

# A Messenger a Merkúrnál

A Merkúrnál a legtöbb információt eddig a Mariner-10 szondától kapjuk, amely 1974-ben és 1975-ben három alkalommal haladt el a bolygó mellett, minimálisan 327 km-re megközelítve azt. A közelítések során összesen kb. 2300 felvétellel a felszín majd' felét 1-4 km felhontással, kisebb részeit pedig maximálisan 100 m-es felhontással örökítette meg. Azóta kevés új eredmény született, közülük említhetők a Mariner-10 sztereoképeiből készült domborzatmodellek, amelyeken néhány új krátert azonosítottak. Földi radarmérésekkel is sikerült néhány új felszinformát, a regolitnak a holdi tengereknél valamivel jobb radarvisszaverő képességét, a sarkvidéki jéget, a légkör egyes jellemzőit, valamint a bolygó külső magjának folyékony halmazállapotát azonosítani.

A Merkúrt gyakran hasonlítják a Holdhoz, mivel mindkettő viszonylag inaktív, légkör nélküli kőzetgömb. Ugyanakkor fontos ellentét, hogy a Merkúrnak sokkal nagyobb a vastartalma, erősebb a gravitációs tere, a Holdnál több és intenzívebb hecsapódás érheti a kisebb naptávolság miatt, és ezek során több olvadék is keletkezhetett a felszínen. A Merkúrnak emellett globális mágneses tere is van, amely miatt kevesebb részecske éri a felszínét, mint a Holdé. A bolygó nappali oldalán sokkal magasabb hőmérséklet uralkodik, mint a Holdon, és a legmelegebb területeken akár két héten keresztül is 400 fok feletti a forróság.

## A Messenger jellemzői

A Messenger a máandik, a Merkúr vizsgálatára indított űreszköz, neve a Mercury Surface, Space Environment, Geochemistry and Ranging szavak kezdőbetűiből álló mozaikszó, ami arra utal, hogy a legbelső bolygó összes fontos jellemzőjét tanulmányozni fogja.

### A program főbb eseményei

2004 08 03	start
2005 08 02	híttamandőver 2348 km-rel a Föld mellett
2006 10 24	híttamandőver 2987 km-rel a Vénusz mellett
2007 06 05	híttamandőver 338 km-rel a Vénusz mellett
2008 01 14	első elhaladás a Merkúr mellett
2008 10 06	második elhaladás a Merkúr mellett
2009 09 29	harmadik elhaladás a Merkúr mellett
2011 03 18	8 milliárd km megtétele után pályára állás a Merkúr körüli

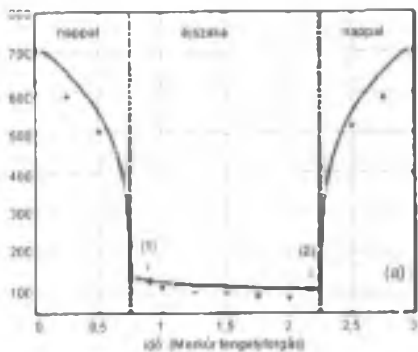
A kb. 1000 kg-os, 446 millió dollár összköltségű szonda vázát egy 1,3x1,4x1,9 méteres félhenger alakú epoxi-grafit kompozitból álló szerkezet adja. Meghatása hagyományos 645 N tolóerejű kémiai főhajtóművel és kisebb korrekciós hajtóművekkel történik, kb. 600 kg-nyi hatóanyaggal. A Merkúr kis naptávolságában a Földnél mérhetőnél 11-szer erősebb napsugárzástól kerámia hővédő panel védi a berendezéseket, amely alól két napelemlátja lóg ki. Ezek együttesen 450 W áramot termelnek a Merkúr naptávolságában. (A műszerek ismertetését l. az 5. oldalon!)

A Messenger 2008. január 14-én 20 óra körül mintegy 200 kilométerre haladt el az éjszakai oldal felett, és 14 percig volt a bolygó árnyékában. A manővertől kb. 8000 km/h-val csökkent sebessége. A rendezű során minden detektorra hibátlanul üzemelt, és 1217 fotót készített. Az alábbiakban az ekkor nyert új adatok fényében foglaljuk össze a bolygóról szerzett ismereteinket.

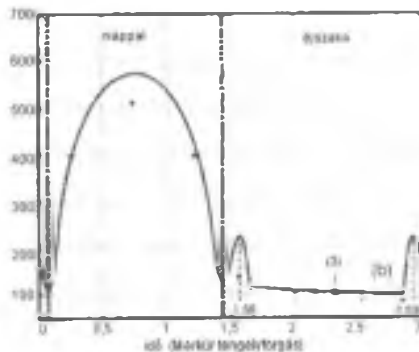
## Szonkattan tengelyforgás

A Merkúr alapvető jellemzői az ismeretterjesztő irodalomból közismertek. Mozgásának érdekessége a tengelyforgási és keringési idő közötti 3:2 arányú rezonancia, amely elsősorban a Nap árapályhatására

alakulhatón ki fokozatosan. Talán a Vénusz közreműködésével. A Merkúr Nap által keltett árapályúpjának helyzete periodikusan eltolódik ezt nevezzük hosszúsági librációnak, amelynek mértéke 88 napos periódussal kb. 60". Erre rakódik a Jupitertől származó 5,93 éves, valamint a Vénusz hatására létrejövő 5,66 éves periódusú, együttesen 7-30" közötti mértékű libráció.



emellett az úrdőjárás is. A légkör anyaga a hecsapódásokból, a melegebb (főleg a 400 K-nél melegebb) felszín gázkihcsátásából, valamint a hecsapódó innak hatására felszabaduló atomokból és molekulákból áll. Ezek egy részét már korábban felszabadult, majd a felszínre visszajutott anyag ismételt kihcsátása adja. Vulkáni gázkihcsátás is elképzelhető a légkör forrásaként, de erre



A hőmérséklet járása a forró (a) és a meleg (b) póluson

A 58,6 napos lengélforgási és a 87,9 nap keringési idő együttes eredményeként változik a Nap látszólagos mérete és mozgási sebessége, valamint iránya is a Merkúr egén. Mindezek eredményeként a bolygó egyenlítőjén elkülöníthető két-két terület, amelyek a legerősebb besugárzást (forró pólusok), és a leggyengébb besugárzást (meleg pólusok) kapják. Az egyenlítőn helyi délben napközben 700. naptávonlan kb. 575 K uralkodhat.

## Ritka és váltóképpű légkör

A légkör átlagos sűrűsége  $10^5$  atom/cm<sup>3</sup>, felszíni nyomása a nappali oldalon kb.  $10^{-12}$  bar, eddig azonosított összetevői: H, He, O, Na, Ca, K. Az exoszféraának tekinthető ritka légkör részecskéi gyakrabban ütköznek a felszínnek, mint egymásnak. A légkör folyamatosan erősen befolyásolja a földinél 6-7-szer erősebb napsugárzás a napállandó értéke a Merkúr átlagos naptávonltságában 9,1 kW/m<sup>2</sup> (a Földnél jellemző 1,4 kW/m<sup>2</sup>),

utaló jelet még nem azonosítottak. A H és He részben a napszéhhől származik, a löbbi anyag fő forrása a felszín lehet. A légkör összetétele szempontjából fontos a napsugárzás intenzitása, amelynek révén főleg a fémoxidok és hidroxidok homlanak le összetevőikre.

Az eddigi megfigyelések során a légkört a Nap felőli oldalon a felszín felett 3-4 ezer, az éjszakai oldalon kb. 40 ezer km magasságig sikerült követni. Nagy kérdés, hogy a légkör összetételét mennyire tükrözi a felszíni kőzeteké. A feltételezések alapján a felszíni kőzetekben a nátrium aránya csak kb. 0,5%, de ehhez képest sokkal több van helyile a légkörben. Az egyes elemek ellátó kiszabadulási arányára utal még, hogy míg a Na/K aránya a holdi exoszférában kb. 6, azaz a felszíni kőzetekhez közeli, ugyanez a Merkúrnál közel 100.

A légkör fontos és viszonylag könnyen megfigyelhető összetevője a nátrium. Mennyisége éves, napos és órás időskálán is ingadozik látszólag független a napaktivitástól.

A Na koncentráció naptávolhan nagyobb mint napközben, emellett több van helioblagosabb mint alacsonyabb szélességen, és a hajnali, mint az esti terminátnál.

Ulláhi esetben az éjszaka a felszínre kivált részecskék szabadulhatnak fel reggel lét-rehova a nagyobb gázmennyiséget. Ezzel is kapcsolatban lehet a napközeli és naptávol ellérő légköri sűrűsége: napközben a gyorsan melegedő felszínről felszabaduló atomok könnyen elérik a lérhen közeli éjszakai oldalt, ahol „lecsapódnak” ezért ekkor kisebb a légkör sűrűsége. Ellenben naptávolhan lassabban és kevésbé melegszik fel a felszín így az éjszaka kicsapódott atomok hosszabb idő alatt szabadulnak fel és ekkorra már túl távol van az éjszakai oldal, ezért kevés atom csapódik vissza és több marad a légkörben közülük. Emellett naptávolhan nagyobb arányt képviselnek a napszél részecskéi által felszabadított atomok mint amelyek napközben az erősebb besugárzás szabadul fel. Ez a folyamat nagyobb kezdeti energiát ad a részecskéknak, ezért azok tartósabban maradnak a légkörben.

Naptávolhan gyengébb a sugárnyomás és a napszél is, amely kevésbé fújja el a légkört alkotó anyagokat, ezért azok tovább maradnak a bolygó környezetében. Naptávolhan a reggeli terminátor feletti gáz koncentrációja többszörösen nagyobb lehet az esti terminátnál jellemzően – míg napközben a kettő között nincs lényeges eltérés. Érdekes megemlíteni, hogy eddig két felszíni koncentrált Na forrást (55N 345, 25S 345) sikerült azonosítani, amelyek radarfényes területek. Mindezek felett magas szélességen is feltételeznek hasonlóan koncentrált felszíni Na forrásokat.

A Merkúrnak van a Naprendszer bolygói közül a legkisebb mágneses tere, amely a közeli Nappal intenzíven lép kölcsönhatásba, és mérete erősen ingadozik a napszél intenzitásának függvényében. A mágneses tere nagyobb legfeljebb 1%-a a földének, a felszínen közelében 300 nT. A globális dipólter polaritása a földivel azonos tengelyre a forgástengellyel 11 fokos szöget zár be. Korábban maradvány mágneses térnek

## A Messenger műszerei

- MDIS (Mercury Dual Imaging System, Merkúr kétdős képalkotó rendszer), széles és keskeny átvizsgáló kamerák legfeljebb 18 méter felbontással rögzítik a felszínt, a domborzat viszonyokat, és színképi információkat
- GRNS (Gamma-Ray and Neutron Spectrometer, gamma-sugár- és neutronspektrométer) a felszíni radioaktív elemek és a kozmikus sugarak által gerjesztett elemekből érkező gamma-sugarakat és neutronokat vizsgálja, az összetételére és a sarki vízjég létére következtetve
- XRS (X-Ray Spectrometer röntgenspektrométer) a felszíni anyagok által a napsugárzás hatására kibocsátott aacsony energiájú röntgensugarakat érzékeli, ami az összetételre utal.
- MAG (Magnetometer, magnetométer) 3,6 méter hosszú rúd végén lévő érzékelő a mágneses tér vizsgálatára
- MLA (Mercury Laser Altimeter lézeres magasságmérő) a felszínre hocsátott és visszavert lézersugár alapján a domborzatot méri fel
- MASCS (Mercury Atmosphere and Surface Composition Spectrometer légkör és felszíni összetétel mérő spektrométer) infravörös, optikai és ultrahelya tarományokban üzemelő spektrométer a kémia összetétel vizsgálatára
- EPPS (Energetic Particle and Plasma Spectrometer energikus részecske- és plazmaspektrométer) a bolygó magnetoszférában mozgó töltött részecskék összetételét és energiát méri
- RS (Radio Science, rádió tudományi kísérlet) a szonda mozgásának pontos nyomon követését teszi lehetővé, amiből a Merkúr belső szerkezetére következtethetünk

tekintették azonban a bolygó tengelyforgásának változásában megfigyelt ingadozások alapján a Merkúr külső vasmagja folyékony lehet. Feltehetőleg itt generálódik a mágneses tér – bár a folyamat pontos lezajlását a lassú tengelyforgás miatt nem értjük még pontosan. A Messenger a három elhaladás során jóbb helyzetben lesz a magnetoszféra megfigyelésére, mint amikor már kering a bolygó körül. A szonda 2008 januárjában a magnetoszférában kissé eltérő jellemzőket mért mint egykor a Mariner-10 de az akkor és a mostani helyzet eltéréseit korrigálva a

mágneses tér általános jellemzői hasonlítot-  
tak az 1970-es években mértékhez.

## Kráterek és lávasíkságnk

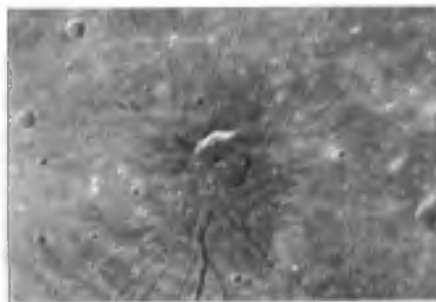
A bolygó belső szerkezetét taglaló ismereteink alapján tömegének kétharmadát adja a vasmag, amelynek révén a Merkúr átlagsűrűsége 5,4 g/cm<sup>3</sup> (Föld 5,5 g/cm<sup>3</sup>), összenyomatlan állapotban pedig 5,3 g/cm<sup>3</sup> lenne (ugyanaz a Földnél 4,4 g/cm<sup>3</sup>). A felszíni nehézségi gyorsulás a földi 37%-a tehát kb. annyi, mint a Marson. A külső folyékony magot egy kb. 600 km vastag kéreg, az pedig egy közelítőleg 100 km vastag közelhurok övezi.

A Merkúr felszínformáit a hagyományos besztás alapján az alábbi csoportokba soroljuk: erősen kráterezett területek avagy felföldek (densely cratered terrain, highlands), amelyek a kezdeti, intenzív hecsapódásos időszakban keletkeztek. Főként 30 km-nél nagyobb krátereket tartalmaznak mintha kicsit kisebb lenne a krátersűrűségük, mint a Hold terra területeinek. A kráterek között jelenik meg a másik felszín-típus: az enyhén hullámzó felszíni kráterközi síkság (intercrater plain), amely a felszín kb. 40%-át borítja. Ezek az erősen kráterezett területtel közel egy időben keletkezettek: vulkáni tevékenység vagy hecsapódásnak kirohant törmelékéből. A harmadik felszín-típust a fentieknél fiatalabb sima síkságnk (smooth plains) képviselik, amelyek főként a Caloris-medence körül a felszín 15-20%-át borítják. Viszonylag kevés kráter van rajtuk, ellenben gyűrődéses ún. lávagerincek tarkítják őket, és néhol eltemetett kráterek korvonalai is sejtethők a területükön.

A Merkúr krátereinek vizsgálatakor, főleg a holdi jellemzőkkel összehasonlítva érdemes figyelembe venni, hogy gravitációs tere a holdinál 2,5-ször erősebb és ez, valamint a közelbi Nap hatása miatt nagyobbak is a hecsapódási sebességek. Mindezek eredményeként kisebb méretnél jelenik meg adott krátermorfológiai elem (lapos aljzat, központi csúcs stb.), mint a Holdon, és ugyancsak emiatt kb. 0,65-ször kisebb a

folyamatos törmelékakaró és a másodlagos kráterekkel borított terület az egyes kráterek körül, mint a Holdon.

Érdig 15 kráterlancot azonosítottak, amelyek hossza 30-128 km közötti, és bennük 127 darab 3 és 13 km közötti kráter látható. A Holdról ismert világos törmelékakarójú, sugársávok kráterek mellett szokatlan megjelenésű, sötét halóval körbevett, ugyan- csak fiatal kráterek is mutatkoztak. Utóbbiak eredete egyelőre ismeretlen. Lehet, hogy felszín alatti sötét anyagot hoztak a felszínre, azonban valószínűbb, hogy a hecsapódás folyamatához kapcsolódik a sötét szín. A Merkúron a magas felszíni hőmérséklet befolyásolhatja a hecsapódásos olvadék szilárdulását.



A PÉNA a közeli (NASA, GSFC, JPL/CIPL, Cornell, Carnegie).

A Caloris-medencéről kiderült, hogy a korábban hecsült 1300 km helyett 1550 km az átmérője. Régebben csak a keleti peremvidéktől sikerült megőrköteni, ezáltal az egész medence látszott. A környezetükben sötétebb holdi tengerek helyett ez világosabb lérségnak számít a Merkúron. Lával kitöltött síkságán az egykori összenyomó erőktől görhült futású lávagerincek keletkeztek és a fent említett sötét és világos kráterek is megfigyelhetők.

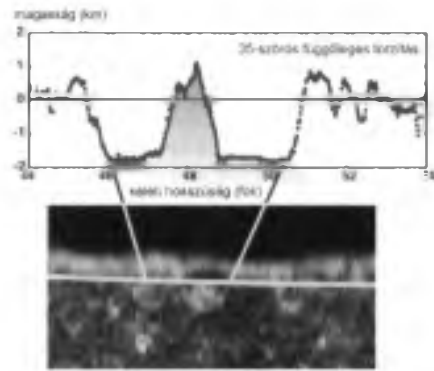
A medencét övező törmelékakarót vonalak mentén felszabdalt, közel kilométeres, szögletes blokkok alkotják, amelyeket sima vulkáni anyaggal kitöltött aljzati völgyek választják el. Nem mindegyik völgy radiális a medencére, mint azt várnánk, hanem a bolygó globális zsugorodásával és lassulásával kapcsolatban keletkezett tektonikus

hálózatba illeszkednek. A Caloris-medence keletkezésekor a bolygó globális zsugorodása miatt a közetburokban feszültség uralkodott, amelynek eredményeként a medence kirobbanása után annak irányába mozgott a közetburok. A hecsleké alapján mintegy 1,5 km-t csökkent így a Caloris-medence sugara. Az elmozdulásoktól a törmeléktakarót a kráhtban kialakult törések mentén feldarabolták, majd aktív vulkáni levékenységgel indult meg kialakítva a síma síkságokat. A vulkanizmust a nagy hecsapódás is segítette, talán az általa létrehozott törésekkel, amelyekon keresztül a magma a felszínre emelkedhetett. A hecsapódás rengéshullámai emellett a bolygó túloldalán, az ellenlábás (antipodális) területen, egy közel 600 km átmérőjű vidéken a kéreg felső kb. 10 km-es részében néhány km átmérőjű, enyhén kimozdult blokkokra törték az anyagot.

A Merkúron domináns tektonikus szerkezetek főként rászennyomó erőktől keletkezett redők és feltolódások, amelyek a hűléssel párhuzamos globális zsugorodástól, valamint a lengélyforgás lassulásával párhuzamos globális alakváltozástól keletkeztek. Ezek hossza elérheti az 500 km-t is, enyhén ívelt futásúak, alacsony szélességen EK-ÉNy DK-ÉNy, a sarkvidéken K-Ny irányúak. Az égitest fejlődésének első időszakájában születtek, közülük leghíresebb a kb. 1,5 km magas, a felszín alá akár 40 km mélységig is behatoló Discovery Rupes törése, amellyel párhuzamosan, tőle 100 km-el keletre egy kisebb és hasonló szerkezet fut. Keletkezésükhöz a bolygó sugarán 1–2 km-nyi zsugorodás volt szükséges. Ezek mellett, a síma síkságokon – szintén rászennyomó erő hatására – megjelent lávagerincek jellemzőek.

Tektonikus eredetűnek látszik de nehezen értelmezhető a Pók névre elkeresztelt kráter körüli repedésrendszer a Caloris-medence felső vidékén (l. az előző oldal ábráját). A radiális struktúrákat ún. normál vetők alkotják, melyeknél a két hosszanti perem között húzódnó rész mélyebbre süllyedt. A szerkezet centruma nem esik pontosan egybe a központi vidékén lévő kráterrel. A bolygó tektonikus szerkezeitől a későbbiekben a

lőzems magasságmérő szolgáltatotta domborzati profilok révén sok új ismerettel gyarapíthatunk. A műszer a közelítés során tökéletesen üzemelt, és az északi oldalon 1500 km hosszan tapogatta le a domborzatot.



A két kráter földi radarmérése (lert) és ézetes rnmhczalpolitja (lert) (NASA, GSFC, JPL/CI, Cornell, Carag e)

A bolygón a vulkáni felszínformákat az idős kráterközi síkságok képviselik (amelyekhez hasonlók alig vannak a Holdon), és ide sorolhatók a fiatalabb síma síkságok. Emellett két dóm is sejtethető bizonytalanul, valamint a felszín színe alapján előfordulnak egyéb vulkányanis területek – de ezekről egyelőre kevés az információ.

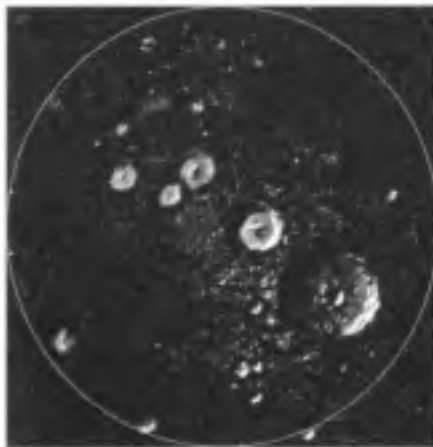
A Merkúron kevés szinklilónhség figyelhető meg. A fiatal hecsapódásos kráterek világosak, és a környező vidéknél kékebb árnyalatúak. A bolygó kémiai összetételéről nagyon kevés információnk van – ezen a téren sokat fognak segíteni a Messenger vizsgálatai. A kráhtbi földi radarmérések alapján úgy tűnik, hogy finom porszerű anyag borítja a felszínt, amely vas- és titánium-oxidokból kb. 43%-ot tartalmaz – azaz vas-oxidban valamivel szegényebb lehet a holdi anyagnál.

A felszíni hőmérséklet közel 90 és 700 K között változik, a sarkon uralkodik a legnagyobb hideg. A bolygó pályasapkáit 1991-ben, a goldstone-i radarral fedezték fel. Mincként sarkvidéken erős radarvisszaverő képességű, de gyenge elektromos vezető-képességű területek mutatkoztak, amelyek erős radarhullám polarizációjukat tekintve a

## Fejlődéslélelém

1. Összeállítás Naphoz közeli forró környezetben, ahol ezért magas vastartalma lett a kikerdenzalódó anyagoknak.
2. Ősi nagy hecsapódás egy kb. 1/6 Merkúr tömegű bolygórészével, amelyről északra a kisebb sűrűségű kérgény jelentős része és még magasabb lett a hőyón vastartalma.
3. Kéreg kialakulása és a eqidésbhi kráterek keletkezése.
4. Globális olvadátképződés és vulkáni aktivitás, a kráterközi síkságok kialakulása.
5. Az árapályhálás révén a tengeré yorgás lassulni, a hűlés miatt a bolygó pedig zsugorodni kezdett.
6. A Ca óris-medence keletkezése kb. 3,8 milliárd évvel ezelőtt.
7. A második vulkán, időszak megújulása és sima síkságok keletkezése.
8. Feltételezik a bolygó fejlődésének legnagyobb részében kevés változás történt.

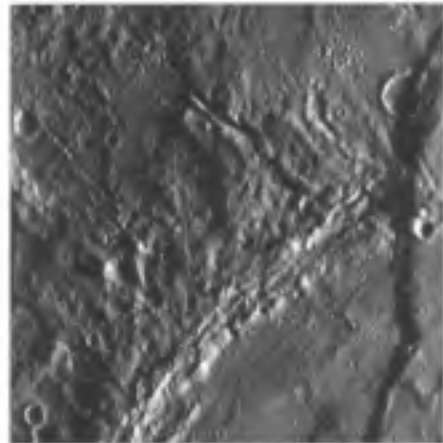
Mars maradvány-pólussapkáira és a Galilei-holdak felszíni anyagára emlékeztettek. A megfigyelések magyarázatára a legjobh jelölt a vízjég egy kevésbé valószínű alternatív javaslat a kén.



Fantáziaváltozat a bolygó északi sarkvidékéről 1,5 km-es felbontással (Amp. ho).

A szakemberek többsége szerint a sarkokon vékony portakaróval borított, néhány méter vastag jégréteg lehet. Az erős radar-visszaverődések helye sarki kráterekkel erik

egybe, amelyek a pólustól maximum 5 foknál találhatóak, és helsejük szinte állandóan árnyékban van, amittől ott 60-100 K uralkodik. A meteorikus anyag bersapódásai 3,5 milliárd év alatt durva berslés alapján  $10^{18}$  g vízjéget halmozhattak fel, amely hosszú időn keresztül fennmaradhatott, amennyiben gyorsan belemelte a por. Ez a mennyiség a megfigyelések alapján közelítőleg néhány méter vastag lehet.



Egy 200 km átmérőjű kráter a Merkur korziban rem átlát védékéről. A bal oldalon lévő más terület látrása feltehetőleg egy a bolygó hőéskelet és globális zsugorodásokról keletkeztek.

A Merkúr megismerése segíthet a Naprendszer kialakító ósköd összetételének és jellemzőinek tisztázásában, az átlált ősi bersapódás pedig jöbhan rámutathat, hogy az ilyen kataklizmák miként befolyásolhatják az égitestek későbbi fejlődését. Ha megértjük, miért és hol alakulhat ki egy bolygórendszerben a leghelső planéta, az az exobolygók vizsgálátánál is hasznos lehet – egyes feltételezések szerint a legelsőként kialakult leghelső bolygó pályarezonanciák segítségével jelöli ki a távolabbi égitestek helyzetét, szabályosságát okozva a térbeli eloszlásukban. A Merkúr globális törésszisztere pedig a lassult tengelyforgású és zsugorodott égitestek alapvető és általános jellemzőre mutathat rá.

Keresztúri Ákos