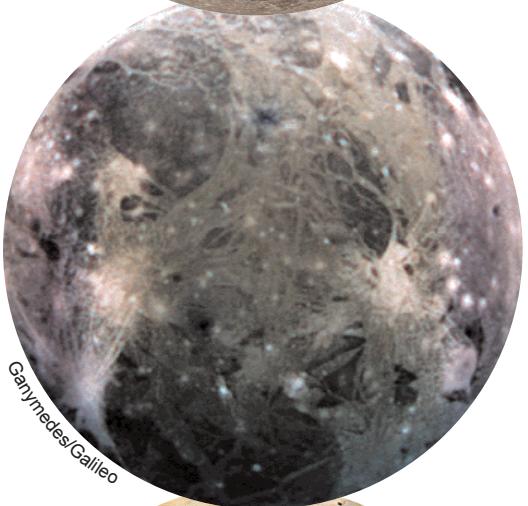




Hold



Ganymedes/Galileo



Io/Galileo



Io/Galileo

KIS ATLASZ A NÁPRENDSZERRŐL (3):

BOLYGÓTÉSTEK ATLASZA

Bérczi Szaniszló, Hargitai Henrik, Kereszturi Ákos, Sik András; Budapest, 2001.



Mars / Viking 1

KIS ATLASZ A NAPRENDSZERŐL (3): BOLYGÓTESTEK ATLASZA

Bérczi Szaniszló, Hargitai Henrik,
Kereszturi Ákos, Sik András

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán működő Koszmosz Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport Planetológiai Csoportjának egyik kiemelt kutatási és oktatási programja a planetáris testek felszínének vizsgálata. Az összehasonlító planetológia már a Hold kutatásával megkezdődött a múlt század 60-as éveiben. Égíesetekben gazdaggá azonban a 70-es évek végére vált, amikor a Voyagerek elhaladtak a Jupiter mellett és lefényképeztek a négy Galilei féle hold felszínét. Kis atlaszunk négy belső égitestet: a Holdat, a Marsot, a Vénuszt és a Földet mutatja be néhány fontos jellemző vonásával. A második részben pedig a négy Galilei féle holdat tárgyaljuk. Végezetül a Naprendszer kis égitestjeinek öveit tekintjük át. Kis atlasz sorozatunknak ebben az új tagjában a bolygótestek felszínét alakító folyamatokat szeretnénk bemutatni.

Tartalomjegyzék:

1. A KÖZETBOLYGÓK

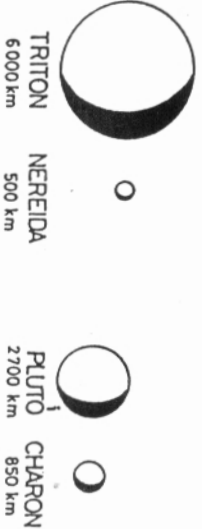
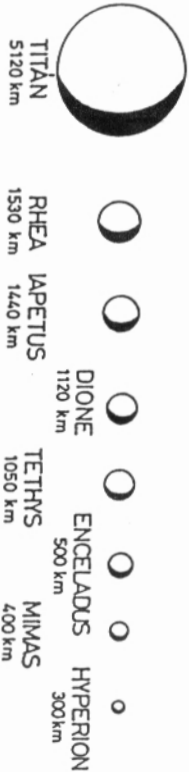
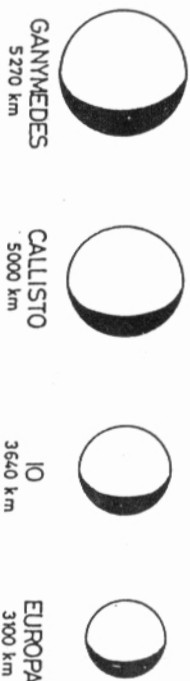
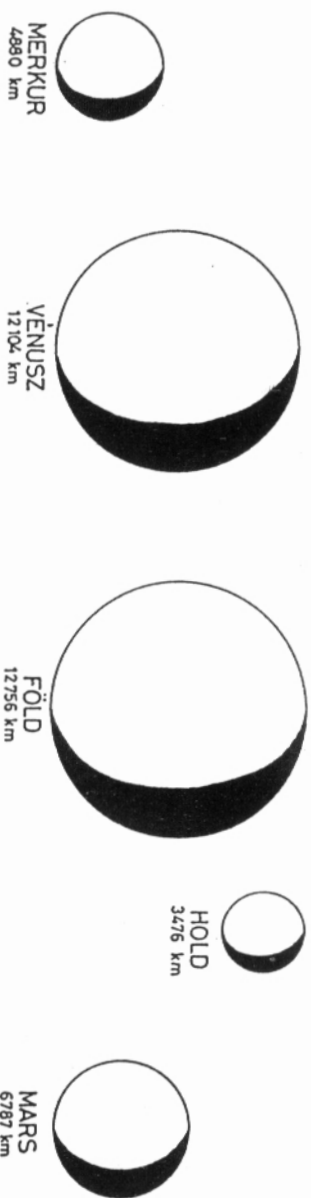
- 1.1 A Hold (B. Sz.)
- 1.2 A Mars (S. A., B. Sz., H. H., K. Á.)
- 1.3 A Vénusz (K. Á.)
- 1.4 A Föld (B. Sz.)

2. A GALILEI HOLDOK

- 2.1 A Callisto (K. Á.)
- 2.2 A Ganymedész (B. Sz.)
- 2.3 Az Europa (K. Á.)
- 2.4 Az Io (H. H.)

3. KIS ÉGITESTEK

- 3.1 Kisbolygók és kis holdak (S. A.)
 - 3.2 Távoli jeges kis égitestek (K. Á.)
- Táblázatok, borítótérképek (H. H.)



A Kis Atlasz a Naprendszerrel sorozatban eddig megjelent: 1. Planetáris és anyagterképek HOLDKÖZETEKÉRŐL, METEORITEKRŐL, 2. Planetáris felületnek vizsgálata a SURVEYOR alapon megépített HUNVEYOR kísérleti gyakorló űrszondával. 3. Bolygótestek atlasza. Forráshely: ELTE TTK Ált. Fizika Tanszék, Koszmosz Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport. Budapest, Pázmány Péter sétány 1/a, 6.99. (1117), berciszani@ludens.elte.hu, 372-2986.

E munka megjelentését a Magyar Űrkutatói Iroda az ELTE TTK / MTA Geonómia Bizottság Koszmosz Anyagokat Vizsgáló Űrkutató Csoport TP-154/2001 számú támogatásával keretében támogatta. E támogatásért a MŰT-nek köszönetet mondunk.

Kiadja az UNICONSTANT, Püspökladány, Honvéd u. 3.

Bérczi Sz. Hargitai H., Kereszturi Á., Sik A.:

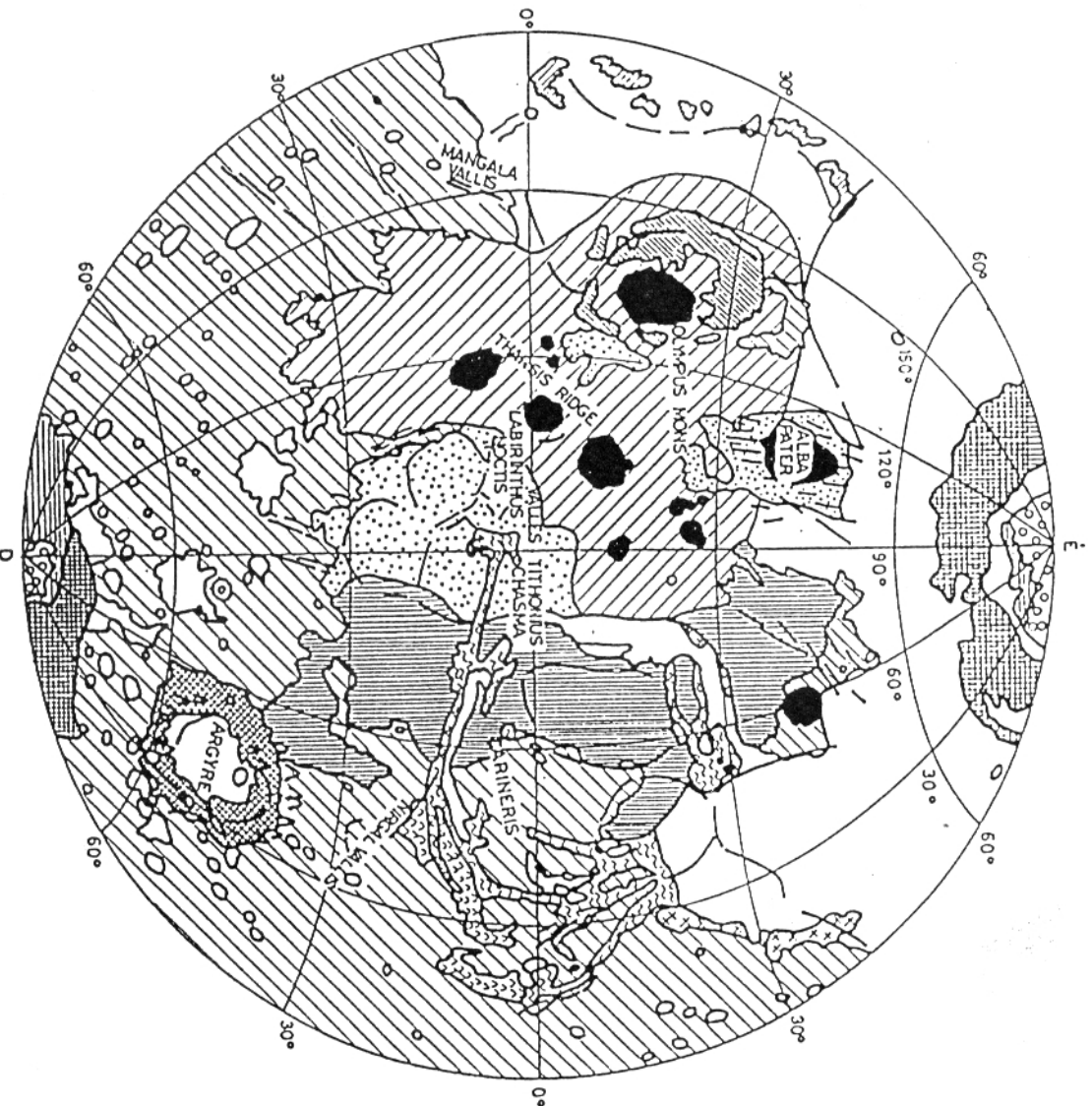
Kis Atlasz a Naprendszerrel (3): Bolygótestek atlasza
















ISBN 963 00 6314 X0

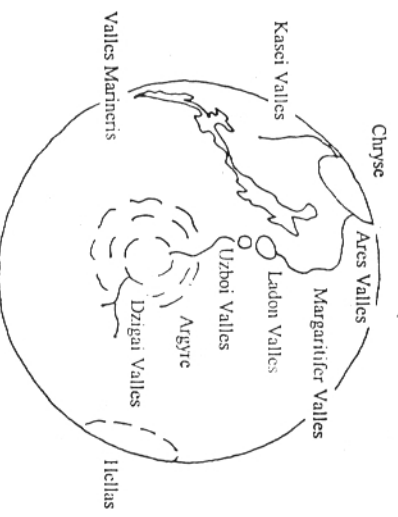
963 00 8474 0

Készült a PIREMON Kísérőállalat vámospécsi nyomdájában
Felölös vezető: Dr. Gere Kálmán vezérigazgató

Munkaszám: V01-5063



-  PRÁTEREKVEL BORÍTOTT TERRA
-  HÉGYVIDÉK (MEDENCÉK PEREMÉ ÉS KIDOBOTT TÁRSALÓJA)
-  SÍKSÁGOK (CSÖRNYÁMANOSAN VAGY MÉRSEKELTEN KRÁTEREZETT)
-  CSATORNA (FOLYÓMEGER) ÜLEDEK
-  DOMBOS VIDÉK, BŰTVÖS
-  DOMBOS VIDÉK, LEOPÁRÁTOTT
-  DOMBOS VIDÉK
-  KRÁTEREKVEL BORÍTOTT SÍKSÁGOK
-  MÉRSÉKELTEN KRÁTEREZETT ALFÖLDÖK
-  VULKÁNI SÍKSÁGOK
-  VULKÁNI PALJCSOK, KŰPÖK
-  BEKART SÍKSÁGOK
-  RÉTEGES ÜLEDEK
-  PERMANENS JÉGSÁPIKA
-  BARÁZDALT TEREP.



A Mars lesz a XXI. század égitestje, ahova az emberiség a következő expedíciót szervezi. Geológiai térképe már a Mariner 9 felvételei alapján elkészült, majd pontosabb lett a Viking mértecékből. Ma a Mars Global Surveyor magasságmérései nyújtják a legjobb földfedezést. Műszereink egyike a MOLA, a lézeres magasságmérő berendezés.

A MOLA magasságmérések felbontása függőleges irányban 30 cm. Ez a pontosság tette lehetővé a következő földmérést: az Argyre Medencétől a Chryse Alföldig folyt egykor a Naprendszer leghosszabb folyója. Az Uzboi Vallis, a Ladon Vallis, a Margaritifer Vallis és az Ares Vallis alkototta egykor a folyam nyomonlátát. Ha a déli poláris vidékről induló Dzrigai Vallast is beleszámítjuk, akkor a hatalmas folyórendszer hossza 8000 kilométer (Parker, Clifford, Banerdt, 2000).

Bérczi Szaniszló, Hargitai Henrik, Kereszturi Ákos, Sik András

KIS ATLASZ A NAPRENDSZERRŐL (3): BOLYGÓTESTEK ATLASZA

Budapest, 2001

1. A KÖZETBOLYGÓK

1.1. A FÖLD HOLDJA

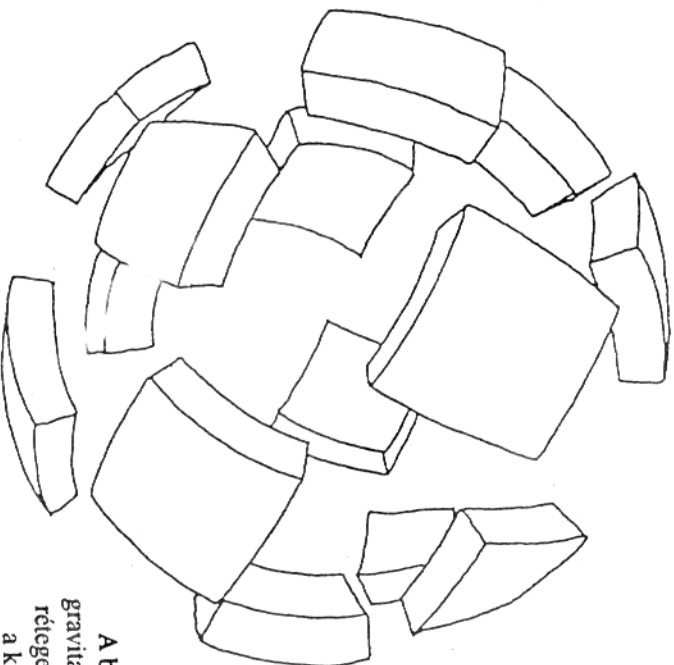
1.1.1. A szilárd felszíni égitestek rétegtani (sztratigráfiai) föltérképezése

A szilárd kergű bolygótésekről készült geológiai térképeken a kőzetestek a "föszereplők". Azokat a kőzetesteket ábrázolják, szép színes formában, amelyek a felszínre nyúlnak. Térképezik a felszínen megfigyelhető formákat is és arra töreksznek, hogy azokat még a felszín alá nyúlásukban is nyomon kövessék. A kőzetest rétegekből rétegtani (sztratigráfiai) egységeket, sorozatokat állítanak össze.

1.1.2. A földi sztratigráfia axiómái

Az axiómákat megelőzi egy alapföltéves, melyet egyszerű elfogadnunk meg a munka megkezdésekor. Ez az alapföltéves a következő: az égitest felszíne tömbökből áll, 3D kiterjedésű kőzetestekből, melyeknek a körvonalai, elhelyezkedése, egymáshoz való viszonya mérhető, föltérképezhető.

A legismertebb axióma a települési törvény (Nicolaus Steno, dán természettudós állította föl az 1600-as években). Az égitest felszínén található kőzetrétegek (kőzetestek) közül



A bolygótest gravitációs térben rétegeket alkotnak a kőzetestek

az a fiatalabb, amelyik fölötte van a másiknak. A rétegek sora így rendre föltéte haladva egyre fiatalabb kőzetesteket jelez.

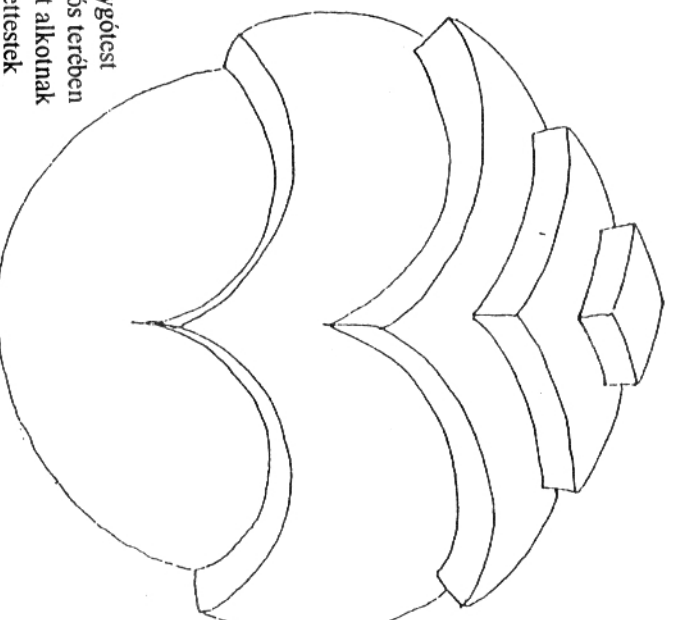
A következő két fontos és elismert axióma annak a tapasztalatnak a kiterjesztése, amit ma, itt a Földön megfigyelhetünk. Megfigyelhetjük, hogy

1. milyen folyamatok alakítanak ki kőzetesteket: pl. üledékképződés a tengerben, vulkanizmus, stb., és hogy

2. milyen folyamatok változtatják e kőzetestek egymáshoz való viszonyát: pl. tektonizmus, intrúzió, stb.

A kiterjesztési kettősaxióma azt mondja ki, hogy amilyen folyamatok hatnak ma és itt a Földön, azok hatoltak korábban is, és másutt is a Föld felszínén. Az időbeli aktualizmusnak, a térbeli uniformitarizmusnak is nevezik, de mindkettő a jelen folyamatok működésének térbeli és időbeli kiterjesztése.

A következő két fontos axióma a kőzetestek közötti viszonyokból von le időrendi következtetést. Az egyik megállapítja, hogy az a tektonikus folyamat, amely elmozdít egymáshoz képest két kőzetestet, fiatalabb, mint a két elmozdított kőzetest. A másik azt állítja, hogy az a kőzetest, amely más kőzetestbe való behatolással jött létre, fiatalabb, mint az őt beáró kőzetest.



Az utolsó fontos axióma a korreláció lehetőségét fogalmazza meg zárványok segítségével. A zárványok bezárásának axiómája egyszerűen ugyanolyan viszony-axióma, mint az előző kettő, másrészt azonban magában hordozza az Univerzumra is kiterjeszhető anyagszerkezeti rétegtan lehetőségét is. Ez az axióma kimondja, hogy a bezárt test (zárvány) mindig idősebb, mint a bezáró kőzet.

A földtani korreláció alkalmazására azért van szükség, mert a kőzetestek nem folytonos réteget képviselnek ill. mert különböző helyeken az égitest felszínén más és más típusú kőzetek egyidejűségét is fontos megállapítani. Röviden: a rétegek oldalirányú folytonosságát tudjuk kimutatni a korreláció segítségével.

A zárványok önálló fejlődéstörténeti sorozatot képeznek akkor, ha az előlőleg fossziliáit alkalmazzuk a korreláció megállapításánál. Vannak azonban időközben föltédezteti másféle zárványok is: ilyenek például a radioaktív elemek, melyek bomlásukkal szintén saját fejlődéstörténetet képeznek. A zárványok tehát rávilágítanak arra a tényre, hogy a rétegtan (sztratigráfia) lényegéhez tartozik az, hogy két független, saját fejlődéstörténetet őrző eseményszálat vet egybe, hasonló össze.

A Naprendszerbe kilépvé új típusú zárványokra lesz szükségünk ahhoz, hogy a korrelációt égitestek közötti tartományokra is kiterjesszük. Olyan zárványokra lesz szükségünk, melyek több égitest felszínén is megtalálhatók, és valamilyen tulajdonságuk időben változik. Ilyen zárványok a kráterek, s korrelációra alkalmas kőzetprovinciák az égitestfelszíni krátermezők.

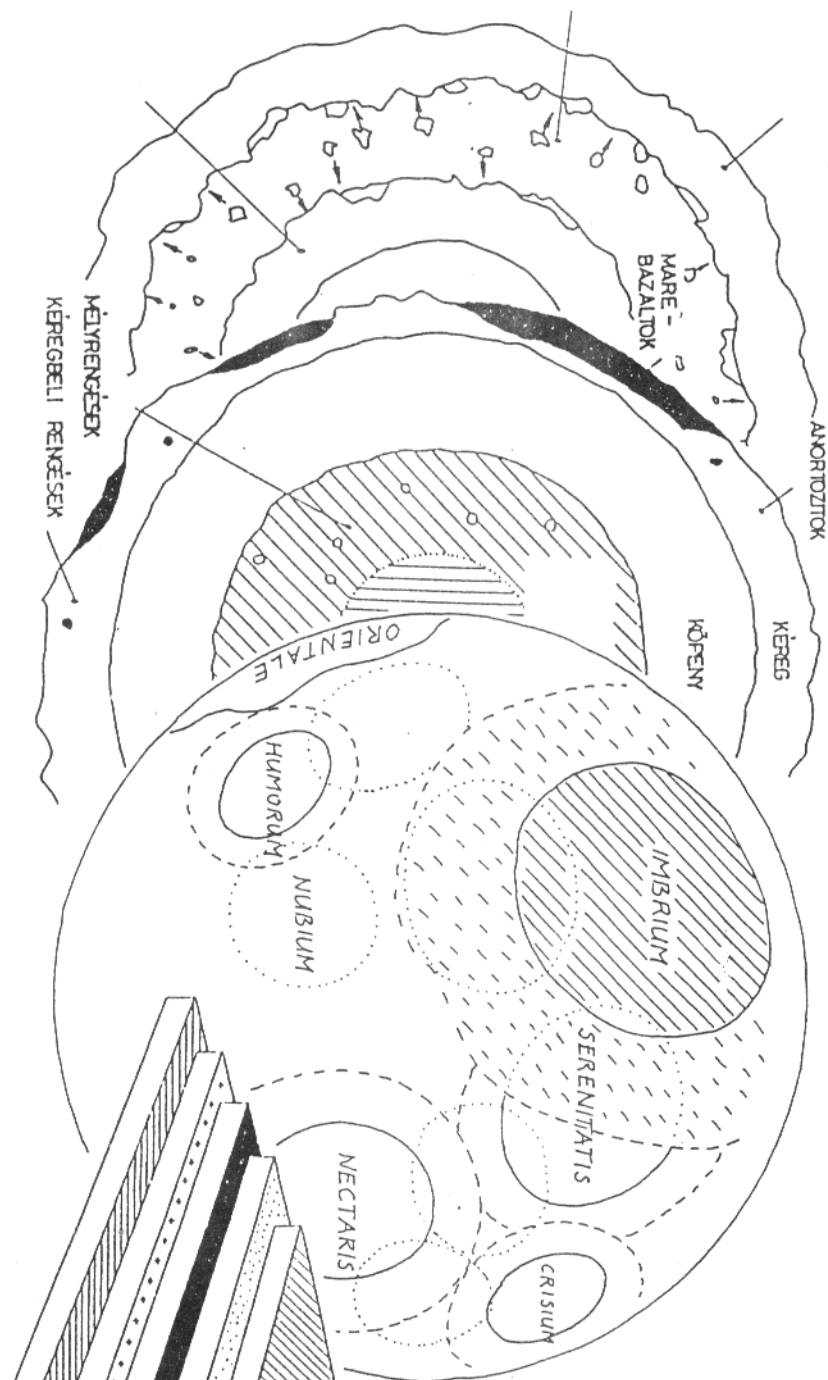
1.1.3. Holdi sztratigráfia

A Hold volt az első égitest, melyre a sztratigráfia Földön kifejlesztett, de más égitestre kiterjesztett axiómáit alkalmazták (Shoemaker és munkatársai, 1962, Williams, 1970, 1987). A kőzetestek tulajdonságait, az átfedési viszonyokat először fotometriai úton, távcsöves fénykép-felvételekről, majd úrfelvételekről állapították meg.

A rétegtani térképező munka egyik összefoglalása a holdi rétegtani oszlop, amit mi most egy lépcsőzetes azték piramis formájában mutatunk be. Ebben föl soroljuk a holdi rétegtan fő emeleit, melyek egyúttal a holdi kőzetképződés nagy korszakait is jelentik.

A holdon a sugársávok kráterek a legfiatalabbak (Kopernikuszi emelet), ezeket követik lejjebb a még mindig fiatalosan tagolt morfológiájú, de már sugársáv nélküli kráterek (Eratosztheneszi emelet). Mindkét fiatalabb emelet rétegei többnyire csak kráternyi foltokban vannak jelen a Hold felszínén, bár előfordulnak Eratosztheneszi marék is (és a Tycho vagy a Kopernikusz kráter sávjai is messzire nyúlnak, különösen telihold idején láthatjuk ezt). A földnyi rétegtani egységek alatt nagy kiterjedésű kőzettesteket alkotó két emelet következik. Az egyik az Imbrium, mely az Imbrium medencéhez kapcsolódott a definiáláskor kijelölt területen (Imbrium emelet). A másik, a még idősebb egység a Nektár medencéhez kapcsolódik (Nektári emelet). Legaltal fekszik a krátermezőkkel borított terravidék (pre-Nektári emelet).

A. Kopernikuszi (fiatal, sugársávokkal is rendelkező kráterek tartoznak ide),
 B. Eratosztheneszi (fiatal, de sugársáv nélküli kráterek tartoznak ide),



C. Imbrium (az Imbrium medence kialakulásától, kidobott takarók, mare előntések tartoznak ide),
 D. Nektári (a Nektár medence kialakulásától kezdve képződött medencék, marék tartoznak ide),
 E. pre-Nektári (minden Nektár medence előtti kőzettest ebbe a rétegtani emeletbe tartozik).

Azóta a rétegtan alapelveit több más naprendszerbeli égitestre is alkalmazták, így a Marsra, a Merkúrra, a Jupitert Galilei félc holdjaira és jelenleg a Venusz geológiai térképezése folyik. A XIX. század egyik nagy tevékenysége lesz a Naprendszer léptékű rétegtan (sztratigráfia) kidolgozása.

1.1.4. Körtörős medencék

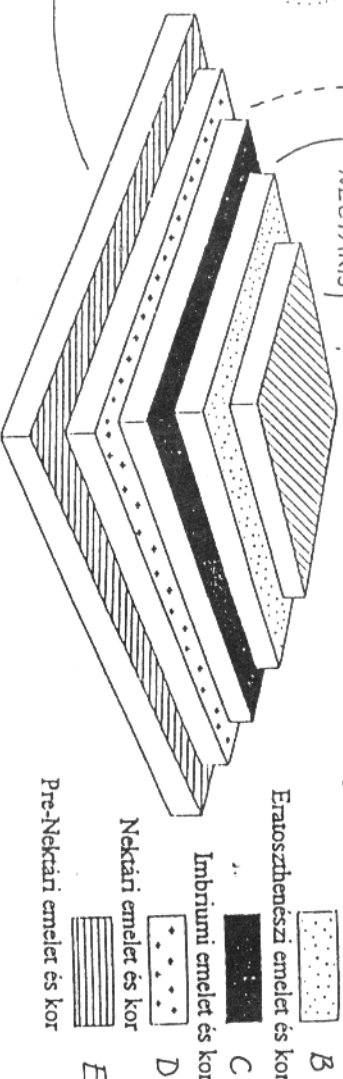
A Hold kergét a keletkezése utáni fele milliárd évben több nagyméretű égitest becsapódása érte. Ezek a becsapódások feloldították az anortozios kergét, körtörős medencéket hoztak létre és hatalmas területekre terítették szét a kidobott

törmelékanyagot. (A hold kergét alkotó anortozios kőzetek ezért többségükben breccsás szövetűek: megfigyelhetjük az összerördült asványokat, a breccsás szövetszerkezetet.) A nagy becsapódások máig megfigyelhető hatalmas körtörős medencéket hoztak létre. A Hold felszínén a körtörős medencék kidobott takarója és a belső tektonikus szerkezet az, ami az egyik legnagyobb kiterjedésű sztratigráfiai egység típusát alkotja.

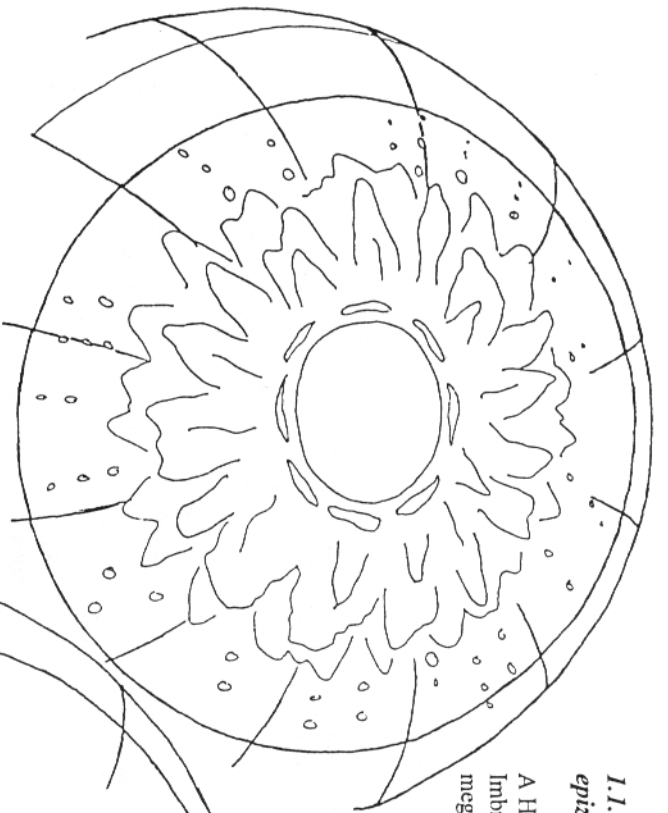
A nagy becsapódások medencéit a Hold látható oldalán bazaltláva folyások töltötték föl. A holdi vulkanizmus hosszú ideig elartott, s a higan folyó lava hatalmas távoliságokon, vékony rétegekben terült szét. A holdi bazaltok kora csaknem egy milliárd évet fog át az Imbrium korban, de kráterszámítások alapján tudjuk, hogy léteznek olyan lávafolyások is, melyek az Eratosztheneszi korban keletkeztek. Ilyenek az Imbrium medencében fölterképezett lávafolyások is. A bazaltláva rétegek képezik a második legnagyobb kiterjedésű rétegtani típusú a holdi sztratigráfiaiban. A körtörős medencék is és a bazaltlátégek is dátumsíkok, mert a rétegtani térképezésben e nagy kiterjedésű egységekhez viszonyítva sok kisebb egységet tudunk relatív rétegsorba rendezni.

1.1.5. A sztratigráfiai térképezés köztesjeleinek és az Apollo expedíciókon gyűjtött holdkőzeteknek a kapcsolata

Azokkal a kőzetmintákkal, amelyeket a térképezésből már ismert geológiai környezetből gyűjtöttek az Apollo expedíciók űrhajósai, rekonstruálni lehetett a Hold fejlődéstörténetét is. A holdi felületek (terrák) anortozitjai és a bennük mért ritka földfémek eloszlása különös és fontos eseménysort bizonyított. Egykor a Hold külső rétegei



- A Kopernikuszi emelet és kor
- B Eratosztheneszi emelet és kor
- C Imbrium emelet és kor
- D Nektári emelet és kor
- E Pre-Nektári emelet és kor



1.1.6. Három felszínformálódási epizód az Imbrium medencében

A Hold egy körkörös medencéjének, az Imbrium medencének, csak a ma megfigyelhető végállapoti képe az, amit

a régebben térképezni tudott Rajzainkon a gömbösiveg pólusába helyeztük a kisbolygó méretű test becsapódásával létrejött eredeti körkörös medencét (első kép). A központi mélyedést hegységkioszorú övezi, kívül a kidobott takaró öve figyelhető meg, s azokon túl, a legátvonalabba kidobott kőtömbök kivájta másodlagos kráterek öve következik. Ezek az övezetek ma is megfigyelhetők a legifjatalabb körkörös medence alakzat, a Mare Orientale körül.

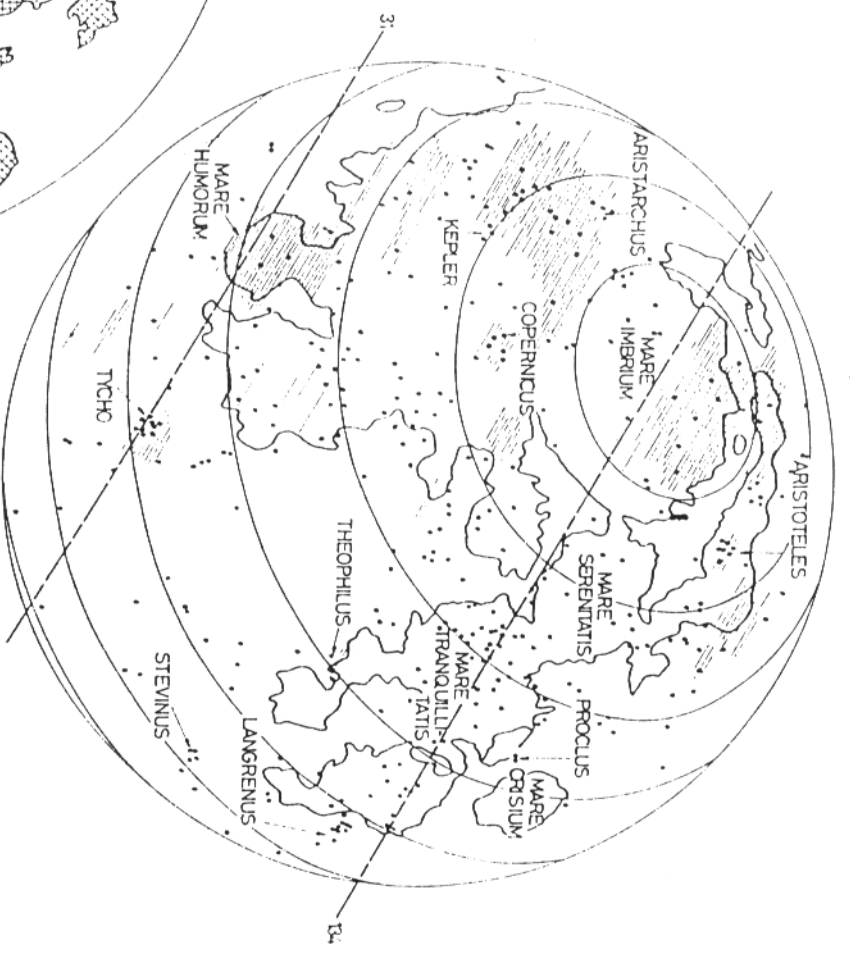
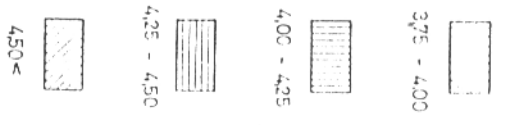
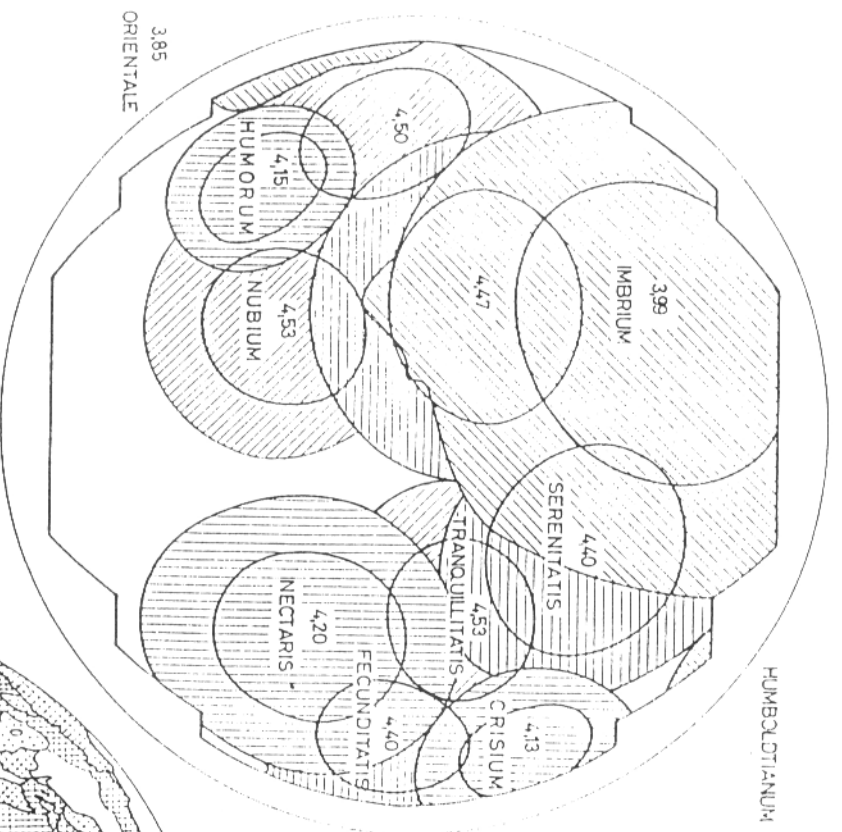
A második epizód azt a korszakot mutatja, amikor a lávaelőntések a medence belső területét már beborították új anyagteggel, a mare bazalttal. A kezdetben összefüggő kidobott takaró már csak foltokban látszik.

A harmadik epizód a legfrissebb lávaöntésekbe mutat be egyet. Az Apollo expedíciókon fényképezték le az úrhajósok a legifjatalabb lávafolyásokat a Mare Imbriumban. A nyitak mentén követhető lávafolyás csaknem ezer kilométer hosszú, a Mare Imbrium délnyugati pereméről indul, a medence közepéig kettéválk. Egyik ága keletre, a másik nyugatra fordul. A nyugati ág a Sinus Iridum előterében ér véget.

megolvadtak s 4,4 milliárd évvel ezelőtt az egész égitestre kiterjedő magmaóceán borította a Holdat. A magmaóceán lehűlése során a plagioklasz földpát ($CaAl_2Si_2O_8$) az olvadéköna tetőjén gyűlt össze, s létrehozza a világos színű felföldek anortozitját. A nagyobb sűrűségű ásványok az olvadéköna aljára süllyedtek. Ez a differenciálódás hosszú ideig tartott.

A vastagodó anortozitos holdi kéregre történtek a nagy körkörös medencéket létrehozó becsapódások, melyek feltördeltek a holdi kéreg. A töréseken át bazaltos lava szivárgott a felszínre, és egy - másfél milliárd éven át működő vulkáni tevékenységgel, feltöltötte a Hold látható oldali medencéit. A bazaltok a Hold köpenyéből származnak. Némelyik közülük títánban igen gazdag, mint például az Apollo 11 és 17 leszállási helyéről gyűjtött bazaltok.





A harmadik térkép holdfogyatkozásokor készült és a holdi melegpontokat mutatja be. Itt a jelenleg megfigyelhető holdfelszínnek a hőhetetlenségi térképét látjuk, amely különösen a friss becsapódási kráterek helyét mutatja jól. (A környezetenél melegebb pontokat térképezte föl Shorthill és Saari).

A Holdról három különböző térképet mutatunk be. Mindhárom a Hold látható oldaláról készült. Az első az ősi Holdat idézi föl, a kőkorszak medencék és a kidobott takarójuk által bebörtölt területeket mutatja. Jól érzékelteti azt, hogy a Holdat egykor szinte teljesen befedték a nagyméretű medencék, és ezeknek a külső takarórétegei egymást átfedték. A második térkép a bazaltságokat mutatja be, melyben a különböző összetételű bazaltokat Whitaker a puros-minusz-kek szűrővel tudta szétválasztani. A "kék" bazaltok nagy titántartalmúak, a "piros" bazaltok kis titántartalmúak.

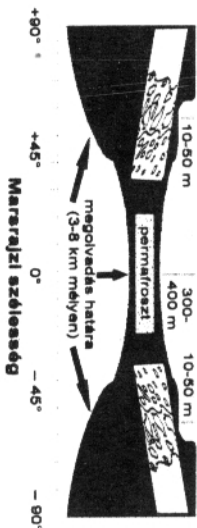
1.2. A MARS

Külső bolygószozomszámunk 4,5 milliárd éves fejlődéstörténete során különböző időszakokban más és más külső erő munkája volt meghatározó a felszín képzésének alakításában. Persze közben az égitest belsejéből vezérelt folyamatok, a tektonizmus és a vulkanizmus is formáltak a felszínt.

1.2.1. Víz időszakok – Noachiszi (4,5-3,5 milliárd éve)

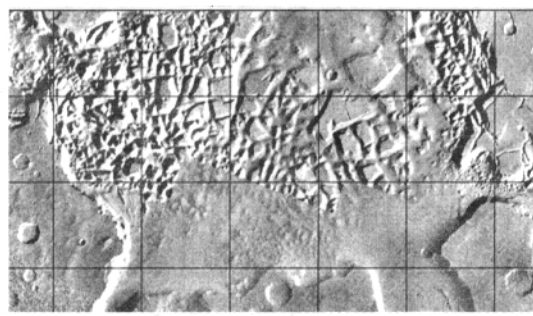
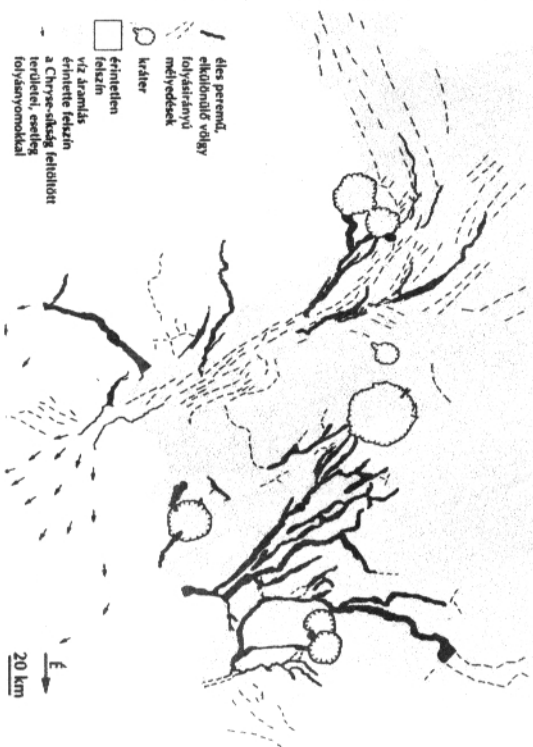
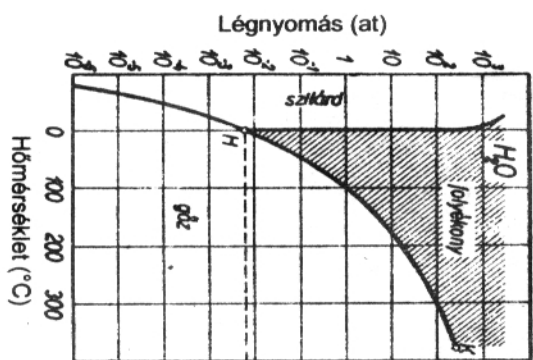
A bolygók kialakulását lezáró aszteroida- és meteorombombázás, illetve a kéregképződés során sok illóanyag, többek között víz gázolgot ki a Mars belsejéből. Továbbá a külső bolygók térségéből érkezett testek is növelték az illószférát. Így a fiatal Mars a mainál sokkal inkább hasonlított a Földre: belseje és felszíne geológiaiag egyaránt aktív volt, vastag légkör vette körül, felszínén óceán és tengerek víze hullámzott, kráterekben tavak gyűltek össze, völgyeit pedig folyók mélyítették.

Az idős déli felületek mágneses mintázataiban talált szimmetrikus sávok alapján úgy tűnik, hogy megkezdődött a lemez szétszakadása, ám a folyamant leállt, a kéreg-újraképződés nem indult be. Annál intenzívebb volt viszont a forró pontos vulkáni tevékenység, amely az időszak második felében indult be, létrehozva a 8000 km átmérőjű Tharsis-hátság-ot és a felszíne ömlő bazaltos lávából felépítve a Naprendszer legnagyobb tűzhányóját, a 27 km magas Olympus Monst. Nem tudjuk pontosan, hogy a marsi vulkánizmus mikor fejezték be működésüket, de egyes lávafolyások legfeljebb 150 millió évesnek tűnnek.



A legnagyobb víztest a bolygó felszínének harmadát elfoglaló Ocean Borealis lehetett, az északi poláris régióban, amely tulajdonképpen egy tálszerű mélyföld az égitesten. Részmedencéi, nagyobb öblei, partvonala pontos magasságmérésekkel ma is kimutathatók. Ebből az időszakból származnak a déli felületek idős csatornahálózatai is. Elágazó rajzolatuk, meanderező lefutásuk, partvonalaikhoz közeli, delatorkolat-szerű elvezérendéseik nagymértékben hasonlítanak földi megfelelőikhez.

Ki kell emelni azon területeket, ahol a vulkáni hó és a folyékony víz együtt jelent meg a bolygón, mivel ezek a hidrotérmális rendszerek kiváló bölcsői lehetnek az életnek. Később aztán az illószféra számos ok miatt fogyni kezdett: a) a bolygóvá tömörítés utolsó nagyobb maradvék-tesztjei csapódtak a felszínbe, egyrészt kialakítva a nagy becsapódásos medencéket (pl. Hellas, Argyre), másrészt felforraltva majd elfűjve az illóanyagok jelentős részét; b) lassan kimerültek a radioaktív hőforrások, a mag megszűnt, az abban generált mágnetoszféra pedig megszűnt, így a bolygó elvesztette kozmikus védőpajzsát s a napszél lötlött részecskéirena szabadon erodálhatta a légkört;



c) a kis méret és tömeg eredménye, hogy a szökési sebesség csak 38%-a a földinek, a Mars tehát könnyebben „elhagyható” a kultúrbőző részecskéik számára; d) valamint a vékonyodó légkör a csökkentő üvegházhatáson keresztül (amelynek hatékonysága, a nagyobb naprávolság miatt sokkal kisebb volt a földinél) tovább mélyítette a folyamant, így a megmaradt illóanyagok egyre nagyobb része csapódott ki a poláris jégsapkák területén. Mindezek eredményeként a hőmérséklet és a nyomás jelentősen lecsökkent (-53°C, 6 hPa), annyira, hogy a víz már nem maradhatott folyékony állapotban a felszínen.

1.2.2. Jég időszakok – Hesperiai (3,5-2,7 milliárd éve)

A kifagyó vízterület legnagyobb része a felszínt vastagon borító finom közetümmelékbe, a regolitba záródott, létrehozva egy globális méretű permafroszt-réteget, másként krioszférát. Ezi többek között a földi fagypolitigonokra emlékeztető mintázatok, a sekély mélységben lévő jégrétegek miatti domborzati relaxáción átesett, kissé elmosódott körvonalú formákat mutató területek, valamint azon sajátos, lebonyos kráterek jelzik, amelyek oldalmentázatai a felszínközeli jeges rétegek képlekeny masszává olvadásra és „megfolyása” miatt alakultak ki, a becsapódási hó hatására. Becslések szerint a krioszférában tározódó víztömeg elolvadása esetén több száz méter vastagon borítaná a bolygót. Alatta azonban, nagyobb mélységű rétegekben vagy magas sókoncentráció esetén azonban folyékony víz is megmaradhatott, amely a kéreg gyenge szerkezeti részeinél, becsapódásos kráterek, vulkáni régiók tektonikus törések mentén a felszínre jutott.



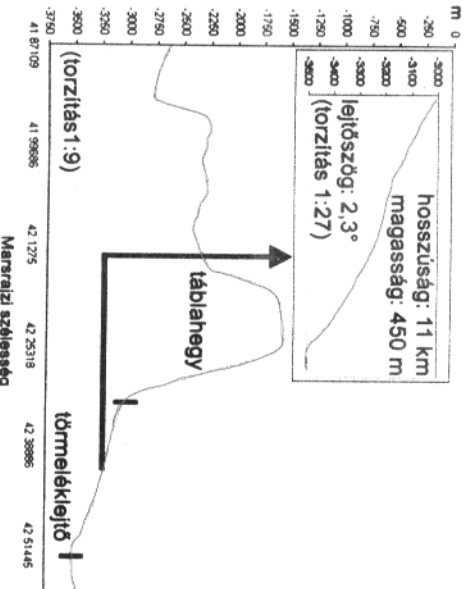
1.2.3. Szél időszaka – Amazoniszi (2,7 milliárd éve-ma)

A felszínközeli rétegek fokozatos hűlése és kiszáradása után meghatározó felszínformáló tényezővé válhatott a szél (előfeltétele a közeteket előkészítő aprózódás), bár a jéghez kapcsolódó mozgásfolyamatok talán azóta is zajlanak.

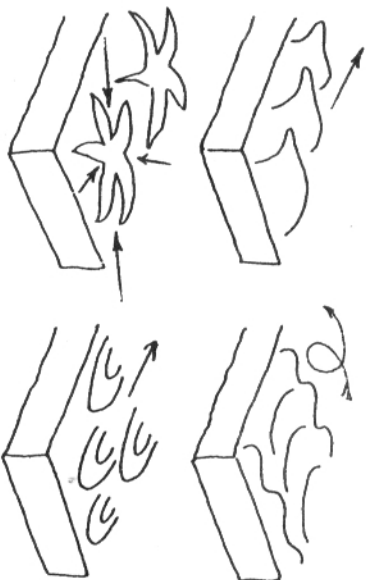
A szél mai aktivitása többféle módon bizonyítható. Sok formát nem borít be a napi gyakoriságú mintornádók által a légkörbe emelt és onnan folyamatosan ülepedő por, mert erre nincs ideje. Másokon friss csuszamlásnyomok, vékony gerincek, éles peremek láthatók, mikroformák viszont nincsenek, gyors változásuk jeleként. A legmeggyőzőbbek azonban a poláris területeken végzett megfigyelések, ahol a tavaszi évszak kezdetekor visszahúzódó vékony jégborítás alól sötét foltokként bukkan elő a dűnék anyaga. Ezt a szél – foltokként azonos irányba – ráfújja a legfeljebb fél marsi éves jégre, tehát a folyamat ezen időtartamon belül zajlik.

A szelek által kialakított formákat alapvetően két dolog határozza meg: légköri és felszíni tényezők. Döntő a szélirány, annak időbeli állandósága és a sebessége, valamint a vizsgált területet borító anyag minősége, sűrűsége és szemcsenagysága is. Módosító elemként figyelembe kell venni az aprózódást és a mállást, valamint a növényborítást is, ám utóbbival a Mars esetében nem számolhatunk. Fontos kiemelni a földi ezretszérvével megegyező légneműs-értéket, amely miatt a szélertózi intenzitása minimális. A többi külső erő hányva mellett ez magyarázza, hogy számos ősi felszín miért látszik alig idősebbnek nemely bizonyos fiatal területnél.

A szélformakincs elemei a környezetüknél világosabb vagy sötétebb színű, domborzati akadály mögött kialakuló szélsávok, a korábban eltemetett, majd újra kitárolt yardang-felszínek, kisebb mérettartományban pedig a homokfódrók, a barkánok, forma nélküli homokleplek, valamint leggyakoribbként a dűnék.



Ettől az időszaktól a Mars egyre inkább azon földi területekhez vált hasonlóvá, ahol felszín alatti jég van jelen. Jellegetes formák azok a törmelékletök, amelyek az északi mélyföldök és a déli felföldök közepes szélességekre eső határvidéken veszik körül a kiemelkedő táblahegyeket. Plasztikus alakjuk és részletes vizsgálatuk egyaránt jelzi, hogy jéggel kevert közetösszetétel, hasonlóan a földi sziklagleccserekhez. Ugyan ma nem tűnnek aktívnak, de a múlt melegebb periódusában jégmagvak időszaksosan megolvadhattak és végezhettek lejtőirányú elmozdulást.



A Mars legutóbbi dűneformájának gerincvonala merőleges a szélirányra (ellentétben a Földön gyakori hosszanti dűnékkel), amely állandó szélirányú, bőséges homok-, pontosban törmelék-mennyiségű területet jelez. Az évszakosan váltakozó irányú szelek dinamikusabb formákat, csillagdűneket hoznak létre, ám ilyen a Mars-on csak keveset ismertünk. A vékonyabb törmelékborítású térségekben pedig dűnék helyett íves bukkákba, barkánokba rendeződik az anyag, s így halad a szinte állandó szelek irányába.

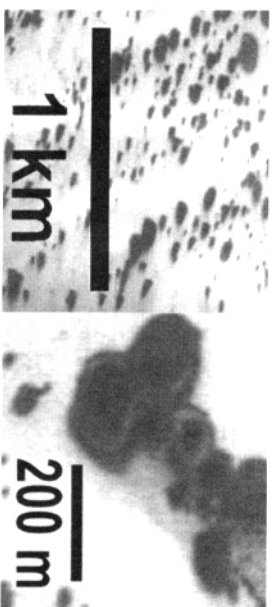
A szél által kialakított formáknál is fiatalabbnak tartják azokat a vízmosáshoz hasonló alakzatokat, amelyek kialakítását a felszín alatti szivárgó, áramló és csak helyenként felszínre bukkanó vízfolyásoknak tulajdonítják.

1.2.4. Az élet reménye

Elnagyvolian fogalmazva, a Mars jelenleg tehát egy hideg, száraz, szeles és halott sivatag, amelynek hosszú idő óta alig változó, sziklás-kavicsos-homokos tájait vas-oxidok festik vörösré. A formakincs, valamint a keringési jellemzők ismeretében (elnyúlt pálya, tág határok között ingadozó tengelyferdeség) azonban úgy tűnik, hogy a jelenlegi állapot nem tart örökké, az éghajlati rendszer inkább ciklikus rendet követ. Időről időre melegebb periódusok kezdődnek, átmenetileg beindítva a hidrológiai ciklus egyes elemeit.

Ezek a múltbeli időszakok kedvezhetnek bizonyos organizmusok fejlődésének, amelyek szélsőséges feltételeket kedvelő (extremofit) földi megfelelői bolygónk egyre több sterilitnek gondolt szegletéből kerülnek elő (pl. mélytengeri füstfőgők, radioaktív reaktorok hűtővíze, mesterséges vákuum). Továbbá magyar kutatók olyan különös foltnuntázatot fedeztek fel egyes jéggel fedett térségekben, amelyek kialakulása talán biológiai aktivitással magyarázható.

Lehetséges tehát, hogy a múltban a Vörös Bolygón is megtörtént az élettelen és élő anyag közötti átmenet, ám a Mars fejlődési útja később elvált a Földétől. Ezért az élet vagy végleg kudarcot vallott, vagy különleges helyszínekre szorult vissza s most arra vár, hogy felfedezzük!



1. 4. 5. Polaris területek: jégsapkák

....1. A marsi klimatörténet őrtöltő

A jégsapkák évszakai váltakozását a Mars éghajlata határozza meg. A Mars tengelydőlése kicsit nagyobb, mint a Földé, pályájának excentricitása (egy a napközelség és a nap-távol közötti különbség) viszont sokkal nagyobb, így az évszakok is szélsőségesebbek. Mindkét sarkon olyan jégsapka van, mely a helyi nyáron sem tűnik el teljesen.

A jégsapkák szerkezete évszaktól is függ: több millió éve minden nyáron a tavasszal lefogyott jégsapka felületére a nyári szelek, porviharok ráfújják a sötét színű homokot. A következő télen a légkörből kicsapódó szárazjég már erre a porrétegre rakódik. A lemezbarázdához hasonló rétegek 5-300 m vastagok, és az erózióval szemben különböző ellenállóképességűek. Különböző, sötétebb, majd világosabb árnyalatú rétegek csoportjai váltják egymást. Ezt a sötét-világos változást valószínűleg a Mars pályaelemeinek változásával összefüggő klímaváltozás okozza, ezen belül a külön évi rétegek árnyalatának változását viszont más paraméterek (vulkánkitörés vagy becsapódás törmelke, nagy porvihar). A jégsapkák a becslések szerint 5% porból és 95% jégből állnak.

A sapkáknak két fő része van: egy változó nagyságú szárazjég- és egy állandó vízjég-sapka. A sarkokon a hőmérséklet a víz olvadáspontját sosem éri el, de a szén-dioxidtét igen: így ha a CO₂ olvadáspontját már elérte, a maradék sapka anyaga már csak víz lehet.

4.4.5.2. Az északi jégsapka

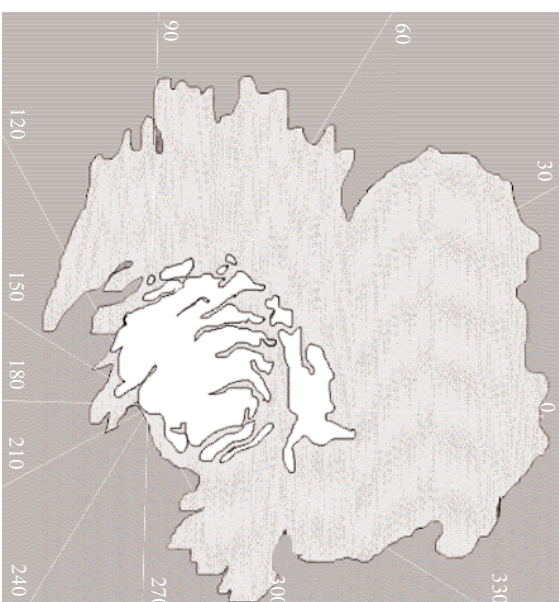
A vízjégből és szárazjégből álló jégsapkában az utóbbi, a

CO₂-jég tavasszal elszublimál a légkörbe (ezért szárazjég: a folyékony halmazállapotot kihagyva egyből gázzá alakul); ezzel pedig ismét kicsapódik és visszafagy a felszínre. A vízjégből álló állandó sapkát két részre osztja a szarv alakú Chasma Borealis kanyon. Az északi sapka sosem fagy le olyan arányban, mint a déli, mert itt hűvösebbek a – napfénytől kor elérkező – nyarak. Az 500 km átmérőjű jégsapkát egy szinte folyamatos, sötét színű homokdűne-gyűrű övezi, amit a sarki szelek alakítanak. A dűneket - akárcsak a polaris területekhez közeli kráterek belsejét - télen CO₂-jég ill. -dér borítja.

4.4.5.3. A déli jégsapka

A déli pólus vidékén sosem olvad el teljesen a CO₂-jég, így az alatta levő rétegek nem kerülnek a felszínre. A déli féltekén atéliumban (napfényben) köszönt be a (sötét) tél, ami tehát hosszabb és hideg. A déli sarki nyár viszont perihéliumban jön el, azaz melegebb és rövidebb, mint az északi félteke nyara. Így hiába hízik meg télen a jégátakáró 1800 km átmérőjűre, nyáron csak egy néhány száz km-es állandó mag marad meg.

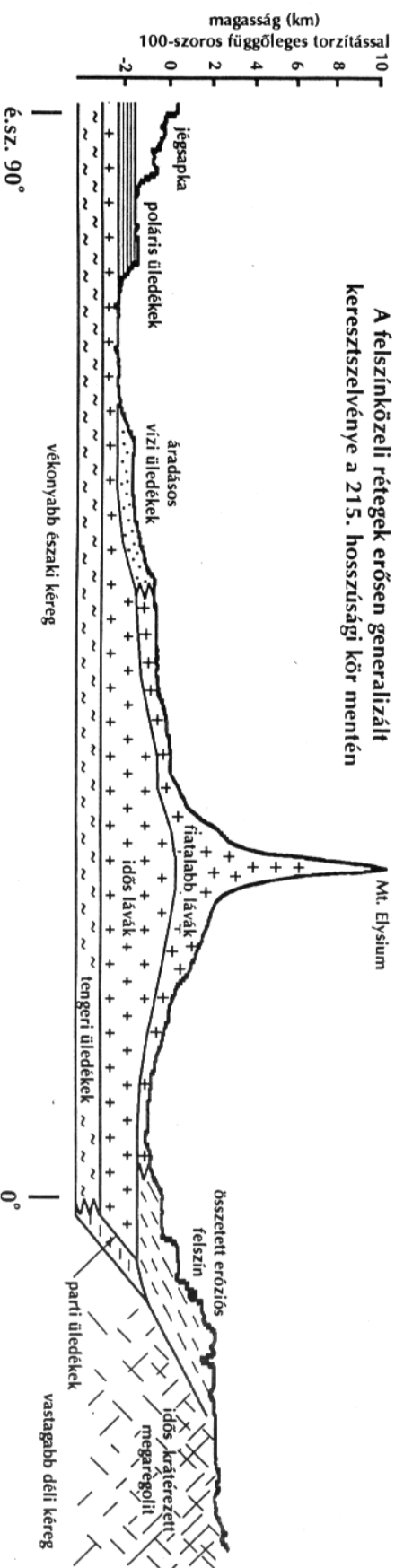
Délien sokkal több por van a sarki rétegekben. Ennek az az oka, hogy a forró napközelségkor a jég gyorsan visszasszublimál a légkörbe, így azt gyarapítja, sűrűbbé teszi (a légnymást akár 25%-al is növelheti: 6,9-ről 8,9 mbar-ra). A sűrűbb légkör a napközelség miatt melegebb is; így jobban ki is terjed. Mindezek miatt megindulnak a nagy szelek, a por szállítása. A poros levegő sötétebb, ezért jobban elnyeli a napfényt, tehát tovább melegszik. A folyamat egy önmagát erősítő visszacsatolás, ami végül globális porviharokat is

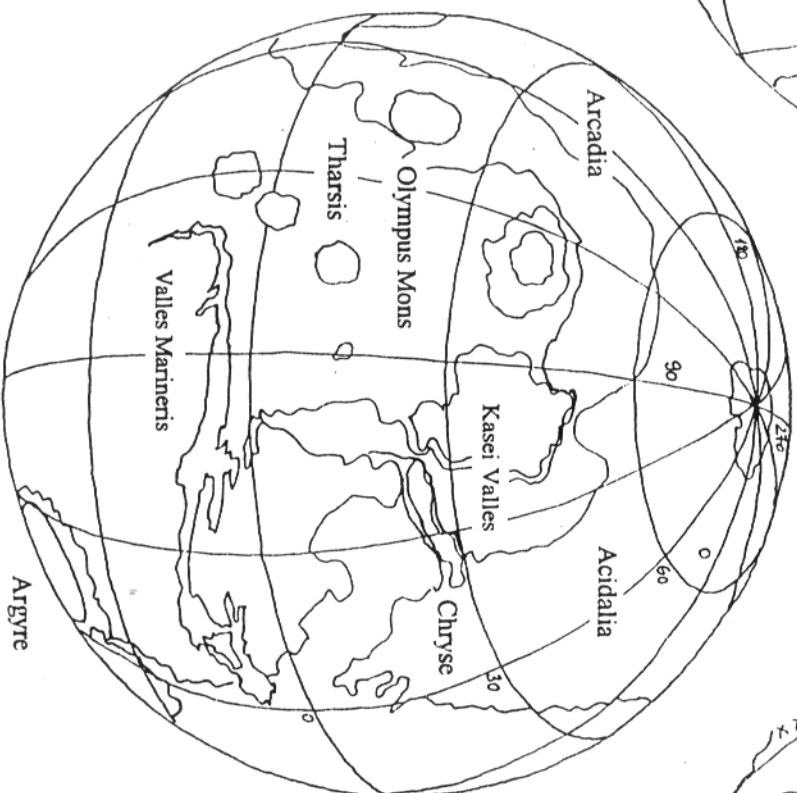
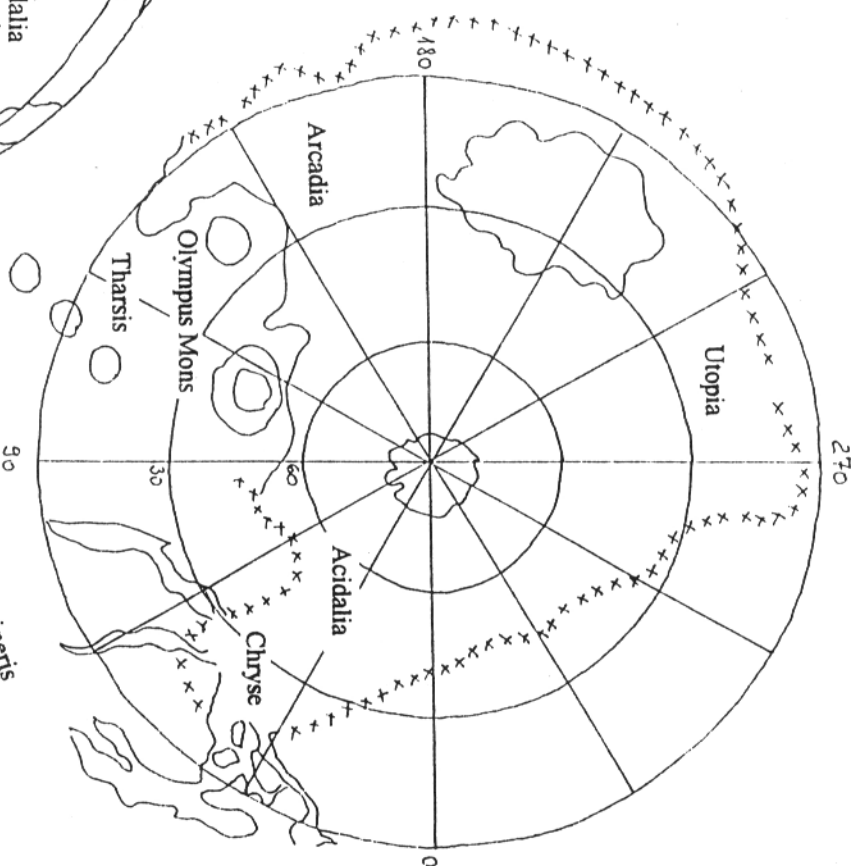
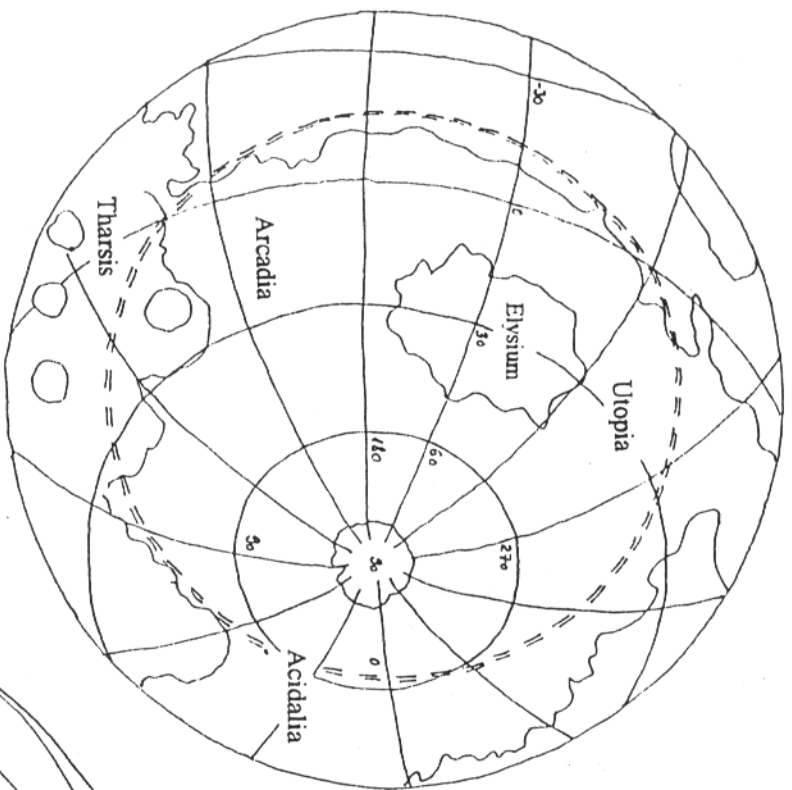


A déli pólus vidéke. Télen szárazjég (dér) borítja a világosszínű területeket is, nyáron csak a fehérrel jelzett állandó jégsapka központi része marad meg. tétrához. Ezekből tilepedik ki a sok por, homok (elsősorban) a déli jégsapkába.

Délien is homokdűnés terület övezi a jégsapkát, de nem olyan folyamatos gyűrű, mint északon. A dűneken sötét, általában kerek foltok jelennek meg olvadás idején. Különböző, a felolvadt talaj beomlásával keletkezett kerekded lyukak is láthatók a déli vidékeken (ld. emmentáli sajít).

A felszínközeli rétegek erősen generalizált keresztmetszelve a 215. hosszúsági kör mentén





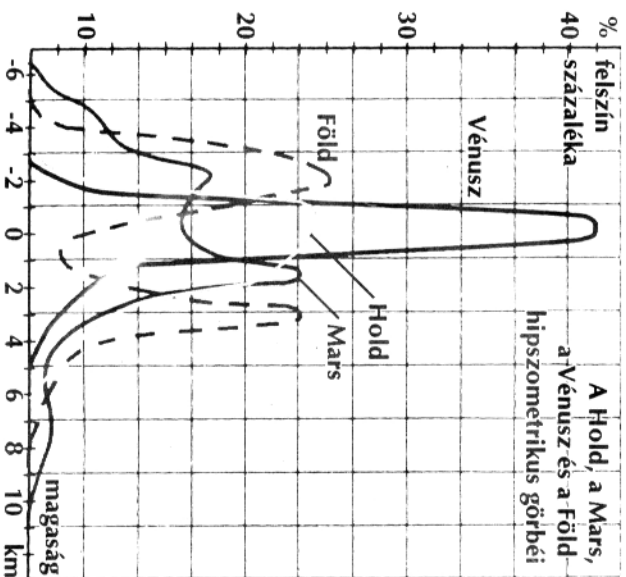
A Viking expedíciók idején a Mars északi síkságainak eredetét egy nagy becsapódásban és a hatására létrejött medencében keresték (Wilhelms et al.) A Mars Global Surveyor MOLA lezérés magasságmérései és a MOC kamerával készült felvételek lehetővé tették, hogy ósi "vízrajzi" térképek készüljenek a Marsról. A legnagyobb vizgyűjtő terület a Mars Északi Óceánja. Partvonalat több helyen megtalálták (Parker et al.) Pólusvezetben három lenyülő "karéja" van az Északi Óceánnak: az egyik az Acidalia síkság (ennek déli öble a Chryse), a másik az Utopia síkság, a harmadik az Olympusz Hegy melletti Arcadia síkság.

Ajánlott irodalom a Bolygótések atlaszához:

- Ahonyi Iné., Almar I., Apáthy I., Bérczi Sz., Echter T., Érdi B., Ferencz Cs., Gesztési A., Gombosi T., Herczeg I., Horváth A., Ill M., Illés E., Kóhuti A., Major Gy., Mihály Sz., Nagy I. Gy., Sathidai Gy., Szentesi Gy., Tanczer T. (1981, 1984) *Űrhajózási Lexikon* Szerk: Almar I., Horváth A., 1002 oldal. Akadémia – Zrínyi Kiadó, Budapest
- Almar I., Both E., Horváth A. (szerk.) 1996: *Űrtér*. Springer. Bp.
- Bérczi Sz. 1977: *Planetológia*. Egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Bp.
- Bérczi Sz. 1991: Kristályoktól bolygótésekig. Akadémiai K. Bp. <http://planetologia.elte.hu/> <http://adswww.harvard.edu/>
- <http://www.jpi.usra.edu/meetings/lpsc2000/pdf/ABCD.pdf> - ahol ABCD az egyes közlemények számkódja, amit a pdf/program.pdf helyen 2001-től már megtalálunk, ill. a adswww.harvard.edu címen is megkereshetünk <http://www.jpi.usra.edu/meetings/lpsc2001/pdf/ABCD.pdf>

1.3. A VÉNUSZ 1.3.1. Földünk ikerestvére?

Geológiai szempontból belső bolygószomszédunkat, a Vénuszt tekinthetjük a Földhöz leginkább hasonló égitestnek a Naprendszerben. Mérete, tömege és sűrűsége alapján bolygónk tükröképe is lehetne, mégis sok a különbség a két égitest között. A Vénusz felszíne fiatal, kora maximum 0,5-1,0 milliárd év. Bár vulkánkitöréseket, lemezmozgásokat közvetlenül még nem sikerült megfigyelni rája, több jel utal arra, hogy felszíne ma is aktív. Egy bolygó felszínének magasság szerinti eloszlását a hipszografikus görbével szemléltethetjük, amely megmutatja, hogy különböző magasságú területek milyen arányban találhatók az égitesten. A Föld és a Mars hipszometrikus görbéje a két fajta kéregtípusnak megfelelően két maximumot mutat. Ellenben a Vénusz görbéjén csak egy maximum látszik, azaz felszínének nagy részét egy fajta, néhány helyszíni vizsgálat alapján kemizmusában a bazalthoz közeli kéregtípus alkotja, pontos meghatározása egyelőre nem sikerült. A Vénusz felszíne tehát olyan, mintha a Földön csak óceáni kéreg lenne, vagy ha vékonyabb kéregrészek is vannak, azok a síkságok alatt lávakkal eltemetve találhatók. (További kérdés, hogy ilyen esetben egyáltalán mit tekintünk kéregnek.) Egyéb sajátosság, hogy felszíne száraz, viznek nyoma sincs. Ha a szárazság az egész közelburokra jellemző, a litosféra deformációja

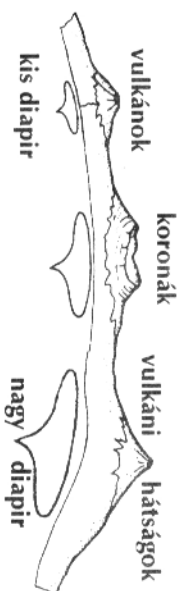


lényegesen más mint a Földön. Bolygónkon ugyanis az ásványokba épült víz "megolajozza", könnyebbé teszi az egyes lemezek elmozdulását, a vulkánok feltörését. A Vénuszon egy másik tényező kedvez a deformációknak: ez a magas hőmérséklet. A légkör óriási üvegházként 450-500 °C-os hőmérsékletet tart a felszínen éjjel, nappal. Egy olyan kéreg, amelyik a felszínen sem tud 450 °C alá hűlni, relatíve képlékeny lehet, ami a nagy, szilárd és egységes közetlemezek kialakulása ellen hat.

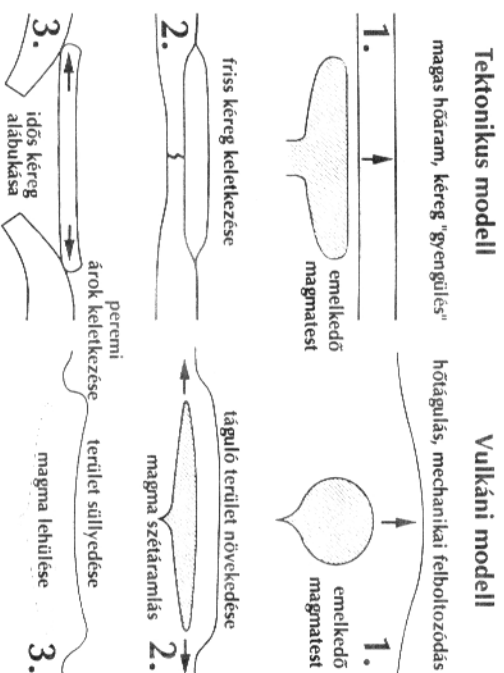
Ha globális képet akarunk festeni a Vénuszról, akkor egy aktív, sok vulkánnal és kéreg egyenségei zónával (esetleg lemezhatárral), valamint magas felszíni hőmérséklettel, főleg bazaltoid kemizmust kéreggel rendelkező égitestet kell magunk elé képzelnünk. Mindez erősen emlékeztet a Föld archaikumi kéregfejlődésével kapcsolatos elgondolásokra.

1.3.2. A koronák: vulkanizmus és lemeztektonika egyben?

A koronák a Vénusz sajátos képződményei, eddig, 176-ot sikerült eddig egyértelműen azonosítani belőlük. Méretük általában 200-300 km közötti, a legnagyobb 2600 km-es. Nevüket gyűrűs megjelenésükről kapták, viszonylag sík, belső területüket koncentrikus repedésrendszer övezi, a gyűrűk mentén néhol kiemelkedő, néhol lesüllyedő domborzattal. A környező vidékkel közel azonos szintben lévő belsejükben gyakoriak a vulkáni képződmények, változatos dóm mezők. Olyan vulkanotektonikus szerkezetek lehetnek, amelyek



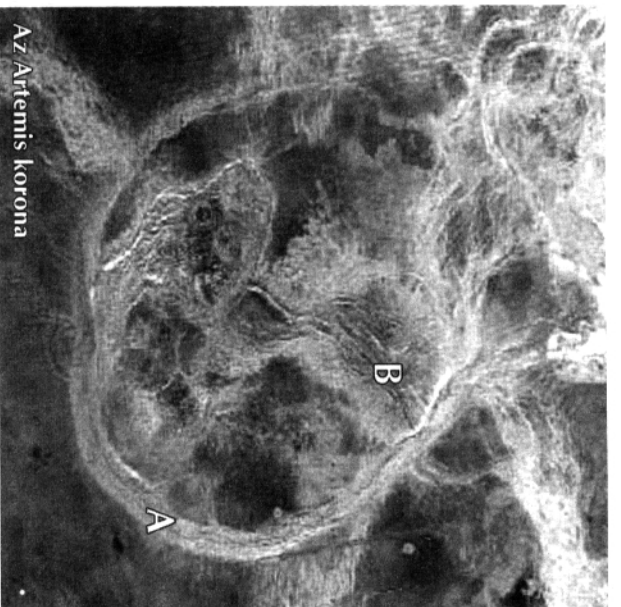
emelkedő köpeny diapir, és az ehhez kapcsolódó lávabenyomulások megjelenéséhez, felerősödéséhez, majd elhalásához kapcsolódnak. Elméleti fejlődésük az alábbi sémát követheti: 1. Diapirikus eredetű magma benyomulás a kéregbe. 2. Mechanikai- és hőárgulás a területen, a térszín megemelkedik és a belső részekben vulkáni működés kezdődik. Az emelkedéstől támadó mechanikai feszültség sugárirányú repedésrendszer hoz létre. 3. A magma lehűlése, részben felszínre ürülése során a terület enyhén visszasiüllyed, koncentrikus repedésrendszer keletkezik. Az eredeti



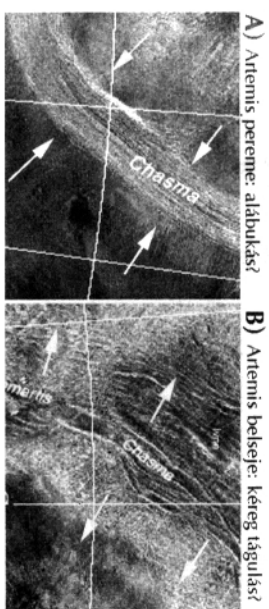
kiemelkedés peremén keletkezett tereplepéső a süllyedő fázis során kihangsúlyozódik. Ennek külső peremén gyakran árok figyelhető meg, részben a zsugorodásos süllyedés, részben a tereplepéső melletti vékonyabb kéreg mechanikai lehajlása miatt. Egy másik, a tektonikus tevékenységet hangsúlyozó elgondolás szerint a diapir feletti felszínre bukkanó új anyag a centrunból kifelé mozog, ennek kiemelkedő pereme mellett a korábbi kéreg szubdukció jellegű folyamatai keretében alábukik - kialakítva a gyűrűperemi mélyedést. A koronák csoportjába sorolhatók még az úgynevezett arachnoidok, és a novák, amelyek változatos repedésrendszerrel a korona fejlődés egyes stádiumait, változatait képviselhetik. További feltételezés, hogy a diapirok mérete, jellege alapvetően befolyásolja a felszínen kialakuló képződményt. A kisebb diapirok felett néhány "egyszerű" vulkáni központ, a nagyobbak felett kiterjedt vulkáni hátság keletkezik - a koronák a kettő közötti átmeneti képződmények lehetnek.

1.3.3. Az Artemis korona: a felszínfejlődés Rosetti-köve?

Az Artemis korona 2600 km-es átmérőjével messze a legnagyobb ilyen szerkezet a Vénuszon, a második legnagyobb korona, a szintén óriásnak számító Heng'Ō korona is "csak" 1060 km-es. Az Artemis peremi gyűrűrendszerében 7,5 km az abszolút relief, az árok fekeke max. 4 km-el süllyed a környező térszín alá. A peremi árokrendszer erősen emlékeztet a közeli Diana- és Dali-hasadékokra, amelyek domborzata a földi szubdukciós zónákéra hasonlít. A korona belsége igen változatos, EK-i részén egy hasadékvölgy jellegű szerkezet mutatkozik, amelyhez a földi óceánközépi hátságoknál megfigyelt kéregképződésre utaló tektonikus szerkezetek kapcsolódnak. A korona belső térszíne változatos, a társaitól abban különbözik, hogy nem egységes, hanem számos alrendszerre bontható, amelyek különböző vulkanotektonikus fejlődést jártak be. Összefoglalva az Artemis koronánál vizsgálhatjuk a köpenyáramlás felszíni



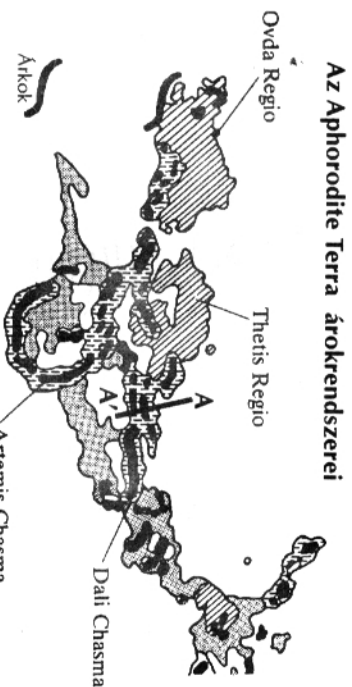
Az Artemis korona



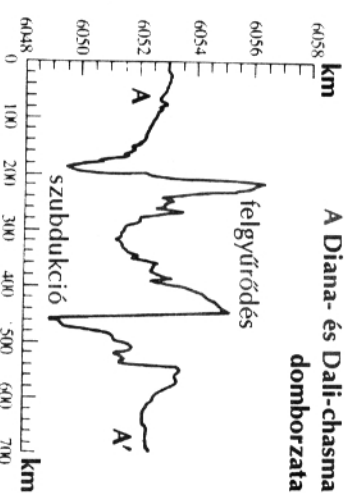
A) Artemis pereme: alábukás?

B) Artemis belsége: kéreg táguulás?

hatását, a vulkáni tevékenységet, a kéreg deformációt, a kéreg képződését és a peremeken a szubdukciót - illetve valami ahhoz hasonló jelenséget. Itt tehát egy olyan átmeneti felszínformával van dolgunk, amely regionális léptékben "eljártsza" egy Föld típusú bolygó felszínfejlődésének fő folyamatait. Mérete alapján átmenetet képez a koronák és a vulkáni hátságok között. Ha bolygónkra hoznánk, a rift rendszerek és a szubdukciós zónák mérettartományába esnének lineáris szerkezetei.

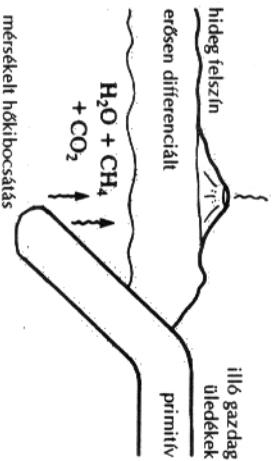


Az Aphrodite Terra árokrendszerei

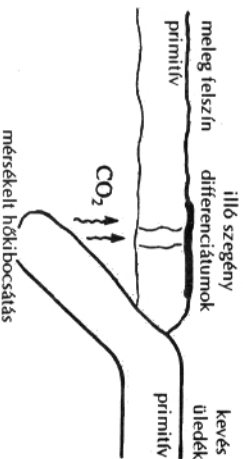


A Diana- és Dali-chasma domborzata

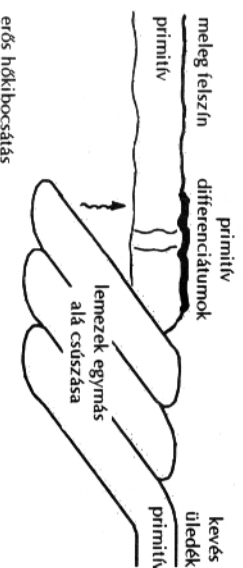
A Föld napjainkban



A Vénusz napjainkban



A Föld az archaikumban

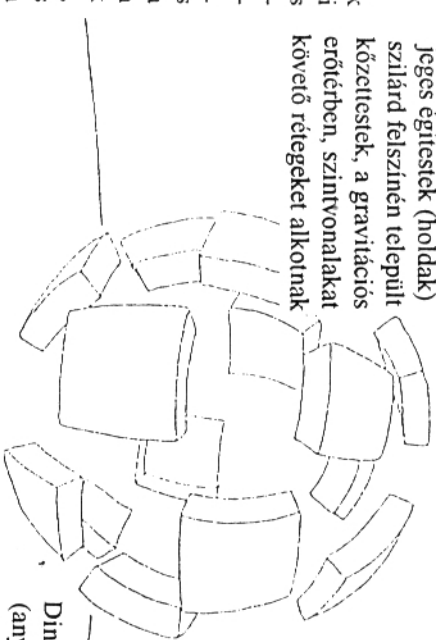


1.4. A FÖLD

1.4.1. A Földest szilárd felszíne feletti és alatti áramlási rendszerek áttekintése

A Föld szilárd felszíne felett is, alatt is áramlási rendszerek alkotják a Föld fontos övét. A legáltalában "Kinyitló" földi erőteret, a gravitációs erőteret. A gömbszimmetrikus gravitációs erőteret a forgás hatására bekövetkező lapultság és a földtestben lévő egyenlenségek eltorzítják és ezt a földközélemben mozgó úrszondák "megérik", "követik", s néha mérik. Pályájuk módosulását felsőlégköri és magnetoszférikus hatások is okozhatják. A legmesszebb erő áramlási zóna a földi magnetoszférában kialakuló "sugárzási övezetek" Van Allenről elnevezett öve. Ebben töltött részecskék végzik mozgásukat. A töltött részecskék egy része a felső légkörtől, másik része a napszélből származik. A hagyományos sugárzási övezeteket "kifeszítő" földi mágneses tér forrása a Földest belsőjében (a magban) lévő anyagáramlás, melynek pontos mechanizmusát még nem ismerjük.

A kőzetpolgók és a jeges égitestek (holdak) szilárd felszínen települt kőzetestek, a gravitációs erőterben, szintvonalakat követő rétegeket alkotnak



Dinamikus rétegek (anyagok áramlási rendszerei) a Föld egyes övezeteiben, amelyek héjakat képeznek a szilárd földfelszín alatt és fölött

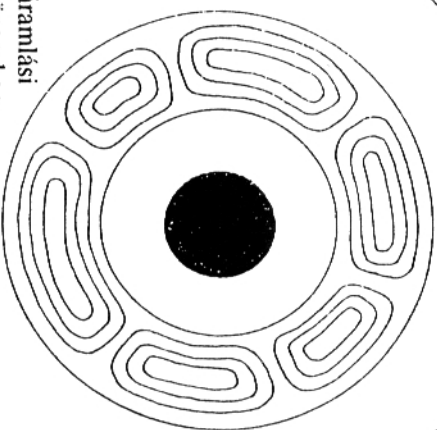
Hadley cellák a földi atmoszféra cirkulációs rendszerében

A Van Allen féle sugárzási övezetek a földi magnetoszférában

1.4.2. A Földi légkör (atmoszféra) áramlási képe

A földi légköri áramlások rendszerei sok összetevő határozza meg. Fontos összetevője a Nap sugárzása, amely jobban fölmelegíti az egyenlítői, mint a poláris légtesteket. A hőmérsékletkülönbségek hatására bekövetkező légtestmozgásokat a földi forgásból eredő a Coriolis erő elteríti, s öves cellás áramlási zónákat alakít ki. Hat nagy ilyen áramlási övet, Hadley cellát különböztetnek meg, melyekben a két egyenlítőben keleti, a két mérsékelt övben nyugati, míg a két polárisban ismét keleti irányú az uralkodó áramlás. A poláris hideg légtest és az egyenlítői meleg légtest közötti turbulens áramlási zónában, - ez a mérsékelt övi Hadley-féle áramlási cella - ciklonok és anticiklonok formájában történik a légtestek közötti energia áramlás.

Konvekciós áramlási cellák a földi köpenyben



1.4.3. A földi hidroszféra áramlási képe

A Földest felszínének több, mint kétharmadát óceán borítja. Ennek átlagos mélysége 5 kilométer. A hőmérsékletkülönbségek, a Föld forgása és a domborzati viszonyok az óceánokban is bonyolult áramlási folyamatokat hoznak létre. Legismertebb ezek közül a Golf áramlat, vannak azonban az éghajlatra is hatást gyakorló tengeri áramlások (El Niño). Alogy haladunk az egyre sűrűbb közegek felé, egyre nagyobb áramlási ciklusidőkkel számolhatunk. A sugárzási övekben egy napkitörés hatása például órák/napok alatt éri a Földet, a magszlégköri hatások (pl. ózonlyuk) heves/hónapos ciklusidőűek, a légköri mozgások ciklicitása a hónapok (évszakok) időleptékébe esnek, az óceáni áramlások is éves ciklusnak. Amint a földest geológiai képződményeikhez érünk ez a ciklusidő millió évekre ugrik.

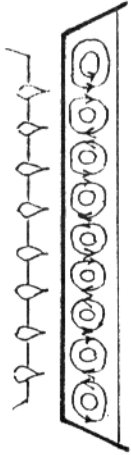
1.4.4. A Földest geológiai áramlási képe: a lemeztectonika

A Földest belsőjéből energia áramlik a felszín felé. Ez az energiáram konvekciós mozgást hoz létre a Föld köpenyében. A Föld felszínén ennek az áramlásnak egy hosszú időn át föl nem ismert képe figyelhető meg: a kontinensek mozgása. A lemeztectonikai elmélet fogta először össze a hegységképződés és a földfelszíni horizontális elmozdulások jelenségeit. A földest litoszféracemezei néhány centiméter/év sebességgel mozognak. A Föld köpenyéből fölfelé áramló anyagok a középcéáni hátságokban jelennek meg a felszín közelében. Az óceánok aljzatának a közeteti mágneses mintázatukkal is örzik keletkezésük utáni mozgásuk rendjét. Az óceáni aljzat közetének e mágneses mintázata a középcéáni hátságokra, mint középcé-onalra nézve tükörszimmetrikus. A mágneses mintázat a pólusváltások idején előjelet váltó földi mágneses pólusirányok váltakozásából áll.

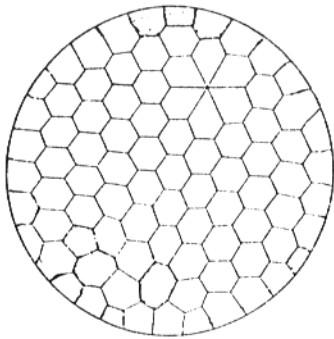
Ha Földünköt gondolhatnánk lehatnánk az óceáni vízréteget, két fontos közetanyagot azonosíthatunk rajta: a tengerfenék *bazaltjai* és a kontinensek granitos átlagoszövetéhez kapcsolódva megjelent *felszíni üledékeket*. Hasonló felbonnással nevezze a Holdat, azon is sötét (ma már tudjuk bazaltos) "tengereteket" és világos (ma már tudjuk: anortozios) felületeket látunk. Észleljük tehát: a két égitest "közös" közet-tartományra a bazalt.

Nemcsak a közetstípusok vizsgálata, hanem a magmás közetek is megmutatják bennünket arra, hogy a közetbolygók között a "közös nevező" a bazalt. Bár a holdi tengeret sötét színűből sokan régebben is sejtették, hogy a síkságokat lenyelve bazaltos közet alkotja, biztosak ebben először a Surveyorok mérések után lehettünk, amit azután Apollo közetminták további részletekkel gazdagítottak, és az addigiakat megerősítették.

Konvekciós cellák kialakulása a felszín felületét szemlélve

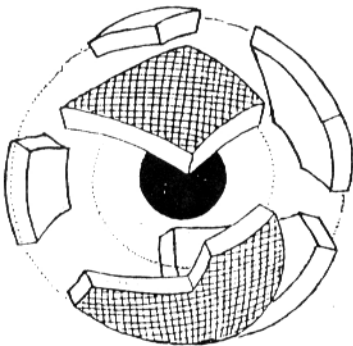
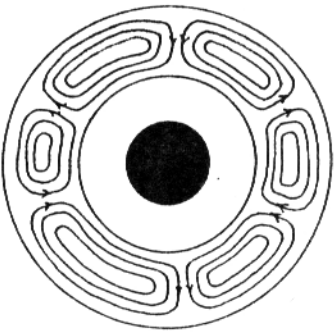


Bénard-instabilitás cellái tálban alsó fűtésre

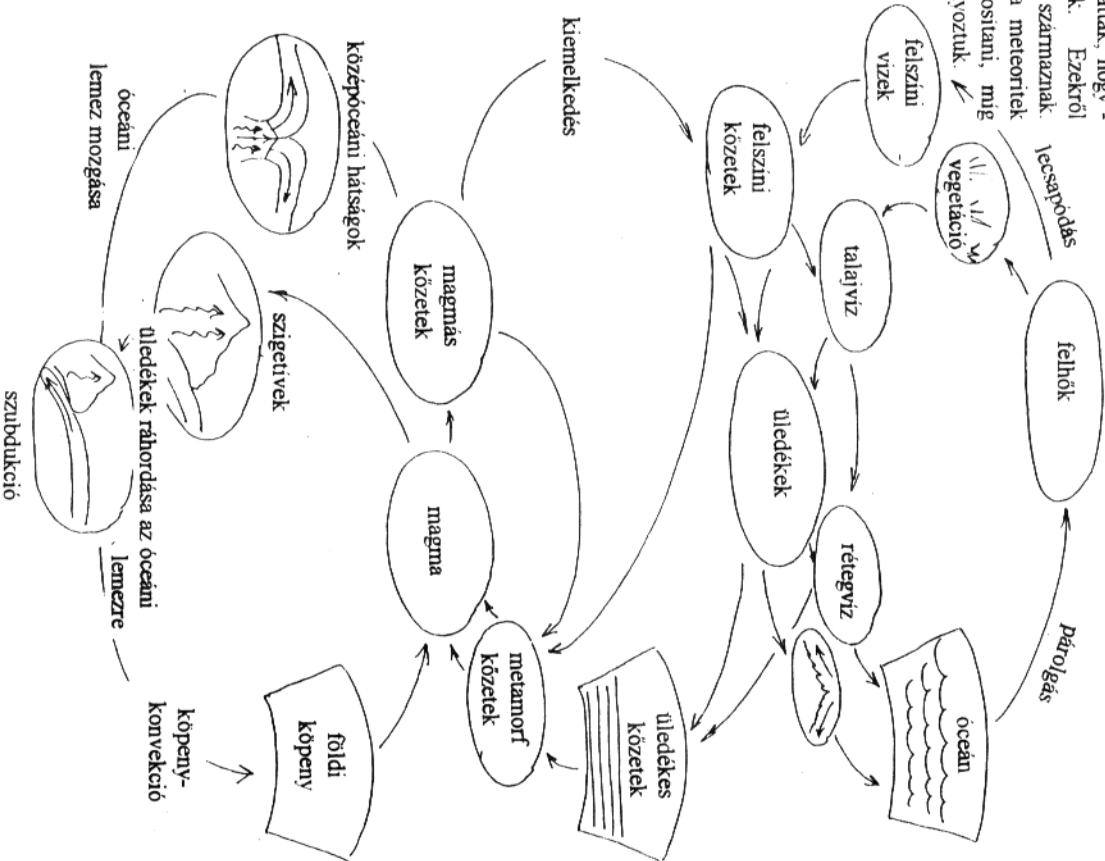


A bazaltok e különleges szerepere a földi kuarásban is csak a 60-as években találtak: a földi felszínre ömlött bazaltok a föld köpenyének parciális olvadáka. A földi köpeny vízszint lenyelveben kondritos összetételű, azzal a különbséggel, hogy belőle a vas kiovdát és a magban gyűlt össze. A kondritos anyag a Naprendszer ősi anyaga, s bizonyos meteoritokban még ma is megőrződött. Ezért minden bolygóesten, így a Holdon is megtalálható a lenyelveben kondritos köpeny. Még néhány száz kilométeres kisbolygón is létre tudott jönni belőle, kiovdással, a bazalt. (Ilyen kisbolygó például a Vesta.) Ilyen és efféle bazaltos meteoritokat a holdközetek előtt is ismertünk. Néhányukról például kimutatták, hogy naprendszeri időben tekintve - fiatalok. Ezekről fellelveztek, később igazolták, hogy a Marsról származnak. Csak a Holdról nem volt még anyagunk, s a meteoritok között sem tudunk addig holdközetet azonosítani, míg magukat az eredeti holdközeteket nem tanulmányoztuk.

Földi köpeny-konvekció mintázata belső fűtés nyomán



1.4.5. A földfelszín anyagai gyűré három nagy áramlási rendszer összekapcsolódásának modellje
 A Föld felszínén a vízkörzés, a felszíni eroziós folyamatok, a közeteket létrehozó geológiai folyamatok és a mélyben zajló magmás folyamatok a lemeztectonika mozgató belső konvekciós áramlással együtt három nagy anyag-körforgási rendszert alkotnak. Ezeket külön-külön gyakran ábrázolják, most kis atlaszunkban egy összekapcsolódó körforgási modelljüket mutatjuk itt be.



2. A GALLIJEI HOLDAK

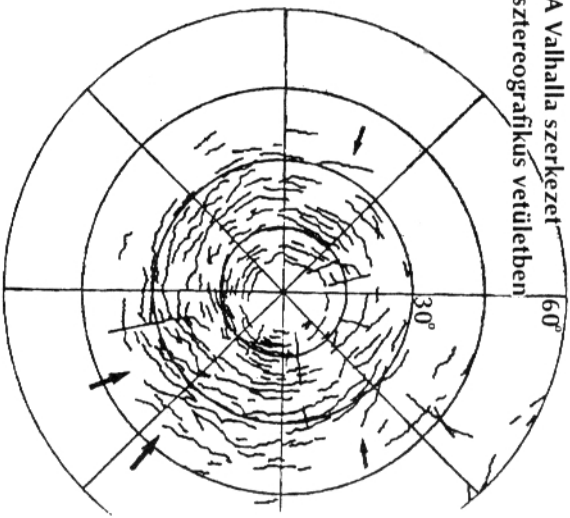
2.1. A CALLISTO

A Callisto sajátos helyzetet tölt be a Naprendszer óriásbolygói között. Sűrűsége $1,86 \text{ g/cm}^3$ körül, tehát anyagának mintegy fejt vízjég, feler közetek alkotják. A holdrendszerben az árapályhó a legfontosabb energiaforrás, mivel a Callisto a legkülső Galilei-hold, a Jupiter árapályhatása az ő fejlődését befolyásolta a legkevésbé. Belsője nem differenciálódott teljesen, de gyengén réteges szerkezetet mutat. Felszíne idős, néhol mégis hiányt szenved az apró, friss kráterekben, néhol pedig fiatal csuszamlás nyomok is láthatók rajta. Jeges felszíne alatt néhányszor 10 km mélyen egy néhány km vastag víz óceán húzódik, amelyet szerény belső energiáinak tartalékolásával és a vastag hőszigetelő jégpáncélal képes fenn tartani. Felszíne a Nagy Meteorombotlás időszakának vége óta csak keveset változott, azaz jól konzerválta az ősi állapotot. A jégholdak felszínfejlődési útjának kezdeti időszakaszát viseli magán. Itt is kialakult a kereg alatt egy víz óceán, ez azonban sokkal vékonyabb, és mélyebben is található, mint két belső társánál. A minimális árapály hatás miatt nem indult meg globális belső differenciáció, amely további fútohatastként is működhetett volna. A kereg nem tört szét blokkokra, és jelentősebb vulkáni aktivitás sem történt. A Callisto a négy Galilei-hold által képviselt fejlődési sor legáltalve több állomását, a kráterkeletkezést mutatja be.

Felszínén szinte kizárólag krátereket találunk. Ezek morfológiája azonban a jég sajátos rheológiája miatt több szempontból is eltér a kőzet égitesteken megfigyelhetőktől. A jég ugyanis alacsony hőmérsékleten is sokkal képlékenyebb, mint például a földfelszínen megszokott kőzetek. A jégből álló kiemelt részek idővel lelapulnak, a mélyedések megemelkednek. Az idős kráterek ezért csak szintük alapján vihetők észre – ezt a forma csoportot nevezzük palimpszesztékeknek.

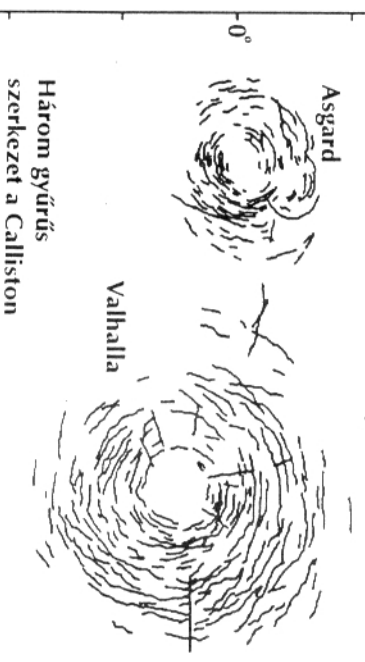
A Callisto nagy krátereinél a külső sáncfalon kívül még sok, a kráterre koncentrikus gyűrűív figyelhető meg. Ezek a szerkezetek a közetbolygókban látható óriási becsapódásos medencékhez hasonlóak, leggyakrabban képviselőjük a Mare Orientale a Holdon. A nagy gyűrűs szerkezetek eredete teljesen még ma sem tisztázott. A mellékelt ábraszorlat kialakulásuk négy lehetséges módját mutatja.

A Valhalla szerkezet sztereografikus vetületben

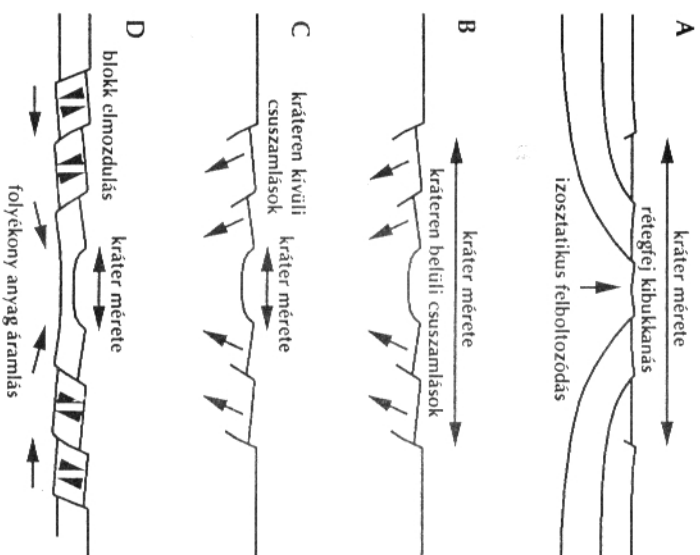


A eset: A koncentrikus szerkezet a kráteren belül van, az izosztatikusan visszaemlekedő aljazaton a rétegfeltek formájában rajzolódik ki. B eset: A koncentrikus szerkezet a kráteren belül van, és a kráter keletkezése utáni belső csuszamlások, valamint a központi csúcsokhoz hasonlóan a becsapódás után "visszarúgó" anyag deformációja hozta létre. C eset: A koncentrikus szerkezetek a kráteren kívül vannak, a környező területen bekövetkezett hatalmas csuszamlások alakították ki. D eset: ez a legvalószínűbb magyarázat a Callistonál. A gyűrűs szerkezetek a kráteren kívül találhatók. A becsapódás helyén támadó anyagáramlás irányába a felszín alatt képlekeny anyag áramlik vissza. Ez blokkokra törté és kissé kimoszította a felültekívő szilárd jégburkolatot, kialakítva a felszíni gyűrűíveket.

Hasonló szerkezetek a Ganymedesen is megfigyelhetők. Az Europa esetében viszont más a helyzet, mivel itt sokkal vékonyabb jégkérreg úszik a képlekeny óceánon. Itt a kis viszkóziású víz áramlása nem okoz blokkokra töredezt. A kráter területén viszont az izosztikus emelkedés sokkal erősebb, és gyorsabb, itt az eredeti mélyedésben találunk gyűrűs szerkezeteket.



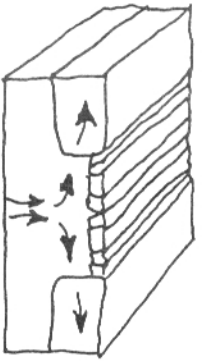
A Valhalla jellegű szerkezetek kialakulási lehetőségei



2.2. A GANYMEDES

2.2.1. Sötét szétörvedezett ősi táblák nagy körkörös becsapódásos szerkezetekkel

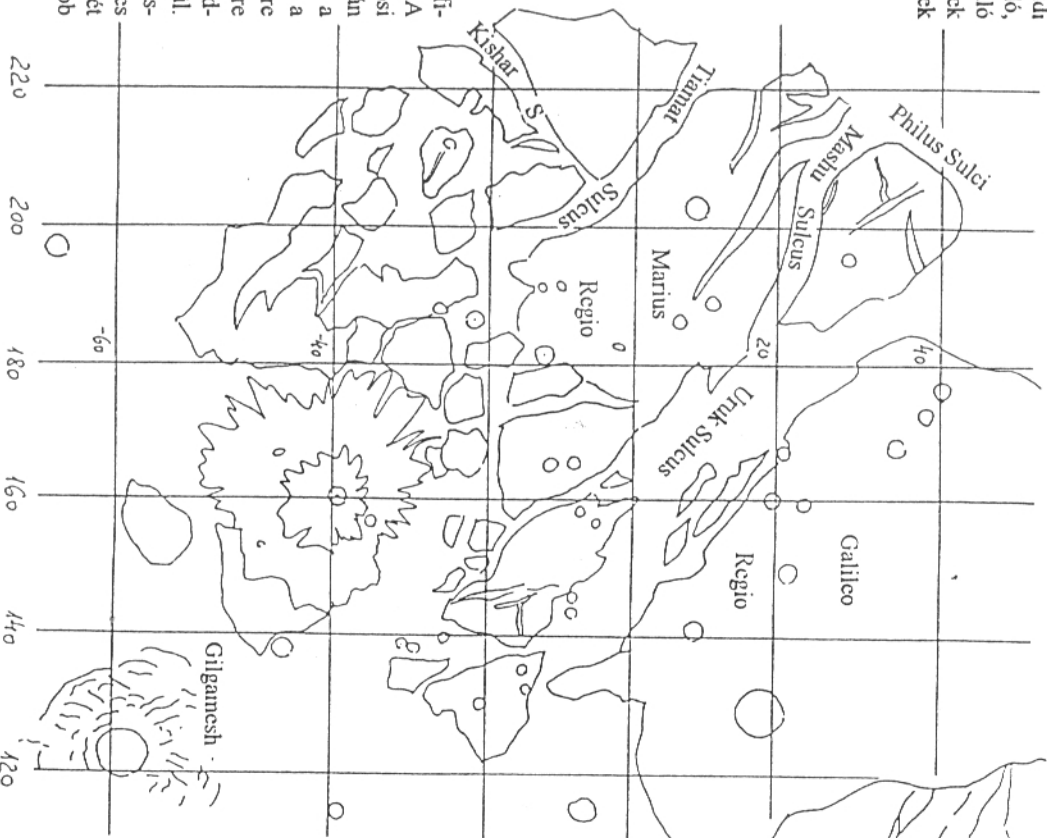
Míg a Callisto felszíne egyszerűen az ősi becsapódások borította időszakot őrzi, a Ganymedész felszíne belső erők hatására részben megújult. Az a folyamat, amely az Európán egész égitestfelszínre kiterjedő megújulást eredményezett, a Ganymedészen csak elkezdődött. A sötét színű ősi táblák törvedezett darabjait párhuzamosan futó árkok és gerincek váltakozásával "szántott" széles sávok választják el egymástól. A sávok a mélyből fölrámlott víztéig tartalmaz anyag nyomait. A párhuzamos hegy és árokrendszer a földi középbőccáin hátságok "sheeted dike" szerkezetéhez hasonló, s eredete is hasonló lehetett: a kinyúló majd bezáruló hasadékokban a mélyből a felszínre nyomuló anyagrétegek szilárdultak meg. Ilyen kialakulási mechanizmust sejtünk az Europa "szántásos" sávrendszeré esetében is.



Az ősi lemezek egykori összetartozását a felszínükön megfigyelhető nagy körkörös mintázat-rendszer is bizonyítja. A legnagyobb sötét táblát Gallierről nevezték el. Ez az ősi felszín darab a Ganymedész Jupiterről elfordult oldalán található. (Mintúta a Hold tulsó oldalán lenne, hiszen a Galilei féle négy Jupiter hold is kötött keringést végez a központi égitest körül.) Olyan ívelt hasadékok rendszerre figyelhető meg rajta, amit az egykor a mélyből a felszínre szivárgott világosabb anyag töltött föl. (Ívelt hasadéktrendszert a Holdon is találunk becsapódásos medencék körül. Ilyenek például a Mare Humorum körüli Campanus-Hippalus hasadékok.) A Galileo táblát az Urak Sulcus széles árkolt-szántásos sávjai választják el a másik nagyobb sötét táblától, a Marius Régiótól. A Galileo táblán lévő kisebb hasadékok nem fejtődtek nagyobb elmozdulásokká.

2.2.2. A palimpszeszték (kismúlt domborzati körkörös medencék)

A Galileo tábla körkörös íveket alkotó hatalmas repedés-rendszer egykor a fél Ganymedész felszínét beborította. Középpontjában lehetett az a mélyedés, amelyhez hasonló kisebb becsapódások nyomán másutt is megfigyelhetünk a Ganymedészen. Az ívelt törések mentén pedig a kéregdarabok kissé elmozdultak, elfordultak. Mára azonban a magasságkülönbségek kiegyenlítődték, ezért nevezzük az ősi körkörös szerkezeteket a Galilei féle Jupiter holdakon palimpszesztéknek. (Az Ion íyének nincsenek.)



A Galileo Régió déli része a rajta megörződött ősi becsapódási körkörös szerkezet ívelt hasadékaival, amiket világosabb színű anyag töltött föl.

2.2.3. A Gilgames medence

A Gilgames medence egy fiatalabb körkörös szerkezet. A központi területen lévő medence régiót belül körkörös kívüli sugaras hasadék- és hegygerinc rendszer veszi körül. A körkörös belső és sugaras külső domborzati mintázatnak a körkörös része az, ami hosszabb ideig fennmarad (Buto Facula, Ganymedész) és ilyenek még az Europa vékonyabb jeges kérgén is megtalálhatók (például a kisebb átmérőjű Callanish Macula). A körkörös medencék a legnagyobb méretű becsapódási alakzatok a Naprendszer szilárd felszíni égitestjein: a Merkúrtól kezdve a Jupiter Galilei holdjaiig mindenütt előfordulnak, kivéve az aktív vulkanizmusú Jót és Vénuszt.

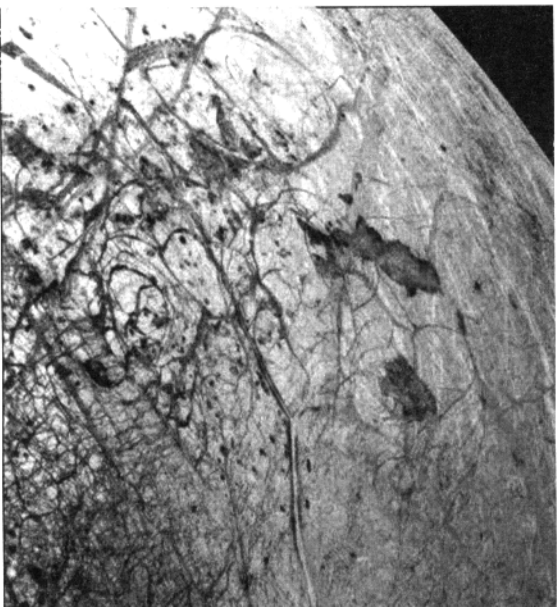
2.3. AZ EUROPA

2.3.1. A Naprendszer legnagyobb óceánja

Az Europa a legaktívabb jupiterhold, amelyik meg tudja tartani eredeti vízmennyiségének nagy részét. Az árapályfűtés nyomán a belső vízmelegítés nagy részét. Az árapályfűtés 80-90%-át valószínűleg folyékony állapotban tudja tartani. Felszínét 4-8 km vastag jégpáncél borítja, ez hőszigetelőként védi az alatta lévő 50-100 km vastag folyékony víz óceánt. (Elvben lehetséges, hogy a fagyott burk alatt is szilárd jég van, de a megfigyelések túlnyomó része folyékony vízre utal.) Az óceán alatt következik a hold "második" felszíne, a szilikátos óceánfenék. Az Europa belsőjéből kiáramló hő, vulkáni aktivitás folyamatosan energiát pumpál az óceánba, és így melegsik az a folyékony állapotban tartani. A réteges belső szerkezet nyomán három határfelület van a kőzetburk felett: a kőzet/víz, a víz/jég határ és a jégpáncél teteje. Mindhárom helyen aktív és egyedi felszínalakító folyamatokat várhatunk.

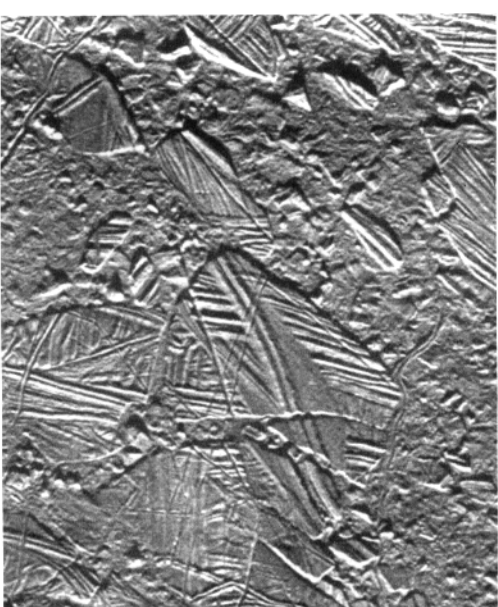
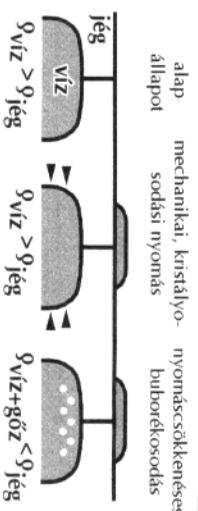
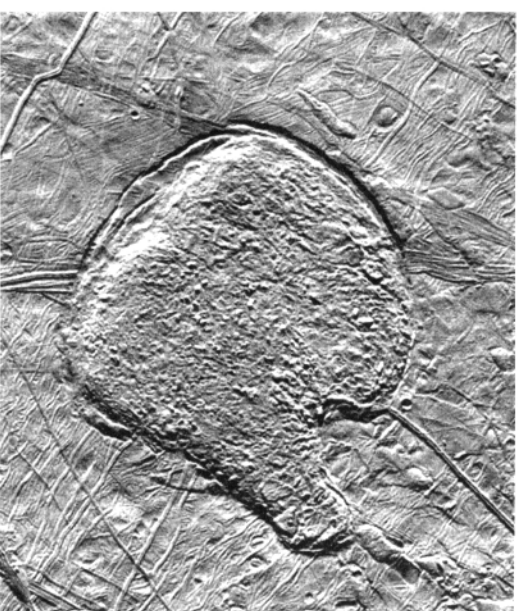
2.3.2. Kriovulkanizmus

Az Európán a kőzetburk tetején szilikátos, a jég felszínén kriovulkanizmus jellemző. A kriovulkanizmus sajátosága, hogy a folyékony víz (hidromagma) sűrűsége nagyobb a szilárd jégénél. Ezért a felszínre jutást a környezetből vagy a kristálynövekedéstől származó mechanikai nyomásnak, és/vagy buborékosodáskor előálló sűrűségcsökkenésnek kell elősegítenie. A jég vulkániokból nem épülnek fel nagy tűzhányók az Európán, akár csak a többi jégholdon lapos

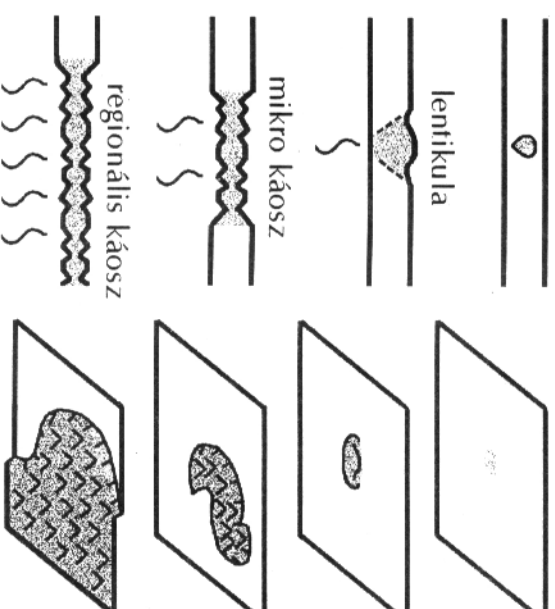


lávassíkságok, és lávaplecsnik jellemzők.

Az Europa jége nem teljesen tiszta. Elsősorban a vulkániilag aktív területeken látszanak az óceánból származó sötét szennyezőanyagok. A földi sarki jégterületek vizsgálata rámutatott, hogy a jégben gyakran vannak különböző méretű víz zárványok. A morfológiai jelek arra utalnak, hogy ez az Európánál is így lehet. Az óceánból hidromagma cseppek juthatnak a jégbe fűtés, töréses elmozdulások vagy helyi olvadásoz-fagyásos folyamatok révén. A magasabb hőáram, a környezettől eltérő sótartalmú és olvadáspontú területeken instabil zónák keletkezhetnek, és itt a jég megfolyósodik, összeomlik. A kisebb hidromagma cseppek csak sötét foltként láthatók, ha a felszín közelében vannak. Az alulról érkező hőáram növekedésével előbb domszerű lentikulák, később néhány km-es mikrokáoszok, végül kiterjedt regionális káosz területek keletkeznek, ahol az összeomlás után vékonyabb jégmátrixba ágyazva marad meg a korábbi felszín néhány töredéke.



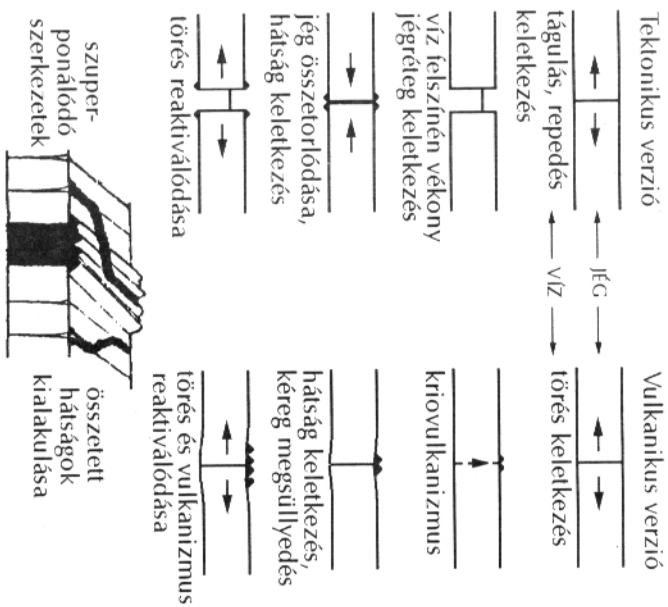
A káoszterületek eloszlása és színe az óceán aljzatán lévő "hőközpontok" elhelyezkedésére, a vízben lévő oldott anyagok jellegére utal. A tektonikus szerkezetük pedig az elmozdulás, a felszüléstéger, valamint az aktivitás előtti helyzet rekonstrukciójában nyújtanak segítséget.



2.3.3. Jég tektonika

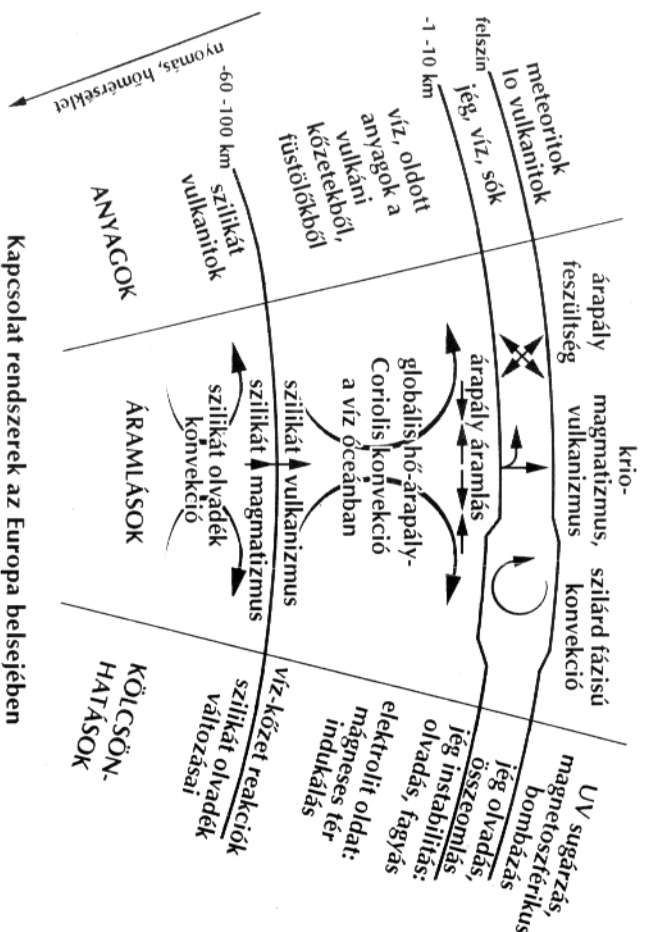
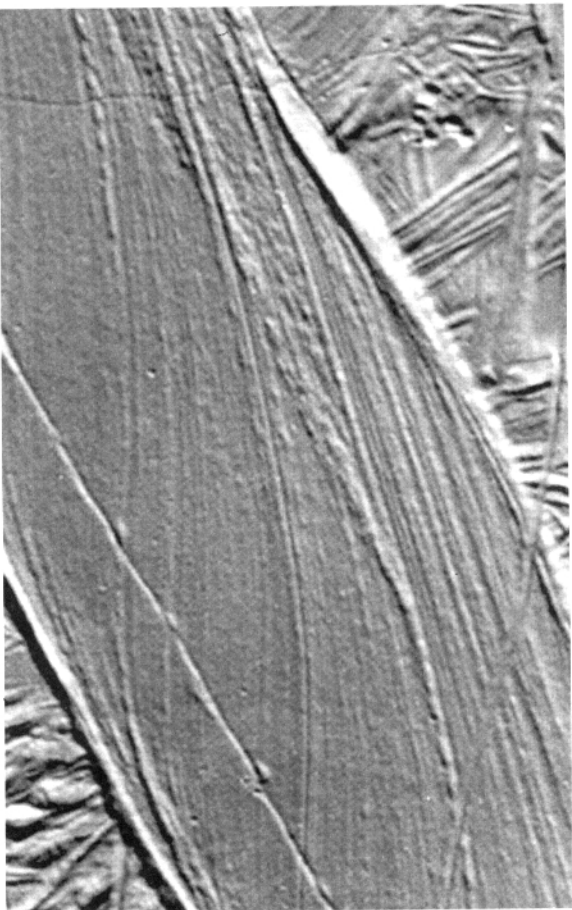
A jég plasztikusabb, mint a Földön megszokott kőzetek felszíni viszonyok között. Deformációját erősen befolyásolja a jégréteg vastagsága. A jelenlegi jégvastagság a töréses folyamatioknak kedvez, de néhány felszínforma elképzélhető, hogy a jelenleginél nagyobb jégvastagságnál keletkezett. Ekkor a törések helyett a plasztikusabb deformáció dominált, és a jégben szilárd fázisú konvekció zajlott. Ebben az időben talán a gyengébb belső hőterhelés miatt vastagodott meg a jég. Legáltalában ilyen fontos, hogy a jégpáncél a jelek alapján egy víz óceánon úszik, ami erősen növeli a mobilitását. Emellett az erős árapálytól az óceán vize is aramlék, ami emelini, süllyeszteni próbálja a rajta fekvő jégréteget. A jégben emiatt számtalan törés figyelhető meg, amelyeknél tárgyalásos és oldalirányú elmozdulásos szerkezetek is láthatók. Az Európa, akárcsak a többi Galilei-hold, közel kötött tengelyforgással rendelkezik. A valóságban azonban a holdak pályája nem tökéletes kör alakú, ezért a Jupiter dagálykúpja kis mértékben eltolódik a felszínükön. Részben ezzel összefüggésben olyan felharmonikus árapályhullámok is megjelenhetnek, amelyek kis mértékben a kötött tengelyforgás ellen hatnak. Mindezen hatások következtében a jégpáncél könnyen elfordul az óceán tetején. A tektonikus és vulkanikus folyamatok révén pedig változik a jégréteg tömegeloszlása, ami az egyensúlyi helyzet kialakulása ellen hat, folyamatos munkát adva az árapálynak és a gravitációnak.

Hátságok keletkezése az Európán



2.3.4. Az aktív hold

Az Európán tehát jelentős felszínátalakulást eredményeznek az árapály energiából táplálkozó folyamatok. A jól elkülönülő víz-jég-kőzet szférákban kiterjedt áramlási rendszerek léteznek. Ezek a folyékony vizes környezetben jelentős kémiai átalakulást, anyagvándorlást okoznak a felszíntől lefelé, legáltalában az óceán feneké alatti 2-4 km-es mélységig. A határfelületeken megjelenő dinamikus egyensúlyi környezet, a fiatal jégfelszín, az óceánban indukálódó mágneses tér, és az anyagkörforgás tehát folyamatosan változó viszonyokat hoznak létre. Mindezek alapján elképzélhető, hogy az Európa felszíne alatt akár valamilyen életforma létezhet. A földihez hasonló élet kialakulásához a szakemberek szerint alapvetően energiatörés, változatos kémiai környezet, a reakciókra, átalakulásokra lehetőséget teremtő folyékony víz, valamint idő szükséges. Az Európánál ezek a feltételezések alapján nem hiányoznak - egyetlen probléma az idő tényezővel lehet, azt ugyanis nem tudni, hogy az árapályhó fűtőre óceán mennyire stabil hosszú távon. Érdekes analógiaként említhető, hogy az óceán fenékén lévő vulkánok, hófórtások környezete hasonlít a földi óceánközépi hátságok zónáira, ahol sajátos életközösségek találhatók.



Kapcsolat rendszerek az Európa belsejében

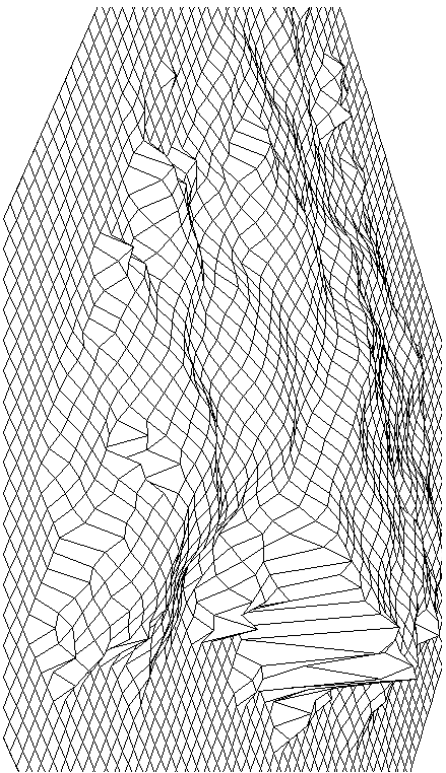
2.4. AZ IO

2.4.1. A vulkánok otthona

Az Io Naprendszerünk legfiatalabb felszínű és geológiailag legaktívabb égitestje. Folyamatosan látható rajta, hogy hogyan került ki mélyéből az anyag - vulkánok útján - és hogyan váltik a szilárd kéreg részévé. Ezt a folyamatot felszínújraalképződésnek nevezzük, mert ilyenkor új anyagot borítja be a felszín. Mitől ilyen fiatal a Jupiter legbelső holdjának felszíne és mitől ilyen erőteljes a vulkáni aktivitás rajta, mikor a legtöbbször - vele egy időben keletkezett - bolygó rádióaktív fűtőanyagának lassú elbomlása miatt „hűtőben” van?

2.4.2. Árapály-erők

A bolygókutatók történetének nem sok olyan felfedezése van, melyet, pusztán számítások segítségével, már azelőtt megfiosoltak, mielőtt a bizonyítékok megpillanthatók volnának. Egy ilyen az Uránusz felfedezése volt (Le Verrier a már ismert bolygók pályái alapján számította ki, hogy hol kell lennie az őket háborgató ismeretlennek), egy másik pedig az Io vulkánosságának előrejelzése volt, pár hónappal a Voyager utijárta előtt (Peale et al, 1979). A kúrák fő erve az volt, hogy a Jupiter és az Io-val rezonáns pályán keringő közeli Galilei-holdak gravitációs, árapálykeltő hatása állandóan forrón tartja az Io belsőt; a hő pedig vulkánkitörések formájában tud csak távozni mélyéből. Miközben a kúris holdak le akarják húzni a körpályáról az Iót, a Jupiter visszarángatja, és ez a húzásokodás hőt termel a belsőben: a képlekeny közétanyag folyamatosan a kéreghez sűrűdik. Az így termelődő plusz hő tartja aktívan az Iót.



Név nélküli hegy számítógépes domborzati modellje (Koordinátái: 14 fok déli szélesség, 15 fok hosszúság; mérete: 85x100 km)

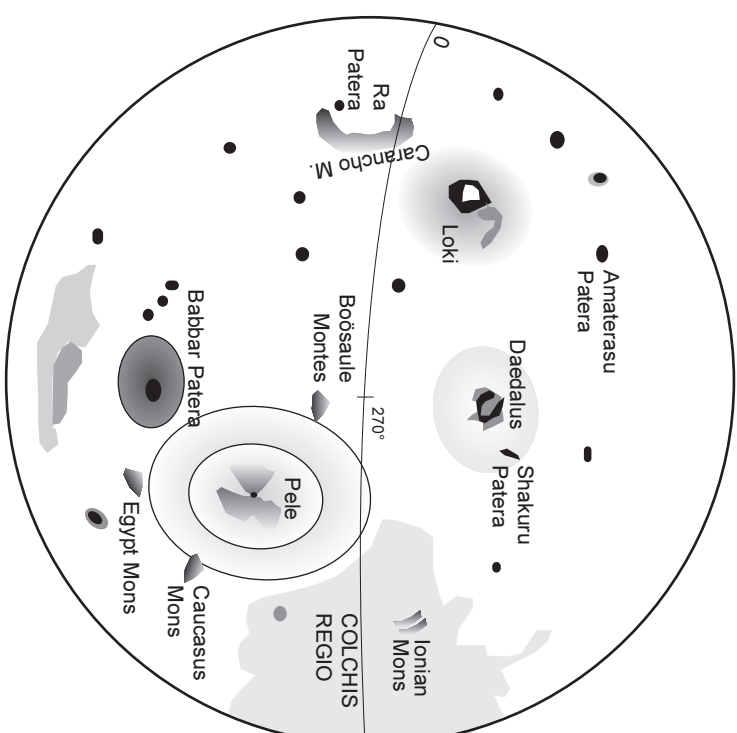
2.4.3. Felszínújraalképződés

A felszínen most látható lávaanyagok kora kb. 1 millió év lehet - ennél idősebbeknek csak a véletlenszerűen kibukkanó hegyek anyagát tartják. A teljes felszín ilyen fiatalágát nem csak a szemünk láttára megfigyelhető kitörések és lávafolyások bizonyítják, hanem - és elsősorban - az, hogy egyetlen becsapódásos kráter sem látható az Ión (vulkáni viszont annál több). Az Io valószínűleg a többi Galilei-holddal egyidejűleg keletkezett, és őt is ugyanannyi becsapódás érte, mint a többieket. Ezeket a krátereket azonban már régés régén elfedték a lávafolyások, vulkánkitörések. Vagy nem is régés régén? Igazából nem tudjuk, nem tudhatjuk, amíg nem lesz egy rétegorunk a felszínről. Egyes elméletek szerint (Keszthelyi, McEwen, 1997) az Io vulkanizmusa „pulzai”: egy ideig a felszín nyugodt, de közben a mélyben lassan egyre „melegebb lesz”: ha elég hő gyülemlett fel, a hő hirtelen kiszabadul a kéreg alól. Ezt a fázist „katasztrófikus felszínújraalképződésnek” nevezzük. Ilyenkor a bolygó belseje „kifordul”, és globális magmaóceán jön létre a felszínen vagy/és alatta. Ha kráterszámítással megvizsgáljuk a Vénusz felszínét, kiderül, hogy annak kora kb. 0,5-1 milliárd év - vagyis ennyi idővel ezelőtt ott is az egész bolygón törölődtek a korábbi kráterek, akár csak ma az Ión. Hogy korábban hányszor került sor ilyen globális felszínújraalképződésre, nem tudjuk.

2.4.4. Az Io lávái

Sokáig arra gondoltak, hogy az Io vulkánainak lávaanyaga nem szilikát, mint a Földön, hanem kén. A meredek kalderaperemeket és hegyoldalakat látva ezt az elméletet elvetették: a puha kén nem bírná megtartani ezeket. A kénnek van szerepe a vulkanizmusban (ez adja a hold sárgás színét is), de a szilikáté fontosabb. A legújabb mérésekből megállapították, hogy a lávák hőmérséklete 1800 K fok, azaz a legforróbb földi bazaltlávaknál (1300-1500 K) is forróbb (a riolitláva a Földön csak 900-1100 K forró). A Föld belsőjében egyre kevesebb rádióaktív eredetű hő termelődik, így története korábbi szakaszában a lávák is forróbbak voltak (és a vulkáni aktivitás is erőteljesebb volt). Így lehet, hogy a Föld felszíne kialakulásakor hasonlóan nézett ki, mint ma az Io. Az Ión a földi hawaii-típusú bazaltos vulkánossághoz hasonló lávaszökőkutakat figyeltek meg: és messzire jutó, tehát híg lávafolyásokat is.

2.4.5. Az Io vulkánjai

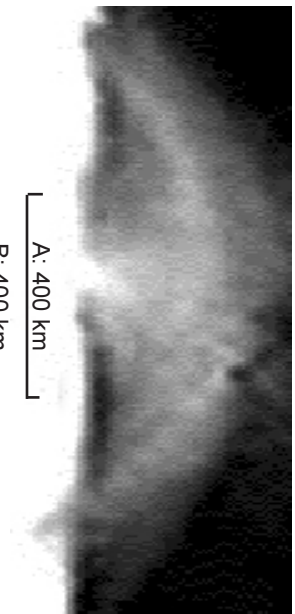


Az Io vulkánjai - híg lávájuk miatt - viszonylag kis magasságú, kis lejtésszögű kiemelkedések; annyira azért kiemelkednek környezetükből, hogy a kiáramló láva lefelé messze el tudjon folyni. A lapos vulkáni kiemelkedések közepén mindig benyüvedést találunk: kalderákat.

2.4.6. Az Io hegyei

A földi hegyek általában tledekkel lassú felgyűrődésével keletkeznek. A holdi hegyek nagy becsapódásokkor keletkezett kráterek kráterperemén felhalmozódó törmelékei. Az Io hegyei valószínűleg a kéreg egy-egy, az asztenoszférában „úszó” harabjának, blokkjának törévonalaik mentén meredeken felszíne bukkanó, megdőlt részei. A hegyek sokszor barázdáltak, ami azt mutatja, hogy réteges szerkezetűek: elképzélhető, a rétegek a régi felszín egy másra rakódott lávafolyás-rétegi. A legmagasabb hegy 16 km magas.

A kéreg anyagának lassú mélybe süllyedésével



Eseményöszterűen szétterülő kítőrésfelhő (A: Pelé-típusú vulkánosság esetén, B: Prometheus-típus esetén (A képen a Prometheus kítőrésfelhője)

A kőreg anyagának lassú mélybe süllyedésével kompressziós erők lépnek fel. A hirtelen felszínre törő forró láva a hívősebb kőreg anyagát hirtelen felmelegíti; a felhevült kőreg anyaga kitágul. Ez a két jelenség együttesen meggengíti és véletlenszerű helyeken (kaotikusan) feltördeli a kőget. A feszültségek miatt keletkezett törésvonalak között a kompressziós erők a felszínre emelik a hegyek anyagát, míg a környező kőreg - hátán a friss lávatarakókkal - folyamatosan süllyed tovább. A forró lávák hője és a kompressziós erőhatások így hozzák létre az Io hegyeit.

2.4.7. Rétegzett síkságok

A felszínen sokfelé találunk olyan, 1 km-nél alacsonyabb platókat, fennsíkokat, amelyeket meredek perem (réteglépcső) határol. Lehetőséges, hogy ezek egy korábbi felszín szintjét őrzik tanúhegyként. Peremüknel folyamatosan „fogyaszta” őket valamilyen eróziós folyamatt. Ezeknek a rétegzett síkságoknak az anyaga lehet, hogy valamilyen egyengén összeállt (kítőrésfelhőből visszahullt) tufa. Az sem kizárt, hogy úgy keletkeznek, hogy egy törésvonal mentén a kőreg egy része felszínre emelkedik.

2.4.8. Kítőrészek

Egy-egy nagy kítőrés hónapokig is folyamatosan tart, mely idő alatt eseményöszterűen szétterülő kítőrés felhő lövell a magasba, mely nek anyaga – a légkör/szél hiánya miatt – szabályos kör/ellipszis alakban hull vissza a felszínre. Ezek a kítőrészek nagyon gazdagok illóanyagokban. (A fellökődés sebessége 1 km/s; max. magassága 50-300 km; míg a Földön 200-600 m/s sebessen 10-40 km magásra jutnak). Miután min-

den magma elhagyta a magmakamrát, az beomlik és kalderekkat hoz így létre. Ezek az Ion 30-150 km átmérőjűek, a Földön a legnagyobbak 20-25 km-esek. Az Io sok kalderejét tölti félig-meddig ki sötét anyag, valószínűleg lávató.

2.4.9. Tömegmozgások

Az Io némely hegyének lábát kisebb-nagyobb, csuszamlásos eredetű törmeléktaaró fedi. A hegy csuszamlás során egy olyan közértéteg csúszik le, mely valamilyen szempontból (közéminőség vagy keletkezés ideje) elvállik az alatta levőől, mely csúszófelületként szolgál. Az egyik legutóbbt tanulmányozott hegy az Euboea Montes, melynek éles gerince van és lábánál hatalmas törmeléktaaró fekszik. az Euboea Montest körbevevő rétegzett síkságok már a hegy keletkezése előtt is itt voltak; később a hegy felnyomulásával a hegy anyagának legfelső réteget alkották; és ez a réteg csúszott le (Schenk, 1998).

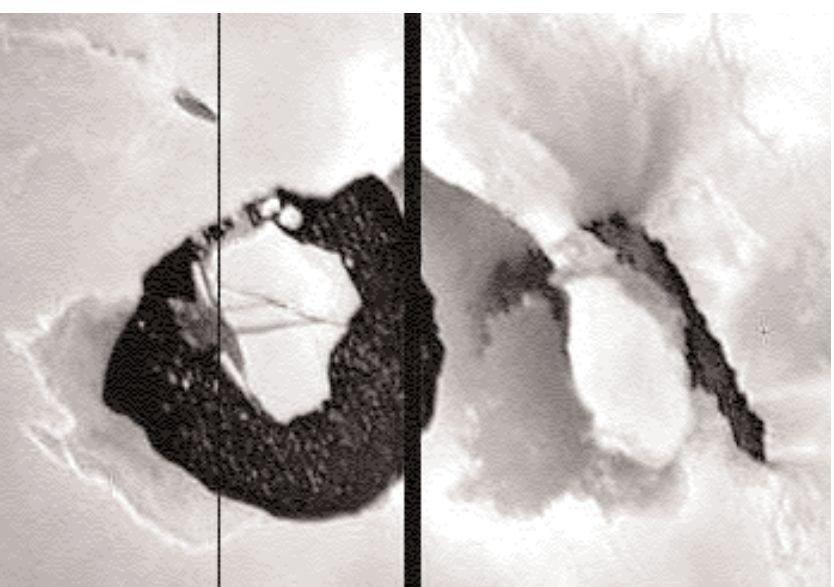
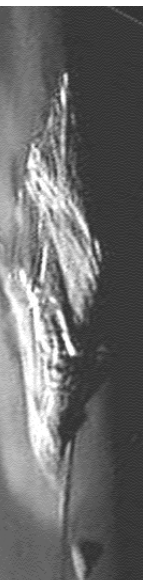
2.4.10 Főbb alakzatok

Az Io híres vulkánjainak egyike a Pillan Patara, mely 1997-ben keletkezett A Thvasar Catena kalderejének szélén aktív lávafolyást és lávaszökőkutat fényképezett le a Galileo űrszonda. A legjobban leirt lávafolyások a Ra Patarából indulnak ki.

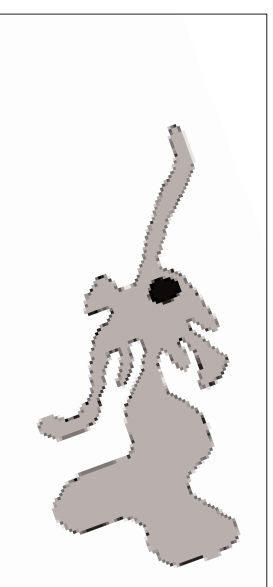
Az Io felszínének fő egysegei: *tektonikus eredetűek*: hegyek (100 db, kőztük gerincek, csúcsok, fennsíkok), rétegzett síkságok; *vulkáni eredetűek*: vulkáni központok (kb. 400 db, kaldera, valamint 1 kisebb kúp, 2 tholus (palacsintavulkán), vulkáni síkságok, lávamezők, lávafolyások (ujjszerűek, lebernyesek, és néhány hosszan elnyúló, részvulkáni eredetű), aktív vulkánok.

2.4.11 Térképezés

Az Io felszínre folyamatosan változik. Újabb lávafolyások keletkeznek, vulkánok törnek ki, törmeléktaaróval borítják be környezetüket. Az Ióról térképet ezért nem könnyű készíteni: a lávamezők lassan megváltozó színű anyaga finom, lassan színátvalalattal megy át egymásba, a ténapi pontos térkép pedig ma már elavult lesz: újabb vulkánok keletkeznek.



A Loki patara a legnagyobb kaldera és egyben lávató. Jól láthatók az egymásra rakódott lávafolyások. A lávató közepén valószínűleg az épp megszilárduló, felhapedezett „szilikát-égtáblák” láthatók. A képen fenn egy részvulkáni lávató; tőle balra pedig a korábban kítőrésfelhőben kiabott anyag visszahullt törmelékes, sötétebb anyaga.



Lávafolyás központi kaldereával az Io geológiai térképéről

3. KIS ÉGITESTEK

3.1. KISBOLYGÓK ÉS KIS HOLDAK

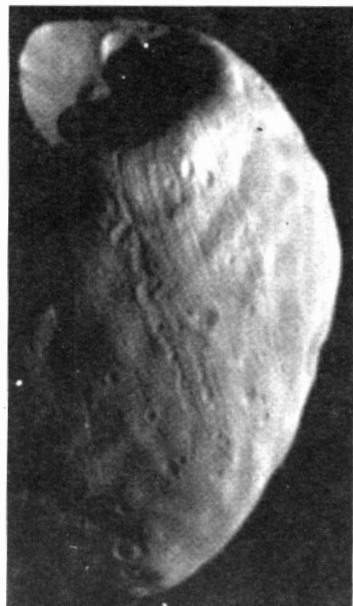
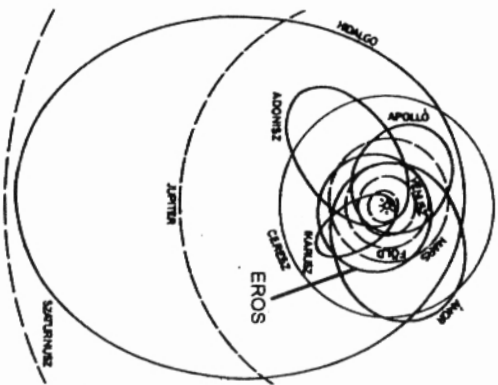
A Naprendszer elemeinek számbavételkor gyakran csak egy szó jut arra a több 100 ezer darab égitestre, amelyek átmenetet képeznek a bolygók és holdjaink, valamint a bolygóközi törmelékanyag apró darabjai között: a kisbolygókra. Pedig tanulmányozásuk izgalmas, mert a bolygókészlet keletkezésének korai időszakából maradtak vissza, szinte változatlanul őrizve azok ősi anyagát.

3.1.1. A szerelem bolygója

A legalaposabban az Eros nevű kisbolygót ismerjük, a NEAR-Shoemaker űrszonda vizsgálatának köszönhetően. Az Eros a földszülő kisbolygók közé tartozik, Földtől számított 240 millió km-es közelsége miatt.

Az űrszonda egy évig keringett az aszteroida körül, végül pedig „leszállt” a felszínre – amely műveletet egyesek inkább becsapódásként emlegetik. Mindenesetre, megmérte az égitest legfontosabb adatait: amerikai mogyoróra emlékeztető alakját, 33 x 13 x 13 km-es méretét és 5 óra 17 perces forgásiidejét is.

Az igen kis összetartelű, légkör nélküli, kráterekkel borított idős felszín képe meglepően változatos. A nyugati féltekén található az égitest legnagyobb kráttere, az 5,3 km átmérőjű, kb. 1 km mély Psyche. A keleti félteke különlegessége az a Himerosnak nevezett, nyeregszerű bemélyedéses forma, amelynek legnagyobb mérete közel 10 km, mélysége pedig 1,5 km körüli, s tulajdonképpen ez okozza a kisbolygó „mogyoró-alakját”. Alacsony kráterűrűsége miatt úgy tűnik,



hogy kialakulása jóval a kisbolygó létrejötte után zajlott le, valószínűleg valamilyen csuszamlási folyamat formájában.

3.1.2. Barzsdák mindenhol

A legnagyobb formát azonban egy barzsdahálózat képezi, amelyet Rahe Dorsumnak neveztek el. Szinte körbeülja az egész kisbolygót, mindig ugyanazon képzetelbeli sík vonalában jelenve meg a felszínen. Mivel a barzsdák számos felszíni formát ábrásznak, a geológia törvényei alapján előbbiek egyértelműen a „felült” formák után képződtek.

A felszínt szabdaló hosszúságú mélyedések több más aszteroidán illetve kis holdon is megfigyelhetők, például a Mars Phobosz nevű kísérőjén. Ezen a gravitációsan befogott egykori kisbolygón a barzsdák hálózata érdekes mintázatokba rendeződik. A legmélyebb és legnagyobb formák a Stickney-kráterből indulnak ki sugárirányba, kapcsolatot jelezve a kráter képződésével. A számtalok szerint majdnem végzetes Stickney-becsapódás nyomát emellett gérnevonalatok is jelzik, amelyek koncentrikusan veszik körül a sebhelyt és minden bizonnyal a becsapódás keltette mechanikai lökeshullám hatására alakultak ki.



A Phobosz vonalás alakzatainak térképe

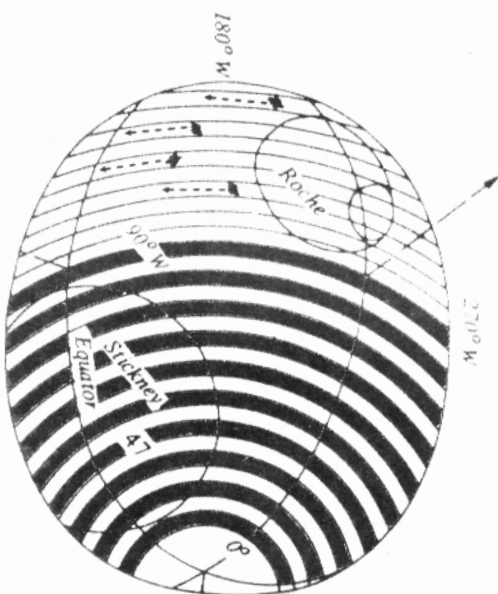
Ám egy ettől teljesen eltérő irányú barzsdarendszer is látható a felszínen, amely mintha az Egyenlítőre merőleges helyzetű, egymás mellett álló síkok felszíni megjelenése lenne. Másként fogalmazva úgy tűnik, mintha a hold szeletekből állna, amelyek legvalószínűbb magyarázata, hogy globális rétegzettség jellemzi. Ezt azok a kráterek is megerősítik, amelyek oldalfalain eltérő színmintázatú sávok formájában jelennek meg a feltételezett rétegek.

Hasonló függőlegesen váltakozó zónák tűnnek elő az Eros kráterinek oldalában, illetve a Himeros falain egyaránt. A zavaró arányhatások kiküszöbölése után úgy tűnik, hogy valódi albedo-különbségek figyelhetők meg, amely a rétegek minőség/összetételbeli eltéréseire utal.

A számos kidolgozott elmélet egyike szerint a magyarázat nem ezen kis égitestek fejlődéstörténetében keresendő. A rétegek kialakulásához ugyanis olyan geológiai folyamatok működése szükséges, amelyekhez ekkora testek nem rendelkeznek elég hőforrással. Nem lehetetlen azonban, hogy egyes kisbolygók a múltban egy nagyobb égitest részét képezték, ahol működhetett a rétegeket kialakító mechanizmusok. Am később ez a rejtélyes égitest valószínűleg felrobbant, s darabjai szétszóródtak kozmikus környezetben, szerkezetükben őrizve szülőjük emlékét.

A Phobosz esetére vonatkozó kissé szokatlanabb elgondolás, hogy a barzsdákat tulajdonképpen azok a felszíni érkező és ott végiggördülő sziklatömbök vájták ki, amelyekkel a keringési síkjában haladva találkozott szembe az égitest.

Észak



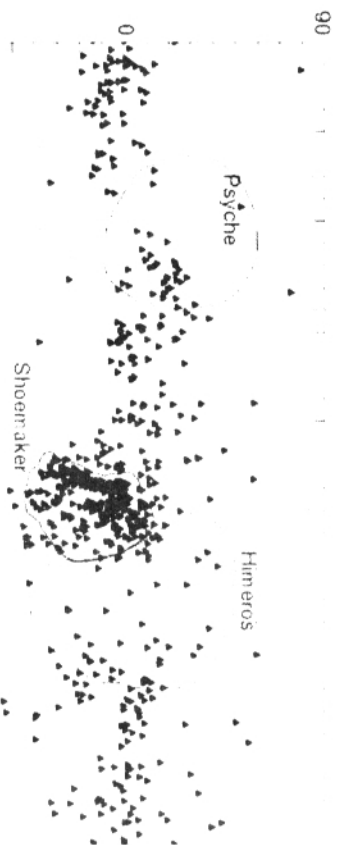
A felszín képét látva, illetve a Phobosz sűrűségének ismeretében nem lehetetlen, hogy a hold mélyén is hosszú járatok összetett rendszere alakult ki, barlangtermék és folyosók százaival. Ha tényleg ilyenek találjuk majd, biztonságosan zárt bázissá válhat a Marsot vizsgáló űreszközök számára, valamint látható lesz oman a marsfelkelte és -lemente is.

3.1.3. Kőzetsemmesék és sziklatömbök

A kisbolygókat ugyanis finom szemcsés regolit-törmelék borítja, hasonlóan a holdporhoz. Az Eros-on különös módon azonban hatalmas, több tíz méteres sziklagörmöttegek is sűrűn láthatók a felszínen. Rejtélyes kérdés, hogy miként kerültek oda, valamint az is, hogy miért nem aprózódnak már törmeléké?

Itt nem valószínű, hogy felszínbe csapódott testektől, vagy a becsapódások során kirobbant majd visszahullott daraboktól van szó, mert ebben az esetben a megfigyeléssel sokkal több szikla körül lenne koncentrikus forma, illetve a tömbök elhelyezkedése illeszkedne a forráskráterek eloszlásához.

Lehetséges, hogy a válaszok az apró égitestek belső szerkezetében keresendők. Ez ugyanis vagy törédezett, de mégis tömbszerű és szilárd, vagy másik végletként nem több, mint egy laza, gravitáció által együtt tartott „törmelék-aggregátum” – aszerint, hogy a testet milyen intenzív bomlás és ezzel járó összetörédes érte története folyamán. Az Eros belső része a két végétel közötti, így a rázkódások hatására a regolit-semmesék behullannak a töredezett belső rész apró hasadékaiba, a méreteisebb darabok pedig a felszínen maradnak. Sőt, hasonlóan egy eltérő méretű szemcsékből álló keverék rázogatólásához, miáltal a kis szemcsék lefelé haladnak.

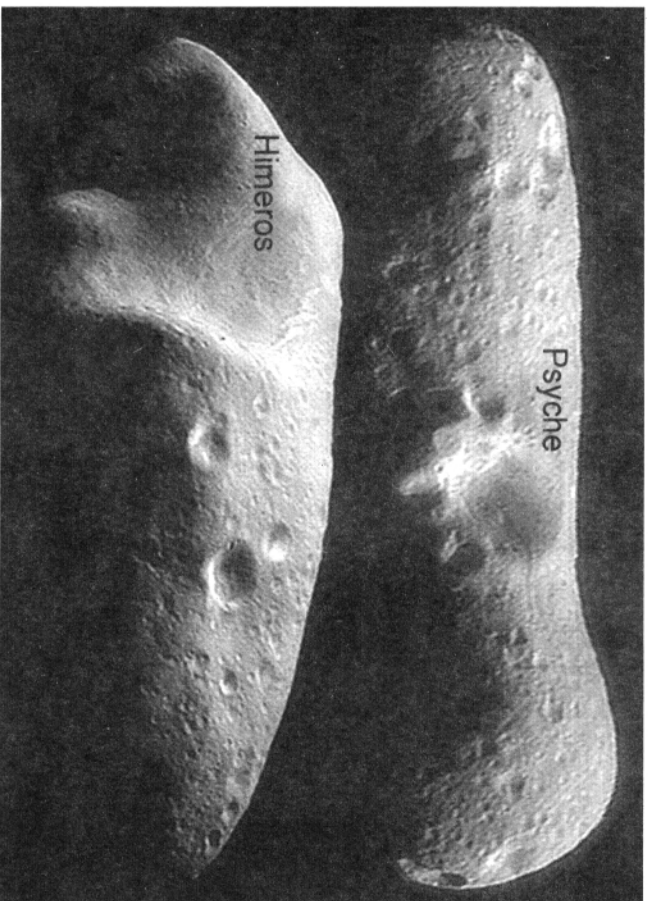


a 30 m-nél nagyobb sziklatömbök az Eros-on



b a Shoemaker-becsapódásból származó sziklaeloszlás

Hosszúság



a nagyobbak tulajdonképpen felfelé mozdulnak s idővel a keverék tetéjére kerülnek. A sziklatömbök tehát a kisbolygó mélyéből érkeznek a felszínre, aprózódásuk során újratemmelik a regolithot, s a cirkuláció így folytatódik tovább.

Másrészt, a rázkódások indokoltjak a könnyen mozduló regolit globálisan egyéges eloszlását és a kis kráterek erosi viszonylagos hiányát is, mivel utóbbiak lassan betemetődnek.

3.1.4. A gyűrűk parányjai

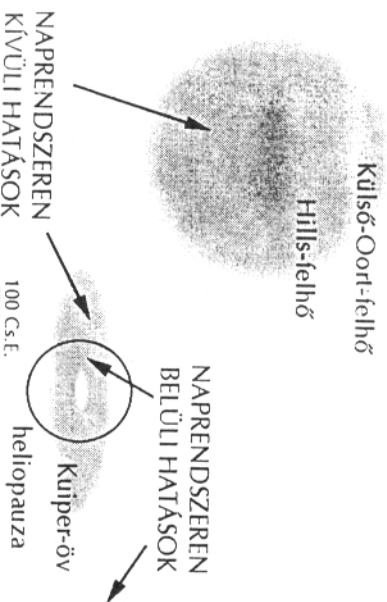
Végül, érdemes belegondolni, hogy sokkal kisebb méretben megismétlődik a törmelék-övezet: a külső gázóriások körül is van egy zóna, amelyben a holdaknál kisebb (és jég-) darabok keringenek egyedi pályákon, gyűrűket formálva. A legszebb példaként természetesen a Szaturnusz említhető. A gyűrűk darabjait részletesen még nem vizsgáltuk, ám bizonyára érdekes meglepetésekkel szolgálnak majd.

3.2. TÁVOLI JEGES KIS ÉGÍTETEK

3.2.1. Üstökösök és társai

Az utolsó nagybolygó, a Neptunusz pályája jelöli ki az üstökösfelhők belső határait, amelyben a cimben említett jeges égitestek találhatóak. Innen mintegy 100-200 ezer Cs.E. naptavolságra húzódik a Naprendszer térfogatának legnagyobb részét, tömegének azonban csak töredékét kitevő égitest zóna. Az itt található néhány 1000 milliárd objektum összátolmaga nagyságrendileg néhány földtömeg lehet. A térség sajátossága, hogy anyaga részben helyben keletkezett, részben a nagybolygók térségéből vándorolt ide. Az itt keringő objektumokat többnyire üstökösöknek nevezzük, bár etelen nines összhang a szakemberek között. A Naprendszer keletkezésének idejéből számos olyan bolygócsíra maradt meg, amely nem épült be a nagybolygók anyagába. Két zónát találhatunk, ahol ezek maig nagy számban fennmaradtak. Az egyik a Mars és a Jupiter közötti fő-kisbolygóöv, a másik a Neptunuszon túli üstökösfelhők régiója. Mindezeket legegyszerűbben apró égitestekként foglalhatjuk össze. A hagyományos kisbolygó/üstökösömg felosztás alapja az összetétel: míg a kisbolygók nagyvob sűrűségű kőzetekből állnak, addig az üstökösök főként kis sűrűségű fagyott gázokból, amelyeket sokkal kevesebb kőzetanyag "szennyez". A valóság azonban ennél bonyolultabb. Az üstökösök idővel illóanyaguk nagy részét elvesztve, sűrűbb objektumokká alakulhatnak. Ugyanakkor például a Jupiterral azonos pályán keringő Trójai-kisbolygók belső társaiknál több illó anyagot tartalmaznak. Emellett az üstökösfelhők - nevéük ellenére - kisbolygókat is tartalmaznak.

100000 Cs.E.

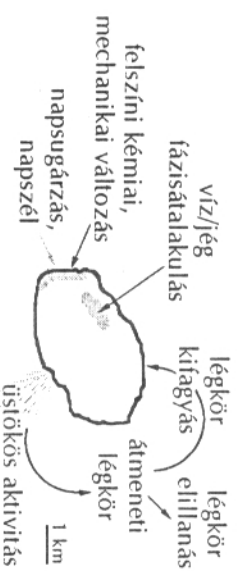
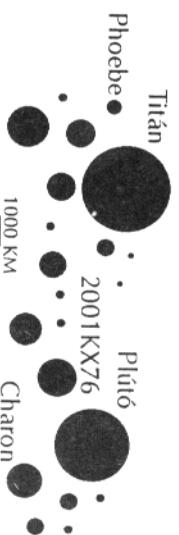


3.2.2. Kentaurok és belátogató üstökösök

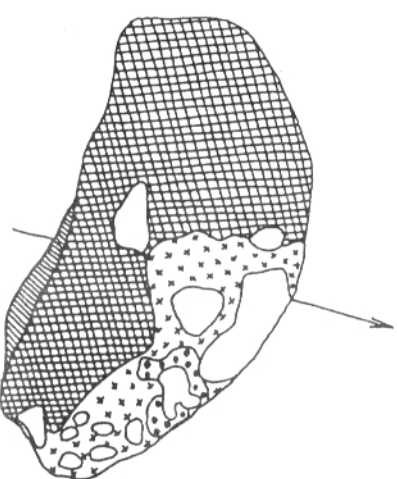
Az üstökösök kis számban a nagybolygók közötti térségben is előfordulnak. Helyüket itt két okból is instabil: egyrészt a nagybolygók gravitációs tere zavarja, kiszorja őket a térségből. Emellett napközeliében az erős besugárzástól felszínük szublimálni kezd, és fögy az anyaguk. A nagybolygók térségében ezért kevés kis jeges objektum található, ezek felszín- és pályafejlődése viszont relatíve gyors. A szublimációtól kiszáradó felszíni réteg sűrűsége nő, és idővel kemény kéreggé alakul. Belső eredetű aktivitás ritkán, elsősorban közvetve mutatkozik. Erre kerülhet sor például amikor a Napról távolodó üstökösökben a Naphoz közel megolvadt víz ismét jégé fagy, ami táguállással és látszólag belső eredetű felszíni aktivitással jár.

3.2.3. A Kuiper-öv: az ősananyag raklára

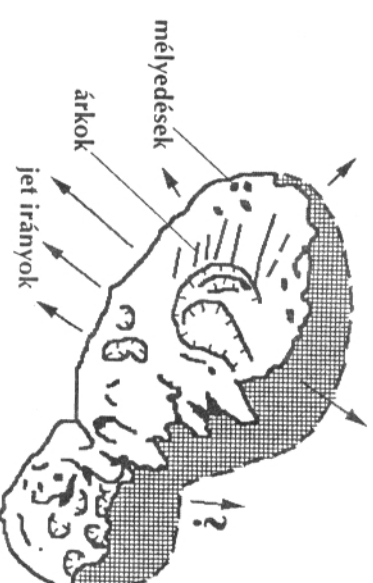
A Kuiper-öv a Neptunusz pályájánál kezdődik és néhány 100 Cs.E. naptavolságra tart. Tömege nagyságrendileg egy földtömeg, anyaga a Naprendszer főkijában mutat koncentrációt. Két fő egységre osztható: az eredeti Kuiper-populáció az ott keletkezett és helyben maradt égitestekből áll. 4,6 milliárd évvel ezelőtt ebben a zónában is megindult az anyag bolygócsírákba tömörülése. A folyamat azonban idővel megállt, és nem vezetett nagybolygók kialakulásához. Ennek oka egyrészt, hogy a Napról nagy távolságra a kisebb keringési sebességek miatt ritkák voltak az ütközések, másrészt az eredetileg rendelkezésre álló "alapananyag" is megfogyakozott nagy naptavolságban. Az eredeti Kuiper-populáció, főleg annak a Napról távolabbi tartományra, az összes égitest közül valószínűleg a legváltozatosabb formában őrizi a Naprendszer ősananyagát. A Kuiper-öv belső,



A Halley-üstökös magja



A Borell-üstökös magja

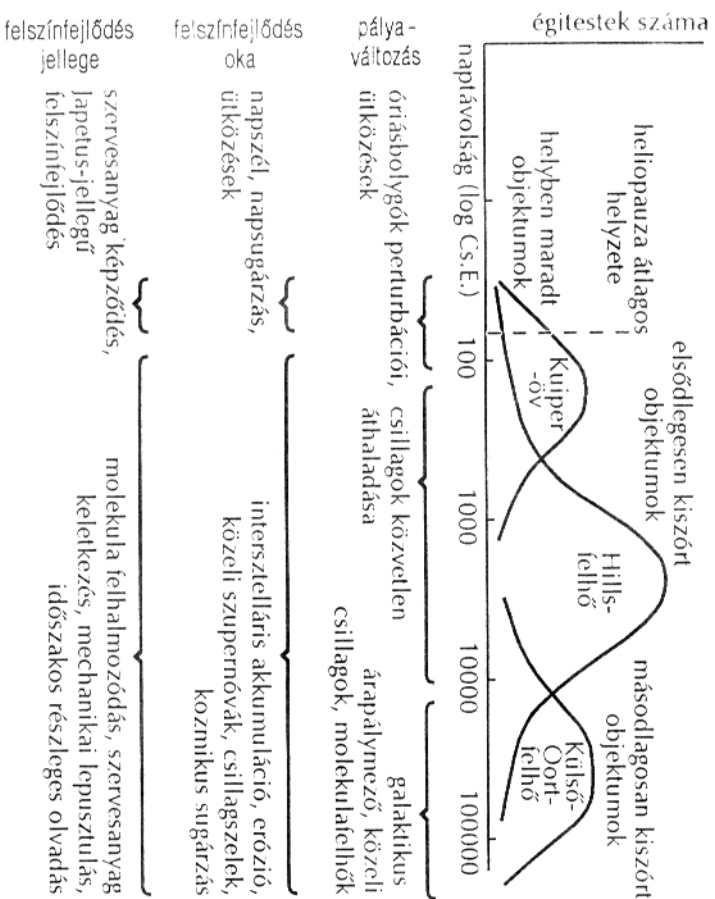


aktív zónájában az ütközések révén némi átalakulás történt, ez a zóna fejlődését tekintve a fő-kisbolygóövvvel rokonítható.

A másik egység a szórt korong Kuiper-populáció. Ezek az égitestek is a fent említett naptavolságban vannak, de az óriásbolygók, főleg az Uránusz és a Neptunusz térségéből perturbálódtak ide. Elnyúlt pályájuk, időnként nagy pályahajlásuk mutatja eredetüket. Az eredeti Kuiper-populációval ellentétben a Naptól távolodva nő a számuk, és fokozatos átmenetet alkotnak a Hills-felhőbe. A Naptól 60-100 Cs.E. között (tehát a Kuiper-övből) ingadozó helyzetű heliopauza jelöli ki a napszél és a csillagközi anyag, azaz az égitestek lassú felszínfejlődésében domináló hatások határát. A szórt korong belső részén keréngő objektumok némelyike a heliopauzát rendszeresen átszeli, így mindkét régió felszínfejlődésében részeseül.

3.2.4. A Hills-felhő: átmenet a csillagközi térbe

A Hills-felhő, vagy Belső-Oort-felhő a Naptól 1000-10000 Cs.E. távolság között húzódik. A Naprendszer főkijárában nagyon egyenre koncentrációt mutat, gyakorlatilag a Kuiper-



öv szórt korong populációjának folytatása. Ez az üstökösfelhők legnagyobb tömegű zónája, amely több földtömegnyi égitestet tartalmazhat. Helyzete átmeneti jellegű: bár égitestjei a Naprendszerhez tartoznak, fejlődésükre csillagközi tényezők hatnak. Felszínükre csillagközi anyag rakódik, illetve erodálódik onnan. Az elméleti számítások szerint a sűrű molekulafelhők miatt az erózió dominál, amely a Naprendszer keletkezése óta kb. 1 m vastag réteget pusztíthatott le az égitestek felszínéről. Emellett a közeli szupernóvabombázások, nagy energiakioldású csillagok, illetve fiatal halmazok csillagszeleci, akárcsak a kozmikus sugarak, a felszínt bombázva változatos kémiai reakciókat okoznak, és jelentős mennyiségű szervesanyagot termelhetnek. A Hills-felhő, elsősorban a rajta keresztülmehető csillagok gravitációs hatása miatt égitestjeinek mintegy felét mára elveszítette.

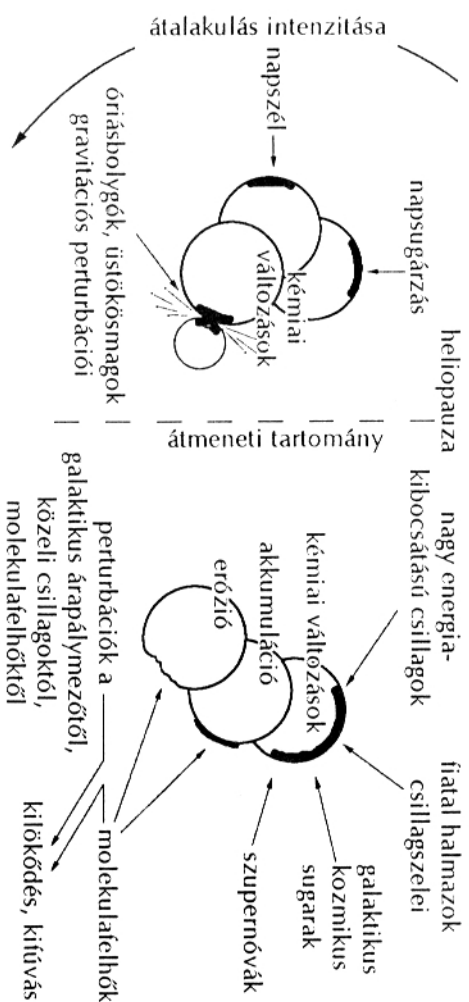
3.2.5. A Külső-Oort-felhő: a kallódó végeken

A Külső-Oort-felhő 100-200 ezer Cs.E.-ig érhet, határát nem lehet meghúzni, mivel a legtávolabbi tagjai folyamatosan szöknek el a Naprendszerből. Az anyagvesztés miatt életartama rövidebb a Naprendszerénél. Égitestjei a Hills-

felhőn áthaladó csillagok által ide kiszórt objektumoktól kapnak utánpótlást. Ebben a zónában is jellemzők a Hills-felhőre ismerteket felszínalakító hatások. Az objektumok pályái itt a leginstabilabbak, a közelben elhaladó csillagok és nagy molekulafelhők gravitációs tere erősen befolyásolja anyageloszlásából eredő galaktikus árapálymező, mint a sok objektum gravitációs tereinek összessége is zavarja az égitestek mozgását. A nagy naptávolság ellenére, a fenti instabilitás miatt ebből a zónából bőségesen érkeznek a nagybolygók térségébe hosszútávú üstökösök.

Az üstökösfelhők fontos szerepet töltenek be a Naprendszer „anyagháztartásában”. 4,6 milliárd évvel ezelőtt, a rendszer kialakulásakor a születő óriásbolygók perturbációi több földtömegnyi anyagot szórtak ki a csillagközi térbe. A Nagy Bombázási időszak végével a Naprendszer anyagkioldása lecsökkent. A jelenlegi anyagvesztés mértékét nehéz lenne megbecsülni, minden esetre nagyságrendekkel kisebb, mint a kezdeti időszakban.

NAPRENDSZEREN BELÜLI HATÁSOK NAPRENDSZEREN KIVÜLI HATÁSOK



SZILÁRD FELSZÍNNEEL RENDELKEZŐ BOLYGÓTÉSTEK TULAJDONSÁGAI

Bolygók	Átmérő km	lapults.	Naptól távolság mló. km CSE	sűrűs. g/cm ³	g (beesl.) g	magnit. vizuális	albedo %	keringés forgás (sziderikus)	pályahajlás (i) (eklipt. / forg.teng.)	excentr. e	T felszín C°	T ekv. (egyens.)	légnym. atm.	relief km max/min	Légkör
Merkúr	4878	1/30eszt.	57,9	0,47	5,43	0,37	-0,2	87,9 d 58,6 d	7°00	0°	167°	176°	10 ⁻¹⁵	3 km	CO ₂ (96%), N ₂ (3%)
Vénusz	12104	1/85e	108,2	0,72	5,24	0,90	-3,6	224,7 d -243,0 d	3°39	177°	457°	55°	93	11,3	CO ₂ (78%), O ₂ (21%), Ar
Föld	12756	1/298	149,6	1,00	5,52	1,00	39	365,2 d 23h56m	—	23°45	14°	6°	1	8,8 / -11	N ₂ (78%), O ₂ (21%), Ar
Mars	6787	1/156	227,9	1,52	3,93	0,38	1,8	686,9 d 24h37m	1°85	25°19	-60,20°	-47°	0,007	21 / -8	CO ₂ (93%), N ₂ (3%), Ar
Plútó	2274		5900	39,7	2,03	0,09	15	250,3 év -6,38 d	17°2	122°52	-230°	-229°			N ₂ , CH ₄ , CO

Holdak	Átmérő	Naptávols.	bolygó táv. (ekm/R)	sűrűség	g (beesl.)	magnit.	albedo	keringés pályah.	(i)	e	felFed. év	felFedező		
Hold	3476	Föld 149	384	60 R	3,34	0,16	-12,7	27,32 d 5,1°	0,055					
Io	3632	Jup. 778	412	5,7	3,53	0,18	5	1,76 d 0,027	0,000	0,000	1610	Gallei		
Europa	3138	Jup. 778	670	9,4	2,97	0,14	5,3	3,55 d 0,486	0,000	0,000	1610	Gallei		
Ganymedes	5276	Jup. 778	1070	15	1,93	0,15	4,6	7,15 d 0,183	0,001	0,001	1610	Gallei		
Callisto	4820	Jup. 778	1880	26,3	1,83	0,12	5,6	16,68 d 0,253	0,007	0,007	1610	Gallei		
Mimas	394	Szat. 1427	185	3,0	1,43	0,007	12,9	0,94 d 1,517	0,020	0,020	1789	Herschel		
Enceladus	502	Szat. 1427	238	3,9	1,83	0,008	11,8	1,37 d 0,023	0,004	0,004	1789	Herschel		
Tethys	1060	Szat. 1427	297	4,8	1,25	0,015	10,3	1,88 d 1,093	0,000	0,000	1684	Cassini		
Dione	1120	Szat. 1427	377	6,2	1,43	0,022	10,4	2,73 d 0,023	0,002	0,002	1684	Cassini		
Rhea	1530	Szat. 1427	527	8,7	1,33	0,028	9,7	4,51 d 0,35	0,001	0,001	1672	Cassini		
Titan	5150+	Szat. 1427	1222	20,3	1,9+	0,1	8,4	15,94 d 0,33	0,029	0,029	1655	Huygens		
Japetus	1460	Szat. 1427	3560	59	1,2	0,02	11,9	79,33 d 14,7	0,028	0,028	1671	Cassini		
Phoebe	220	Szat. 1427	12930	215		0,005	16,5	-550 d 150	0,163	0,163	1898	Pickering		
Miranda	484	Urán. 2869	129	5,0	1,26	0,004	16,5	1,41 d 4,22	0,027	0,027	1948	Kuiper		
Ariel	1160	Urán. 2869	190	7,4	1,65	0,01	14,4	2,52 d 0,31	0,003	0,003	1851	Lassell		
Umbriel	1190	Urán. 2869	266	10,4	1,44	0,008	15,3	4,14 d 0,36	0,005	0,005	1851	Lassell		
Tiania	1610	Urán. 2869	463	17,0	1,59	0,02	14	8,70 d 0,14	0,002	0,002	1787	Herschel		
Oberon	1550	Urán. 2869	583	22,8	1,50	0,1	14,2	13,46 d 0,10	0,001	0,001	1787	Herschel		
Triton	2705	Nept. 4496	354	14,3	2,02	0,06	13,6	5,87 d 14,36	0,001	0,001	1846	Lassell		
Nereida	340	Nept. 4496	5510	222,6			18,7	-359,8 d 222,6	0,75	0,75	1949	Kuiper		
Charon	1186	Plútó 5900	19,6	17,0	1,3	0,02	17	6,38 d 17,06	0,0001	0,0001	1978	Christy		
Phobos	27	Mars	9,38	2,76	1,9	0,000	11,6	0,319 d 1,02	0,018	0,018	1877	Hall		
Deimos	12	Mars	23,5	6,91	2,1	0,000	12,7	1,262 d 1,82	0,002	0,002	1877	Hall		
Kis égitestek	Átmérő	km	Napáv. (mló. km)	Típ.	sűrűség	magnit.	albedo	forgási idő	keingés	pályah./i	excentr.	felFed. év	felFedező	
951. Gaspra	20x12x11		205	S			20	7,04 h	3,28 év	4,1	0,173	1916	Neujmin	
433. Eros	33x13x13		218	S			23	5h16m	643d	10,8	0,223	1898	Wilh/Charlós	
243. Ida	56x24x21		270	S	2,2-2,9		23	4h38m		1,14	0,451	1884	Palisa	
4. Vestia	525		353 (bazaltos)	C	3,9		38-42	5,34 h	1325d	7,1	0,091	1807	Obers	
1 Ceres	960x932		457	C	2-2,7	7-8	10	9,075 h	1680d	10,6	0,079	1801	Piazzi	
2. Pallas	570x525x482		414	U	4,2	9	14	7,81 h	1685d	34,8	0,235	1802	Obers	
2060. Chiron	148-208 közt		2049	B				50,7 év	6,93	0,383	1977	Kowal		
Halley-üstökös	16x8x8		87,8 (napközeli)		0,1		3	76,1 év	162,24°	0,967				

KIS ÉGITESTEK CSOPORTJAI

Fő kisbolygóöv: 2-4 CSE távolságban: Családok a fő kisbolygóövben: *Hungariák, Florák (pl. Gaspra), Phocák, Koronis-család (pl. Ida), Eos-család, Themis-család, Cybelek, Hilák*

Földstúró égitestek (Near-Earth Objects, NEO):
Atének: pályájuk fél nagytengelye 1 CSE-nél kisebb (keringési idő 1 évnél rövidebb), napközeli: 0,983 CSE-nél messzebb. *Apollók:* pályájuk fél nagytengelye 1 CSE-nél nagyobb (keringési idő 1 évnél hosszabb), napközeli 1,017 CSE-nél közelebb. *Ámorok:* napközeli 1,017-1,3 CSE távolságban.

Trójaiak: A Jupiter Lagrange-pontjai közelében (60 fokra előtte és mögötte)

Kentaurok: A Neptunusz pályáján belül (de a fő kisbolygóövön túl) keringő kisbolygók

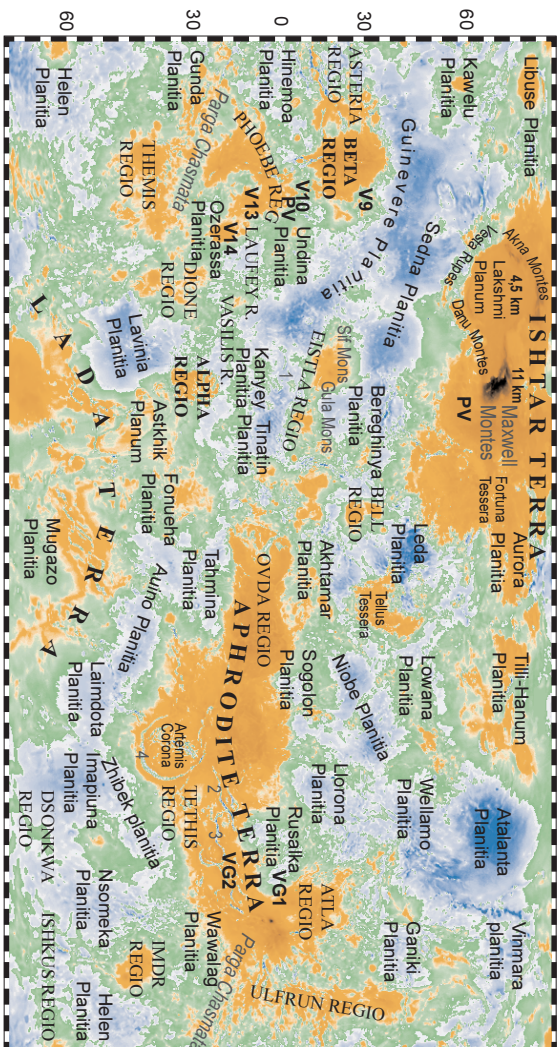
Transzneptuni objektumok (TNO): a Neptunuszon túli égitestek összefoglaló neve. Ezek közül a ma ismeretek (észlelhetők) a **Kuiper-öv objektumok** (KBO).

Plútónok: a Plútóhoz hasonlóan a Neptunusszal rezonáns pályán keringő KBO-k.

Cubewánok: Olyan KBO, mely nem-rezonáns pályán kering a Neptunusszal.

Kisbolygók típusai: C-típus: 75%-uk: albedo: igen sötét (3%) (szenes); S-típus: 17%-uk: 10-22% albedo (nikkel-vas és szilikátok: piroxén, olivin) Színük vörös; M-típus: 10-18% albedo, tiszta nikkel-vas (fémes)

Adatok forrása: Illes Erzsébet: Planetofizikai adatok (1997), The Nine Planets és internet. / Magnitúdo: vizuális (látszólagos) fényesség a Földről. Albedo: fényvisszaverő-képesség 1-100%.



A VÉNUSZ

0 magasság: 6051,0 km sugárnál, 0 meridián. Ekv. A téképen számmal jelölve:
 1. Heng-o-Corona 2. Diana Chasma 3. Dali Chasma 4. Artemis Chasma. Forrás:
 Magellan Radar Altimeter. 1990-94. Venyera űrszondák észlelési helyei: V9:
 1975. 10.22.V10-1975. 10.25.V13.1982.03.01.V14.1982.03.05. PV:
 Pioneer Venus 2. 1978. 12.09. VG. Vega 1. 1985.06.11. Vega 2. 1986.06.15.



A MARS

0 magasság: MOLA. 3396 km bolygósugárnál (areoid) (Korábban, USGS 6.1 mbar légköri nyomás szintjében, kb. 1,6 km-el-mélyebben), 0 meridián (hosszúság). Ainy-0 kráter. Számok:1. Shalbatana Vallis 2. Noctis Labirintus. Forrás: Mars Global Surveyor (MGS) Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA). 1998-99 űrszondák észlelési helyei: Viking-1 (VK1), 1976. 07.20 Viking-2 (VK2). 1976. 09.03. Mars Pathfinder. (PF). 1997. 07. 04. Amagasság adatok bizonytalanok.



A FÖLD

0 magasság: 6379,743 km bolygósugárnál (szintetesi alap-pont: Bahi-tenger), 0 meridián. Clemenine izereses magasságmérés 1994. 1.7. Theszei-ritarások Holdexpedíciók (Apolo) A11 (Mare Tranquillitatis): 1969. 07.20. A12 (Oceanus Procellarum): 1969. 11.19. A14 (Fra Mauro): 1971. 02.05. A15 (Appenninek (Hadley-hg.)): 1971. 07.31. A16 (Descartes): 1972. 04.21. A17 (Taurus-Littrow): 1972. 12.11. Néhány hegység legmagasabb pontja: Appenninek: 6000 m, Apok: 3600 m, Káukázus: 2500 m, Kaukázus: 5900m



A HOLD

0 magasság: 1737 km bolygósugár (szelenoid), Forrás: Clementine izereses magasságmérés 1994. 1.7. Theszei-ritarások Holdexpedíciók (Apolo) A11 (Mare Tranquillitatis): 1969. 07.20. A12 (Oceanus Procellarum): 1969. 11.19. A14 (Fra Mauro): 1971. 02.05. A15 (Appenninek (Hadley-hg.)): 1971. 07.31. A16 (Descartes): 1972. 04.21. A17 (Taurus-Littrow): 1972. 12.11. Néhány hegység legmagasabb pontja: Appenninek: 6000 m, Apok: 3600 m, Káukázus: 2500 m, Kaukázus: 5900m

