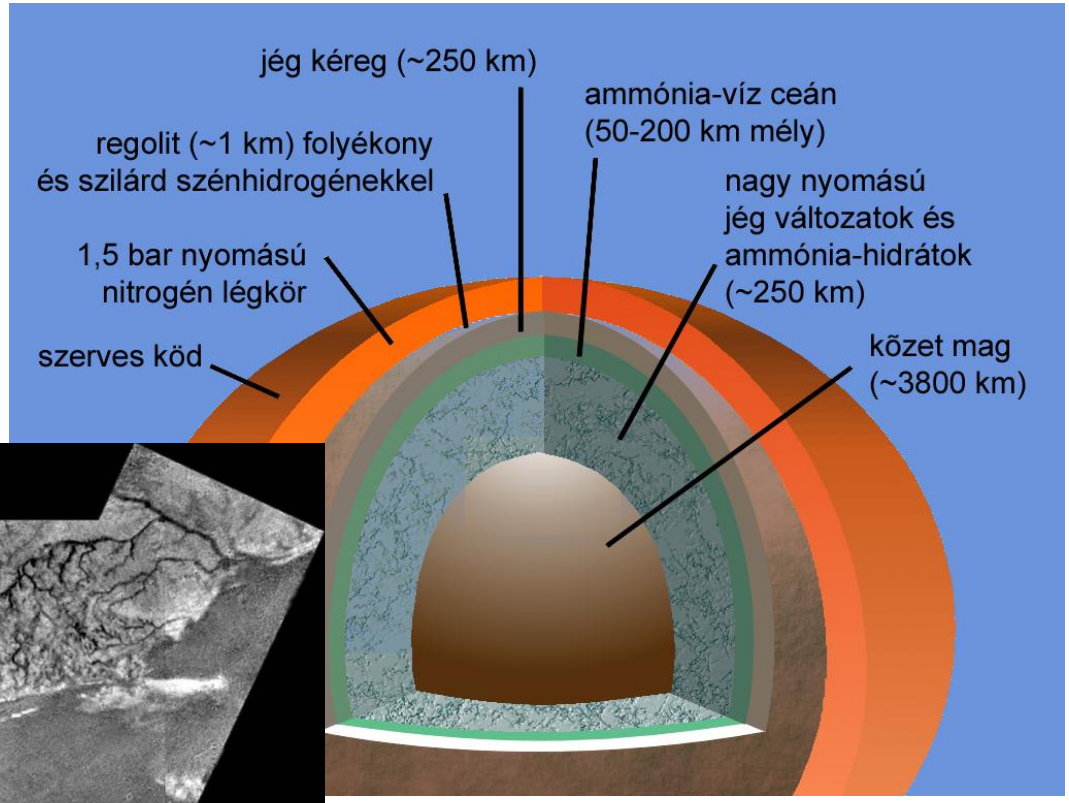


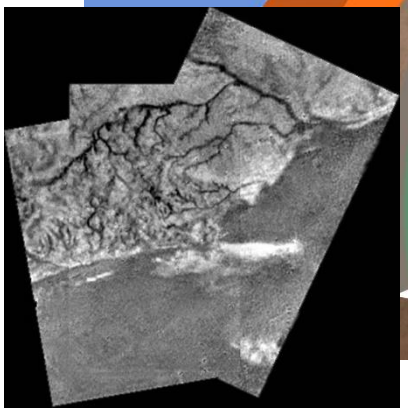


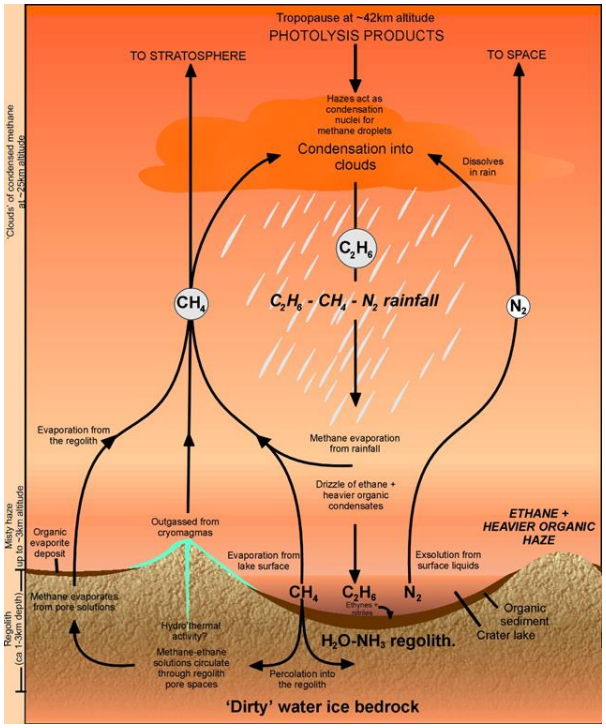
A Titan asztrobiológiai potenciálja

- felszín alatti víz-ammónia óceán
- magaslégköri szerves szmog → aminosavak?
- CH halmozódás a felszínen
- aktív körforgás, kémiai átalakulások
- víz-CH érintkezés?
- CH alapú hipotetikus kémia



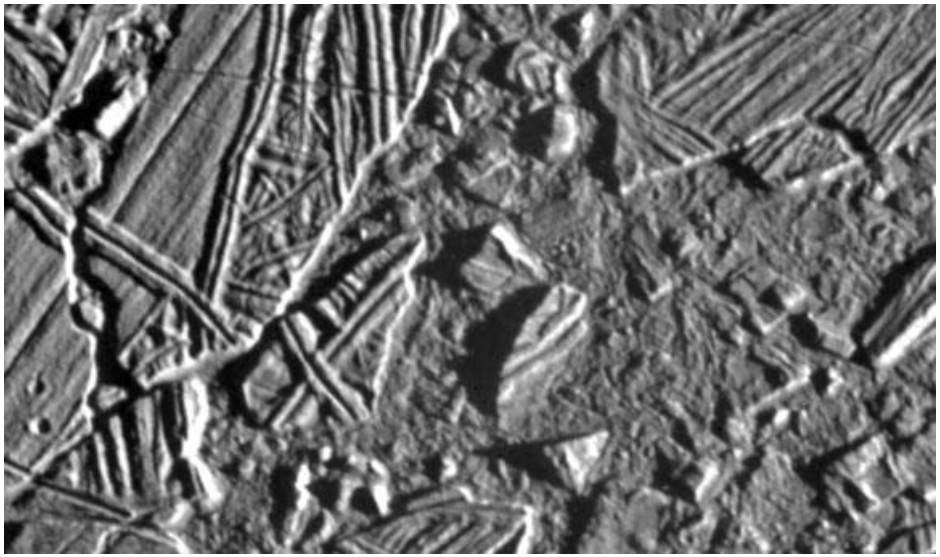


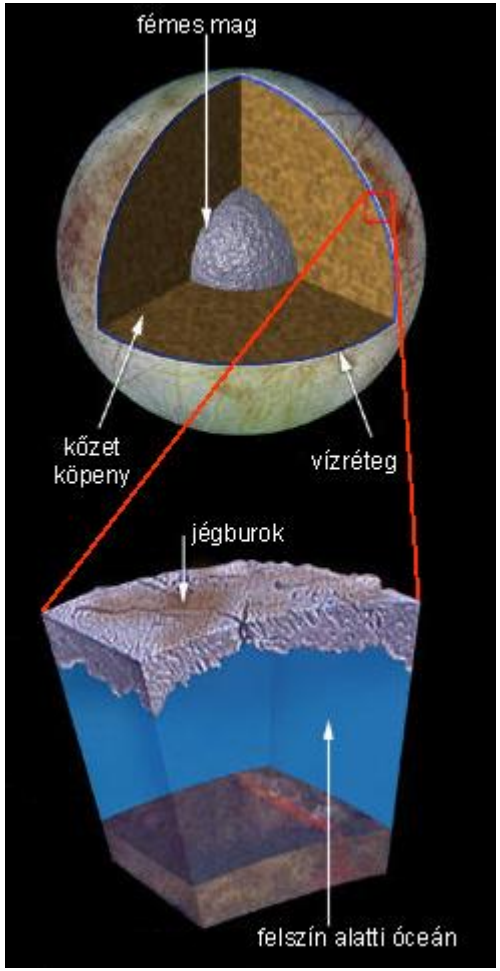




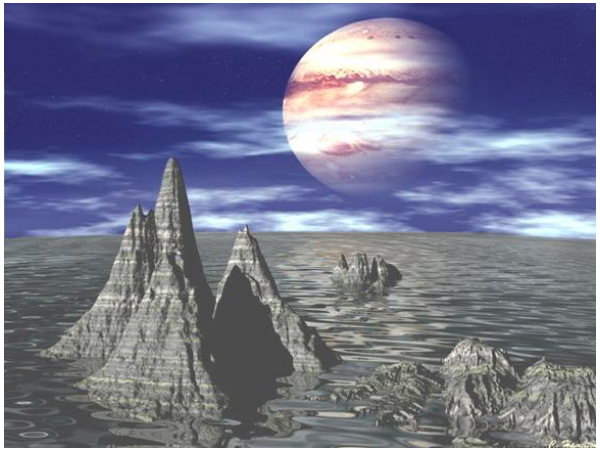
Az Europa asztrobiológiai potenciálja

- jég felszín, szilikát belső
- árapályfűtés
- felszín alatti víz óceán





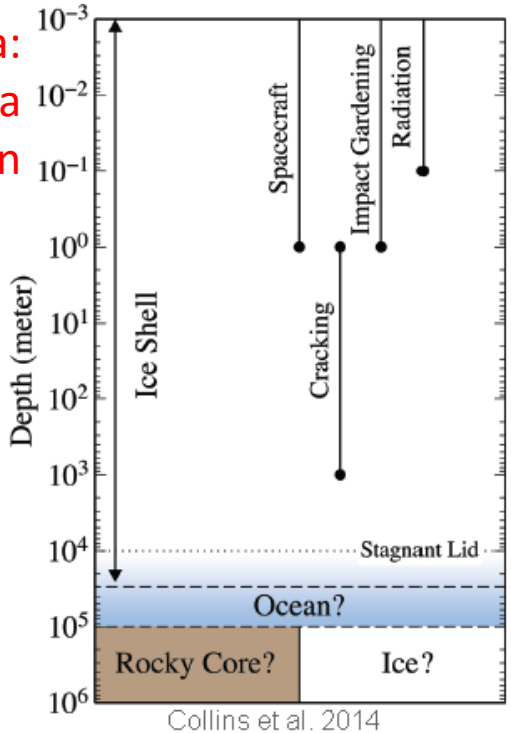
ősi Europa



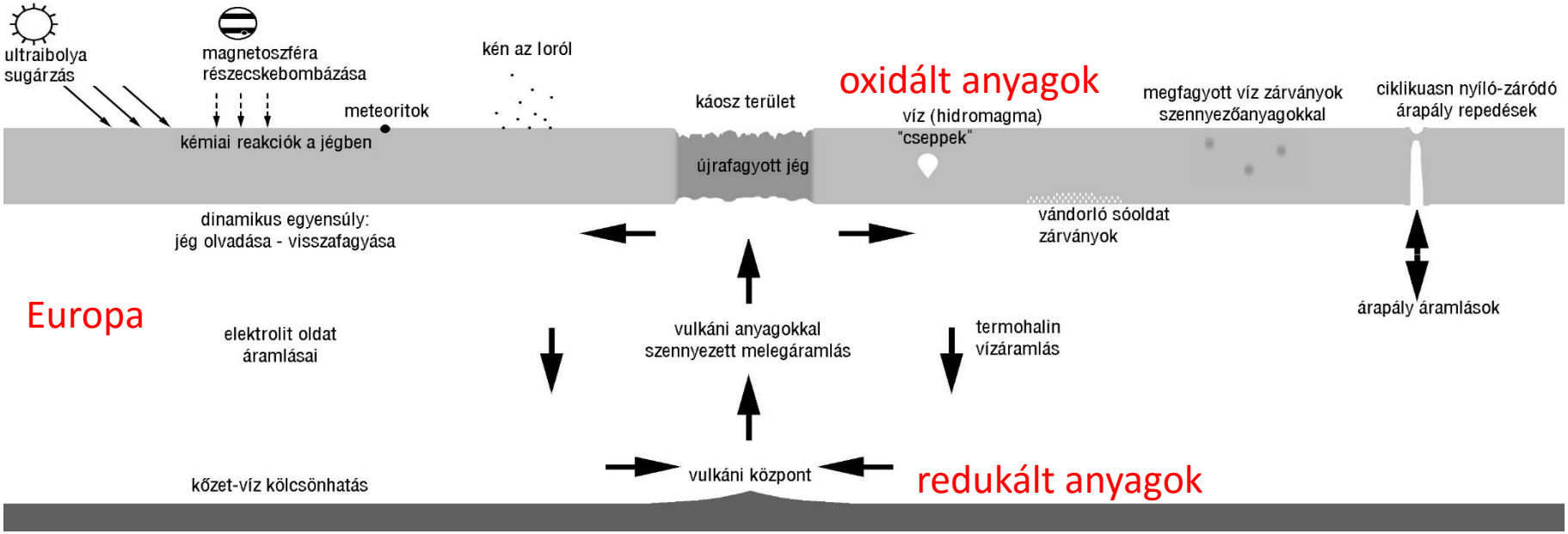
Anyagvádorlás az Európán

- nutriensek, végtermékek szállítása
- áramló közeg: szilárd / folyékony / gáz
- diffúzió (pl. szilárd jégben)
- példák:
  - Föld: lemeztektonika, óceán cirkuláció, légkör
  - Europa: jég cirkuláció, vízáramlás

Europa: hatások a jégkéregben



Collins et al. 2014



Az élet lehetősége a Mason

Célpontok:
- esetleges egykori élet nyoma
- esetleges mai élet nyoma
- „könnyen” vizsgálható életnyomok keresése: csak felszíni, felszínközeli környezetek

Vezérfonalak:
- víz
- szerves anyag

Viking kísérletek:
- szerves anyag nincs
- 3-ből 1 utalt aktivitásra, oxidánsokkal az is magyarázható
- de: Viking nem elég érzékeny
- élőlények sokat kibírnak

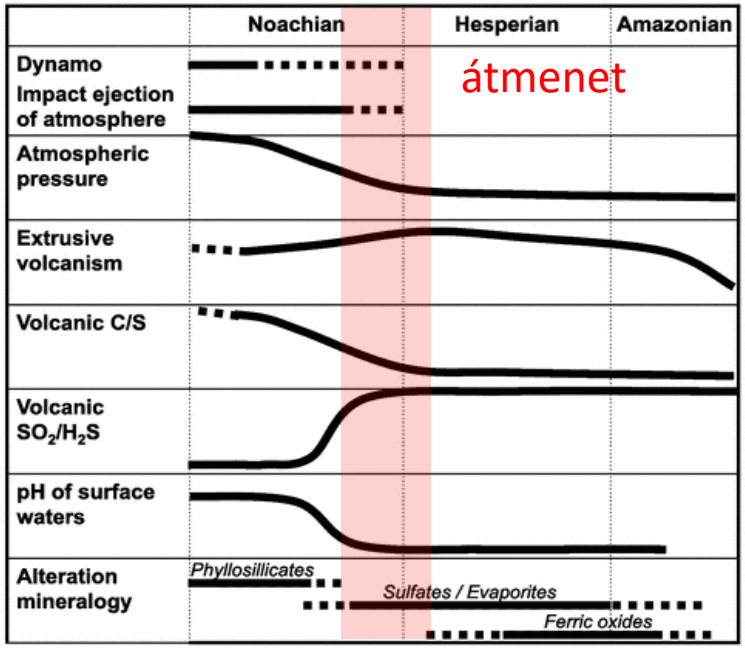
ALH 84001
- szerves anyagok (PAH), ősi vizes környezet
- mikrofoszíliák (?)
- nem egyensúlyi ásványtárulások
- magnetit láncok
- ősi melegebb éghajlat
- idős (>3,5 milliárd év) folyónyomok
- sók, agyagok, mállás meleg-nedves
- globális hűlés
- eltemetett mállásnyomok

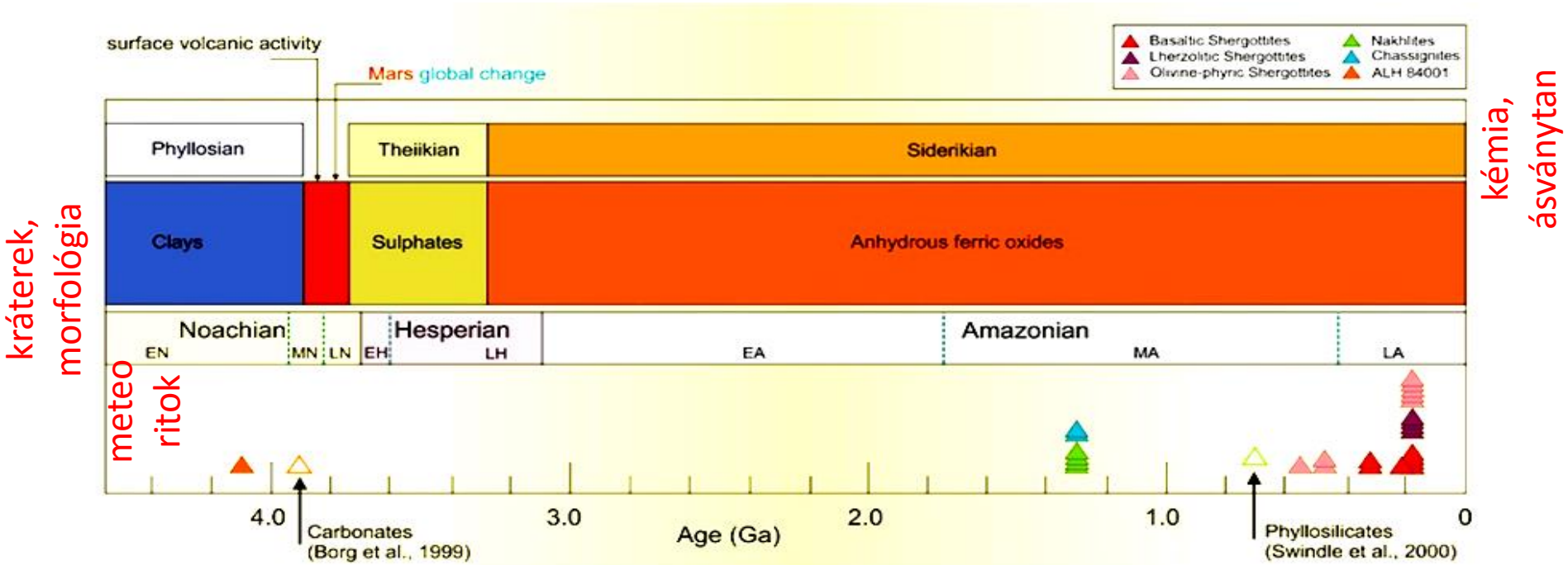
Globális hűlés:
- száraz és hideg
- rövid vizes időszakok
    - meleg + nedves eleinte
    - hideg + nedves később

Mars fejlődéstörténet → romló viszonyok

Trendek

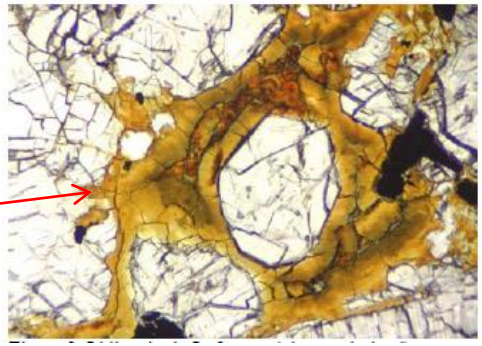
- pH: semleges → savas
- csökkenő víz/kőzet arány
- sóoldatok: híg → tömény
- H_2O fotodisszociáció, H_2 elszökés → regolit oxidáció
- gyengülő anyagkörforgás
- krioszféra eletkezés → potenciális élőhelyek szeparálása
- instabil ásványok/ inhomogén környezetek
- „zárt” potenciális élőhelyek

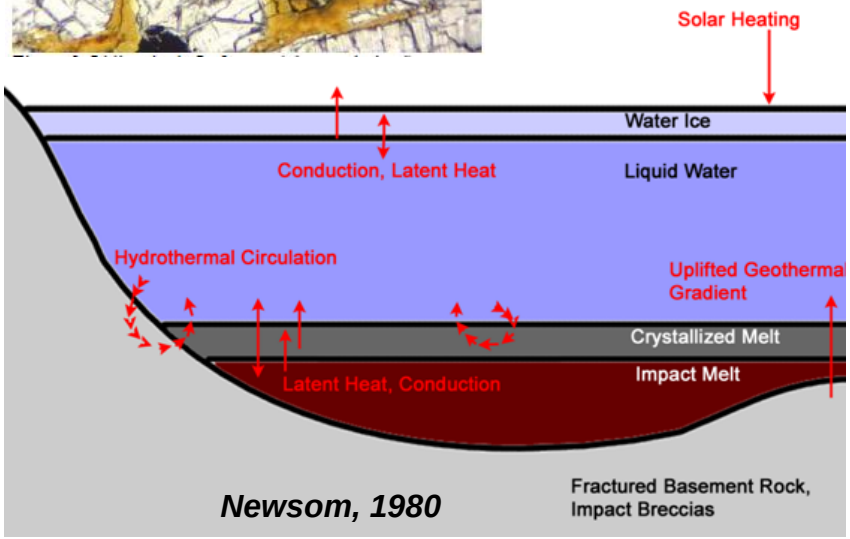




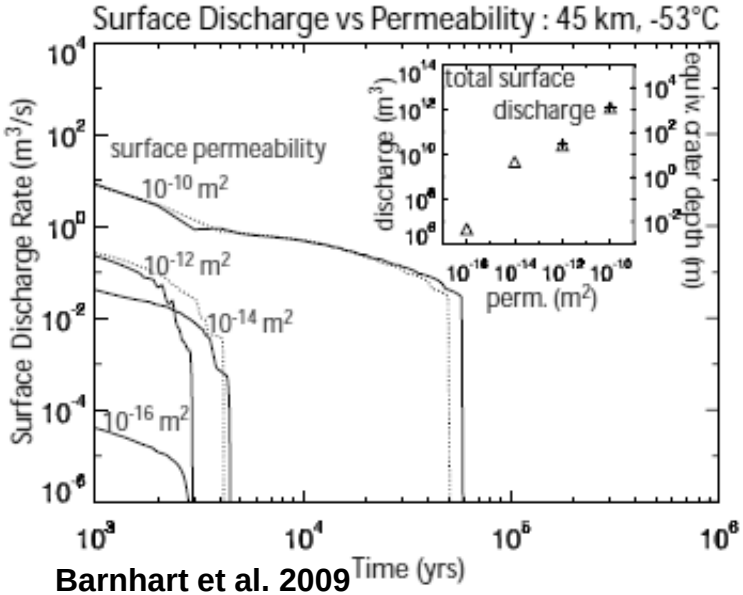
Becsapódások hatása

- hőhatás
- jég esetén olvadás, hidrotermális cirkuláció, mállás, agyagásvány keletkezés (Mars)
- kőzet repedezés → felületek, katalízis
- méret: >néhány km
- élettartam: 1 év – 1000 év – millió év
- → „mikro oázis”
- napsugárzástól független
- helyi viszonyok számítanak

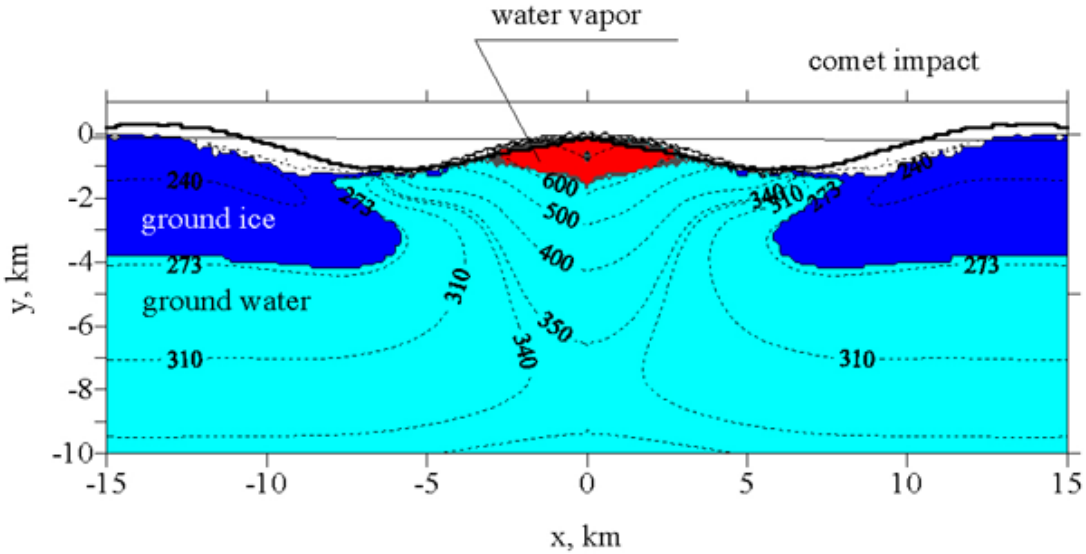




Newsom, 1980



Barnhart et al. 2009

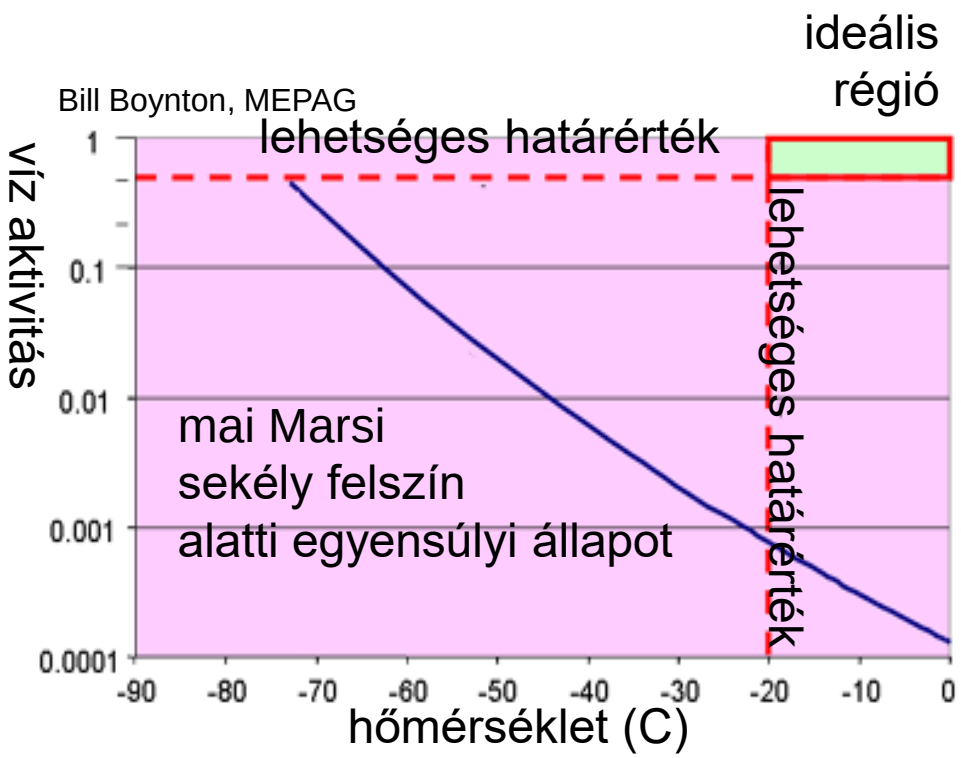


Mai élet keresési határainak kijelölése

Extremofilek tűrőképességének határai:
- T > -15 °C (-20 °C?)
- víz aktivitás a_w> 0,6

Megfelelő környezetek/időszakok keresése:
- hőmérséklet
- víz
- együtt kell…

- H_2O előbb elszublimál, mint hogy folyékony lesz
- termodinamikailag <u>nem egyensúlyi térségek</u> fontosak:
    - napi és évszakos skálán
    - éghajlatváltozás skáláján



További paraméterek: felszíni kémiai összetétel és sugárzások

Felszíni összetevők:

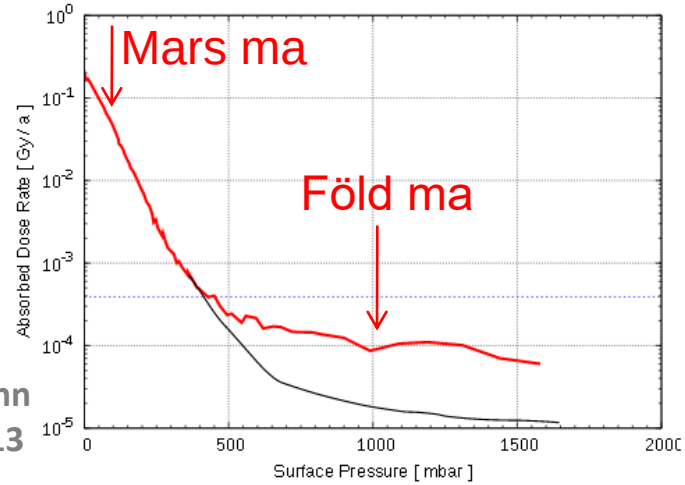
- C, H, N, O, P, S stb. elérhetők a felszínen
- szerves anyag szinte nincs (mélyen van, metán is)
- mérgező nehézfémek (Zn, Ni, Cu, Cr, As, Cd stb.)
- agresszív oxidánsok

UV védelem közepes szélességen:

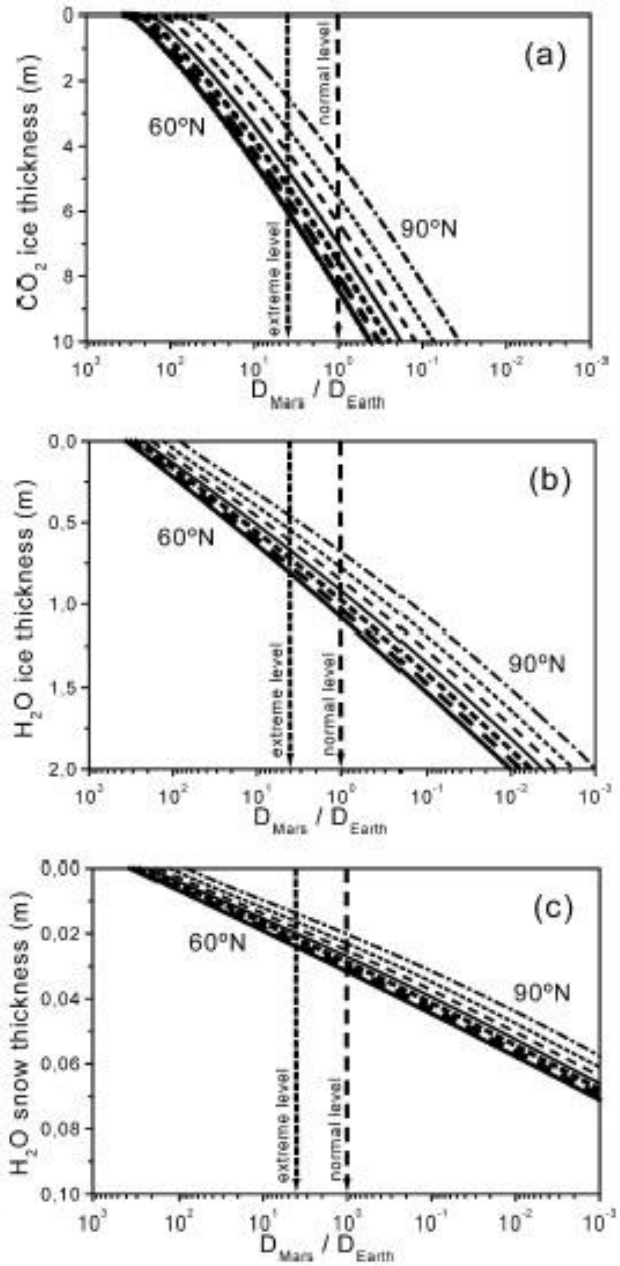
- H_2O hó cm
- H_2O jég m
- CO_2 jég 2-4 m
- kőzet mm

Ionizáló sugárzás (kozmikus, napkitörések):

- nincs mágneses tér, légkör vékony



Ehresmann et al. 2013



Córdoba-Jabonero et al. 2005

Víz mikroskálájú megjelenése

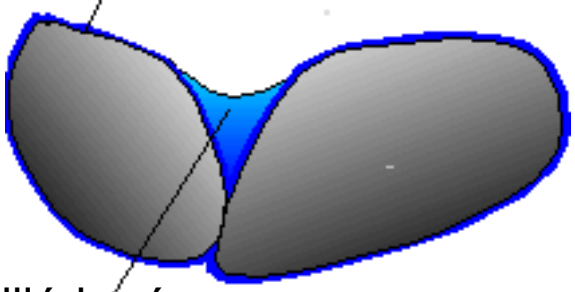
Kapilláris víz, vízfilm
- -20 °C felett, jég és kőzet szemcsehatároknál
- száraz légkörben eltávozik

Adszorbeált H_2O réteg:
- kb. -75 °C-ig létezik
- szilárd felületeken néhány molekula vastag
- 2 dimenziós folyadék
- sok helyen a Marson
- erős kötődés, geológiai időskálán is stabil

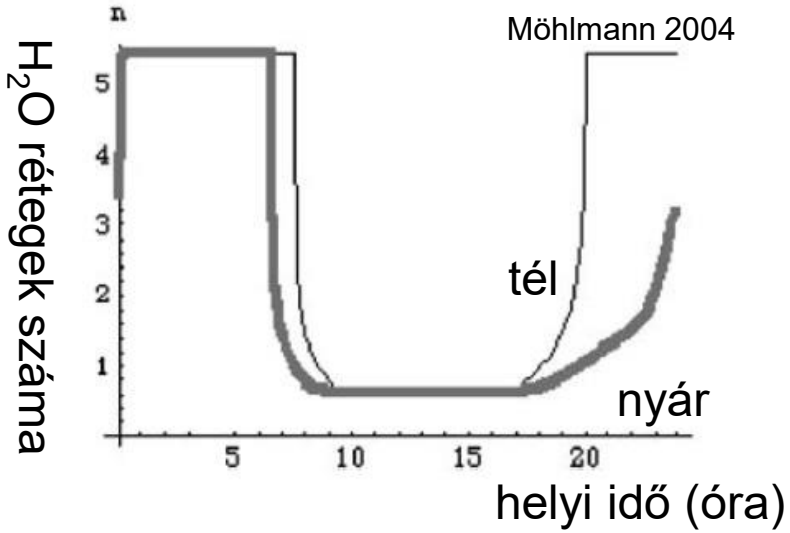
$a_w = rh/100 = p/p_0$
(a_w=vízaktivitás, rh=relatív nedvesség)

Jellemző értékek:
- tiszta víz 1,0
- tengervíz 0,98
- tömény NaCl oldat 0,75
- jégben -40 C-on 0,67

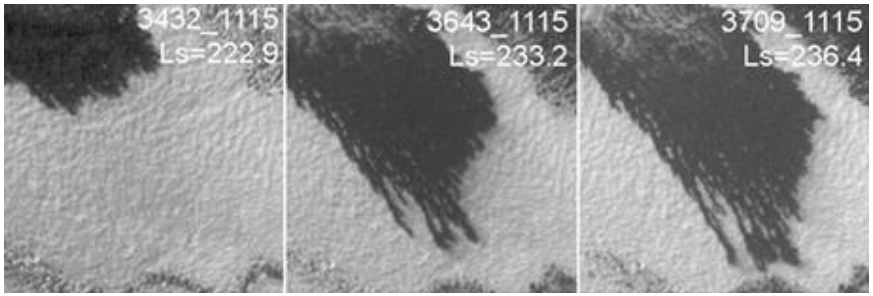
DDS (Collegium Budapest, Szathmáry Eörs)
- jég-kőzet határon, kora tavasszal délben



Mary Voytek, MEPAG

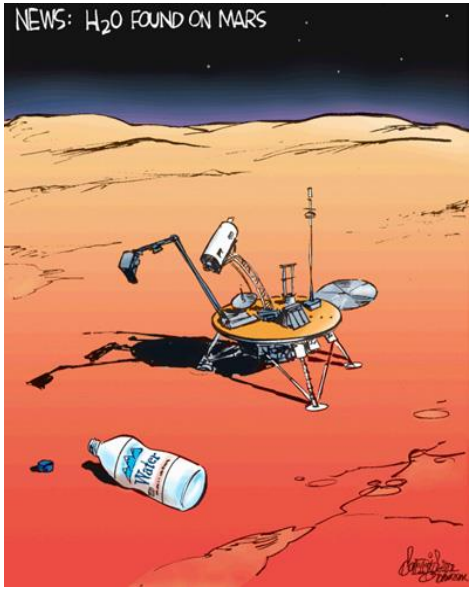


Möhlmann 2004



Sóoldatok megjelenése

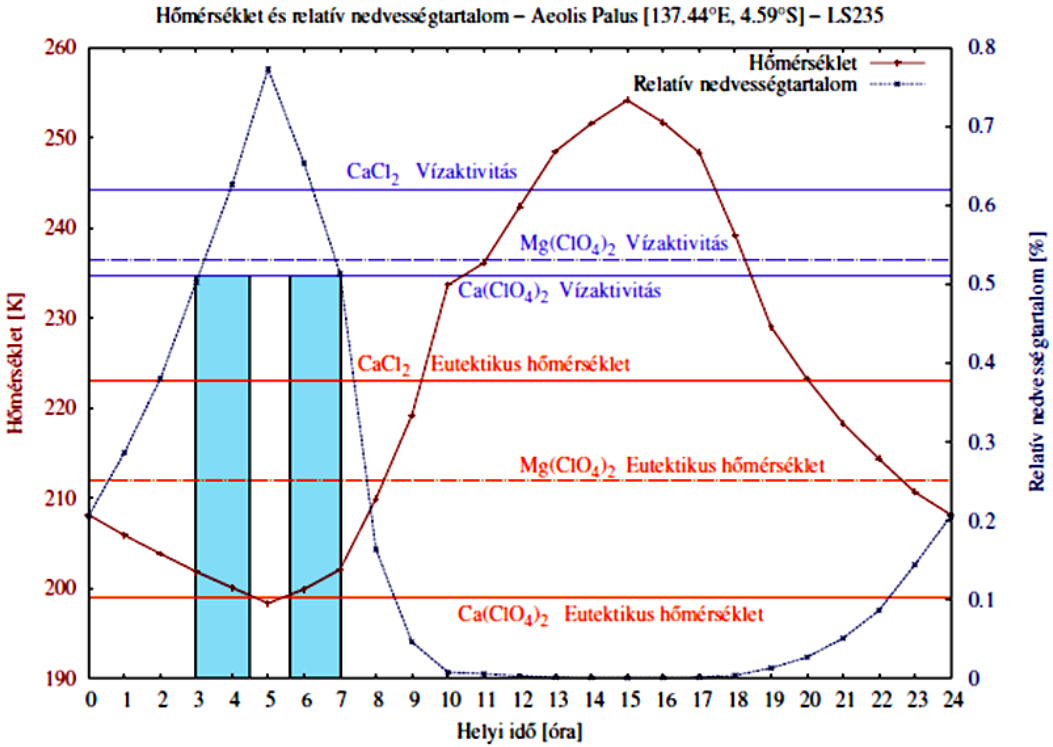
- utóbbi 2-3 milliárd évre jellemző lehet
- fagyáspont csökkentő sók
  - sóoldatok
  - jég nélkül éjszaka ma is
  - mikroszkopikus skála
  - csak higorszkópos ásványokon



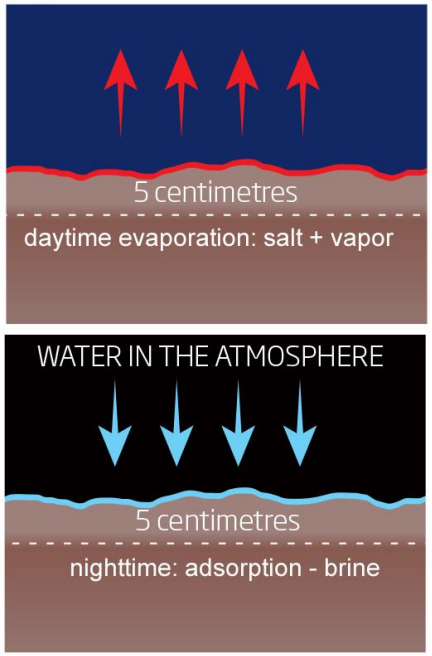
NaCl	–20 °C
NHO_3	–43 °C
$CaCl_2$	–50 °C
$Mg(ClO_4)_2$	–67 °C
H_2SO_4	–73 °C
NH_4OH	–84 °C
HCl	–90 °C

olvadáspont csökkentők

Pál Bernadett 2014

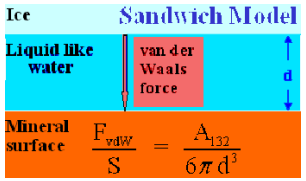


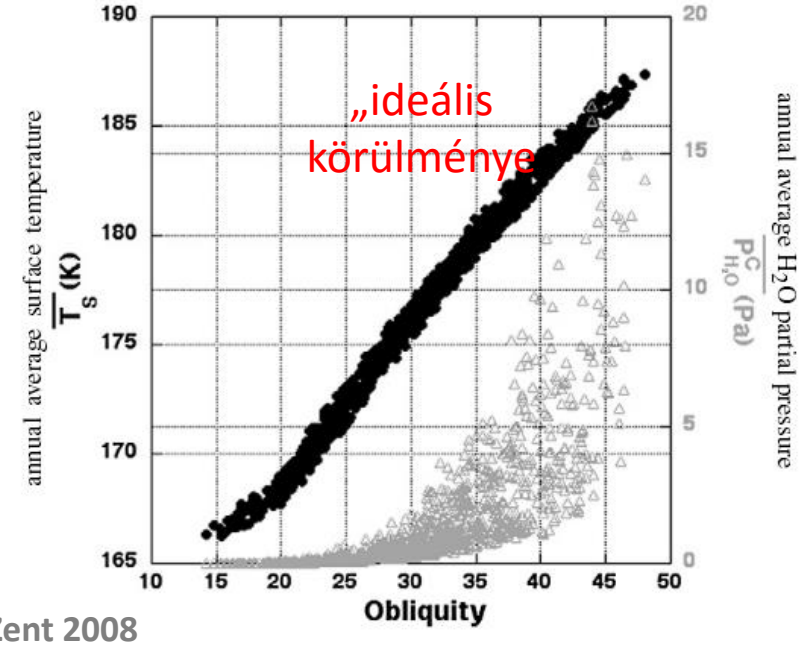
éjszaki mikroszkopikus vízfilm keletkezése



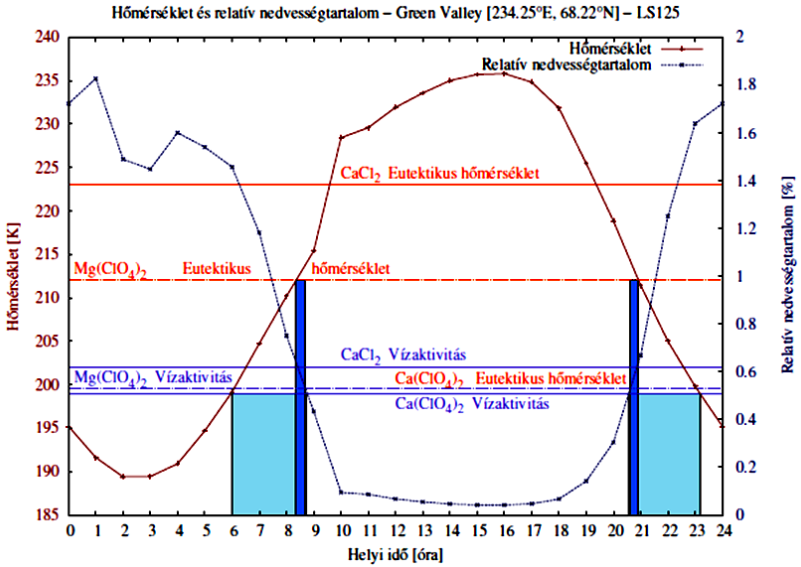
Esettanulmány: Phoenix leszállóhely

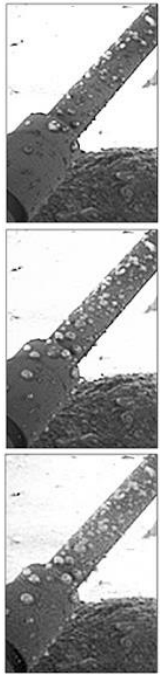
- é.sz. 68, utols 10 millió év
- modell:
  - sekély jég hőmérséklete
  - „tenyészidőszak” 4 küszöb T-re
  - + pályaelem és éghajlat változások
- becslés:
  - időszakosan mikroszkopikus víz
  - ritkán elég meleg metabolizmushoz (230-250 K)
- fő probléma:
  - erős ionizáló sugárzás
  - védelem nélkül károsodás
  - hibajavítás nincs tetszhalott fázisban

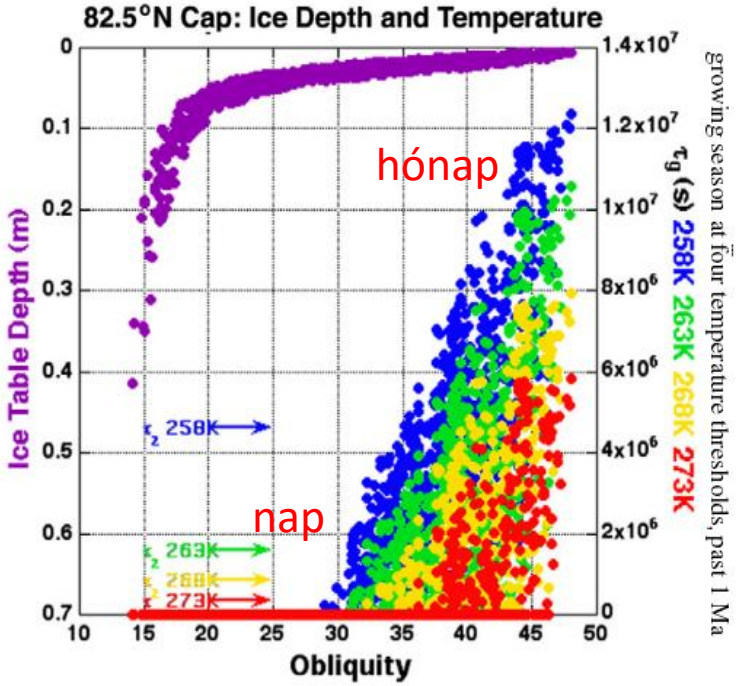




Zent 2008





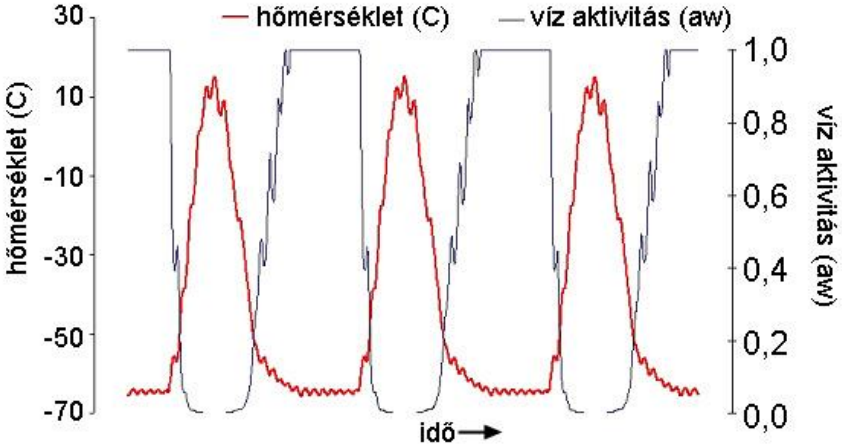


Túlélési stratégiák a mai Marson

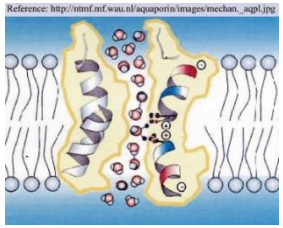
Felszín közelében: rövid aktív életciklus
- csak dél körül és nyáron
- „tenyészidőszak” túl rövid

„Megosztott” életciklus:
- „ivás” éjjel (sejtfalak spec. fehérjék csatornáin)
- anyagcsere nappal „melegben”

- legjobb: felszín alatt, vulkánoknál lehet
- <u>de felszínen: ionizáló sugárzás 2 m-ig túl erős!</u>



6 mbar CO_2 Humidity Laboratrory Möhlmann et al.



Pro-kontra összefoglalás

- kezdetekben sem biztos a „meleg”
- nem találtunk eddig szerves anyagot tartalmazó üledékeket
- extremofilok a ma ismert marsfelszíni viszonyokat nem képesek tolerálni (ionizáló sugárzás)
- ideális H_2O + T együtt ritka
- felszíni kémiai környezet kellemetlen

- de ősi Mars hasonlíthatott ősi Földre
- kis mélységben lehet szerve anyag
- mm-ek, cm-el a felszín alatt lehetnek UV védett helyek
- felbontóképesség alatt is lehet „jó”
- mennyire kellemetlen kémia? Pl. Phoenixnél tolerálható
- kemoszintetizáló élőlényeknek mélyen

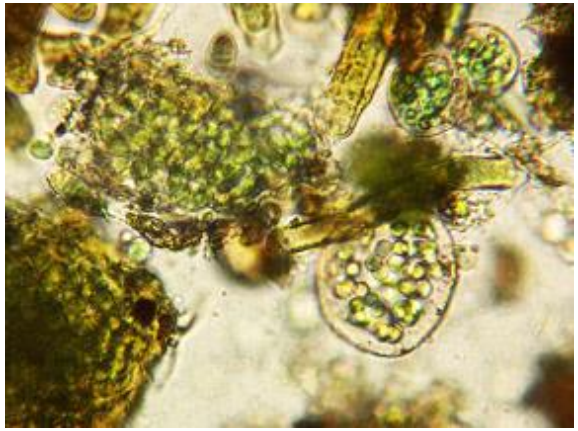
Földi analógiák vizsgálta

Földi analógiák:
- környezetek, folyamatok, élőlények
- csak részleges analógiák
- extrém életformák
- Mars szimulációs kamrák:
    - inaktív állapot túlélése
    - mai Marson alig, de…

Permafroszt (kőzetszemcsék és a közöttük lévő jég)
- H_2O 0°C alatt sem fagyott teljesen
- 8-3% folyékony: ásványok felületén, zárványokban
- kemoszintetizáló baktériumok, metanogén archeák
- legalább -10 °C-ig aktívak
- állandó hideg: stabilitás, jobb sugártűrés
- lassú kémiai- és életfolyamatokat
- de permafroszt a Marson 2-3 milliárd éves

Kriptobiotikus kéreg
- kőzetek külső, 1-3 mm vastag rétege
- cianobaktériumok, gombák, zuzmók
- száraz, de víz visszatartás
- UV védelem: pigmentált élőlények, szemcsék

Pócs Tamás



Ősi Föld asztrobiológiai jellemzői

Kozmikus kapcsolatok
- kozmikus eredetű anyagok (víz, szerves)
- becsapódások
- túlélés? többszöri genézis?

Bolygótudományi ismeretek:
- meteoritok összetétele
- ősi becsapódási ráta
- ősnap aktivitása (-30% L)
- bolygófejlődés megértése
- Mars pl. 3,5 milliárd éves nem metamorfizált üledékek

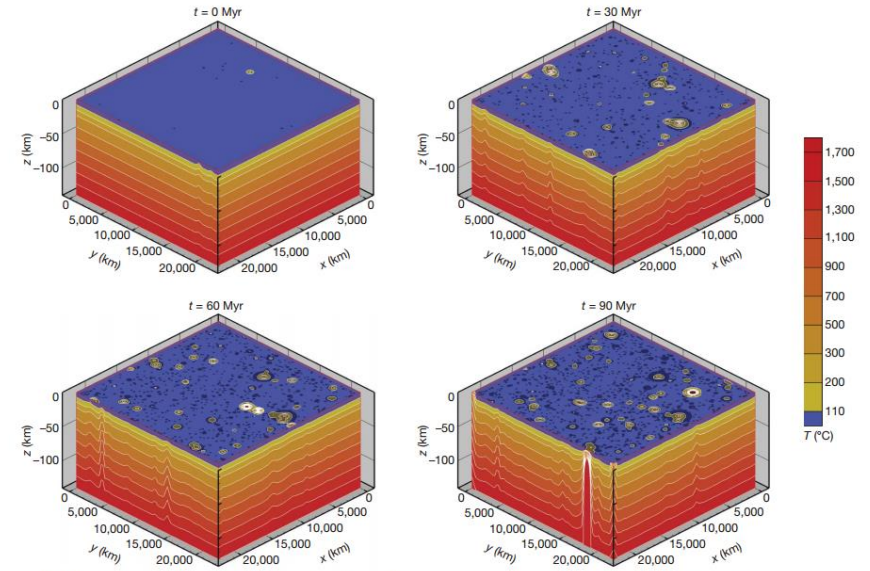
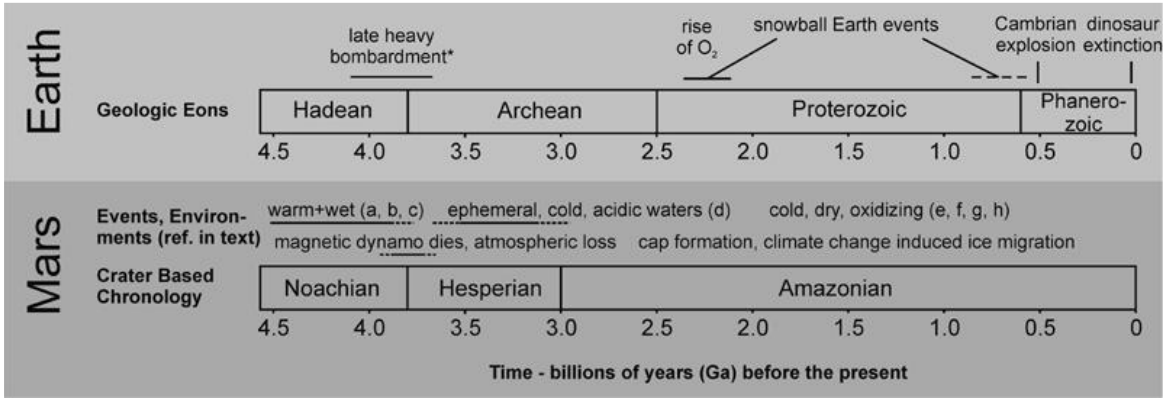
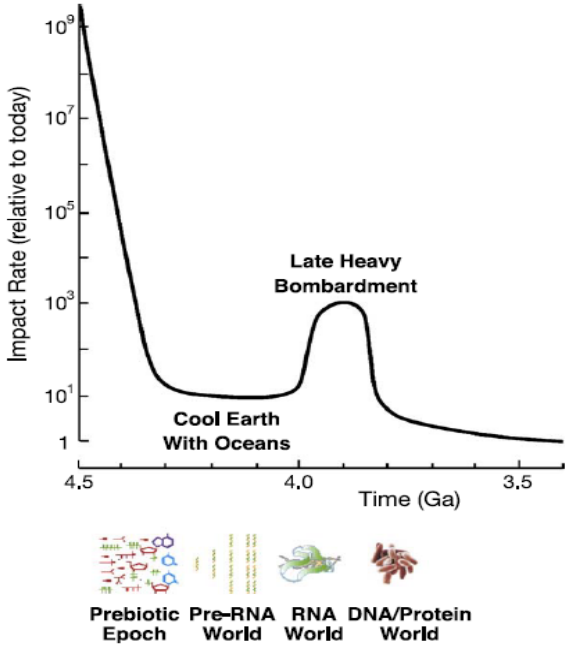


Figure 1 | A three-dimensional thermal model representing the Earth's lithosphere at various times during the LHB in our baseline scenario. Only impactors larger than 10 km in diameter are included in this plot. The upper surface shows temperatures at a depth of 4 km. Dark areas indicate crater imprints.

Mojzis, Abramov 2009

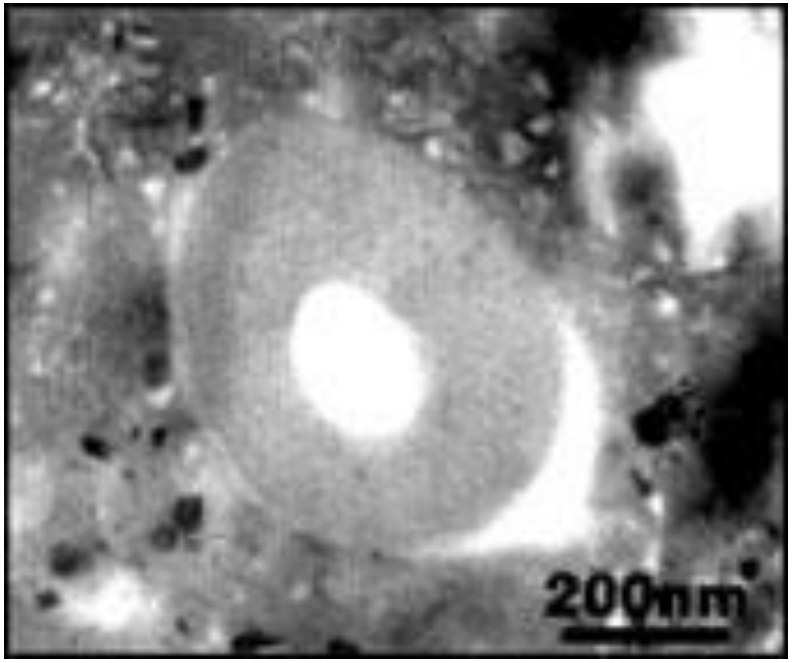




Prebiotikus vegykonyha – élet születése előtt

Prebiotikus kémia + meteoritok
- szenes kondritok
- sok aminosav, szerves anyag (PAH)
- törékeny: szétesik, nagy területen oszlik el
- sok szerves anyagot hoztak

Szerves szmog
- ősi Föld
- UV fotokémia → „manna” eső
- Titan analógia (nitrogén, reduktív légkör)

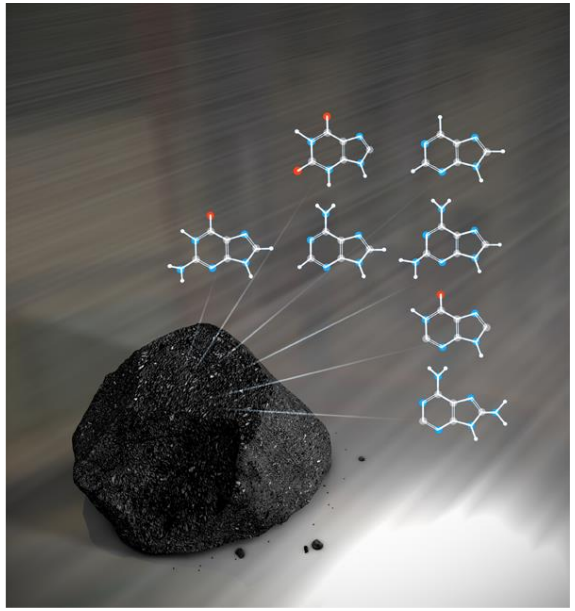


Pánspóra elmélet

Élőlények kilövése az űrbe:
- becsapódás túlélése (p, T)
- baktériumok a felszínről zivatarral, szelektől emelkednek
- töltések + globális mágneses tér → tovább emelkedés
- főleg Naprendszeren belül

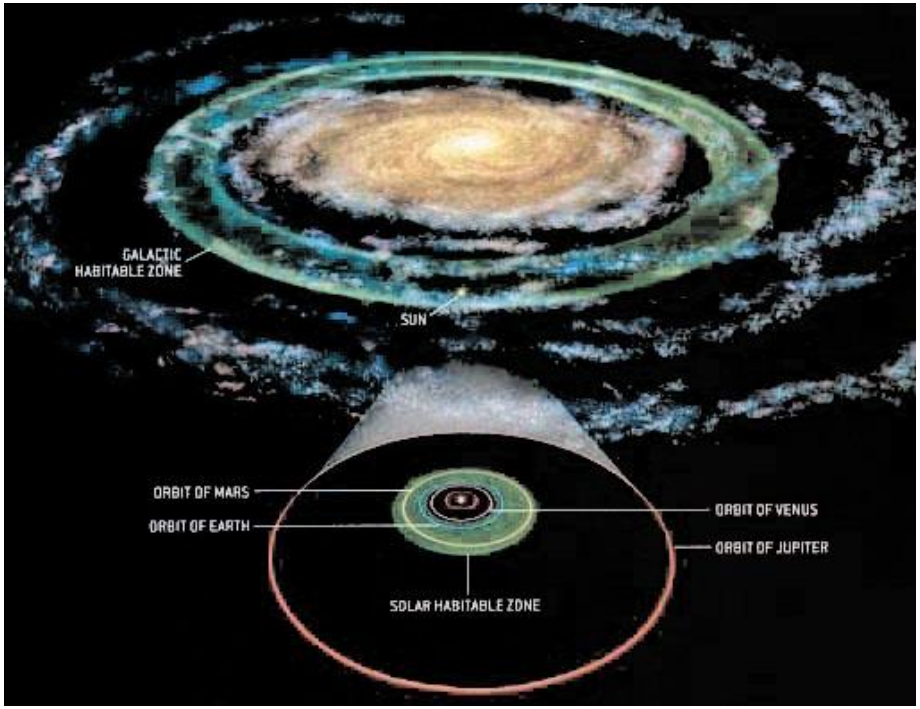
Kozmikus kitettség
- sugárzások
- védő kőzetréteg
- 1-2 m elég, de kőzet saját radioaktivitása…

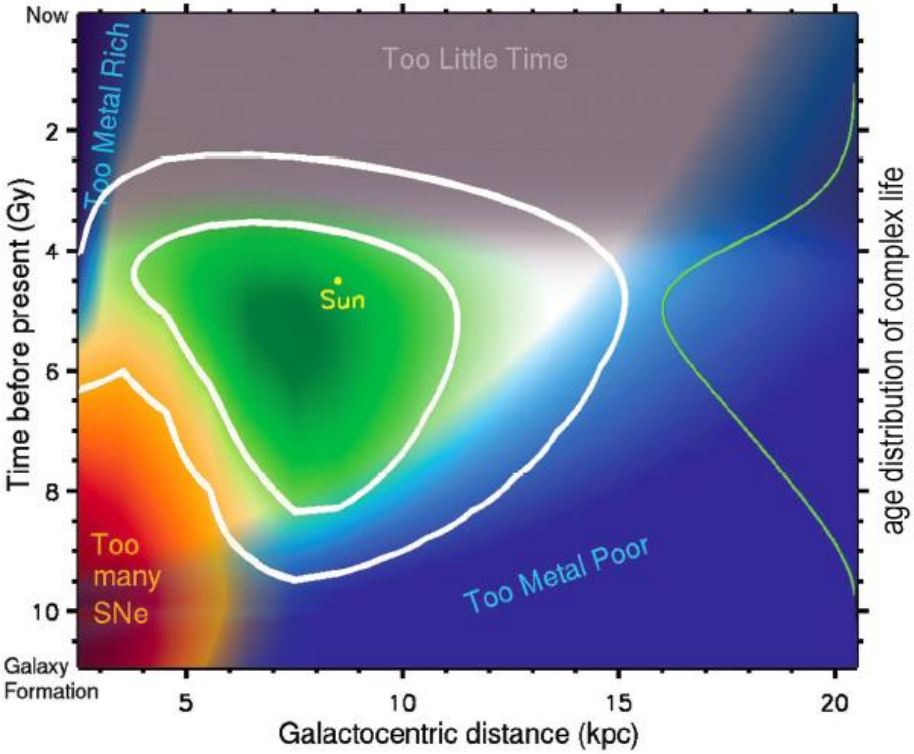
STONE kísérlet
- mesterséges meteorit
- légköri visszatérés:
    - fúziós kéreg
    - élőlénynek legalább 2 cm vastag védőburok
    - fosszília könnyen megmarad



Galaktikus Lakhatósági Zóna

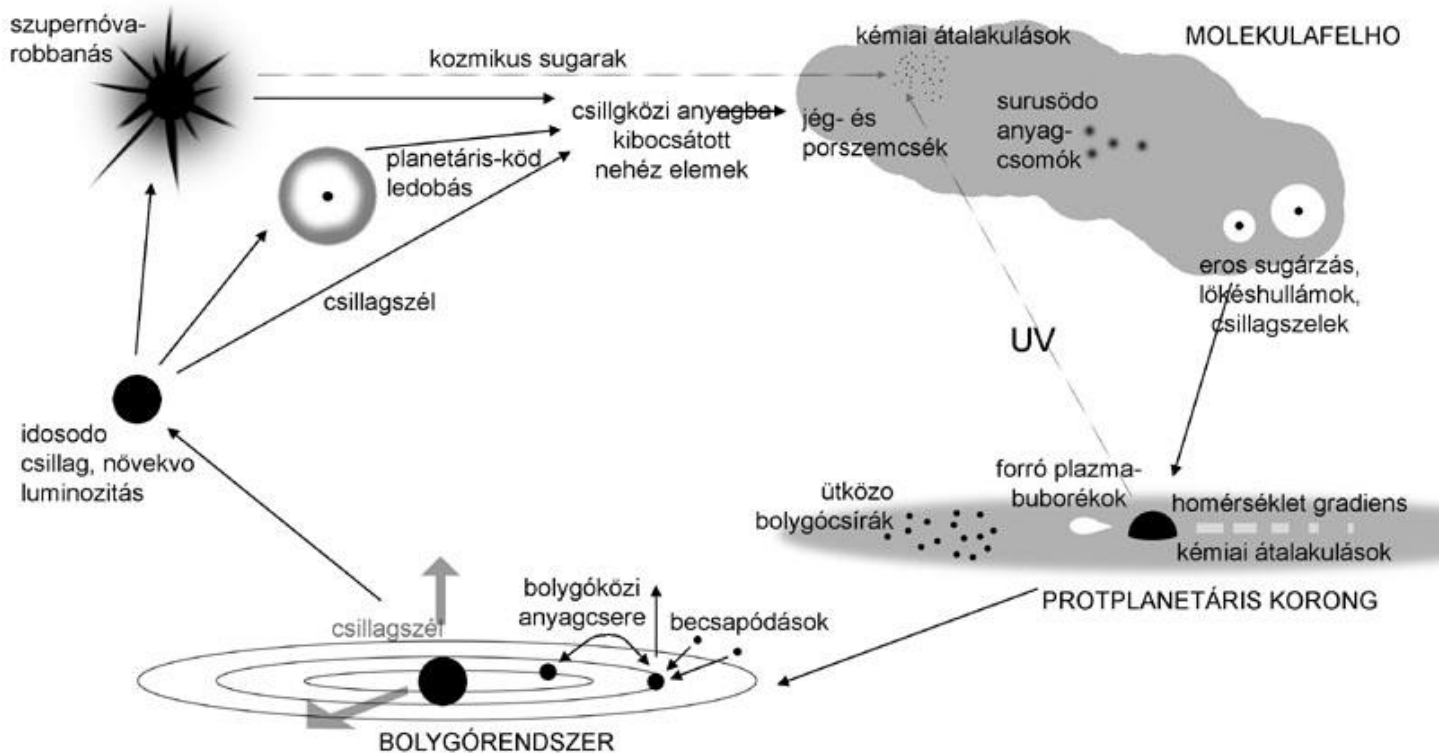
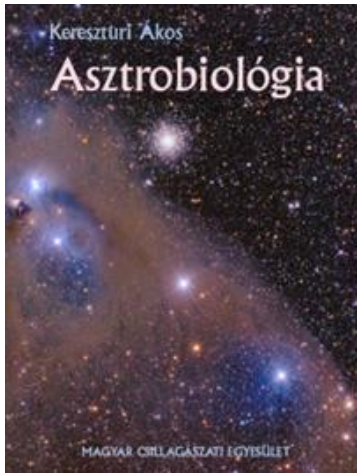
- megfelelő fémtartalom (centrumtól kifelé)
    - bolygókeletkezést befolyásolja (?)
- megfelelő távolság a centrumtól
    - aktív és erősen sugárzó központi fekete lyuk
- mérsékelt szupernóva gyakoriság (korotációs zóna)
- megfelelő csillagsűrűség (Oort-felhőből ritka üstökösáporok)





Reális keresési stratégia a következő évtizedre

- főleg tapogatózás még mindig…
- exobolygók: karakterizálás, első jó éghajlati modellek, légkörök, hőmérsékletek
- meteoritok: szerves anyag forrása, ősi vizes állapotok
- Mars: őskörnyezet rekonstrukció, szerves anyag karakterizálás, szimulációs kamra kísérletek, sóoldatok, DNS keresés…
- Europa: óceán jellemzése, jég in-situ vizsgálata
- kellene: prebiotikus vegykonyha, kémiai-ásványi folyamatok modellezése…



További információk