

A bolygók.

Mindegyikükről külön könyvet lehetne írni. A most következő fejezetek a legfontosabb ismereteket tartalmazzák. Valamennyi égitestről „beszédés” képsorok találhatóak a világhálón, és gyönyörű felvételek az ajánlott szakmai könyvekben.

A Merkúr.

A bolygó elnevezése ókori eredetű. Mercurius volt a kereskedők istene. Az elnevezés a kicsiny égitest gyors látszó mozgására utal. Hiszen hajnalban és kora este volt csak látható az égen.



Jellemző adatai:

Átmérője: 4878 km = 0,38 Föld-átmérő.

Tömege: $0,33 \cdot 10^{24}$ kg = 0,0533 Föld-tömeg.

Átlagsűrűsége: 5,44 g/cm³.

Közepes naptávolsága: $57,91 \cdot 10^6$ km = 0,39 csillagászati egység.

Tengelykörüli forgási ideje: 58,646 nap.

Sziderikus (a csillagokhoz képesti) keringési ideje: 87, 959 nap.

Szinódikus (a Földről megfigyelhető) keringési idő: 115,9 nap.

Közepes pályamenti sebessége: 47,9 km/s.

A pálya excentricitása: 0,2086.

Albedó: 0,06.

A Naphoz legközelebb keringő bolygó *pályájának alakja jelentősen eltér a körtől*. Sőt, a nyolc nagybolygó közül a Merkúré a legelnyúltabb alakú. A napközeli- és a naptávolpont között 24 millió kilométer a különbség! Már ennek ismeretében megállapítható, hogy felszínén jelentős hőmérsékleti különbségek vannak.

A másik feltűnő adat az átlagsűrűség értéke, mely nagy. Mindez azt mutatja, hogy felépítése, anyagi összetétele a Földhöz hasonló.

Az *albedó* (fényvisszaverő képesség) hasonlóan *alacsony értékű*, mint a Holdnál. Ebből az következik, hogy a felszíne ahhoz hasonló lehet.

Figyelmet érdemel a *sziderikus keringési idő* és a *tengelyforgási periódus* aránya. Ez azt jelzi, hogy két keringés során az égitest háromszor fordul meg a tengelye körül. Tehát két pozitív egész számmal fejezhető ki az arányuk. Ezt a csillagászatban *rezonanciának* hívják. (Ez nem tévesztendő össze a fizikában definiált jelenséggel!) A csillagászatban mindig rezonáns jelenségről beszélünk, ha két égitest keringési idejének, vagy bármelyik tengelyforgási idejének hányadosa pozitív egész számok hányadosaival fejezhető ki. (Pl. a kisbolygók között sok olyan aprócska égitest van, melyek rezonáns pályákon keringenek.)

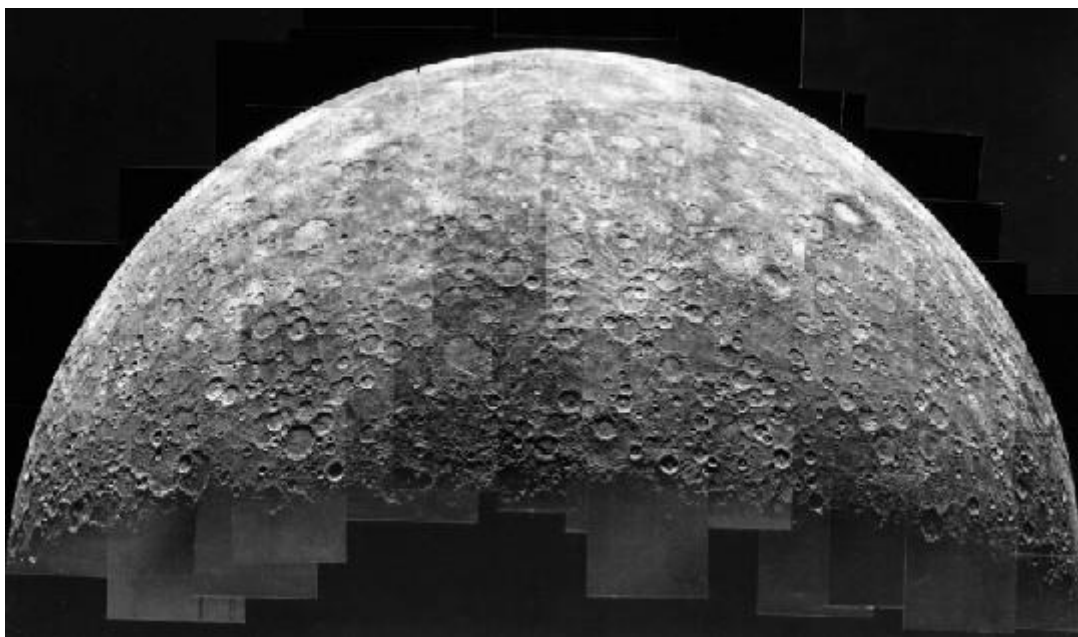
Nagyon érdekes, hogy a Földről végzett távcsöves megfigyelésekre alapozva a Merkúr keringési és forgási periódusát sokáig ugyanolyan időtartamúnak vélték. Ezt *kötött keringésnek* nevezzük.

1965-ben a Puerto Ricóban lévő nagy átmérőjű rádióteleszkóppal – radarcsillagászati alkalmazás – állapították meg a fenti tengelyforgási időt. A rádióhullámokkal való vizsgálat bármikor alkalmazható, amikor a bolygó a látóhatár fölött van. Optikai megfigyelése azonban mostoha.

Egy másik tudománytörténeti érdekesség: A Merkúr *pályájának napközelpontja* (perihélium pont) *folyamatosan körbevándorol a pályasík mentén*. Az elmozdulás mértékét a newtoni mechanika nem tudta kielégítően megmagyarázni. Az Einstein által kidolgozott *általános relativitáselmélet* adta meg a jelenségre a pontos választ.

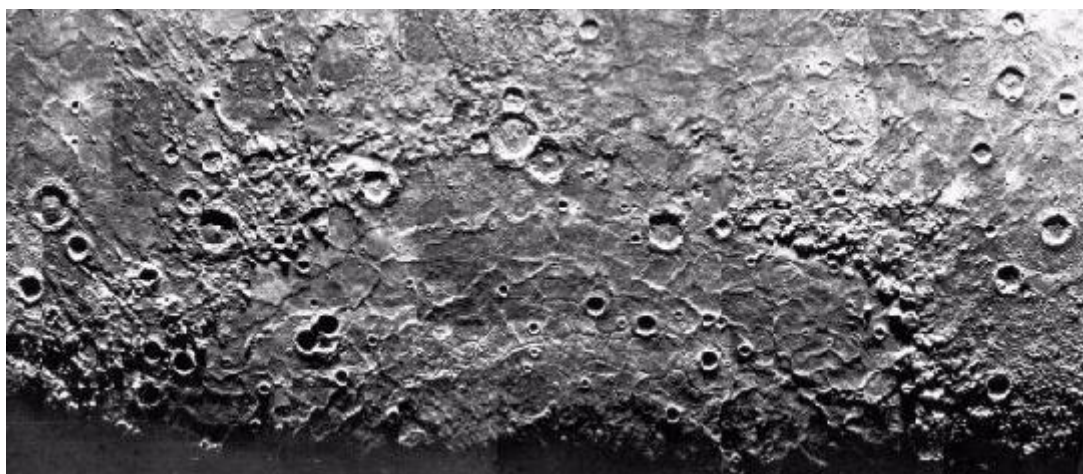
Sem az optikai, sem a rádió tartományban végzett megfigyelések nem tudták elárulni, hogy milyen lehet a Merkúr felszíne.

Az első, felszínről készült képeket a *Mariner-10* űrszondának (1974) köszönhetjük.



A Mariner-10 által készített képek egyike. Kráterek és kráterek. (APOD.)

Az első képeken már jól látszott, hogy a legbelső bolygó felszíne telis-tele van becsapódásos eredetű kozmikus sebhelyekkel. A Holdon is sok hasonló alakzat van, de a két égitest között az a lényeges különbség, hogy a Merkúr gravitációs ereje 2,5-szer haladja meg a Holdét, tehát a felszínét sokkal nagyobb sebességgel éri el a becsapódó testek. Ráadásul a Naphoz legközelebbi planéta volt a legjobb célpont, hiszen a Nap gravitációs ereje is közre játszott abban, hogy a kicsiny bolygó felszíne komoly bombazáporoknak volt kitéve.



A kép alsó, középső részén a Caloris-medence van, melynek átmérője 1550 kilométer.(APOD.)

A Merkúrról készült képeken nem láthatunk a Holdon megfigyelhető óriási kiterjedésű tengereket. Egyetlen hatalmas méretű becsapódási terület van – a Caloris. Érdeemes

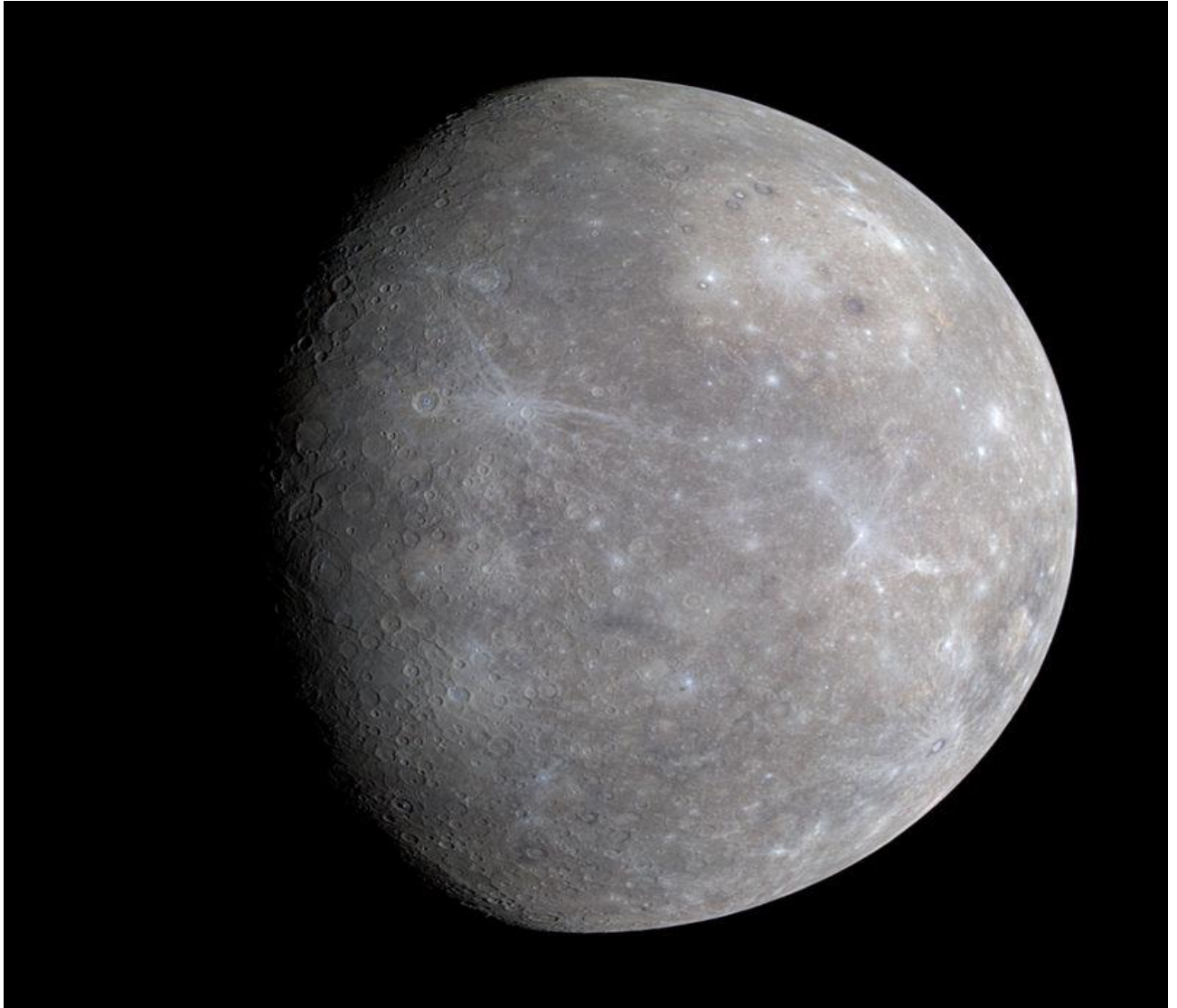
megfigyelni a körkörös alakzatot. A szakemberek szerint a becsapódási területet a bolygó belsejéből kiömlő láva alakította ki.

Időzzünk el egy kicsit ezeknél a képeknél! Sok olyan becsapódási krátert látunk, melyeknek központi csúcsa van. (A szerzőnek sokszor eszébe jut – az ilyen képek láttán – az az analógia, amikor egy kavics belepottyan a vízbe. Ekkor kráter jön létre, a becsapódás okozta hullámok energiája tovaterjed, újabb hullámcsúcsok és völgyek jönnek létre, valamint a becsapódás helye fölött egy kiemelkedő vízcsepp figyelhető meg.)

A bolygón előfordulnak kráterközi síkságok. Ezek a bolygó legidősebb alakzatai. Felszínüket kráterek tarkítják, ez arra utal, hogy ezek későbbi időkben jöttek létre.

Az aránylag *fiatal becsapódásos kráterek ritkák*. Ezeket a körülöttük lévő *sugaras szerkezetről* lehet felismerni, melyeket a becsapódáskor keletkezett anyag hozott létre. A Holdon több, nagy kráter körül láthatunk ilyet.

A *Messenger-űrszonda* (2008-2009) mérései is azt igazolták, hogy a Merkúrnak gyakorlatilag nincs légköre. Ezen nincs mit csodálkozni, hiszen a kicsiny tömege és a magas felszíni hőmérséklet miatt (nappal 400^oC körül) a gázok jelentős része elszökött. Mindkét szonda többi mérése szerint a mágneses mező erőssége – a földinek – a töredéke. A bolygónak a modell számítások szerint -- nagy méretű vasmagja van, melynek sugara kb. 2000 kilométer. A cseppfolyós részt szilikátokból álló köpeny ölel át.



A Messenger szonda egyik színes képe. Több sugaras szerkezetű kráter látható.

Sikerült megtalálni az előre jelzett vízjelet a sarki területeken lévő kráterek alján.

Egyre inkább úgy tűnik, hogy a sokak által „vasbolygónak” nevezett égitest a Naprendszer kialakulása idején történt ütközés során veszítette el vasban szegény külső burkát. Ezt kéreg lefröccsenésnek nevezik.

Az elméleti elképzelések szerint az egész felszínt magma óceán borította, ennek hőmérséklete lassan csökkent, de a becsapódások folyamatosak voltak. Így alakulhatott ki a ma látható tagolt felszín.

A Vénusz.

Az elnevezése szintén ókori eredetű. A szépség és a szerelem istennőjéről kapta a nevét. Ragyogóan fényes, és hófehér színű, ami az ártatlanság jelképe.



Jellemző adatai:

Átmérője: 12 104 km = 0,984 Föld-átmérő.

Tömege: $4,87 \cdot 10^{24}$ kg = 0,8148 Föld-tömeg.

Közepes naptávolsága: $108,21 \cdot 10^6$ km = 0,723 csillagászai egység.

Tengelyforgási ideje: 242,98 nap.

Sziderikus keringési ideje: 224,7 nap.

Szinódikus keringési ideje: 583,92 nap.

Közepes pályamenti sebessége: 35,08 km/s.

A pálya excentricitása: 0,0068.

Felszíni nehézségi gyorsulás: $8,83 \text{ m/s}^2$.

Szökési sebesség: 10,4 km/s.

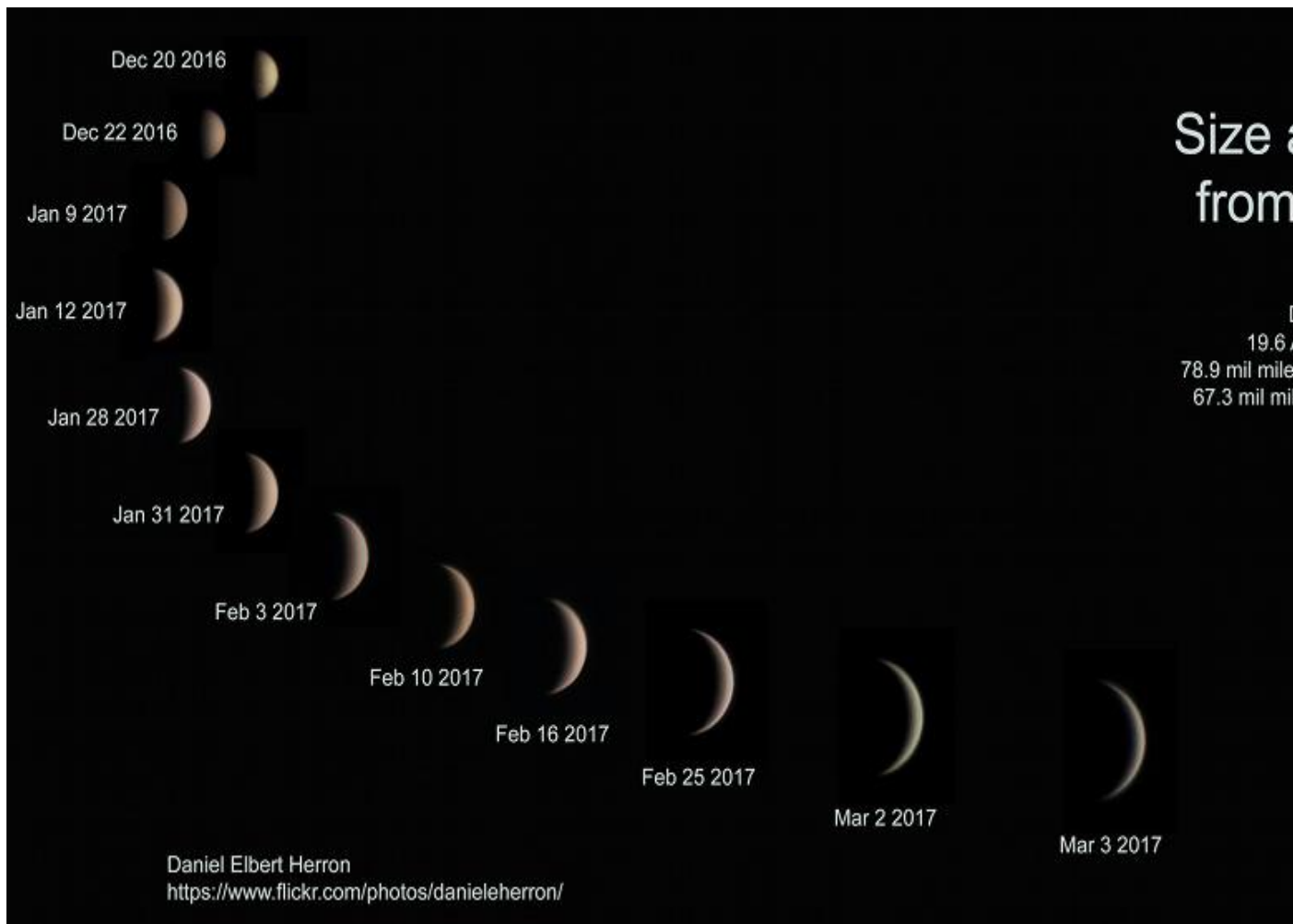
Albedó: 0,76.

Nézzük meg az adatokat! Az albedó jelentős értéke okozza a kiemelkedően erős látszó fényességet.

A Vénusz a Földhöz hasonló átmérője, tömege, és átlagsűrűsége miatt hosszú időn át bolygónk „nővérenek” tartották. Már 100 évvel ezelőtt is tudták, hogy a felszínét azért nem látjuk, mert azt állandóan elfedi a felhőzete. Ezért az alábbi elmélet alakult ki: Egy kissé közelebb van a Naphoz, ezért ott melegebb van, felhők fedik, tehát ott trópusi éghajlat lehet, így sok eső hullik a felszínre, amely buja növényzetet öntöz. Ezért a Vénusz olyan gazdag állat- és növényvilággal rendelkezik, mint ami a Földön néhány tízmillió évvel ezelőtt volt!

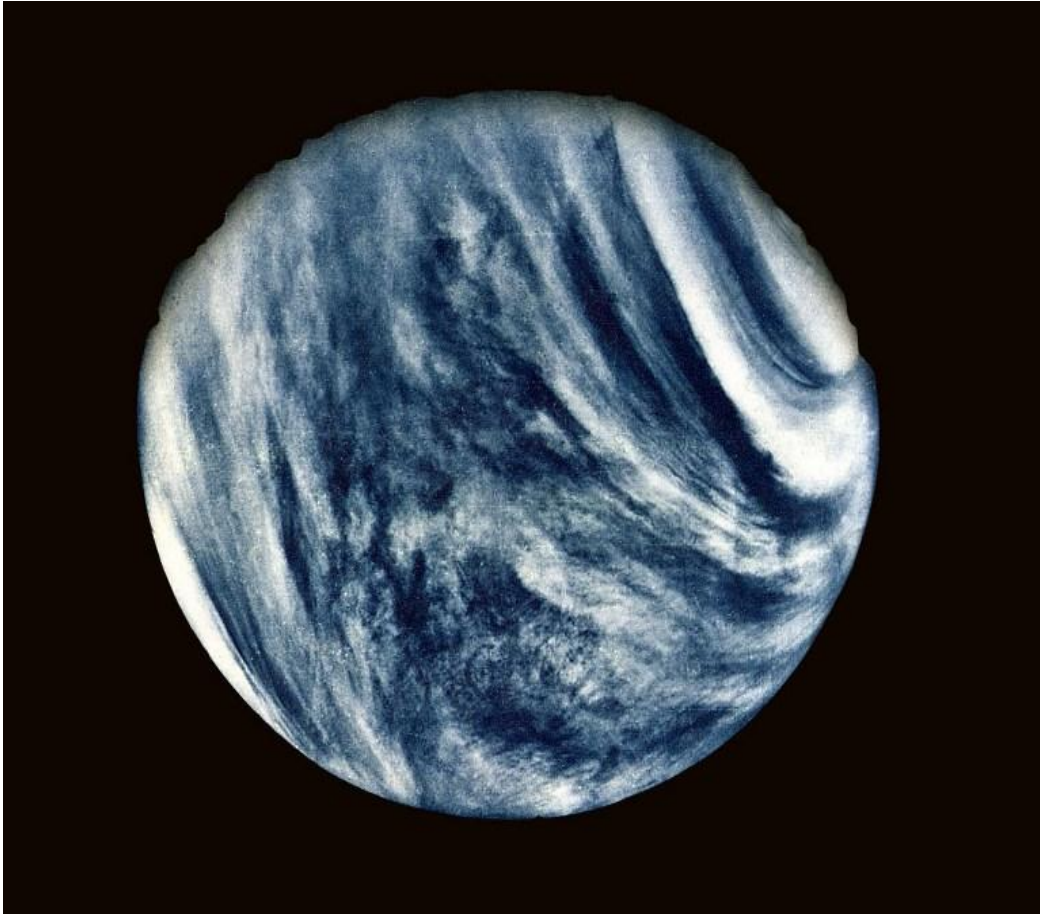
Mindezt a látszat alapján ítélték meg! Ez az idilli kép csak akkor foszlott szét, amikor űrszondák kezdtek méréseket végezni.

Még ezelőtt – radarcsillagászati módszerrel -- *sikerült megmérni a tengelyforgási periódusát*, ami feltűnően hosszúnak bizonyult. A másik érdekesség pedig az volt, hogy nem nyugatról keleti irányba forog a tengelye körül, mint a Föld, hanem éppen ellenkezőleg. *Ezt nevezzük retrográd mozgásnak*. Ha látnánk a felszínéről a Napot, akkor az nyugaton kelne és keleten nyugodna.



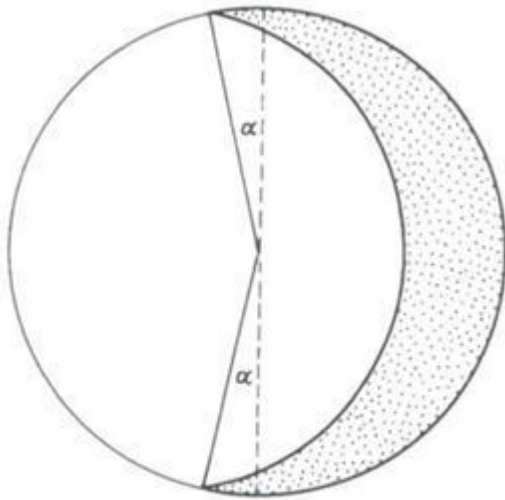
A Vénusz fázisai 2016 decembere és 2017 márciusa között. (Daniel Herron, APOD.)

Érdeemes megemlíteni, hogy az amatőr csillagászok megfigyelései révén a felhőzetben különböző intenzitású területeket, „foltokat” vettek észre. A megfigyelők több színszűrőt alkalmaztak. A különböző kontrasztú tartományok a kék szűrők használatával voltak a legfeltűnőbbek. Mindez arra utalt, hogy a bolygó felhőzete nem egységesen zárt, hanem több rétegből állhat. Ezt a hivatásos csillagászok kételkedéssel fogadták mindaddig, amíg a Mariner-10 űrszonda el nem küldte az alábbi felvételt.



A Mariner-10 felvétele, amelyen jól látható a bolygó felhőzetének szerkezete. A képet nem a látható, hanem az ultraibolya tartományban rögzítette az űrszonda.

Egy másik – amatőr – megfigyelés révén már tudtuk, hogy a bolygó roppant vastag légkörrel rendelkezik. Ezt bizonyították a „Vénusz-szarvai”. Ezek a területek csak akkor lesznek feltűnőek, amikor a Nap a bolygó felszínének már csak kis területét világítja meg. A magasba nyúló vastag felhőzet szintén fürdik a napsugarakban. Ezek a területek túlnyúlnak a sarkokat összekötő képzeletbeli vonalon.



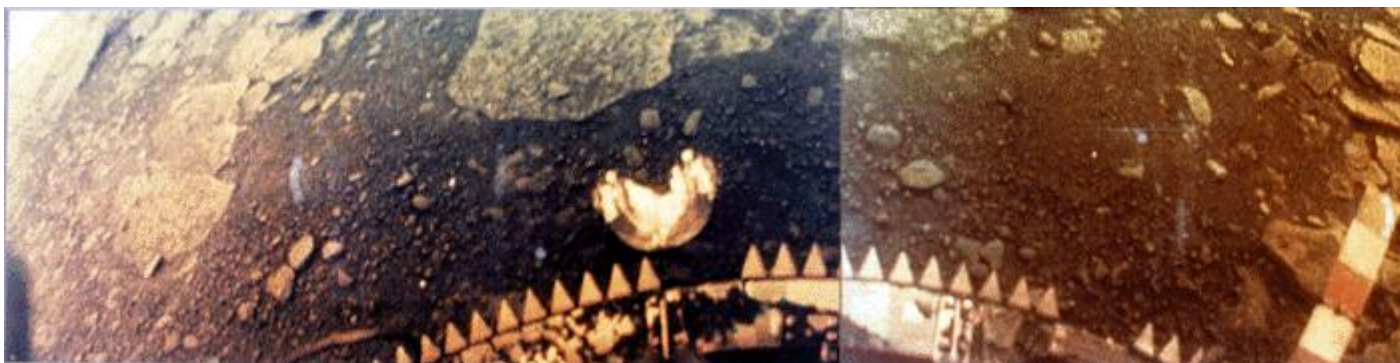
A Vénusz „szarvai”.

A bolygó kutatásában alapvető szerepet játszottak a *Venyera-űrszondák*. Ekkor derült ki, hogy *légmagassága 100 kilométer*, és több övezete van. Az *atmoszférája elsősorban szén-dioxidból áll*. A *felhőkben kénsav található*. A *felszíni hőmérséklet* – az üvegházhatás miatt – még a Merkúron mért értékénél is magasabb! *Eléri a $450-500^{\circ}\text{C}$ -ot*. A *légnomás pedig a földi érték 90-100-szorosa!!*

Röviden összefoglalva: pokoli világ van a kozmikus szomszédságunkban. Ezek után mondja bárki, hogy a Vénusz a Föld nővére.

Az űrkutatók is meglepődtek azon, hogy az első leereszkedő szondák csupán néhány percig működtek. Ezután már úgy tervezték ezeket, hogy alkalmazkodjanak az extrém viszonyokhoz.

Így sikerült a *Venyera-13* és *-14* űrszondának sikerrel leszállnia és néhány képet készítenie.

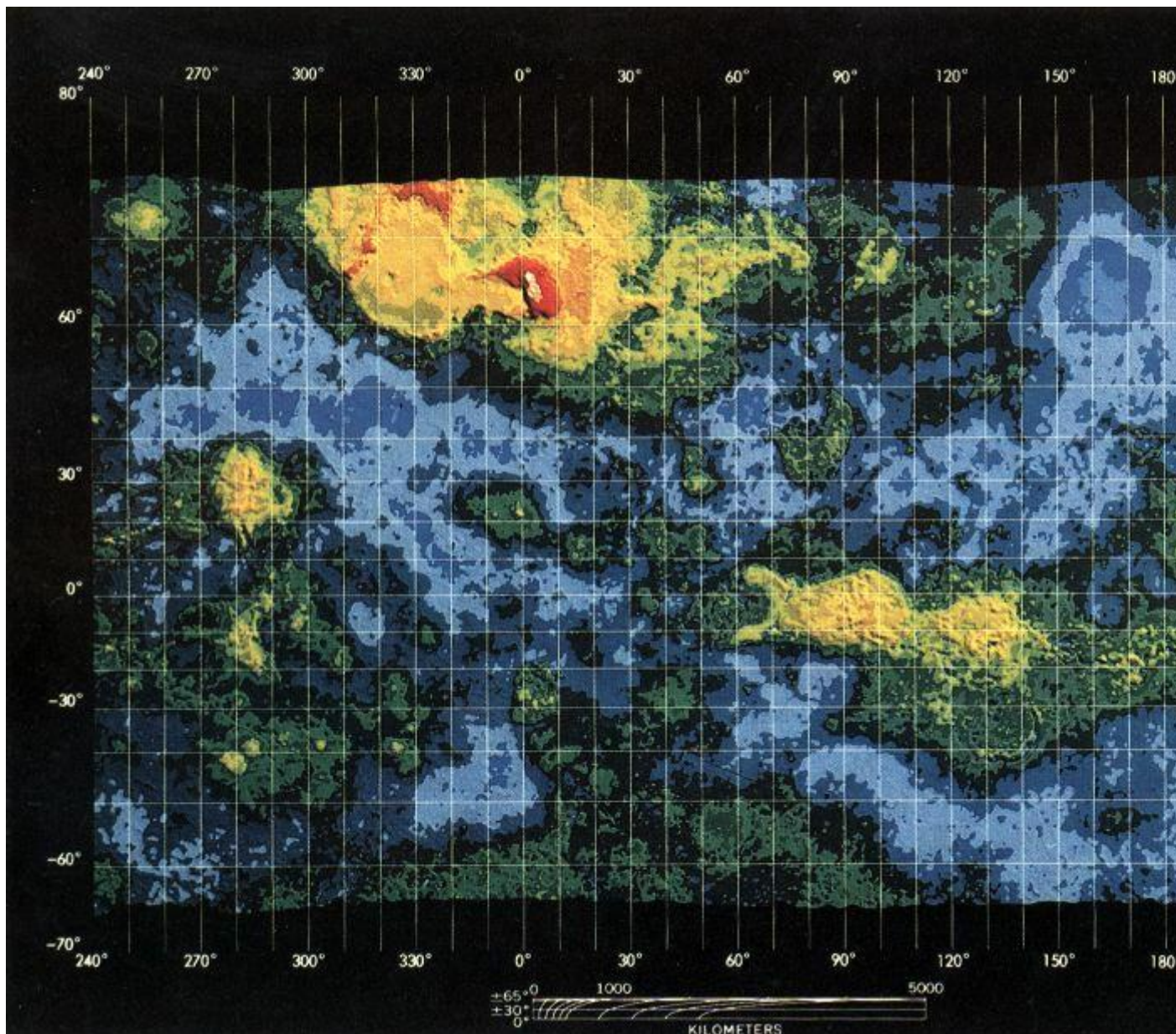


A Venyera-13 által készített egyik felszíni panoráma kép. Alul a szonda talpa látszik. A talajt lapos kövek borítják.

Az elkészült képek alapján azt tudták megállapítani, hogy a felszínen a földi gránitokhoz és bazaltokhoz hasonló kőzetek vannak.

Sokkal biztonságosabb megoldásnak bizonyult a bolygó körül keringő egységek *radarral történt felszíni térképezése*.

A térképező munkát a *Pioneer-Venus-1* kezdte meg 1978-ban.



A Pioneer-Venus-1 mérései révén készült felszín térképe. A kék színnel jelölték a képzeletbeli „tengerszint” alatti területeket. A pirosak a legmagasabb kiemelkedéseket mutatják.

Jól látható, hogy szomszédunk felszíne tagolt. A legmagasabb terület 10 800 méterre emelkedik a képzeletbeli „tengerszint” fölé. A legmélyebb pont pedig 2900 méterrel van alatta. Néhány kanyonrendszert is sikerült azonosítani.

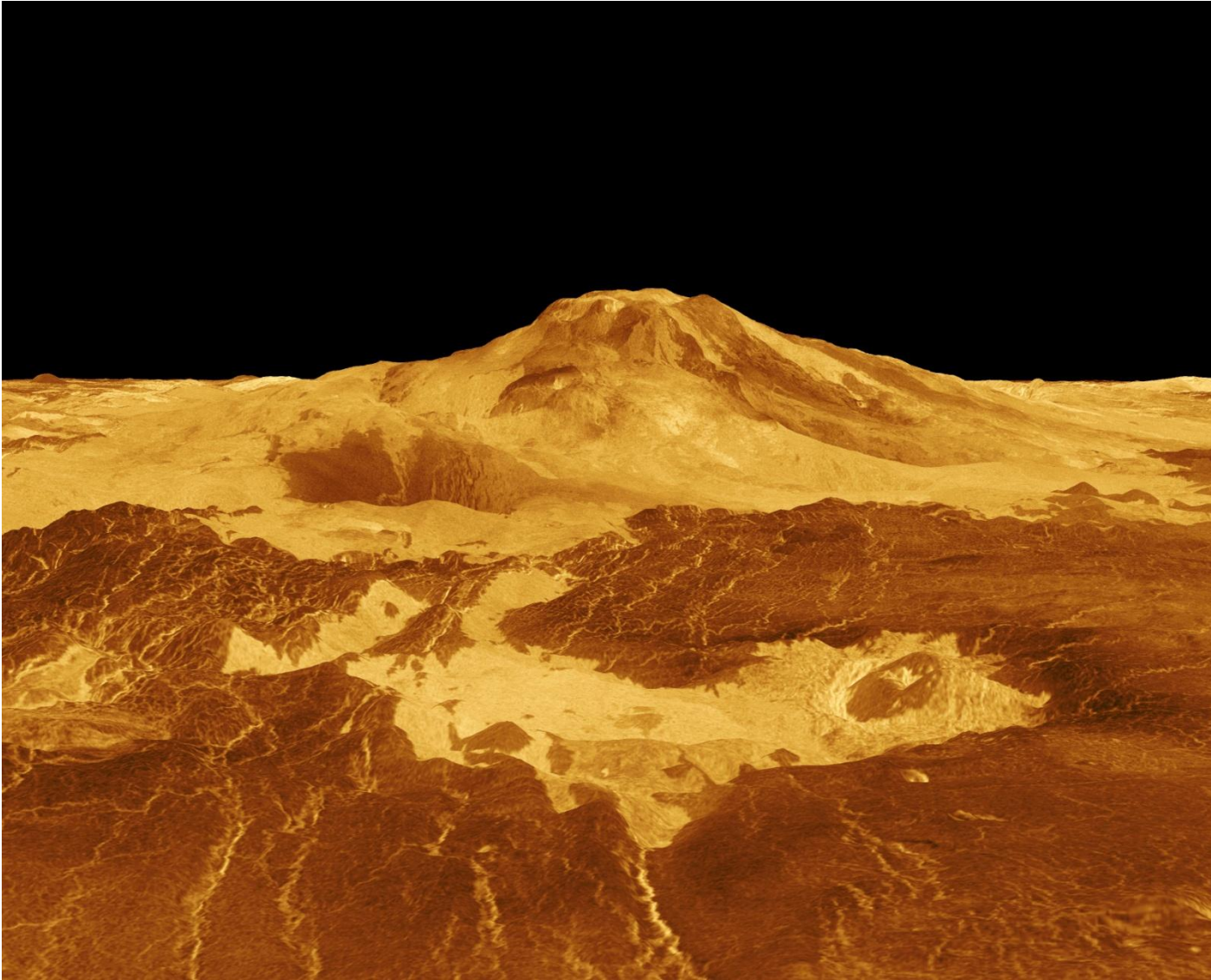
Ez a szonda, majd az őt követők is vulkánkitörések csalhatatlan nyomait figyelték meg, ami arra utalt, hogy a Vénusz – a Földhöz hasonlóan – aktív égitest.

A *Magellán-szonda (1991)* több éven át keringett a bolygó körül, így az eddigi legrészletesebb felszíni térképet készítette el.



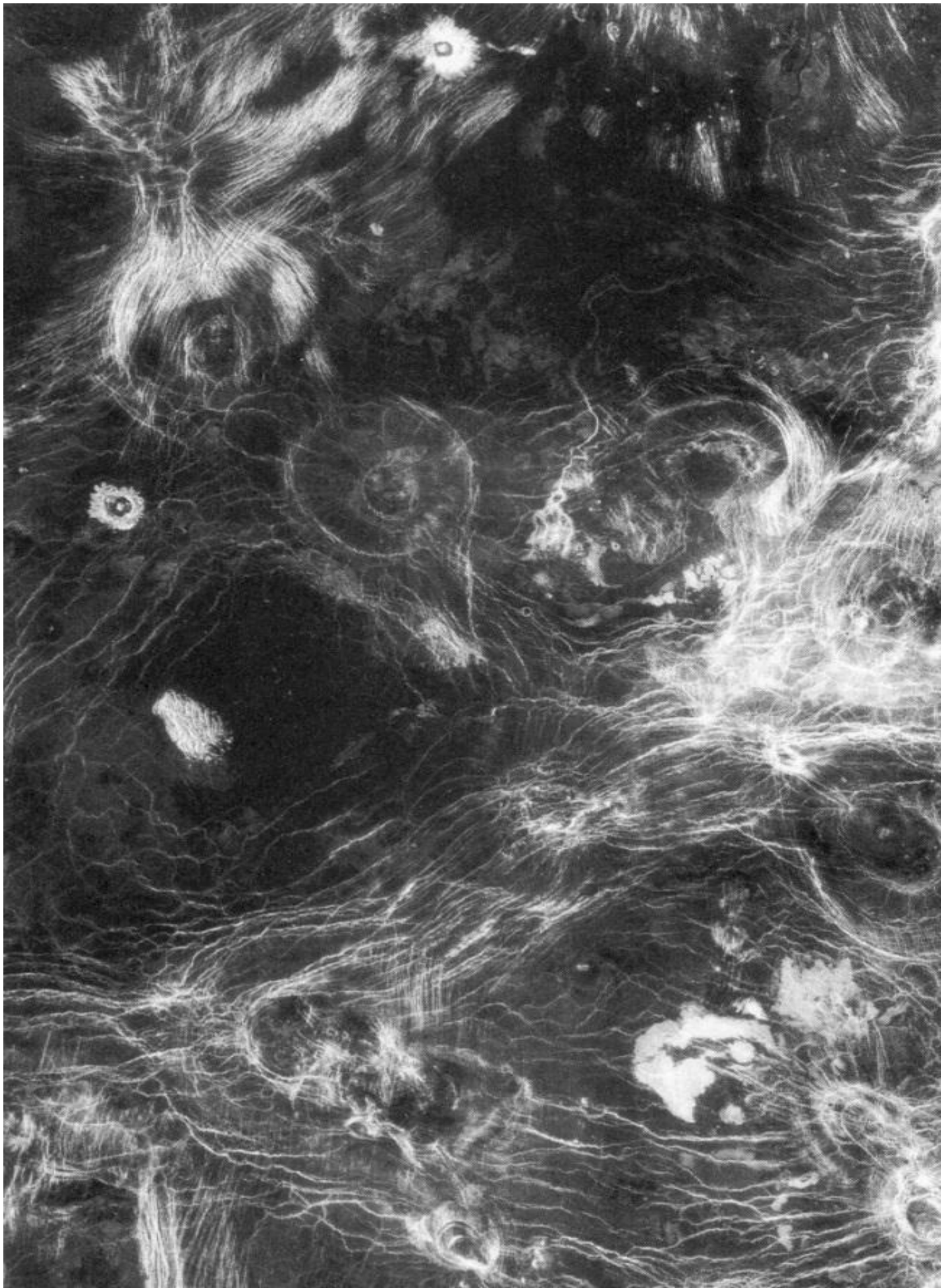
A Magellán-űrszonda radar térképező munkájának eredménye. Így néz ki a Vénusz felszíne.

A bolygó felszínén kb. 800 becsapódásos kráter van. Számos, hatalmas vulkánt lehetett azonosítani.



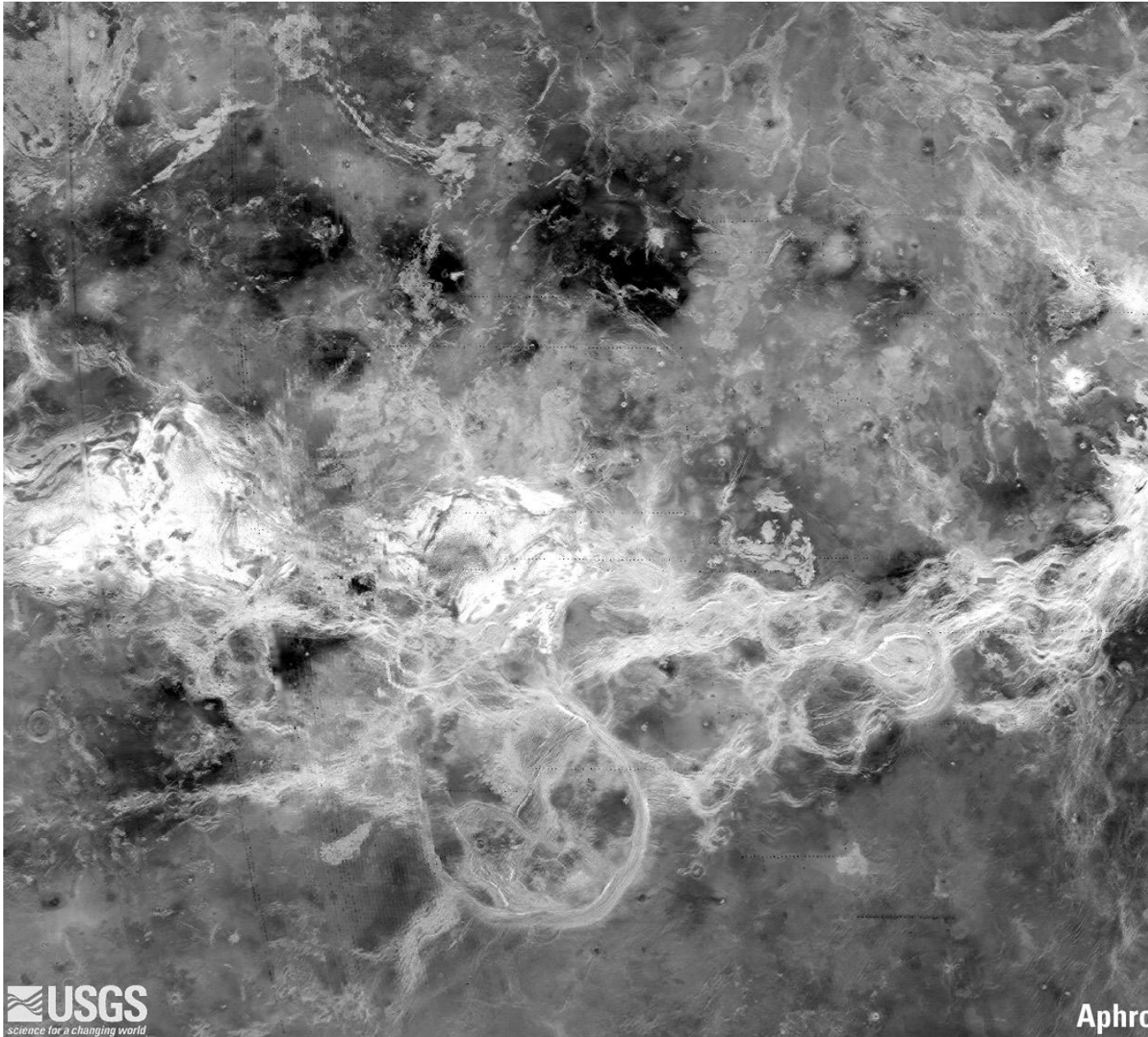
A Vénusz Nyugat-Eistla területe. A Gula-hegység emelkedik ki a változatos tájból. A magassági torzítás 22,5-szeres. (JPL.)

A Vénuszon 1100 vulkáni alakzatot sikerült felderíteni. Ezek több kilométer magas *koronák*, melyek mérete néhány tíztől több száz kilométerig terjed. Körkörös alakzatok, melyek körül sugárirányú törésrendszer (mint a pókháló) látható. Középső részüket a feláramló magma töltötte ki.

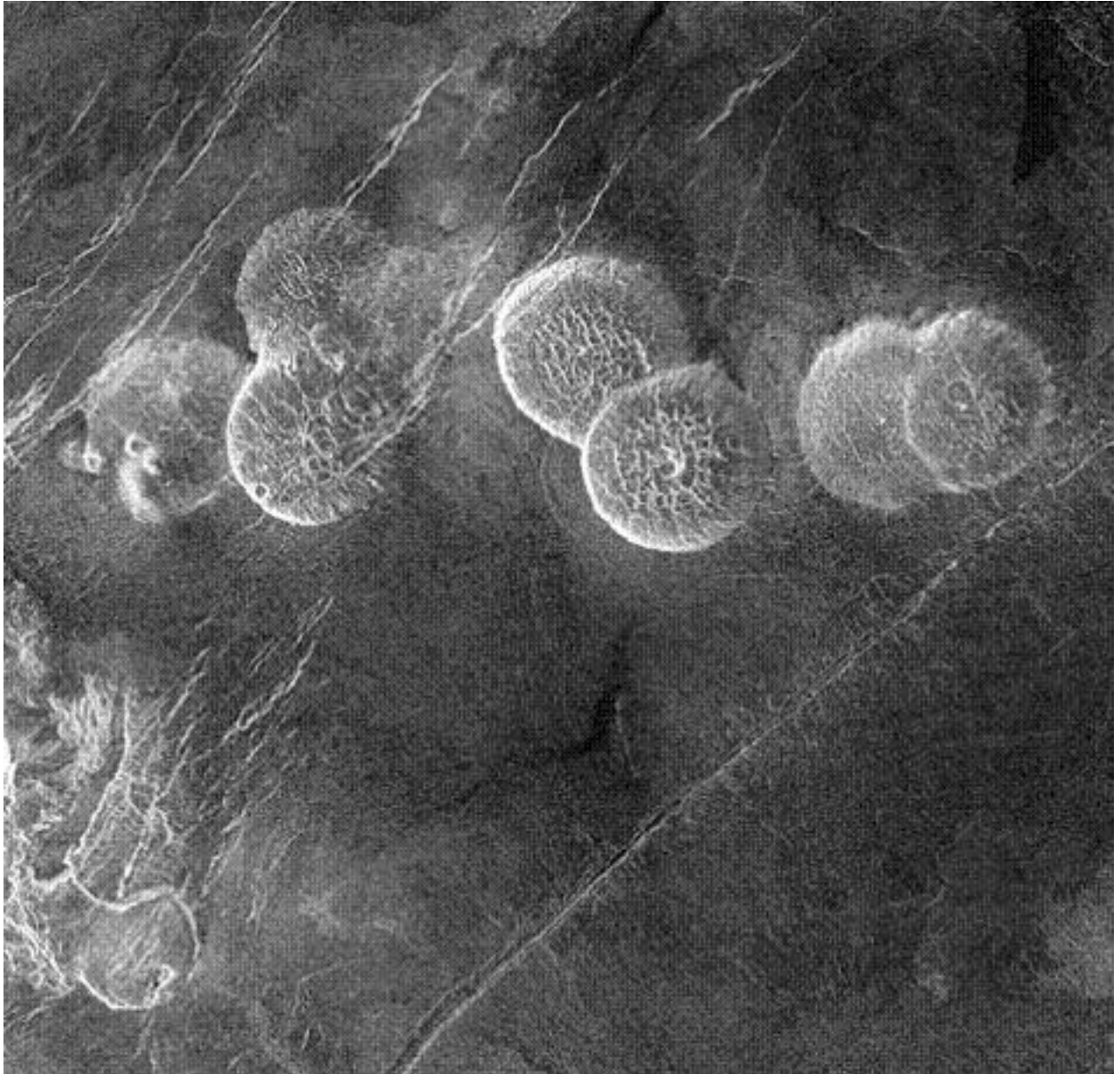


A képen több korona és törésrendszer látszik. (JPL.)

A másik jellegzetes alakzatot a *tesszerák* alkotják, melyek a vulkanikus területek fölé emelkedő vidékek. Felszínük erősen gyűrt és töredezett. Ezek magassága eléri az 1 kilométert.



Az Aphrodite terület. Tesszerák, mély völgyek és hasadékok láthatók. (USGS adatbázis.)



Vulkáni „palacsinták”. Ezek az alakzatok csak a Vénuszon (Alpha Regio) fordulnak elő. Átmérőjük 25 kilométer, magasságuk 750 méter. A köpenyből feláramló folyékony anyag hozta létre ezeket.

A Vénuszon nem figyelhetjük meg a bolygónkon előforduló kontinensvándorlást, így a vulkanikus jelenségeket is ennek megfelelően kell magyaráznunk.

A Föld.



Jellemző adatai:

Átmérője: 12756,28 kilométer.

Tömege: $5,972 \cdot 10^{24}$ kg.

Átlagsűrűsége: $5,52 \text{ g/cm}^3$.

Közepes naptávolsága: 149 600 000 kilométer.

Tengely körüli forgási ideje: 23 óra 56 perc 4 másodperc – ez a csillagnap.

Sziderikus keringési ideje: 365,256366 nap.

A tropikus év hossza: 385, 2422 nap.

Az egyenlítői sík hajlásszöge a pályasíkhhoz: $23,^{\circ}5$.

Közepes pálya menti sebessége: 29,783 km/s.

A pálya excentricitása: 0,0167.

Felszíni nehézségi gyorsulás: $9,81 \text{ m/s}^2$.

Lapultsága: 1/298.

Szökési sebesség: 11,2 km/s.

Albedó: 0,37.

Az egyetlen égitest a Naprendszerben, ahol a víz folyékony állapotban fordul elő. A tengerek és az óceánok a felszín 71%-át foglalják el. Ezért kék bolygóként is szokták emlegetni. Így nem csoda, hogy a fényvisszaverő képessége magas értékű.

(Már a korábbiakban is több érdekességet közöltünk anyabolygónkról.)

Egy csillagászati könyvben ennél sokkal több adat nem szerepel. Így az érdeklődők a különböző földrajzi és geológiai művek ismereteiből egészíthetik ki tudásukat.

Kísérőnk, a Hold. Tömege a Földhöz viszonyítva meglepően nagy. Sőt a legnagyobb az egész Naprendszerben!

A Hold.

A két égitestet kettősbolygónak is nevezik a szakemberek. Ennek oka az, hogy a Hold tömege csupán a Földének 81-ed része.



Jellemző adatai:

Átmérője: 3476,1 kilométer = 0,273 Föld-átmérő.

Tömege: $7,344 \cdot 10^{22}$ kg = 1/81305 Föld-tömeg.

Átlagsűrűsége: 3,334 g/cm³.

Közepes földtávolsága: 384 400,6 kilométer = 60,268 Föld-sugár.

Tengely körüli forgási ideje: 27,32166 nap.

A sziderikus keringési ideje: 27,32166 nap.

A szinódikus keringési ideje: 29,53059 nap.

Az egyenlítői sík hajlásszöge a pályasíkhhoz: 6,°68.

Közepes pálya menti sebessége: 1,025 km/s.

A pálya excentricitása: 0,0549.

A pálya hajlása az ekliptikához: $5,0145^\circ$.

Felszíni nehézségi gyorsulás: $1,628 \text{ m/s}^2$.

Szökési sebesség: 2,374 km/s.

Albedó: 0,07.

Pályájának alakja jelentősen eltér a körtől, ezért legközelebb 354 000 kilométerre (perigeum), legtávolabb pedig 404 000 kilométerre (apogeum) található a Földtől.

Érdeemes figyelni arra, hogy tengelyforgási periódusa megegyezik a sziderikus keringési idővel. Ezt kötött keringésnek hívják. Ennek az a következménye, hogy mindig ugyanazt a felszínt látjuk.

De ez nem igaz! Mivel a Hold más mozgásai miatt a felületének 59%-át lehet távcsövön át tanulmányozni. Ennek két oka van. Mivel a Hold nem a Föld pályasíkjában kering (lásd az adatokban), ezért a sarki területei „mögé” is látunk. Ezt *szélességi librációnak* nevezik. A másik pedig az, hogy a pályája ellipszis alakú, tehát nem egyenletes sebességgel mozog a pályáján. Így „átlátunk” a túlsó félgömbre is. Ez a *hosszúsági libráció (billegés)* jelensége.

A jelenségekről Váradi Nagy Pál saját fotói alapján készített egy kisfilmet, melyet a honlapján megtalálhatunk: www.csillagtura.ro

Egy holdi nap 29,5 földi napnak felel meg.(lásd szinódikus keringési idő). Tehát a holdi nappalok és éjszakák kb. 15-15 napig tartanak.

A Hold felszínének feltérképezése sokáig az egyik kedvelt csillagászati munka volt. Egyre részletesebb térképek készültek, melyeken a különböző felszíni alakzatok elnevezése szerepelt. Galilei nyomán a hatalmas medencék megtartották a különféle – latin nyelvű – elnevezéseket. Pl. Mare Imbrium = Esők-tenger, Mare Tranquillitatis = Nyugalom-tengere, stb. A gyűrűs hegyek (kráterek) pedig különböző természettudósokról kapták a nevüket. Például: Kopernikusz kráter, Tycho kráter. Több magyar névvel találkozunk egy Hold-térképen. Pl.: Eötvös, Kármán.

A Holdon látható hegységeket földi nevekkkel ruházták fel. Így ott is találunk Apennineket, Alpokat és Kárpátokat.



A Tycho- és a Clavius kráter környéke. Éder Iván felvétele.



Az Alpok vonulatai láthatók Éder Iván fotóján.

A Hold felszíne változatos, ezért csillagászati megfigyelés szempontjából „hálás téma”.

Már Galilei észrevette, hogy a kráterek sáncfalai által vetett árnyék hossza alapján meg lehet mérni, hogy az árnyékvető hegy milyen magasságra emelkedik a környezete fölé. (Mivel a napsugarak beesési szöge ismert, így egy derékszögű háromszög átfogójának hosszát kell meghatározni ahhoz, hogy a kisebbik – a derékszögnél lévő befogó – mérete ismert legyen. Ez pedig nem más, mint a fal magassága.) Az árnyék alakja pedig nagyszerűen megmutatja a felső perem csipkészettségét.

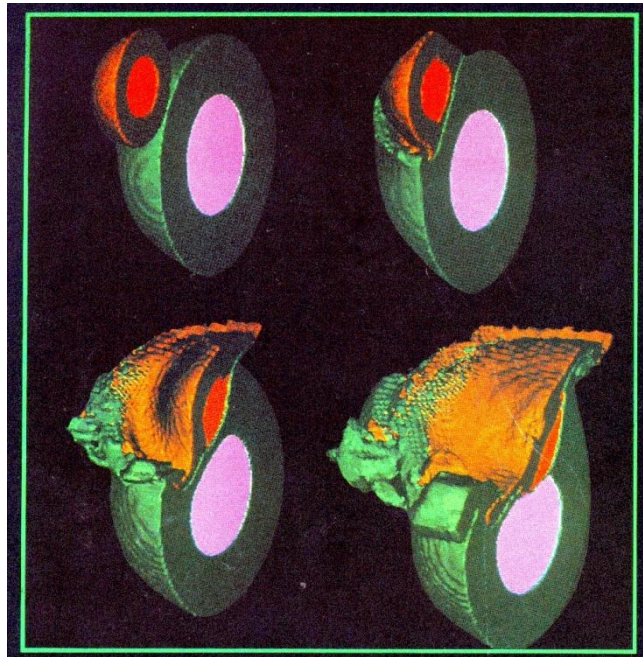
Első negyed idején már több olyan krátert is láthatunk, melynek tetejét világítja meg a Nap, de az aljára még nem ér el a napsugár. Ezért ezeket a gyűrűs hegyeket a *terminátor* vonalán túlnyúlva pillanthatjuk meg. (A terminátor az éjszakát és a nappalt elválasztó határvonal.) Tehát azok a kráterperemek jócskán a felszín fölé emelkednek!



Jól látható, hogy néhány, a terminátor vonalon túli hegycsúcsot már elér a napfény. (Éder Iván felvétele.)

A Holdnak gyakorlatilag nincs légköre. Ezért a Nap által megvilágított részén a hőmérséklet 130°C , míg az árnyékban lévő helyen -150°C . A légkör hiánya azt eredményezi, hogy óriási a hőmérséklet különbség a napsütötte és az árnyékban lévő felszíni alakzatok között. Ezért a felszíni formák a szélsőséges hőmérsékleti viszonyok miatt aprózódnak.

A Hold keletkezését több elmélet próbálja megmagyarázni. A ma elfogadott szerint a szomszédunk egy, a Földdel ütköző másik, nagy méretű égitest révén született. Itt is egy – a Merkúrnál már említett – lefröccsenési magyarázattal szolgáltak.



A Hold kialakulását szemléltető számítógéppel készült folyamat ábra néhány képe.

A fenti illusztráció mutatja, hogy a Földünk egy kb. Mars-méretű égitesttel ütközött. A kataklizma a Naprendszer korai időszakában történt. A kiszakított anyagcsomót a Föld gravitációs ereje „begyűjtötte”, és ebből jött létre az új égitest.

Ezután a lassan megszilárduló felszínt az akkori időszakban előforduló kozmikus bombazápor érte. Így jöttek létre a hatalmas méretű medencék és az ősi kráterek. Ezek ma megfigyelhető mérete a néhány centiméterestől az 1000 kilométeres méretig terjed. A holdi óceánok sima felületét, a kéreg alól feláramló láva töltötte ki. Itt néhány becsapódásos krátert lehet megfigyelni, amelyek egyértelműen arra utalnak, hogy másodlagosak, hiszen később keletkeztek. Mindez arra utal, hogy a becsapódások a Hold történetében a későbbi időszakokban is jellemzőek voltak.

A sorozatos bombazápor miatt a kőzetek aprózódása egyre intenzívebbé vált. Ehhez hozzájárult a már korábban említett hőmérséklet változás hatása. Így alakult ki a Hold talaját

fedő porréteg – a regolit. A részecskék mérete 0,1 és 0,01 mm közé esik. A holdi porréteg vastagsága eltérő nagyságú. Van ahol a – mérések szerint – a 100 méteres értéket is eléri.

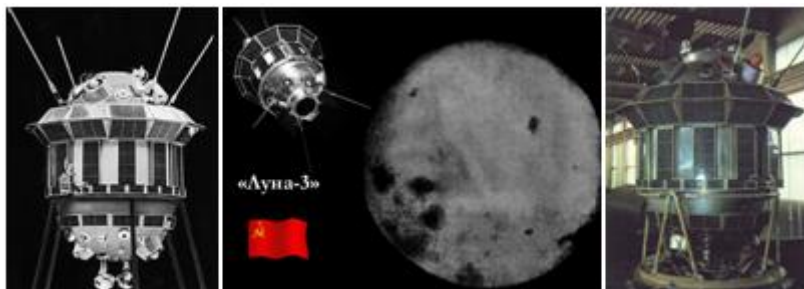
Amikor az első emberes holdra szállást tervezték, akkor komolyan aggódtak a földi irányítók, hogy nem süllyed-e el a holdkomp ebben a poros talajban.

Az ott járt űrhajósok csizmáinak nyomát – egyes becslések szerint – egymillió évig megőrzi a regolit.



Kiválóan látható a poros felszín, és az egyik űrhajós csizmatalpának lenyomata. (NASA)

Az űrkutatás első földönkívüli célpontja a Hold lett. A Luna-3 űrszonda volt az első, amely 1959-ben a Hold mellett elhaladva lefényképezte a Földről sohasem látható oldalát.



A Szovjetunióban készült Luna-3 szonda, és a történelmi jelentőségű képe.

Mai szemmel nézve ezen sokan mosolyognak. De 1959-ben, amikor még az űrszondákkal való kutatás műszaki megvalósítása a bizonytalan utakat járta, csodának számított egy ilyen sikeres küldetés. (A viághálón érdemes elolvasni az akkori technikai hátteret!)

A Luna-9 volt az első ember készítette eszköz, amely sima leszállással érte el a Hold felszínét (1966).

Mindenképpen meg kell említeni, hogy a két akkori – politikailag gyökerese eltérő nagyhatalom – *a Szovjetunió és az Egyesült Államok űrbéli vetélkedése irányította az űrprogramot*. A hidegháború korszakát éltük. Mindkét ország az űrkutatást haditechnikai célnak tekintette. A kialakult „űrverseny” során kiemelt szempontot kapott, hogy ki tud először embert juttatni a világűrbe. Ki tudja a legnagyobb tömegű műholdat Föld körüli pályára állítani, melyik ország űrhajósa tud először a nyílt világűrbe kilépni, és még hosszasan lehetne folytatni. A kiemelt feladat pedig – ki tud először a Holdra embert juttatni, úgy, hogy azt onnan biztonságban vissza is hozza!

Az űrversenyben a Szovjetunió mindig megelőzte riválisát.

1963-ban, az USA akkori elnöke – John F. Kennedy – kijelentette, hogy az évtized vége előtt megvalósítják az emberes holdra szállást.

Ennek érdekében alapos előkészületeket tettek. Térképező szondák, szándékosan becsapódó mesterséges égitestek filmfelvételei mind azt szolgálták, hogy az Apolló-program sikeres legyen (ennek előzménye volt a Gemini-sorozat). Óvatos küldetések után – *1969. július 20-án – lépett az első ember a Hold felszínére.*

Neil Armstrong volt az, aki egy Földön kívüli égitestre tette a lábát. Nem sokkal később Edwin Aldrin mászott le a holdkomp lépcsőjén.

Valamennyi expedíció kőzeteket hozott a Földre. Automaták is gyűjtöttek holdi anyagot, melyet tanulmányozni lehetett. A vizsgálatok azt mutatták, hogy *szomszédunk legalább 4 milliárd éves*. A bazalt az óriás meteorok vagy aszteroidák becsapódása után, a kéreg alól került a felszínre. Kimutatták, hogy a tengerek életkora egymástól eltérő. A legősibb és a legfiatalabb között 500 millió év volt az eltérés. Ez egyértelműen arra utalt, hogy *a Hold felszínét érő bombazápor félmilliárd évig tartott!* Mai ismereteink szerint a kéreg megszilárdulása szintén ennyi időt vett igénybe. Ezért joggal jelenthetjük ki, hogy *a Hold a Földdel egyidős égitest.*

Hosszasan lehetne írni a Holdon talált kőzetek sajátosságairól, csupán két érdekes példát említünk meg. Az anortozitok a Földön ritkán fordulnak elő, a breccsa, mely tömör kristályos kőzetek darabjaiból áll össze. Az egyes alkotórészeket a regolit (holdpor) cementál össze. Ezek a becsapódások során fellépő magas hőmérséklet és nyomás hatására jönnek létre.

A Földről látható holdfelszínen két olyan nagy krátert láthatunk, melyek *sugársávosszerű szerkezetet* mutatnak. A Kopernikuszról és a Tychoról van szó.



A kép alján a Tycho, tőle balra feljebb a Kopernikusz elnevezett kráter látszik.

Ezek a sávok minden más felszíni alakzaton áthaladnak. Ez pedig egyértelműen azt bizonyítja, hogy viszonylag *fiatal képződmények*. A sávokról készült közeli képek pedig elárulják, hogy milliónyi aprócska kráterből állnak. Tehát a becsapódó test által kidobott anyagdarabok hozták létre a krátorsorokat.

Megállapították azt is, hogy a Hold „arculatának” kialakításában a vulkánosság minimális szerepet kapott.

Figyelmet érdemel, hogy *a Hold – Nap felé forduló oldalán – nem találunk hasonló tengereket, mint amiket szabad szemmel is láthatunk.*

Nemrég – szintén az automaták megfigyeléseinek köszönhetően – a sarki területeken lévő kráterek alján megtalálták azokat a *fagyott vízjég mezőket*, melyet a szakemberek már előre megjósoltak.

Ennek kulcsfontosságú szerep fog jutni, amikor felépülnek az első bázisok a Hold felszínén, amelynek fekete, bársonyos egén nappal is látszanak a csillagok.

A Mars.

Neve szintén ókori eredetű. A görög és a római mitológiában a hadisten neve volt. Ismét a látszat alapján történt ítélezés. Vörös színe miatt a vérrel azonosították, tehát a háborúval kellett összefüggésbe hozni.



Jellemző adatai:

Átmérője: 6788 kilométer = 0,53 Föld-átmérő.

Tömege: $6,39 \cdot 10^{23}$ kg = 0,107 Föld-tömeg.

Átlagos sűrűsége: $3,95 \text{ g/cm}^3$.

Közepes naptávolsága: 227,9 millió kilométer = 1,524 csillagászati egység.

Tengelyforgási ideje: 24 óra 37 perc 23 másodperc.

Sziderikus keringési ideje: 1,881 év.

Szinódikus keringési ideje: 779,9 nap.

Az egyenlítői sík hajlásszöge a pályasíkhhoz: $23,^{\circ}98$.

Közepes pálya menti sebessége: 24,14 km/s.

A pálya excentricitása: 0,0934.

A pályasík hajlásszöge az ekliptikához: $1,^{\circ}8$.

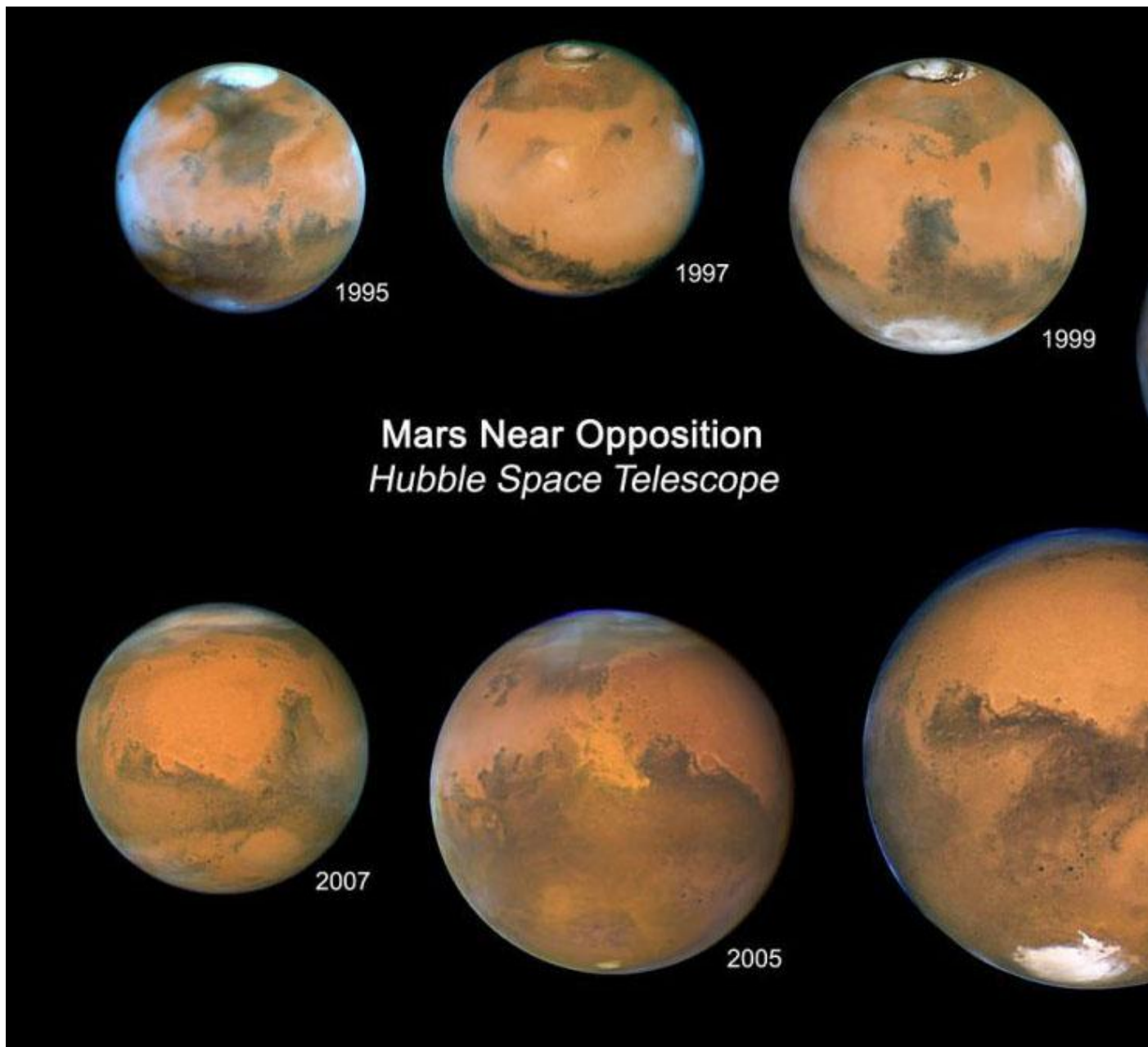
Felszíni nehézségi gyorsulás: $3,73 \text{ m/s}^2$.

Szökési sebesség: 5,0 km/s.

Albedó: 0,14.

Érdeemes néhány adatra felfigyelni. Egy marsi nap alig több, mint nálunk. Az egyenlítői sík hajlásszöge szinte megegyezik a Földével. Majdnem a Föld pályasíkjában kering.

A Hold után a legtöbbet megfigyelt égitest, melynek felszínén különböző alakzatokat fedeztek fel. Ezek világosabb és sötétebb területek voltak. A sarki területeken pedig a folyamatosan változó nagyságú, fehér színű foltok voltak szembetűnőek. Ezért érthető, hogy nagy figyelmet fordítottak a folyamatos megfigyelésére. (Az egyetlen olyan bolygó a Naprendszerben, melynek felszínét részletesen tanulmányozhatjuk.) Az elnyúlt ellipszispálya miatt nagy távolság különbség van a napközel- és a naptávolpont között. Ez azt is jelenti, hogy a tőlünk mért távolsága is elég szeszélyesen ingadozó.



A Hubble űrtávcső képei a Marsról. Érdeemes felfigyelni a látszó méretek eltérő nagyságára.

Kb. 15 évenként áll elő olyan lehetőség – nagy oppozíció –, amikor a felszínét távcsövekkel kedvező körülmények között tudjuk megfigyelni. Ekkor a legnagyobb a látszó mérete. Más esetekben csak egy jellegtelen narancsvörös színű apró korongot nézhetünk. Oppozíció idején jár a legközelebb a Naphoz, tehát a felszínét ekkor melegíti fel a legjobban. Ezért a Marson porviharok alakulnak ki, amelyek megnehezítik a távcsöves megfigyelést. Ráadásul csak néhány hét van arra, hogy kihasználjuk a megfigyelésre kedvező alkalmat.

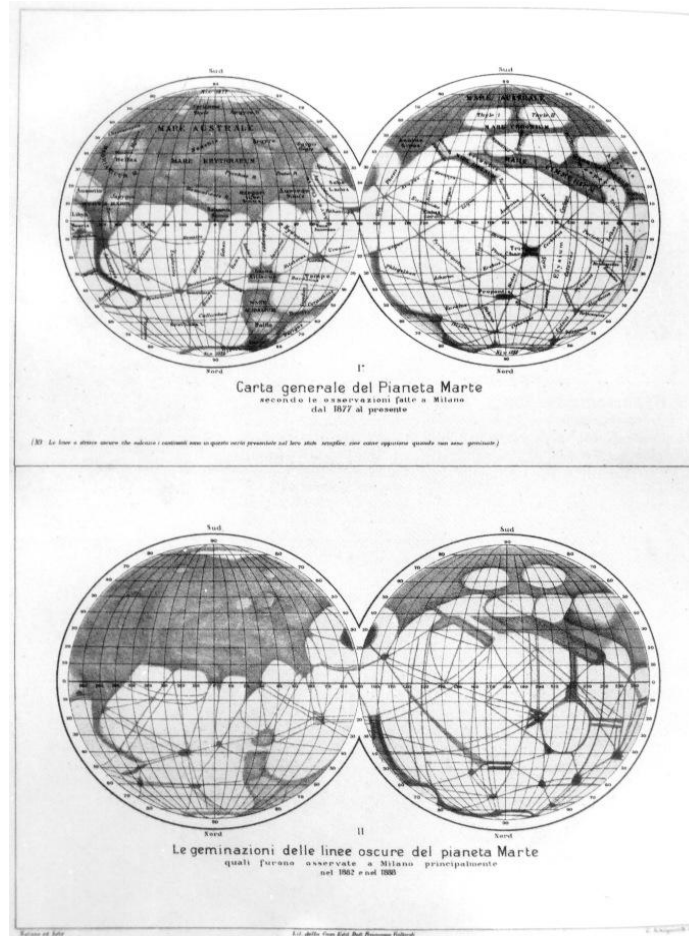


A Mars. Jól látszanak a különböző felszíni alakzatok. A légkörön keresztül ilyen képet lehet készíteni. Éder Iván felvétele.

Néhány távcsővel történt megfigyelés eredménye:

Christian Huygens (1629-1695) holland tudós volt az, aki először adta meg a bolygó tengelyforgási idejét. *Giovanni Domenico Cassini (1625-1712)* itáliai csillagász figyelt fel először a sarki sapkákra. A XIX. század közepétől kezdve pedig többen hálószerű alakzatokat véltek felfedezni a felszínén. Közismert, hogy *Giovanni Schiaparelli (1835-1910)* itáliai csillagász nevét kapcsolták össze a marsi civilizációval. Az 1877-ben készült rajzain olyan egyenes vonalak látszanak, melyeket, az angol – rossz!! – fordítás miatt csatornáknak kezdték emlegetni a sajtóban. Világszenzáció! (Mindez az olaszról angolra történt hibás

fordítás eredménye volt! Tehát valóságalapja egyenlő volt a nullával, de az újságírókat ez nem érdekelte – már akkor sem, hogy a hír hiteles, vagy sem.)



Schiaparelli eredeti rajzai.

Elindult „a tengeri kígyó”. Teljesen világos – mondták – a csatornahálózatra szükségük van az ott élő lényeknek, hiszen a sarki sapkák vizével kell táplálni a bolygó kiszáradt földjeit. Csak így lehet növényeket termeszteni. Ha pedig a marslakók ilyen nagy hálózatot tudnak építeni, akkor nálunk fejlettebb civilizációval rendelkeznek! Ezek a lények rossz indulatúak, és le akarják igázni a Földet! *H. G. Wells (1866-1946)* angol író fantáziája azonnal beindult. Így született meg a „*Világok harca*” című könyve, amely a marslakók inváziójáról szól. A regényt a korabeli filmgyártás is egyik témájának választotta. De mindezen túltett *Orson Welles (1915-1985)* színész és rendező, aki az Egyesült Államokban egy rádiójátékban dolgozta fel a regényt. Az előadás olyan jól sikerült, hogy a hallgatók pánikszerű menekülésbe kezdtek, mivel úgy gondolták, hogy a marslakók előzőnlötték a földet!!

A „Mars-mizéria” még napjainkban is fel-felbukkan. A bulvársajtó időnként előveszi a „régie lemezt”, és így próbál olcsó népszerűsége szert tenni. Csak néhány példa: a Marson egy óriási emberi arc látható, a marsi óriásvulkánok mesterséges alkotások, a Phobos hold pedig

egy úrhajó. Legutóbb, az egyik hazai lap azt taglalta, hogy a Mars olyan közel jön a Földhöz, hogy ugyanakkorának látjuk majd, mint a teleholdat!!

Biztos vagyok abban, hogy minden szakember kitörő örömmel venné tudomásul azt, ha a Marson az élet egykori, vagy mai legcsekélyebb nyomára bukkannánk.

A Mars is a lakható zónában kering. A legkedvezőbb körülmények között a nyári maximum hőmérséklet $+20^{\circ}\text{C}$ fok lehet, de ugyanitt -70°C alá süllyed a hőmérséklet.

A bolygó légkörének vastagsága a földinek a töredéke, tehát a légnyomás is roppant alacsony. Kb. század akkora, vagy még kisebb, mint a Földön mért tengerszinti légnyomás érték.

A légkör kémiai összetétele: 95,2% CO_2 , 2,7% N_2 , 1,6% Ar, 0,13% oxigén, 0,03% vízgőz. Mindez azt mutatja, hogy a földi élet szempontjából nézve egy ellenséges környezet van a külső szomszédunkban.

Mindezek az ismeretek már az űrszondák méréseinek köszönhető.

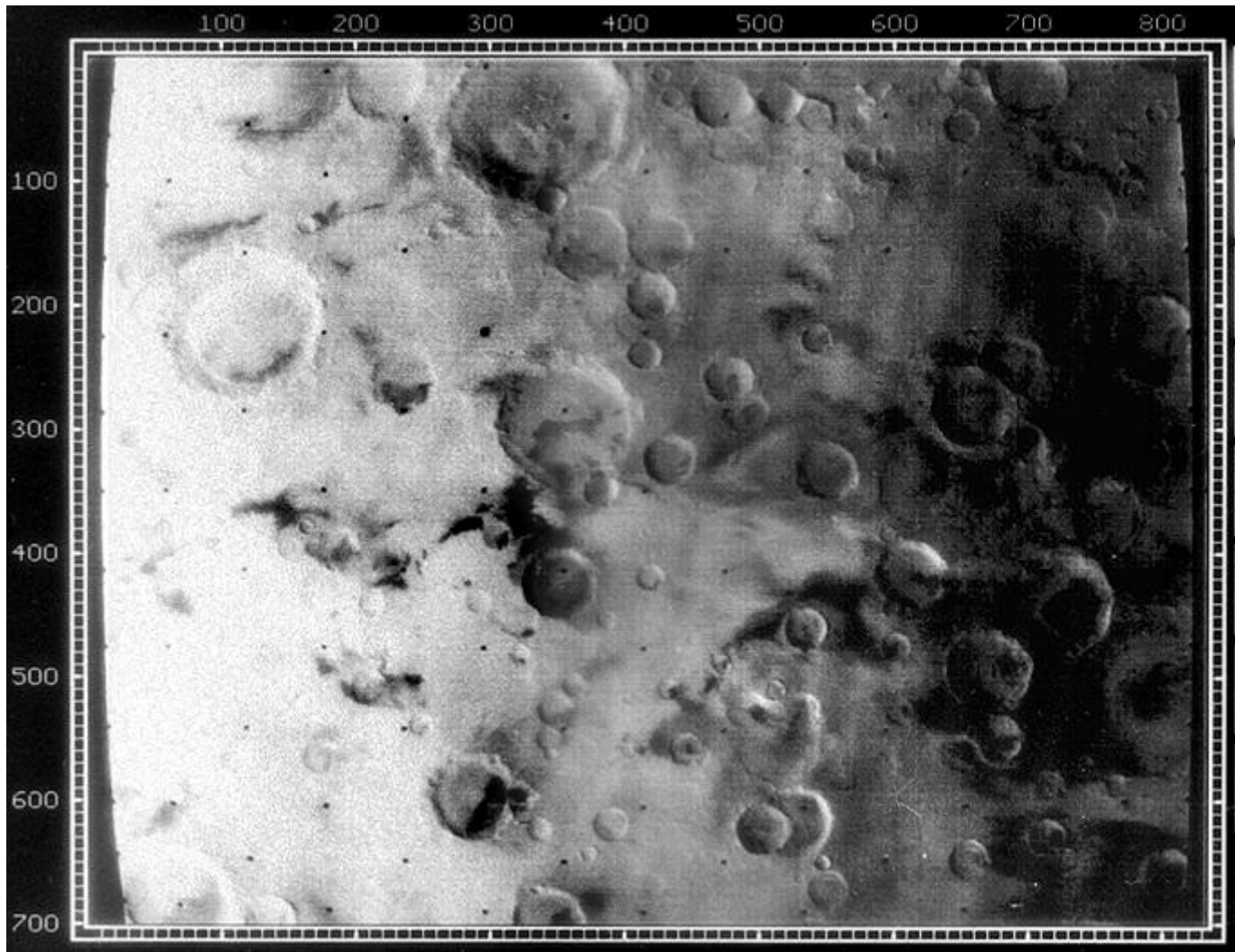
A *Mariner-4* volt az első olyan mars-szonda, amely a bolygó mellett elszáguldva (1965) felvételsorozatot készített a felszínéről. A képei megdöbbenést okoztak.



A Mariner-4 egyik felvétele. Számos kráter látható rajta.

A szakemberek számítottak arra, hogy a felszínen lesznek becsapódásból származó kráterek, de a nagy számuk meglepte őket.

A későbbi kutatószondák is megerősítették, hogy a szomszéd bolygón sok-sok kozmikus sebhely van.

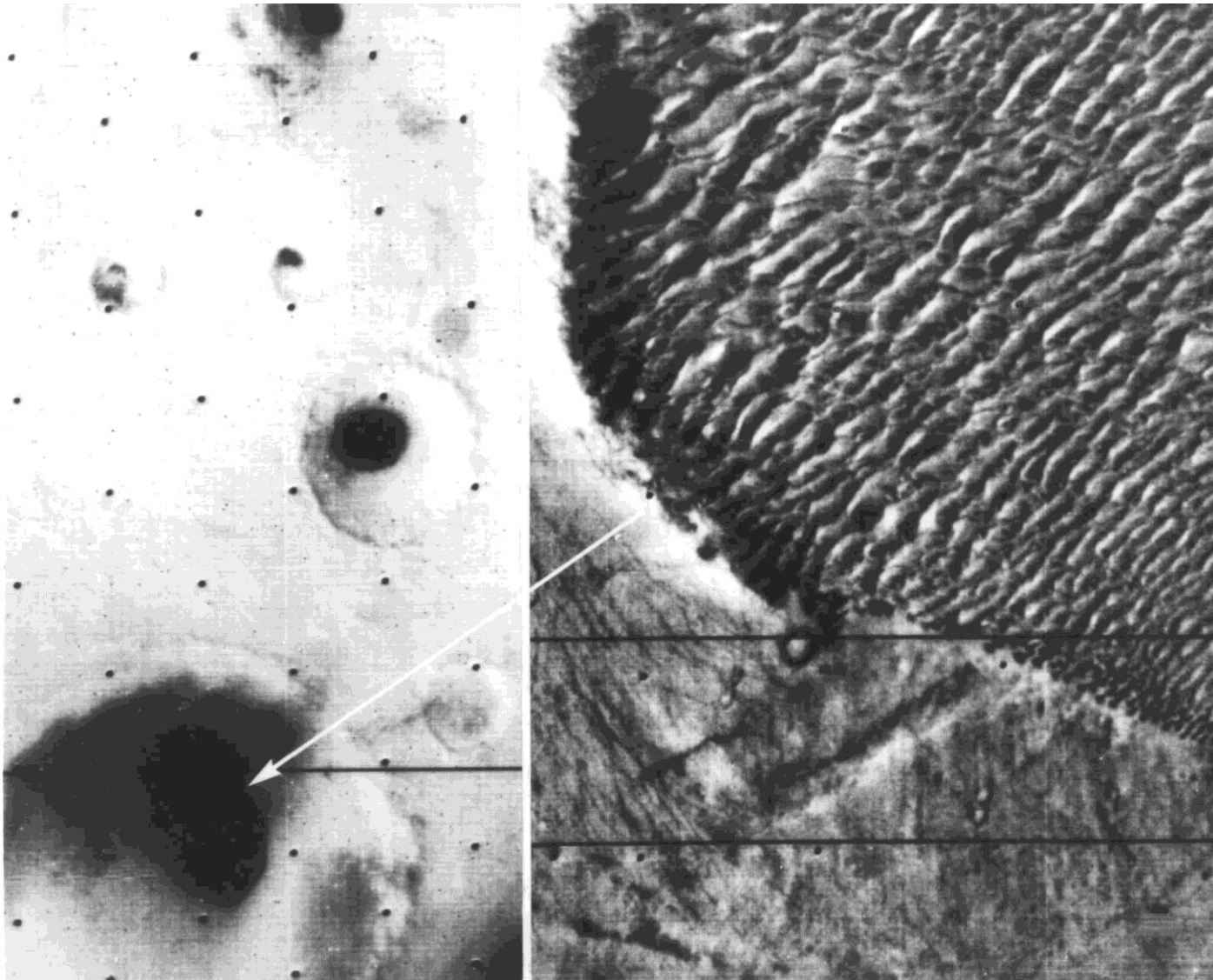


A Mariner-9 egyik felvétele, amely 1971-ben állt bolygó körüli pályára. Jól látszik a sűrűn kráterezett vidék. (NASA.)

A Mariner-9 keringő egységének felvételei mutatták meg először, hogy a Mars felszíne változatos. Óriási vulkánok és hasadékvölgyek vannak ott.



A Nirgal elnevezésű hasadékvölgy-rendszer a Mariner-9 felvételén. (NASA.)



Egy dűnékben gazdag vidék. (NASA.)

A két Viking-szonda leszállóegységeinek (1976) kifejezetten az volt a célja, hogy az élet nyomaira bukkanjanak. Azonban a felszíni vizsgálatok negatív eredménnyel zárultak.

Keringő egységeik azonban páratlanul szép felvételeket sugároztak a Földre. A sok közül csak néhány kiragadott példa: sikerült megörökíteni a sarkvidéki hajnali párát, a legmagasabb hegy tetején keletkező felhőt, az óriásvulkánokat, valamint a ritka szépségű hatalmas kanyonrendszert, a Valles Marineris-t.

Légköri és hőmérsékleti viszonyok:

Már a fentiekből is kitűnik, hogy az ottani viszonyok jócskán eltérnek a nálunk tapasztalhatóktól.

Az űrszondák mérései szerint az átlagos légnyomás értéke mindössze 6,1 millibar = 6,1 hektopascal. A földi érték: 1033 hektopascal. A légkör döntő többségét szén-dioxid alkotja, a hőmérséklet pedig lényegesen alacsonyabb, mint a mi bolygónkon. Ilyen fizikai viszonyok miatt a szén-dioxid -125°C -on csapódik ki (kondenzálódik). Meteorológiai kifejezéssel élve ez a szén-dioxid harmatpontjának hőmérsékleti értéke. Ennél magasabb hőmérsékleten ez a gáz halmazállapotú. Így jön létre az a fehér színű, felszín borító réteg, amelyet már földi távcsövekkel is látni lehetett.

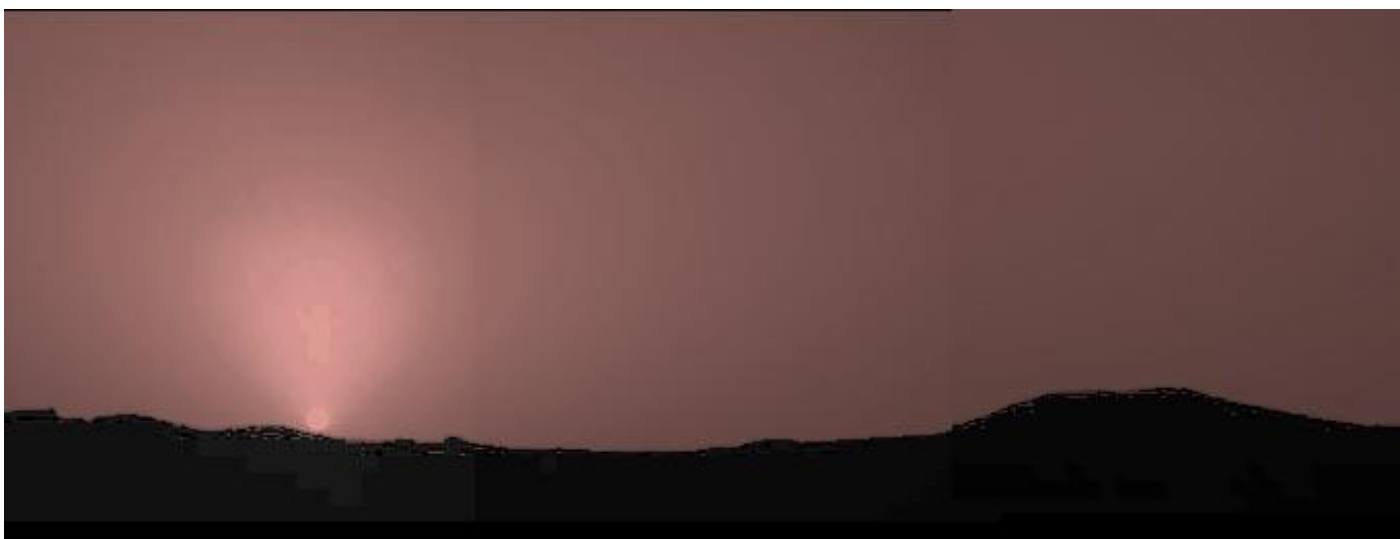
A vízpára lecsapódási hőmérséklete -83°C ! Az alacsony nyomás miatt a víz csak nagyon szűk hőmérsékleti tartományban fordulhat elő folyékony halmazállapotban. $+2^{\circ}\text{C}$ -on már felforr és elillan. Ezek a példák nagyszerűen mutatják a különböző halmazállapotok nyomásfüggését.

Így érthető, hogy miért nem találunk folyékony vizet a bolygón.

Az évszakos változások hőmérsékleti értékeit leginkább a negatív tartományban találjuk.

A poláris sapkák területének nagysága attól függ, hogy mennyi ott a hőmérséklet, azaz -125°C alatt vagy fölött van. Minden mérés azt mutatta, hogy a napi hőingás értéke tetemes. A bolygó közéghőmérséklete: -60°C , szemben a földi $+10^{\circ}\text{C}$ értékével.

A földi megfigyelések is megmutatták az időnként kialakuló porviharokat. Először 1892-ben figyelték meg az egész bolygó felszínét beborító – a szél által szállított – homokszemcsék (melyek parányi kőzetdarabok) fedő hatását. Ezek a földi sivatagokban is előforduló anyagból állnak. A szélesebbesség több száz km/h, azonban az alacsony nyomás miatt romboló hatása eltölpül egy földi szélviharral összemérve. Egy-egy marsi vihar után a szemcsék hosszú idő alatt ülepednek ki a légkörből. Mivel a felszíni por vastartalma nagy, ezért a rajtuk szóródó fény miatt rózsaszínű az égbolt.



Marsi naplemente. Jól látható az égbolt színe, amelyet a légkörében lebegő porszemcsék szóródása okozott. A felvétel 1997-ben készült. (APOD, NASA.)

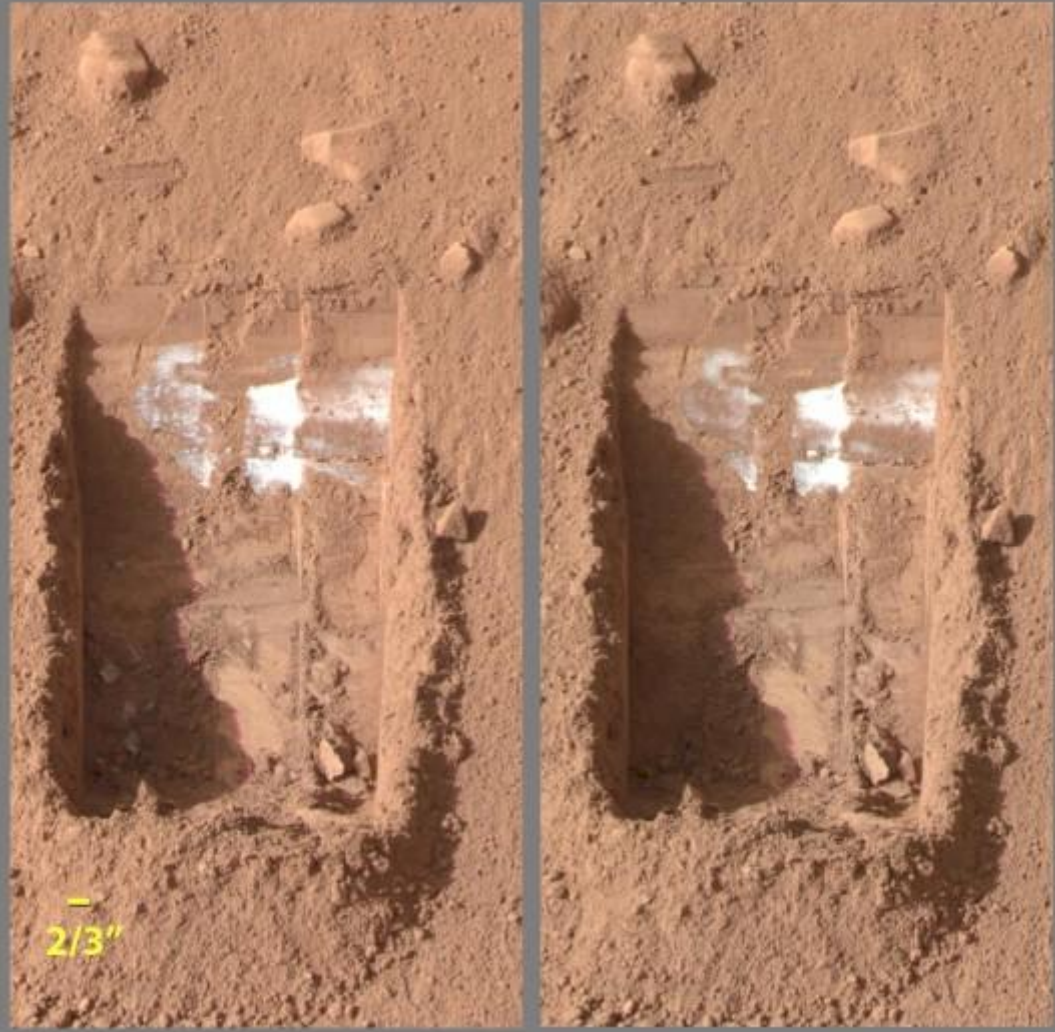
Hová lett a víz a Mars felszínéről?

A *Mariner-9* 1971-ben állt bolygó körüli pályára. Olyan képeket továbbított, amelyek egyértelműen arra utaltak, hogy valamikor *folyékony víz volt a felszínen!* Több kiszáradt folyó völgyet lehetett látni a felvételeken. Ezek a földi sivatagokban előforduló időszakos vízfolyások medréhez hasonlítottak. A már korábban említett Viking-szondák mérései alapján – a légköri vízgőz mennyiségéből kiindulva – 7-8 köbkilométer lehet a víz összmennyisége, ez négyszer töltené meg a Balaton medrét. (A nagy tóban kb. kétmilliárd köbméter víz van.) A Marson megtalált víz azonban lecsapódott (kondenzált) állapotú. Így pl. felhőket is sikerült lefényképezni. A sarki területeken pedig vízjeget találtak. A reggeli ködfoltok az emelkedő hőmérséklet hatására megszűnnek, majd este ismét kicsapódik a vízpára, és hártya vékonyságú jégkéreg képződik.

A kutatók végül arra a megállapításra jutottak, hogy a víznek jóval nagyobb mennyiségben kell jelen lennie. Ez a talaj alatt kell, hogy legyen, mégpedig fagyott állapotban!

Sol 20

Sol 24

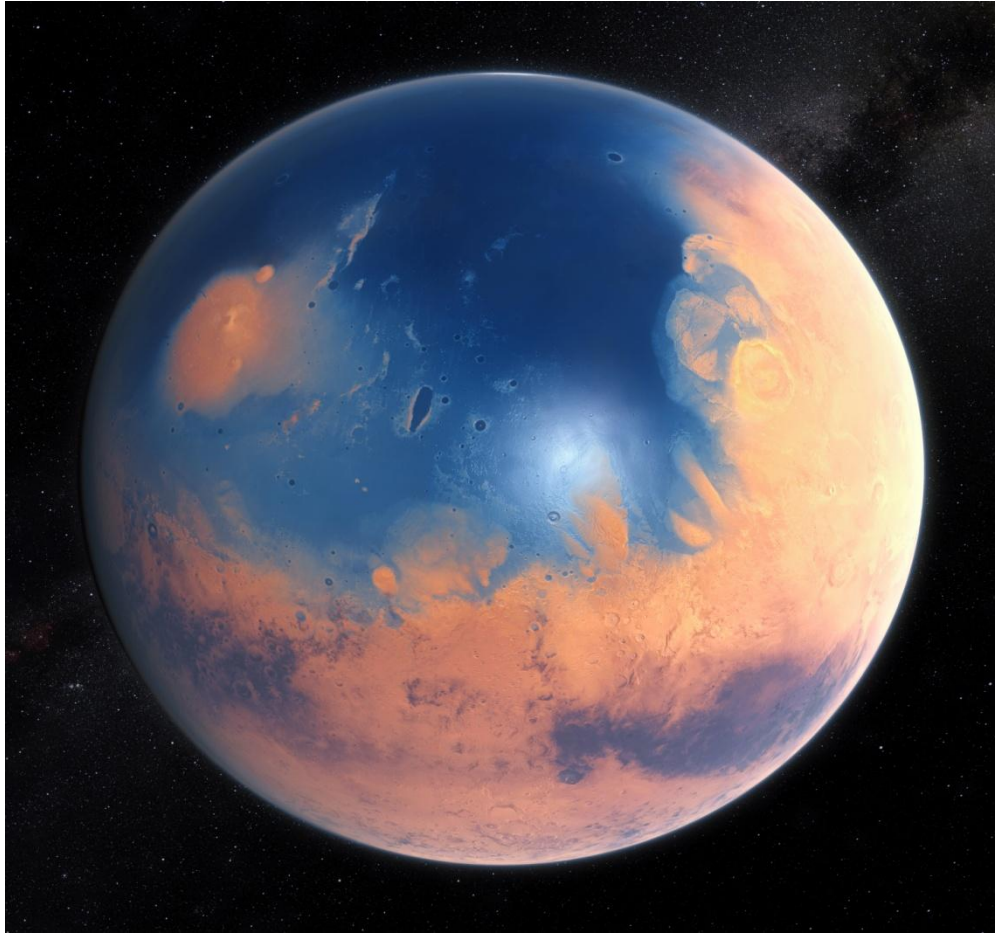


A Phoenix leszállóegysége által megtalált jégréteg (2008). NASA-JPL fotó.



A Mars Reconnaissance keringő egysége által készített felvételen egy becsapódás után került a felszínre a jég. Az űrszonda több ilyen területet talált, és a későbbi képeken már a jég nem volt látható a szublimáció miatt.

Egy 2015-ben megjelent tanulmány szerint évmilliárdokkal ezelőtt a Mars felszínének 19%-át óceán fedte, melynek mélysége elérhette az 1600 métert. (Az Atlanti-óceán bolygónk felszínének 17 százalékát foglalja el.)



Fantáziarajz az egykori óceánról. (ESO/M. Kornmesser/N. Risinger)

Sok felvétel készült olyan felszíni alakzatokról, melyek a folyékony víz egykori jelenlétét erősítette meg, sőt a felszínen dolgozó terepjárók kutatási eredményei is igazolták a fenti elképzelések helyességét.

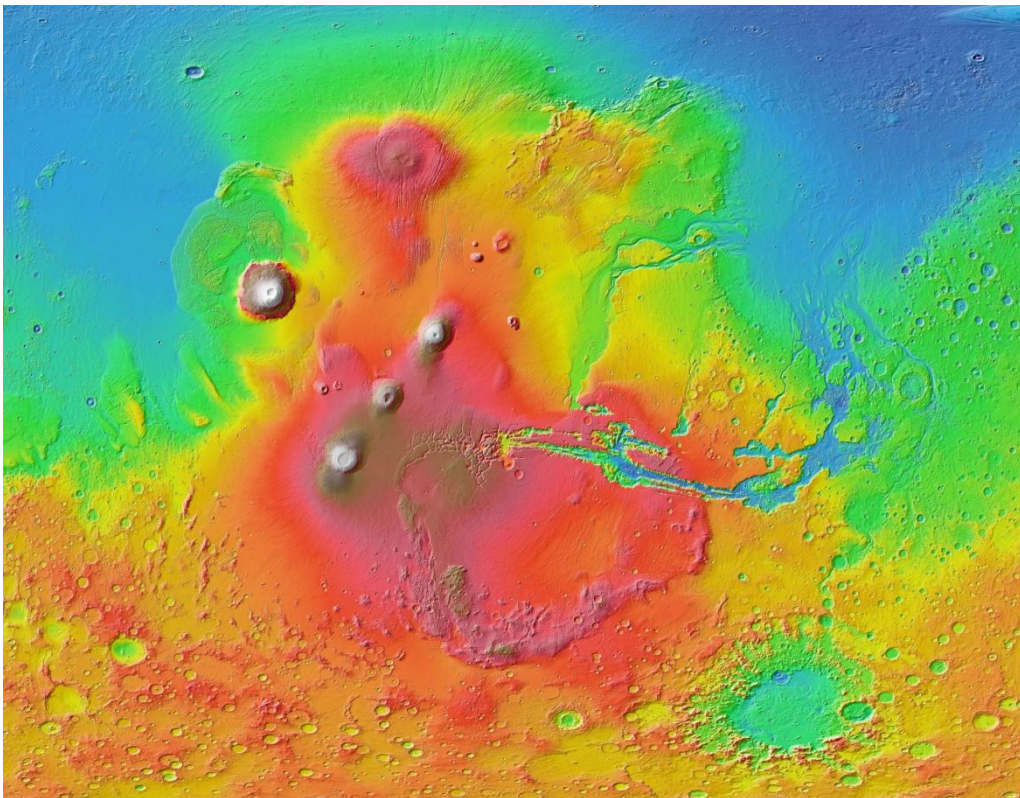
Sőt egyes űrfelvételek arról tanúskodnak, hogy folyékony víz is előfordulhat a felszínen. Ezt folyásnyomok, hordaléknyomok bizonyítják. A Curiosity marsjáró évek óta gyűjtött adatai alapján az is elképzelhető, hogy rövid ideig folyékony sós víz is jelen lehet a felszínen.

A felszín alakzatai.

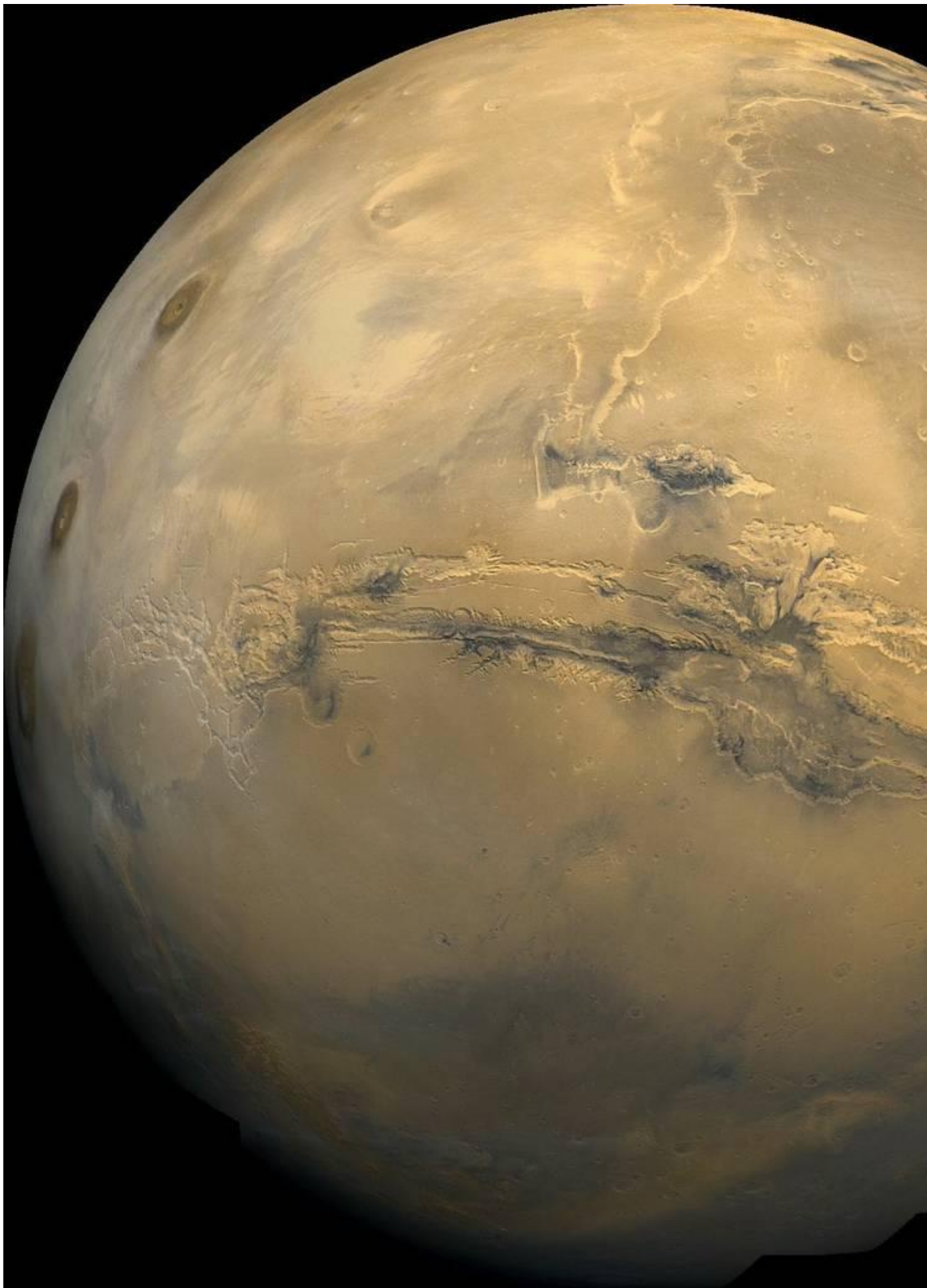
A két félteke arculata és kialakulása is különböző. A déli félgömb erősen kráterezett, minden bizonnyal a bolygó ősi felszínét láthatjuk ott. Tehát a felszíni alakzatok a bolygó fejlődésének korai szakaszában keletkeztek. Az északi félteke területének döntő többségén csaknem összefüggő, lávával borított síkságok vannak. Itt a kráttersűrűség lényegesen kisebb, mint a másik féltekén. Sőt, még a holdi tengereken előfordulóknál is kisebb a számuk.

A Marsnak hosszú és változatos geológiai múltja van. (Senkit ne tévesszen meg a szakkifejezés. A planetológiában a Földdel kapcsolatos elnevezést használják.) Számos óriási *vulkán* bizonyítja a hosszan tartó vulkanikus aktivitást. A kiterjedt *törésvonal rendszerek* a felszín nagy léptékű változásait bizonyítják. A *folyómedrekről* már volt szó. A szél sok helyen *homoktengereket* hordott össze. Míg másutt *jégvájta völgyek* figyelhetők meg. *Minedzek arra utalnak, hogy a Mars éghajlata évmilliárdokkal gyökeresen eltért a maitól.* (A szakemberek már régóta keresik a magyarázatot, de nincs egységesen kialakított kép.)

A legtöbb óriásvulkán és a legtöbb deformált alakzat a szurdokvölgyek és a nagy folyómedrek a *Tharsis* magaslaton vagy a körül tömörülnek.



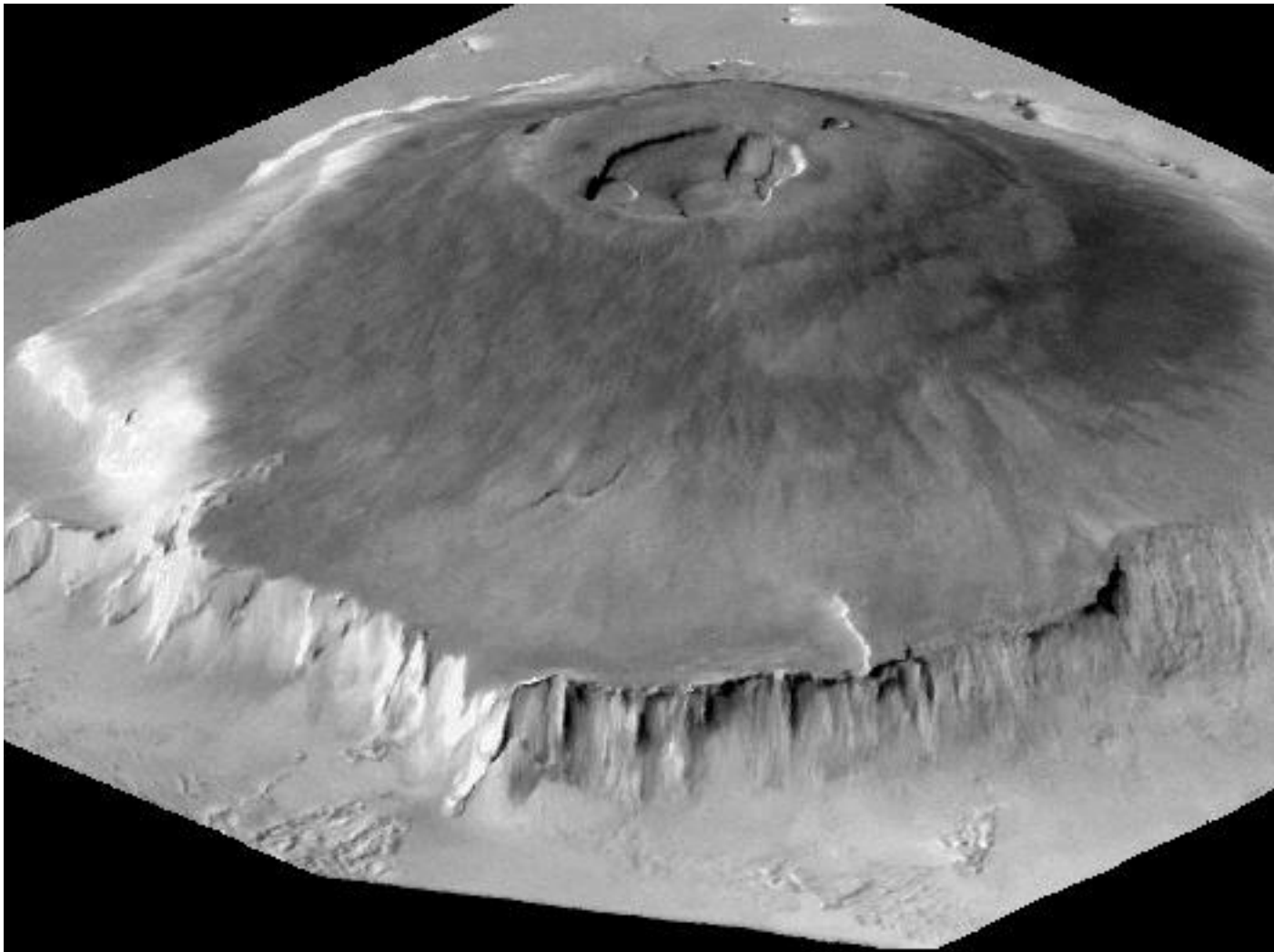
A négy óriásvulkán jobbra pedig egy gigantikus hasadékvölgy látszik a hamis színezésű képen. (A Google Mars térkép egy részlete.)



*A Mars hatalmas kanyonrendszere a Valles Marineris. Tőle jobbra két óriásvulkán látható.
(NASA/Viking.)*

A *Tharsis magaslát* egy kb. 5000 kilométer átmérőjű fennsík. Itt találjuk a már emlegetett óriási vulkánokat. Az *Ascereaus Mons* 26 kilométer, a *Davonis Mons* 25 kilométer, az *Arsia Mons* szintén ugyanilyen magasságba nyúlik a bolygó általunk kijelölt nulla szintjéhez (referencia felület) képest.

A Mars, és egyúttal a *Naprendszer legmagasabb vulkánja az Olympos Mons 27 (!) kilométeres magasságot ér el.* Ez az óriás az előbbiektől 1600 kilométerre északnyugatra, a Tharsis-fennsík szélén terül el. Ezek a vulkánok a földiekhez képest gigászi méretűek. Az Olymposz-hegy alapja 700 kilométer szélességű, az *Alba Patera* (ez egy alacsonyabb hegy) alapzata pedig 1500 (!) kilométer szélességű. A legnagyobb földi tűzhányó, a *Mauna Loa*, mindössze 120 kilométeres alapzattal rendelkezik, és csupán 9 kilométeres magasságba emelkedik az óceáni aljzattól számítva.



Az Olymposz-hegy számítógépes 3D képe. A központi kaldera (beomlott vulkáni kürtő) kb. 90 kilométer méretű. (NASA.)

Nagy oppozíció idején az óriási vulkánt egy közepes teljesítményű távcsövön át megpillanthatjuk.

A marsbeli vulkánok közül a nagyobbak a földi pajzsvulkánokhoz – a hawaiiakhoz – hasonlítanak.

A hasonlóság mellett, azonban a legnagyobb különbséget a méretek jelentik. A marsbeli lávafolyamok tízszer-százszor hosszabbak és szélesebbek, mint a földi pajzsvulkánoknál megfigyelhetők. Hasonlóak az arányok az árkok, gátak és más vulkáni alakzatok esetében.

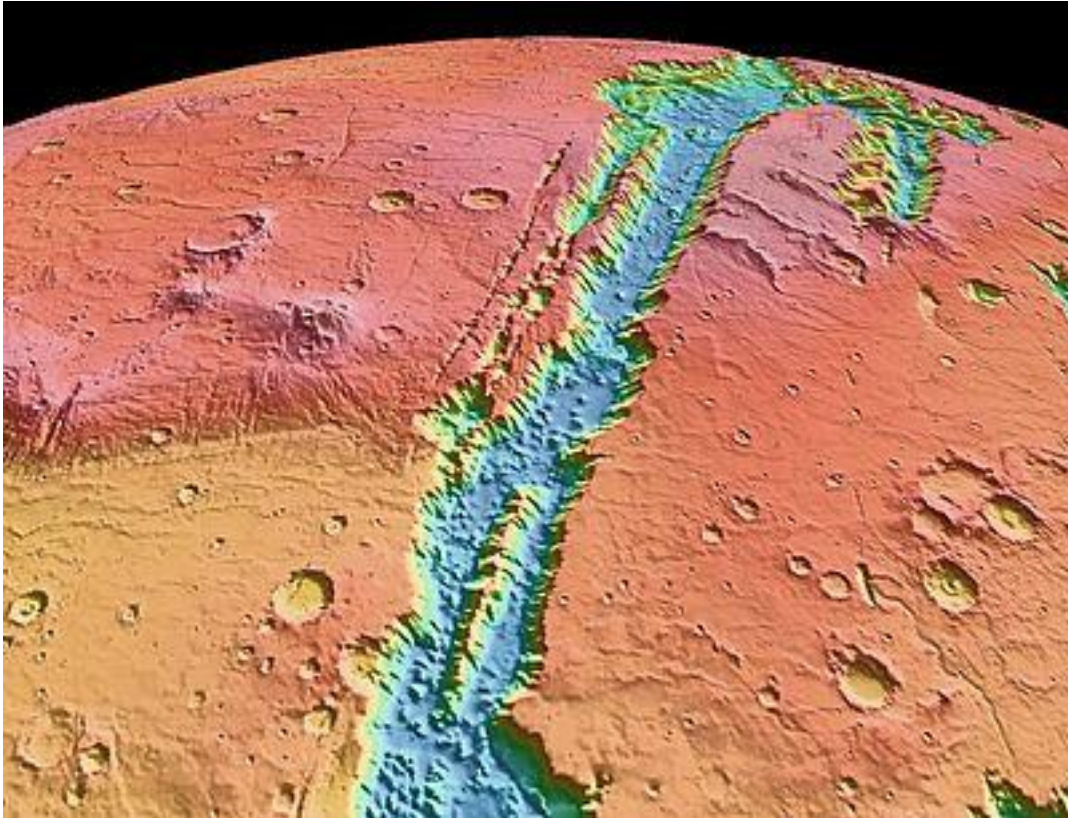
A ma elfogadott elképzelés szerint a Marson sokkal gyakoribb jelenség volt a vulkanizmus, mint a Földön. *A marsi vulkánok gigantikus méreteit a lemeztectonika (kontinensvándorlás) hiányával és az ottani kéreg vastagságával lehet magyarázni.* A jelenlegi ismereteink szerint a földi 10-30 kilométeres kéregvastagsággal szemben a marsi 250 kilométeres értékű lehet, ezért nem tud széttöredezni.

A legnagyobb földi vulkánok – Hawaii-szigetek – aktív élete viszonylag rövid. A lemezmozgás miatt a vulkánok lassan eltávolodnak a köpenyben lévő, nem mozgó magma forrástól (forró pont). Ezért egy idő után beszüntetik a működésüket. Erre példa a Mauna Kea, amely jelenleg a szunnyadó vulkánok számát gyarapítja.

A Marson viszont nincs kontinensvándorlás, ezért a vulkánok mindig a magma források felett maradtak. Tehát addig növekedtek folyamatosan, amíg a folyékony kőzetanyag utánpótlása tartott. Még valamit vegyünk figyelembe! *A marsi gravitációs gyorsulás értéke kb. harmada a földi értéknek.* Tehát ott a súly nagysága is ennek megfelelő. Érdemes megnézni, hogy a Csomolungma és az Olymposz-hegy magassági aránya 1:3. A fent említett vastag kéreg kell ahhoz, hogy ilyen óriási súlyt meg tudjon tartani.

A Mars felszínének meghatározó alakzata a *Valles Marineris (Mariner-völgyrendszer)*. Ez a mély hasadékvölgy (kanyonrendszer) 5000 kilométer hosszan nyúlik el. A kanyonok között van olyan, amelyik 8 kilométeres mélységű, és 600 kilométer szélességű. Döbbenetes adatok!

A mély völgyek alján a felszín általában sík, a falak meredek lejtésűek és kivájt alakúak. Gigantikus méretű omlások, csuszamlások és suvadások nyomai láthatók.



A kanyonrendszer térbeli képe, mely az éveken át a bolygó körül keringő Mars Global Surveyor lézeres mérései alapján készült. (NASA.)

A kialakulására nincs egyértelmű magyarázat. Egyes szakértők szerint a bolygó korai időszakában bekövetkezett kontinentális eltolódás eredménye lehet. Hasonlóan jöhetett létre, mint a földi Vörös-tenger medre.

Egy bizonyos, hogy a hatalmas kanyonrendszert nem a víz felszínformáló ereje hozta létre.

Jól ismert a Mars jellegzetes vörös színe. Ezt a talaj színezete okozza. A képeken tipikus sivatagi tájat lehet látni. Az aprózódott kőzetekből alakult ki az a hatalmas homok- és porréteg, ami a felszínt borítja.

Bolygónkon a homok kialakulását a víz romboló munkája idézi elő – lásd a homokkal borított tengerpartokat. A Marson a szélsőséges hőmérsékletek közötti váltakozás idézte elő az aprózódást. Kő- és homoksivatagok váltogatják egymást. A homoksivatagokban – a nálunk is jól ismert -- dűnesorok és barkánok alakultak ki a viharos sebességgel fújó szelek hatására. Ezért egyértelmű, hogy a bolygó jelenlegi arculatának legfőbb változtatója a szél által sodort homok- és porszemcsék csiszoló hatása.



Vándorló homokdűnék, barkánok a Marson. (NASA.)

A Mars holdjai.

A két parányi holdját *Asaph Hall* (1829-1907) Egyesült Államokbeli csillagász fedezte fel 1877-ben. A *Phobos* és a *Deimos* nevet kapták. Ez magyarul félelmet és rettegést jelent.

Egyikük sem szabályos alakú. A *Phobos* leginkább egy krumplihoz hasonlítható. 27km·22km·19km méretekkel rendelkező ellipszoidként jellemezzük. Mindössze 9376

kilométeres távolságban kering az anyabolygó körül. A keringési ideje: 7 óra 39 perc. Ezért mozgása retrográd. Azaz: nyugaton kel és keleten nyugszik. A látszó mozgása oly gyors, hogy valósággal végigszágul a Mars egén.



A Phobos. (NASA.)

Ezen a parányi égitesten egy 10 kilométer átmérőjű kráter (Stickney) található. Ez egy olyan becsapódás okozta sebhely, hogy a parányi hold még éppen túlélte az összeütközést. A fényvisszaverő képessége mindössze 0,05, tehát még a Holdnál is sötétebb égitest. Ez alapján képet alkothatunk a felszínét borító anyag minőségéről. Mindkét holdacska felszínét a regolithoz hasonló anyag borítja.

A Deimos egy kisebb méretű krumpli – 15km·12km·11km – mérettel rendelkezik.



A Deimos. (NASA.)

Az eddigi vizsgálatok alapján úgy tűnik, hogy mindkét égitest korábban a kisbolygók övezetében keringett. A Mars gravitációs mezeje fogta be ezeket.

A kisbolygók, az aszteroidák.



Az Ida kisbolygó és kísérője, a Dactyl. (A Galileo-szonda felvétele, JPL.)

Néhány száz évvel ezelőtt sokan hittek abban (pl. Kepler), hogy a bolygók valamilyen jól leírható törvényszerűség szerint mozognak a Nap körül, és távolságukat is egy sajátos szabály írja le. Így született meg 1766-ban a *Titius-Bode szabály*. A két német tudós által megalkotott formula empirikus (tapasztalati) módon keletkezett.

$$T = 0,4 + 0,2 \cdot 2^n,$$

ahol T a bolygó Naptól mért átlagos távolsága, melyet csillagászati egységben kell érteni, n pedig a –végtelen, 0, 1, 2, 3, stb. értékeket veheti fel.

Eszerint a Mars és a Jupiter pályája között kell lennie egy addig nem ismert bolygónak! Az égitestet pedig 2,8 csillagászati egység távolságra kell keresni.

Megindult a "vadászat".

A XIX. század első éjszakáján – 1801. január 1-jének hajnalán – a palermói csillagda igazgatója, *Giuseppe Piazzi* (1746-1826) felfedezte a sokak által keresett égitestet, amely a *Ceres* nevet kapta. Az új bolygó távolsága megegyezett a fenti szabály által jelzettel! Csak távcsövön át lehetett megpillantani, szabad szemmel nem, ami azt jelezte, hogy nem lehet nagy méretű égitest.

Piazzi – betegsége miatt – szem elől tévesztette a Cerest. *Carl Friedrich Gauss* (1777-1835) német matematikus új pályaszámítási módszerével újból megtalálták. (Gauss az égi mechanikai számítási eljárások egyik kiemelkedő egyénisége volt.)

Heinrich W. M. Olbers (1758-1840) német orvos, műkedvelő csillagász, addig figyelte a Cerest, amíg nem messze ennek látszó helyétől felfedezett egy másik égitestet. Mindez

1802. március 28-án történt. A „planétát” Pallasnak nevezte el. (A név az ókori görög tudomány, ipar és művészet istennőjét jelenti.)

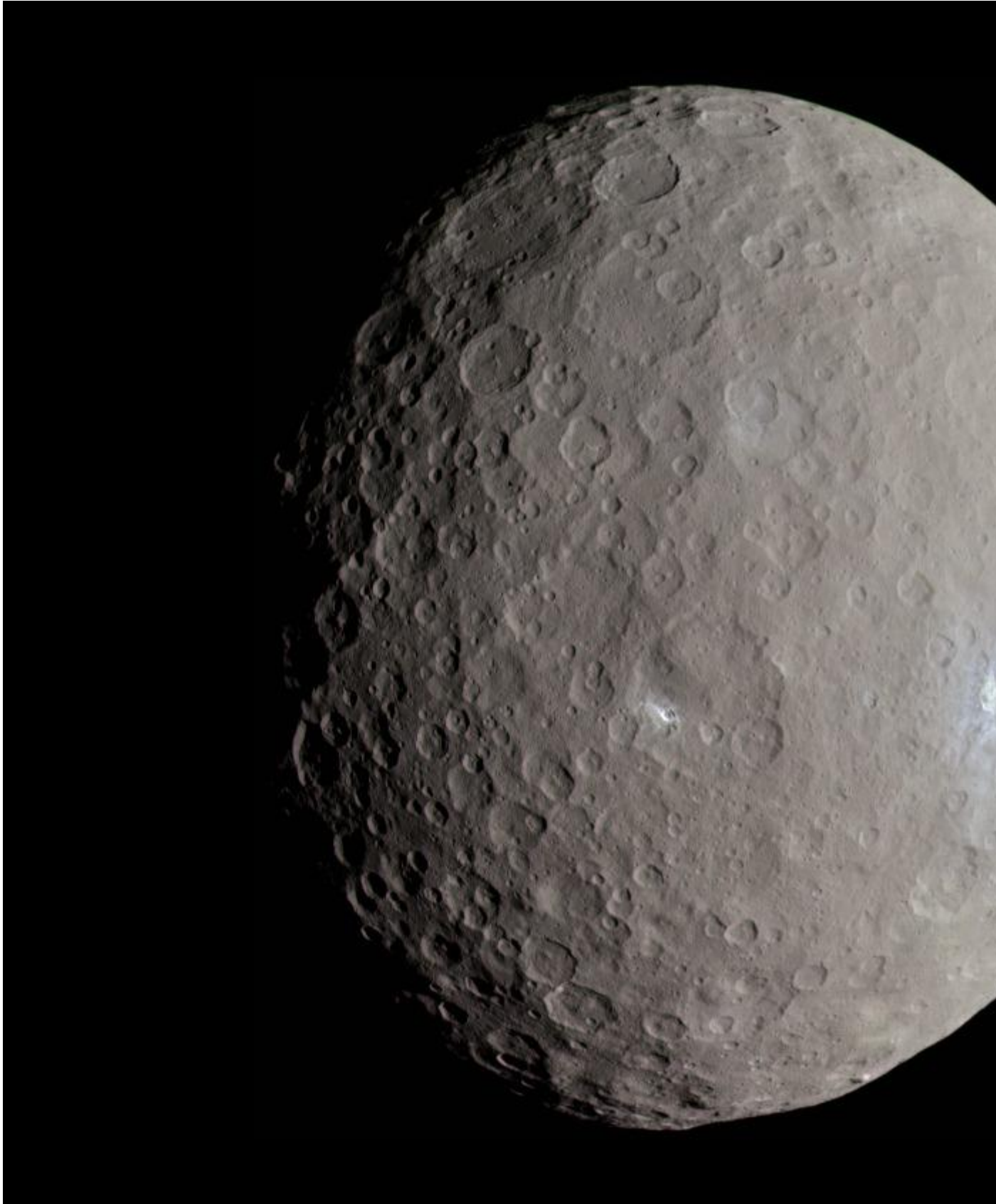
Tehát két új „bolygó”, amelyek a Naptól azonos távolságban keringenek. Mi lehet a magyarázat? *Olbers alkotta meg a híres Pheton elméletet.* Ennek az a lényege, hogy ebben a távolságban egy nagyobb méretű bolygó keringett, de valamilyen ismeretlen eredetű kozmikus katasztrófa okozta a szétrobbanását. A Ceres és a Pallas pedig ennek a darabjai. Így nem volt meglepő, amikor 1804-ben a *Junót* találták meg, majd 1807-ben a *Vestát* fedezték fel.

A XIX. század végén már 500, kb. ebben a naptávolságban keringő égitestet katalogizáltak. Ez a szám mára 2000 fölé emelkedett.

Ezek valóban bolygók, de parányi méretük miatt kisbolygóknak (planetoida, aszteroida) tekintjük ezeket.

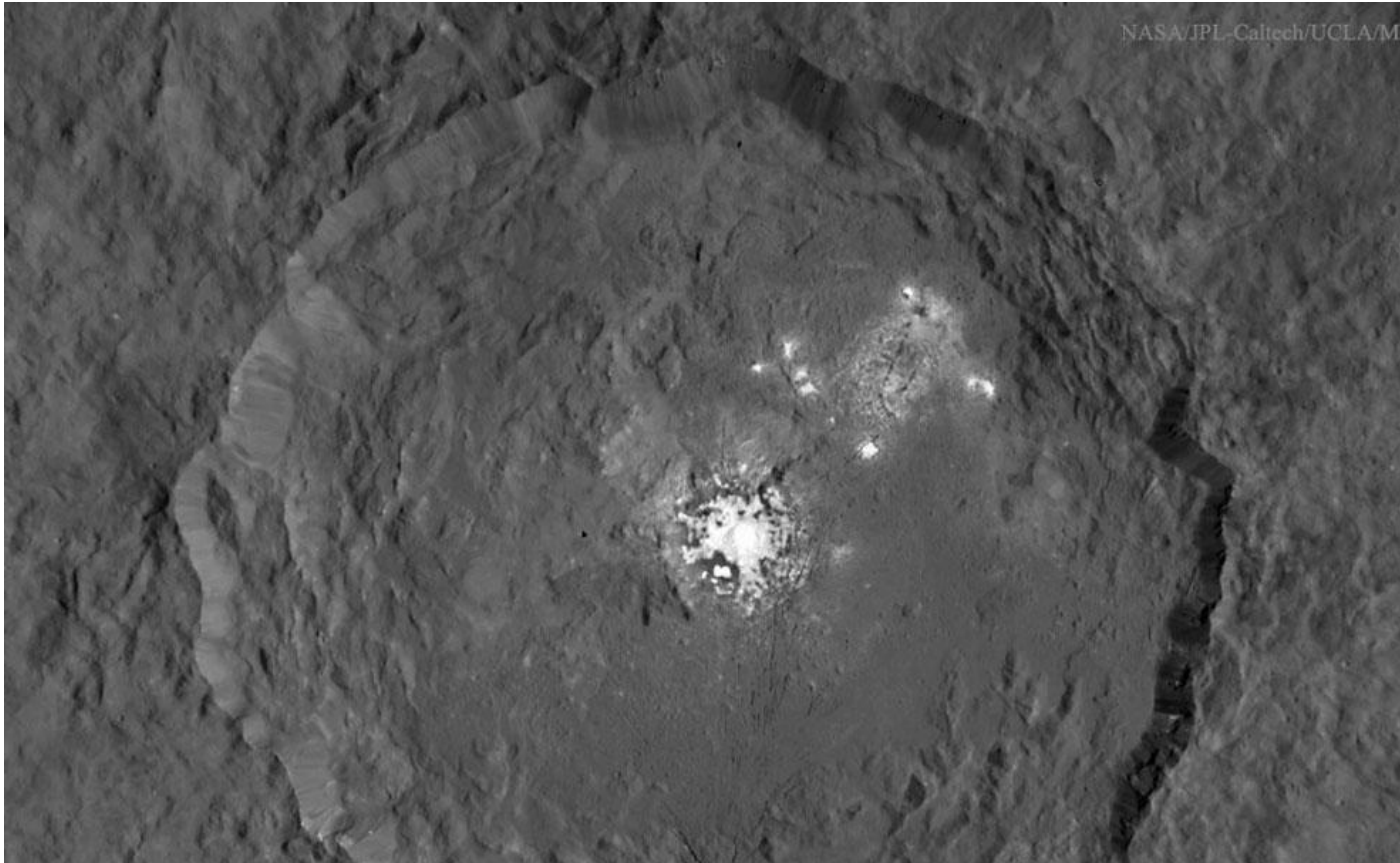
Legnagyobb képviselőjük a Ceres, amely kb. 950 kilométeres átmérővel rendelkezik. A legutóbbi besorolás szerint a törpebolygók közé tartozik. A Nemzetközi Csillagászati Unió 2006-ban vezette be ezt az új besorolást, így a Ceres is ebbe a kategóriába sorolható.

Nemrég derítette fel a felszínét a Dawn űrszonda. 2015. március 6-án állt Ceres körüli pályára.



A Ceres felszínéről készített egyik kép. Érdeemes megfigyelní a számos becsapódásos eredetű krátert. Néhány alján, és környezetében fehér területek látszanak. (A Dawn szonda képe, JPL.)

Ezekről a területekről kiderült, hogy nátrium-karbonátból állnak. Földünkön a mélytengeri füstölgők környezetében találunk ilyen vegyületet. Mindez arra utal, hogy a törpebolygó mélyebb rétegeiből került ez az anyag a felszínére, mivel a becsapódó testek nem tartalmaztak ilyet. Eszerint a Ceres felszíne alatt, a geológiai időskála szerint nemrég, folyékony víz lehetett. Azt is sikerült megállapítani, hogy ammónium-klorid vagy ammónium-bikarbonát is előfordul az Occator-kráterban. Ezért az a vélemény alakult ki, hogy a Ceres a Neptunusz térségéből vándorolt, a jócskán beljebb lévő kisbolygó-övezetbe.



Az Occator-kráterről készült kép. (JPL.)

Az elmúlt néhány évben olyan sikeres küldetések valósultak meg, amelyek számos meglepő ismerettel gyarapították az eddigieket. A fentiek is ezt igazolják.

A kisbolygókat, melyek apró égitestek, hosszú időn át nem tartották nagy becsben. *Walter Baade* (1893-1960) asztrofizikus (USA) az égbolt kukacainak nevezte ezeket.

Néhány csillagász életcélul tűzte ki magának, hogy minél több kisbolygót fedezzen fel. Ez azonban nem tekinthető valamilyen sajátos „sportnak”, hiszen tudnunk kell, hogy milyen, addig ismeretlen égitestek vannak még a Naprendszerben.

Dr. Kulin György volt az, aki számos apró égitestet ismert fel a Svábhegyi Csillagvizsgáló 60 cm-es távcsöve segítségével. Az üveglemezre készült égboltfelvételek alapján mindegyik pályáját meghatározta. Minden felfedezőnek megadatik az a lehetőség, hogy nevet adjon az égitestnek. Ezért van Konkolya, Ógyalla, Móra, stb. elnevezésű kis égitest.

Sárnevezky Krisztián és Kiss László is sok új kisbolygót talált a Piszkestetőn lévő egyik távcső segítségével. Így már Széchenyi István, Karinthy Frigyes nevét őrző égitest is kering a Naprendszerben.

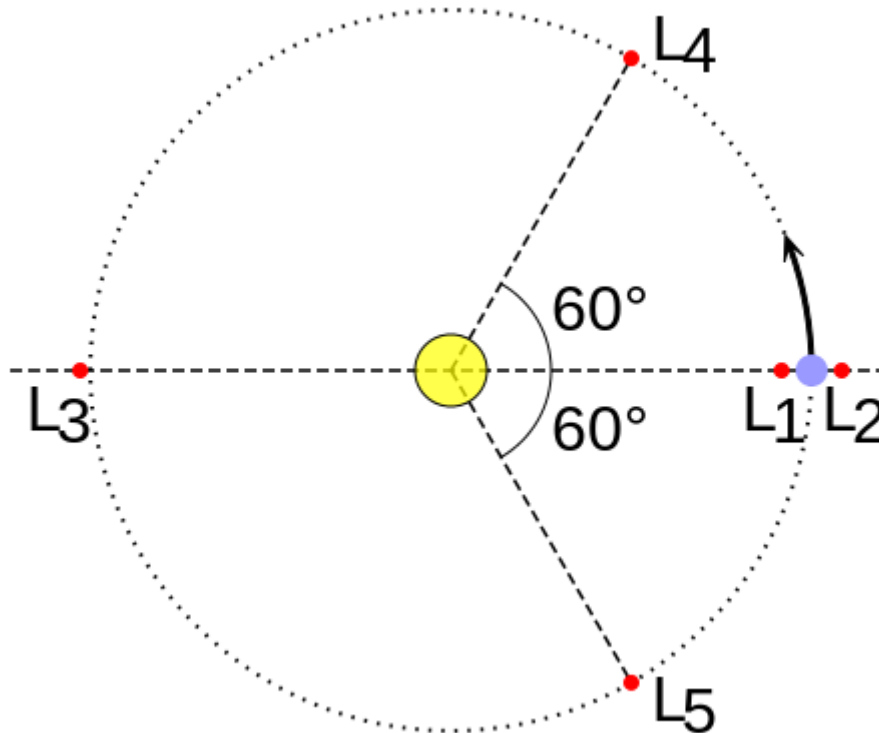
Nagyon fontos, hogy megismerjük a pályájukat, mivel nem mindegy, hogy megközelítik-e a Földet, vagy távol maradnak tőlünk.

Mivel kozmikus parányokról van szó, ezért – elsősorban – a Jupiter gravitációs hatása módosíthatja a pályájukat, tehát folyamatosan figyelemmel kell kísérni ezeknek az égitesteknek a mozgását. Ezt már régóta megteszik.

Sőt, már létezik egy olyan program, melynek az a célja, hogy a Föld közelébe jutó szabálytalan alakú kozmikus törmeléket időben felderítsék, és pályájukat meghatározzák.

Az aszteroidák többsége 2,2-4,5 csillagászati egységnyi távolság között mozog. Ezen a zónán belül olyan pályák vannak, amelyek kiválóan mutatják a gravitációs erők által okozott rezonanciát. (A Merkúrnál már szó esett erről.) Ezeket rezonáns kisbolygóknak szoktuk nevezni. A Nap és a Jupiter tömegvonzása miatt alakulnak ki ezek a pályák, illetve övek. *Például a 3:1 arány azt jelenti, hogy a kisbolygó három napköri keringést végez, a Jupiter pedig csak egyet. Ezeken a helyeken nem találunk égitesteket. Röviden: a kisbolygók zónája meglehetősen foghíjas.*

Egy másik érdekesség: *Joseph Lagrange* (1736-1813) francia matematikus kiszámította, hogy a Nap és a Jupiter kölcsönös tömegvonzása miatt – *a Jupiter, a Nap és egyes kisbolygók egy 60 fokos szögekből álló háromszög három csúcsában helyezkedhetnek el. Bármely kisbolygó ebben a pontban, gravitációs értelemben, háborítatlanul végezheti mozgását. Ezeket a pontokat Lagrange-féle librációs pontoknak nevezzük. (Természetesen a szabályos háromszög alakzata nemcsak erre az esetre érvényes, hanem bármely, hasonló geometriai helyzetben lévő három égitestre is igaz.)*



Az L_4 és az L_5 jelű pontok mutatják a fent említett geometriai helyzetet. A többi három pozícióban lévő égitest szintén – gravitációs értelemben – háborítatlan állapotban lehet.

A 4. és az 5. pontban megfigyelték a kisbolygókat, melyeket Trójai-csoportnak kereszteltek el. A trójai-görög háború kapcsán az egyik csoportosulás a görög, míg a másik a trójai harcosok nevét őrzi.

A különleges égi pontok egyikében helyezkedik el pl. a SOHO-napszonda.

A kisbolygók családjának számos tagja különleges pályákon végzi a mozgását. Többen keresztezik a Marsét vagy a Földét is. Vannak olyanok, melyek elnyúlt ellipszis pályán végzik a mozgásukat, és a Jupiteren túlra is elkalandoznak.

A Jupiter.

A név ókori eredetű. Az ókori római kultúrában a főistennel azonosították. Az erős látszó, és kiegyensúlyozott fénye miatt főszerepet kapott. Csak a Vénusz látszó fényessége nagyobb, de a Jupiter hosszú időn át figyelhető meg az éjjeli égbolton, nem úgy, mint a Vénusz, amely csak hajnalban, vagy este tündököl az égen.



Jellemző adatai:

Átmérője: 143650 kilométer = 11,26 Föld-átmérő.

Tömege: $1,899 \cdot 10^{27}$ kg = 317,82 Föld-tömeg.

Átlagsűrűsége: $1,3 \text{ g/cm}^3$.

Közepes naptávolsága: 778,3 millió kilométer = 5,2 csillagászati egység.

Átlagos tengelyforgási ideje: 9 óra 50 perc.

Szinódikus keringési ideje: 398,3 nap.

Sziderikus keringési ideje: 11,86 év.

Az egyenlítői sík hajlásszöge a pályasíkhhoz: $3,08^\circ$.

Közepes pálya menti sebessége: 13,06 km/s.

A pálya excentricitása: 0,0485.

A pályasík hajlása az ekliptikához: $1,03^\circ$.

A felszíni nehézségi gyorsulás: $24,62 \text{ m/s}^2$.

Szökési sebesség: 59,5 km/s.

Albedó: 0,67.

Nagyon jól látszik, hogy a Jupiter méretei jócskán felülmúlják a Földét. Nem véletlenül nevezzük *óriásbolygónak*. Az összes többi bolygónál is több anyagot tartalmaz. Egész pontosan 2,5-szer nagyobb a tömege, mint az összes többi bolygóé együttesen. Ezért érthető, hogy a gravitációs mezejének erőssége a Nap után következik. Így nagyon sok

égitest mozgását befolyásolja, zavarja. Ezt a csillagászatban perturbáló hatásnak, perturbációnak nevezik.

Átlagos sűrűsége csillagunkéval nagyjából megegyező, amely arra utal, hogy többnyire hasonló az anyagi összetétele: 84% hidrogénből, 15% héliumból, 1% metánból és ammóniából áll.

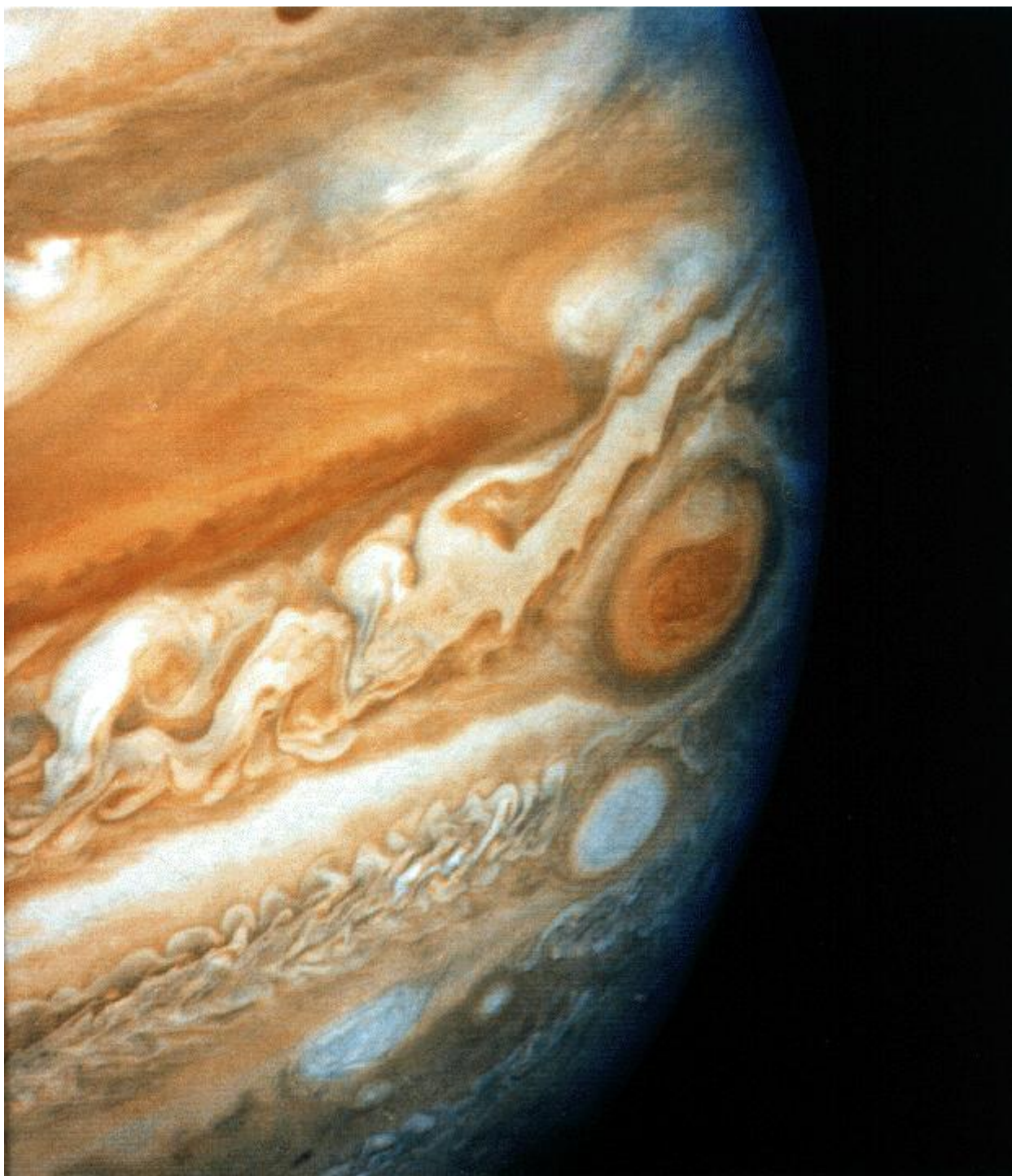
Óriási felhőrendszerét már egy kisebb távcső megmutatja. Az egyik modell szerint a felszíne ott kezdődik, ahol a légköri nyomás akkorára nő, hogy az a hidrogén cseppfolyósodását eredményezi. A légkör és a felszín határán csak a nyomás változik meg, a kémiai összetétel nem. A felszín tehát folyékony hidrogénből állhat, amelynek mélyén a hőmérséklet és a nyomás miatt az atomos állapotú hidrogén fémes jellegű lesz. Ez azt jelenti, hogy a hidrogén már csak atomos állapotban fordulhat elő, és fémes jellege miatt elektromosan vezetővé válik. Ennek azért van jelentősége, mert a bolygó mágneses mezejének erőssége jóval felülmúlja a földiét, kb. 14-szerese annak. A fentiek alapján lehet csak megmagyarázni a mágneses mező erősségét. Ne felejtjük el azt sem, hogy 60-nál több holdja van!

Ha távcsövünkkel a Jupitert vesszük célba, akkor azonnal észrevesszük az egyenlítővel párhuzamos, világos színű zónákat és a sötétebb sávokat.



A Jupiter és tőle jobbra a legnagyobb holdja, a Ganymedes. Éder Iván felvétele.

Az űrszondák megfigyelései szerint a zónák és az övek között néhány fokos hőmérsékletkülönbség és kb. 20 kilométeres magasságtérés van. A zónákban felfelé áramlik, míg az övekben lefelé süllyed a gáz. A zónákban és az övekben ellentétes az áramlás iránya. A határaikon ezért örvényes (turbulens) áramlás figyelhető meg.



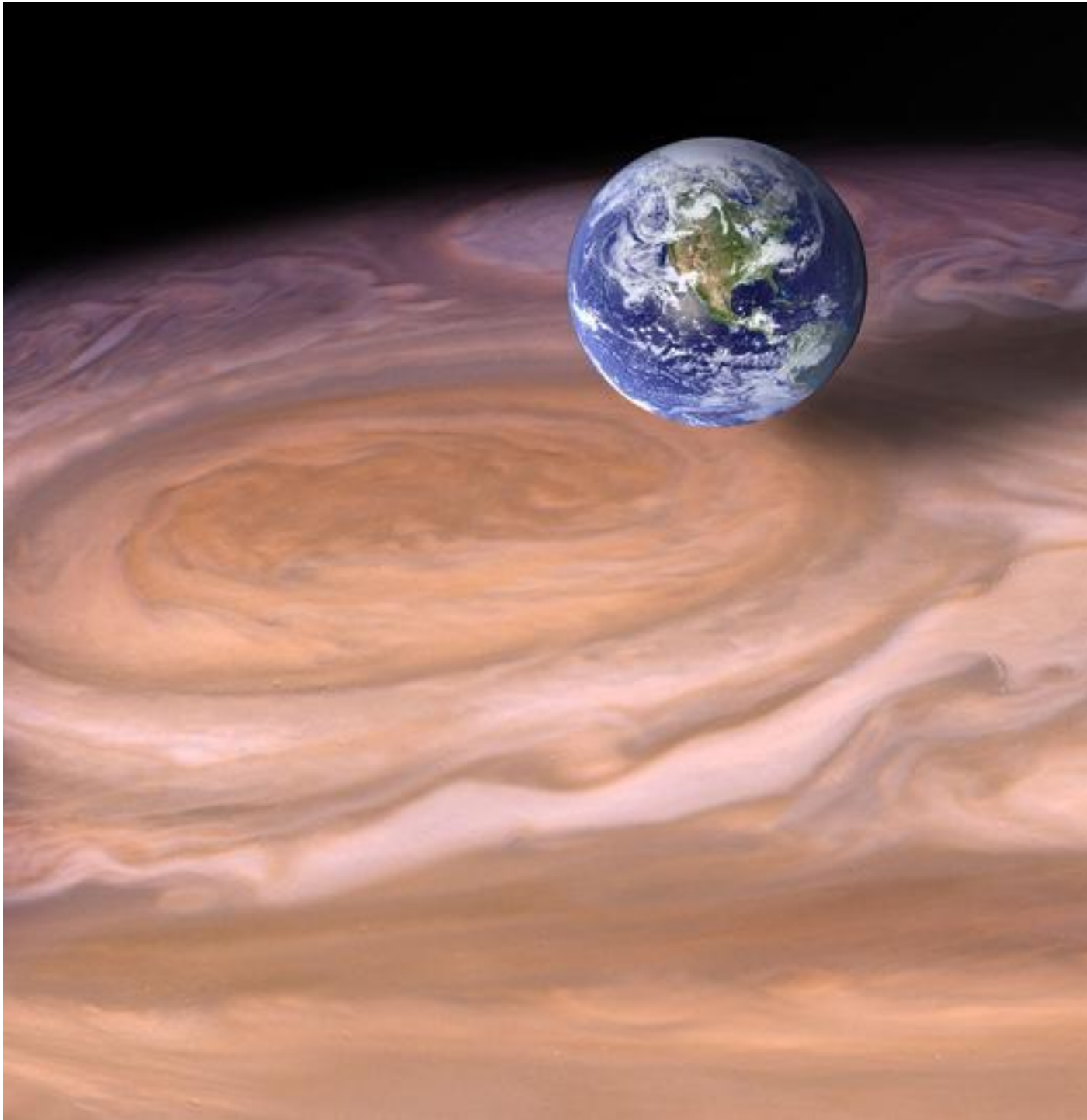
A Voyager-2 felvételén nagyszerűen láthatók az örvényes területek, és a híres Nagy Vörös Folt. (NASA.)

A magyarázat: a zónákban felfelé, míg a sávokban lefelé irányuló anyagáramlás tapasztalható. A felszálló területek – a távcsőben is – világosabbnak látszanak, míg a leszállók sötétebb gázgomolyok. A bolygó tengely körüli forgásából származó tehetetlenségi erő

(Coriolis-erő) hatására az egyenlítő felé haladó gázokat a forgással ellentétes irányba tereli, a pólusok felé haladó gázokból pedig a forgással megegyező irányba fújó szelek lesznek. Az alábbi linken megtekinthetők az örvénylő mozgások.

https://www.youtube.com/watch?v=Y2x2a_ZUOuY

A Jupiter felhőzetének legnagyobb légköri örvénye a Nagy Vörös Folt. Az ovális alakzat kb. 40 ezer kilométer hosszú, és 14 ezer kilométer széles. Ezt három Föld tudná eltakarni.



A Nagy Vörös Folt és a Föld méretei. (Michel Carroll.)

A foltot – a feljegyzések szerint – *Robert Hooke* (1635-1704) angol fizikus vette észre 1664-ben. Ez a légköri örvény azóta is megfigyelhető. Alakja nem, de színe folyamatosan változott a századok során.

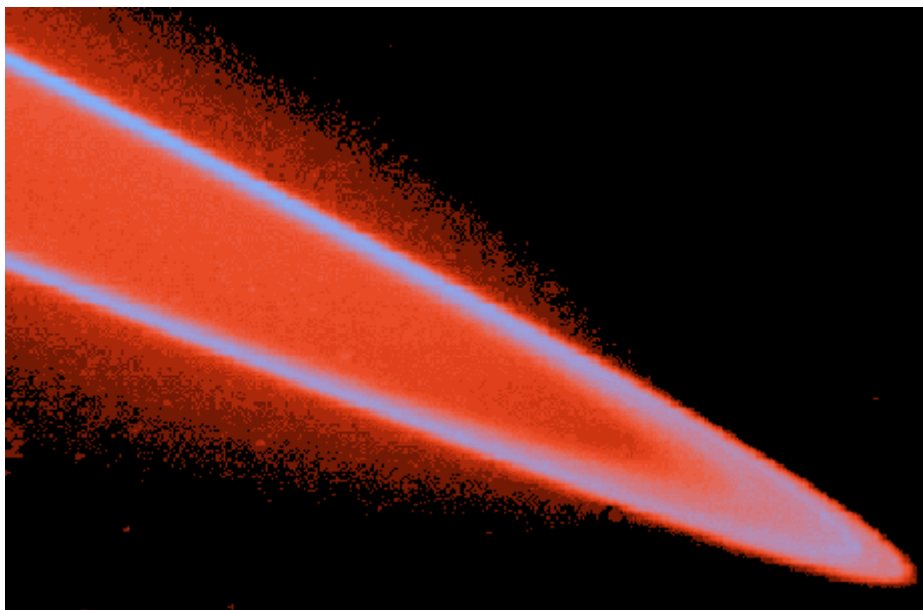
A felhőrendszerben sokszor tűnnek fel a Nagy Vörös Folthoz hasonló, de annál jóval kisebb ovális területek. Ezek megfigyelése pedig azt mutatta, hogy a felhőrendszer különböző szélességű területei *differenciális rotációt* mutatnak. Ahogy a Nap esetén, az egyenlítőhöz közeli tartományoknak rövidebb ideig tart egy fordulat, mint a sarki területeknek. Az eltérés mértéke 7 percet tesz ki.

A Nagy Vörös Folt segítségével Cassini mérte meg elsőként a tengelykörüli forgás idejét. *A nagyon rövid periódus azt eredményezi, hogy már a távcsőben is feltűnik az óriási égitest lapult lakja.* A sarki sugara 4669 kilométerrel kisebb, mint az egyenlítői.

A bolygó felhőtetején mért hőmérséklet lényegesen magasabbnak adódott, mint amit a Naptól mért távolságból számítani tudtak. Ez pedig arra utalt, hogy *a Jupiter belső fűtéssel rendelkezik.* Néhányan – a hatalmas tömege miatt – arra gondoltak, hogy egy mini-csillagról lehet szó. Ez azonban téves feltételezésnek bizonyult. Sokkal valószínűbb az a magyarázat, mely szerint az óriás átmérőjének évenkénti 1 milliméteres csökkenése elegendő ahhoz, hogy a mért és az elméleti eredmények szinkronba kerüljenek.

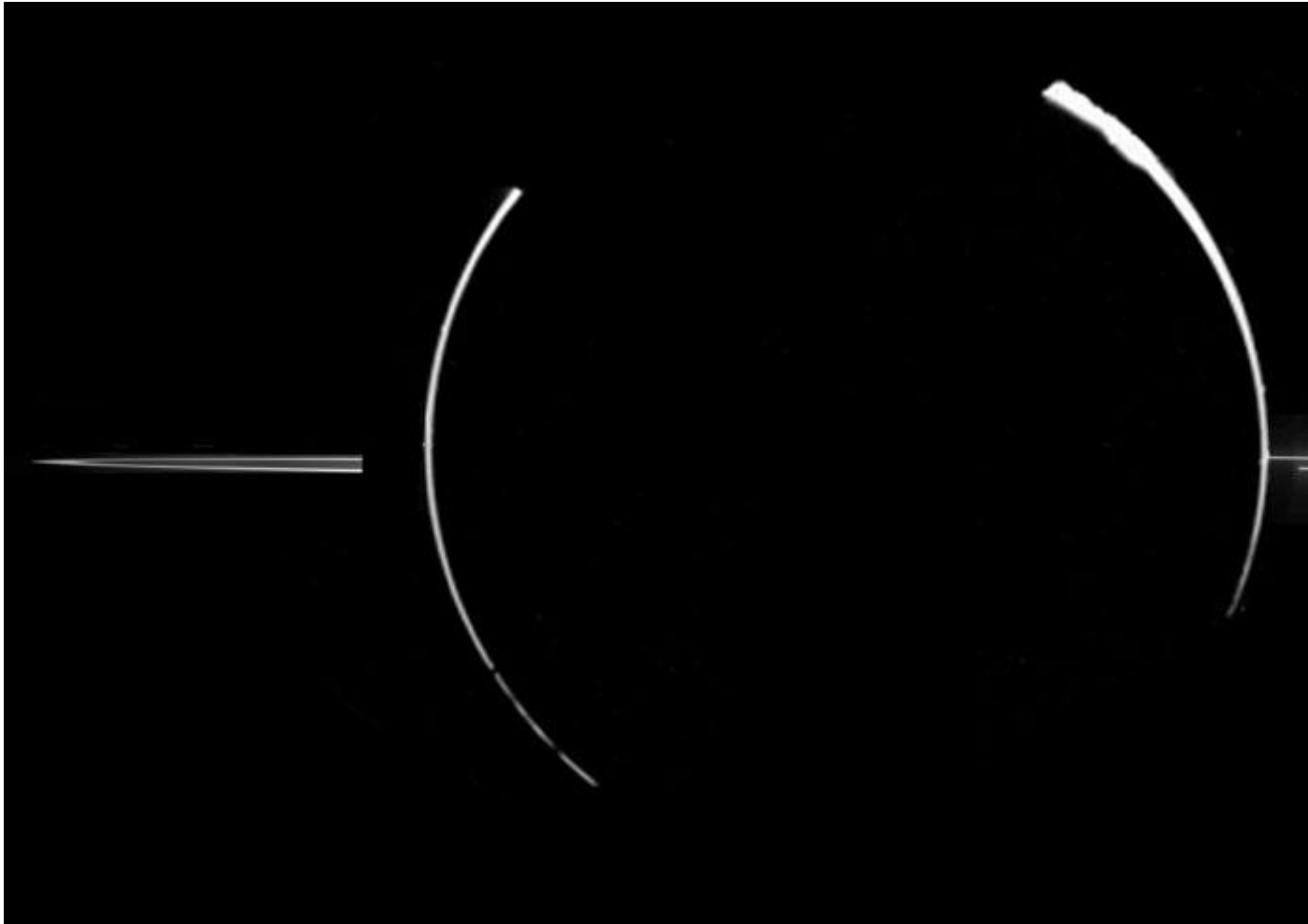
A Jupiter kétszer több energiát sugároz ki, mint amennyit a Naptól kap. Ahhoz pedig, hogy a -- csillagunkhoz hasonló -- magfúzió beinduljon a belsejében, legalább 80-szor nagyobb tömegűnek kellene lennie!

A Jupitert egy gyűrű alakba rendeződött törmelékfelhő övezi.



A Jupiter gyűrűrendszere. A Voyager-1 fedezte fel 1979-ben. (NASA)

A gyűrűrendszer több részből áll. Az egyes gyűrűk között anyagmentes területek látszanak. A mérések szerint a vastagságuk 30 kilométer körüli, és a bennük lévő szemcsék a porszemek nagyságával mérhetők össze. A felvételek alapján a gyűrűrendszer a felhőzet felső részétől a bolygó átmérőjének kétszeres távolságáig nyúlik.



A Galileo-szonda által készített kép a gyűrűrendszerről. A mesterséges égitest 1995 és 2003 között keringett a bolygó körül. (NASA.)

A Jupiter holdrendszere.

Nagyon érdekes és változatos, egymástól gyökeresen eltérő világot mutat a négy legnagyobb, és legfényesebb holdja, amelyet összefoglaló néven Galilei-holdaknak hívunk.

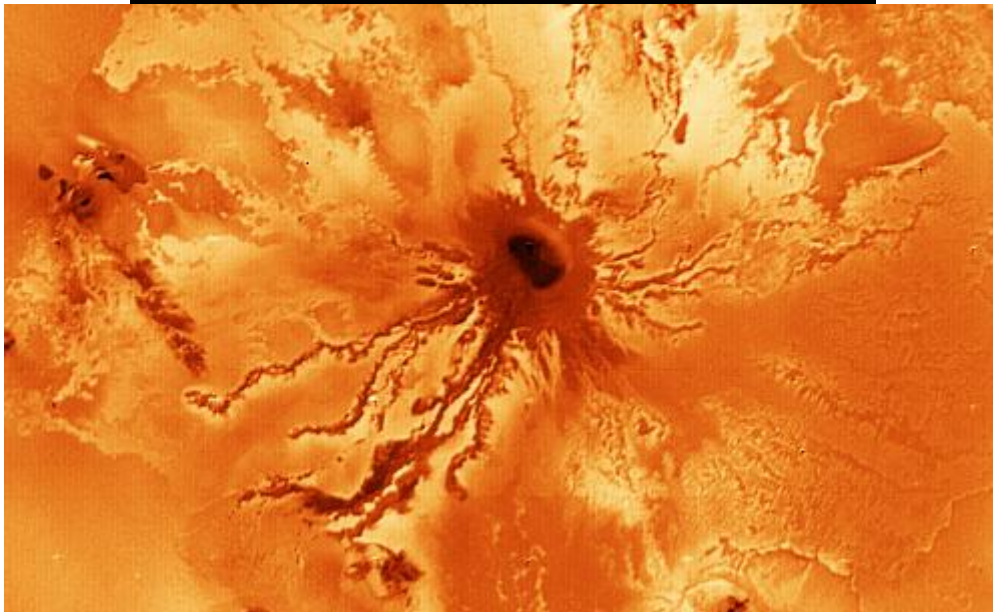
Ezek: az Io, a Ganymedes, a Callisto és az Europa. Átmérőjük a Merkúr bolygóval és a mi Holdunkkal mérhető össze. Io – 3632 km, Europa – 3168 km, Ganymedes -- 5062 km, Callisto – 4800 km. Tehát a Ganymedes a Merkúrnál nagyobb méretű! Átlagos sűrűségük: io – 3,55, Europa – 3,04, Ganymedes – 1,93, Callisto – 1,78 g/ cm³. Az elől szereplő két hold sűrűsége a Holdéra emlékeztet.

Az Io.

A XX. század fordulóján már sejtették, hogy érdekes felszíne lehet, hiszen vöröses színű sarki sapkát lehetett rajta megfigyelni. Jóval később fedezték fel, hogy légköre van. 1974-ben pedig egy hold körüli narancskoszorút azonosítottak. Ezt azzal magyarázták, hogy a napfény nátrium atomokon szóródik (ugyanazt a fényt láthatjuk az utcai lámpák esetén).

Az infravörös tartományban végzett megfigyelések alapján a felszínt borító vastartalmú sólerakódásokra, és nitrátok jelenlétére utaltak. Ezek csak aktív vulkáni tevékenység által kerülhettek a felszínre. Az Io igen erős árapályfűtésnek van kitéve. A hatalmas tömegű – viszonylag közeli – Jupiter és az Europa közötti pályarezonancia okozza ezt. Ezért a hold felszínén folyamatos dagályhullám vonul végig. Ez pedig a felszín deformálódását idézi elő. (A Földön nemcsak a tengerszint változik folyamatosan, hanem a szilárd kéreg is folyamatosan emelkedik és süllyed. A mi földrajzi szélességünkön körülbelül 60-70 centiméteres ingadozás mérhető.)

A Voyager-1 szonda meglepő, és megdöbbentő képeket küldött. Nyolc, egyidőben működő vulkánt talált! Ezek pedig ként pöfékelnek. A vulkánok kitörésének ereje jócskán felülmúlta a földiekét.



Két Voyager-kép. Az egyiken sok működő vulkán látható, a jobb oldalin pedig egy kaldera, valamint a kidobott kénfolyamok figyelhetők meg. (NASA/JPL.)



Ez az a híres felvétel, amely egy szökőkútszerűen kitörő vulkánt mutat, és egy másik működése is látható.

A kilövellt anyag sebessége elérte az 1 km/s értéket. Így juthatott a kén 200 kilométeres magasságba (lásd a legutóbbi képet).

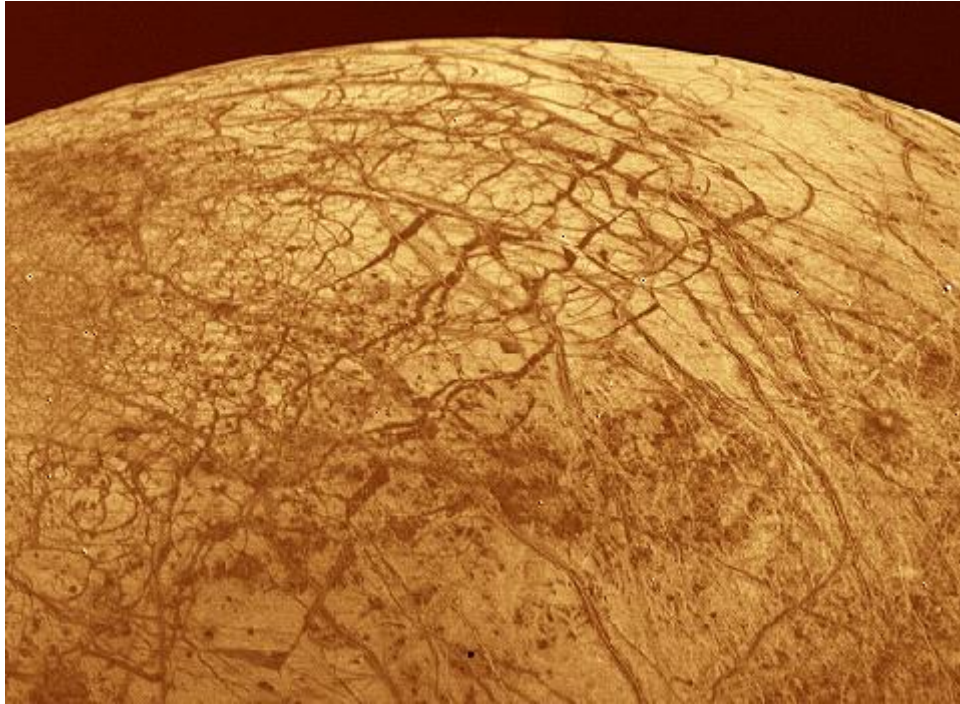
A vulkanikus aktivitás miatt hiányoznak a becsapódásos kráterek.

A felvételeken 100 kalderát lehetett felismerni, melyek közül volt olyan, amelynek átmérője elérte a 200 kilométert.

A hold felszínén kisebb-nagyobb hegyeket és völgyeket lehetett megkülönböztetni.

Az Europa.

Az Íóhoz hasonlóan ez is olyan sűrűségű és méretű, mint a Hold. A földi megfigyelések alapján – a rendkívüli fényvisszaverő képessége miatt – úgy vélték, hogy *felszínét vízjég borítja*. A Voyager-szondák igazolták ezt. Úgy találták, hogy a felülete egy billiárdgolyóhoz hasonlóan sima, mivel nem volt a képeken magasan kiemelkedő terület. Krátereknek nem akadtak a nyomára.



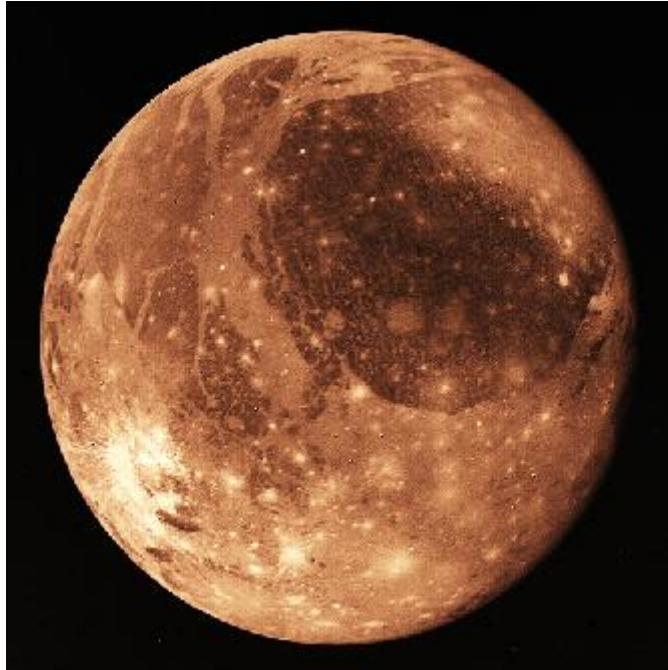
A hold felszíne egy Voyager felvételen. Érdeemes felfigyelni a hálózatokra emlékeztető vonalakra. (NASA/JPL.)

Itt is érvényesül az árapály-fűtés felszínformáló hatása. A jég réteg emiatt időnként felreped és az alatta lévő víz pedig nagy nyomással tör felfelé. Ez szétfolyik, elborít minden kiemelkedést, majd megszilárdul. A fenti képen is hatalmas rianásokat lehet látni. A színek változatossága tükrözi a feltörő anyag kémiai összetételét. Az *elméleti megfontolások szerint a jégkéreg alatt egy 100 kilométer (!) mélységű vízóceán húzódhat.*

A Ganymedes.

A Föld után ez a másik olyan égitest, ahol ez a jelenség előfordul. *Átlagsűrűsége alapján feltételezték, hogy a felszínét jégmezők borítják. A hold belseje – a kőzetek mellett – folyékony vízből áll.*

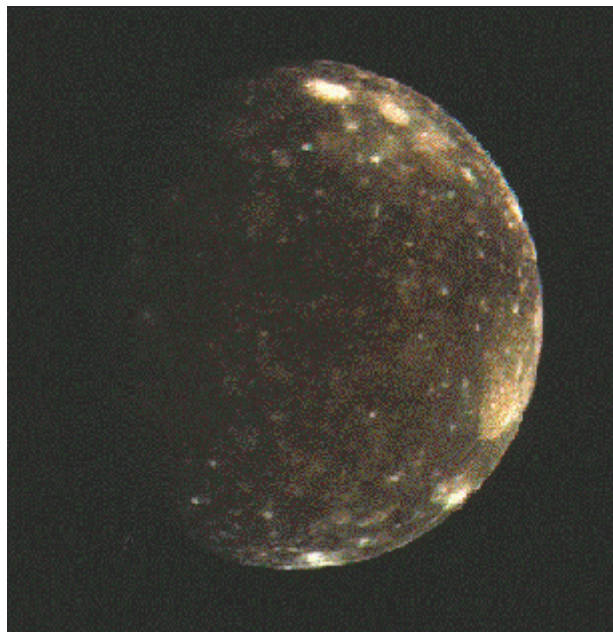
A felszínén sok becsapódás okozta kráter látható. Ugyanakkor a jéggel borított területek is megfigyelhetők. Az egyes alakzatok egymást keresztezik, ezért néhány szakember szerint – a Merkúrnál is nagyobb méretű égitesten – *a kontinensvándorlásra utaló nyomok találhatóak.*



A holdról készült egyik Voyager kép. (NASA/JPL.)

A Callisto.

A négy Galilei-hold közül *itt találjuk a legtöbb becsapódásos krátert.* Belsejének felépítése – az átlagsűrűsége miatt – hasonló lehet, mint a Ganymedesé. Itt azonban a vízvulkanizmusnak nem találjuk a nyomát.



A Callistoról készült Voyager felvétel. Érdemes figyelni a sötét felszínre. (NASA/JPL.)

Négy alapvetően eltérő világ, amelyeket jobban meg kellene ismerni! Ezért várták a szakemberek a Galileo-űrszonda érkezését.

A Galileo szonda 1989. október 18-án indult el az Atlantis-űrrepülőgép rakteréből, Föld körüli pályáról. Hosszú, és kacskaringós utat megtéve, 1995. december 7-én érkezett meg úticéljához. A szonda két egységből állt. Az egyik egy keringő rész volt, a másik pedig az óriásbolygó légkörébe leereszkedő műszeregységet hordozta.

A keringő egység – a küldetés első szakaszában – a Ganymédest vizsgálta. Több megközelítés után kiderült, hogy a holdnak mágneses mezeje van, ami olvadt vasmagra utal. Megerősítette a kontinensvándorlás elméletét. A holdon 800 kilométeres jégréteg terül el.



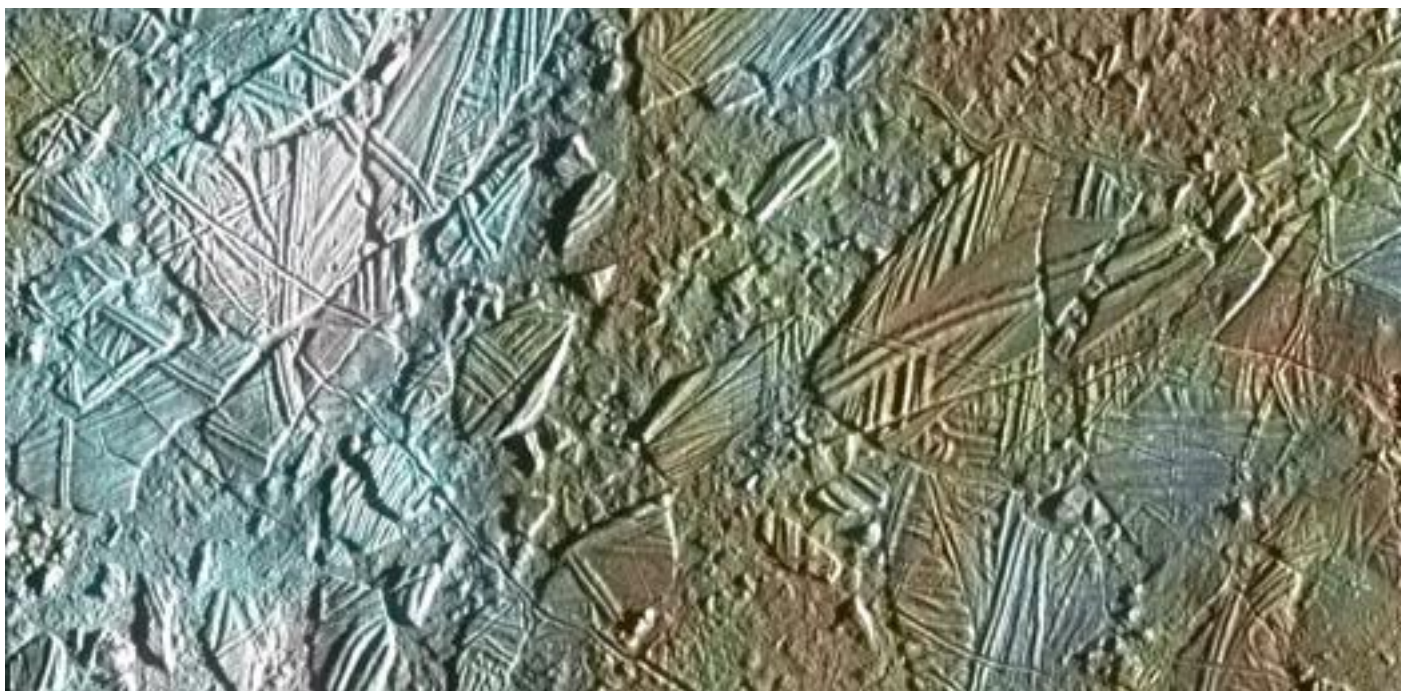
A Ganymedesről készült egyik Galileo felvétel. A korábban ismertetett felszíni alakzatok itt jobban megfigyelhetők. (NASA/JPL.)

Az Io mellett elrepülve bizonyossá vált, hogy – a korábbi ismeretekkel ellentétben – a felszín sokkal tagoltabb. Számtalan rianás és repedés látszott. A képeken egymásra torlódott

óriási jégmezőket is látni lehetett. A rianások mentén lévő sötétebb színű anyag a mélyből feltörő szilikátokat (kőzetanyagot) tartalmazhatja. Mindez megerősítette a korábbi óceán elképzelést. Forró foltokat talált a felszín alatt, amely bizonyítja a jégpáncél alatti melegebb hőmérsékletű áramlásokat. Ház nagyságú jégtömböket is sikerült megörökíteni. A szonda ekkor mindössze 200 kilométer távolságban suhant el a hold fölött.



Az Europa részletes felszíne a Galileo egyik képén. (NASA/JPL.)



A széttöredezett jégfelszín. (NASA/JPL.)



Rianások és jégtablák sokasága. (NASA/JPL.)

Az Ióról készített képeken sok friss látató látszott. Felfedezte, hogy kőzetvulkánok is működnek a felszínén.

A Callistóról készült mérések szerint a felszíne alatt kb. 200 kilométerrel óceán létezhet.

A Jupiternek eddig 63 nyilvántartott holdja van.

A Szaturnusz.

A név ókori eredetű. A római mitológia szerint a vetés és a vetőmag istene, az idő jelképe volt. A görögök titánnal, Kronosszal azonosították. Ugyanakkor – sárgás, sápadt fénye miatt – a betegségekkel is összefüggésbe hozták. (Már megint a látszat alapján ítélték.)

Látszó fényessége a Jupiter után következik, ha éppen a Mars nincs közel hozzánk. Az utolsó olyan planéta, amely szabad szemmel megfigyelhető.



Jellemző adatai:

Átmérője: 120600 kilométer = 9,45 Föld-átmérő.

Tömege: $5,69 \cdot 10^{26}$ kilogramm = 95,2 Föld-tömeg.

Átlagos sűrűsége: $0,69 \text{ g/cm}^3$.

Közepes naptávolsága: 1427 millió kilométer = 9,546 csillagászati egység.

Átlagos tengelyforgási ideje: 10 óra 39 perc 24 másodperc.

Sziderikus keringési ideje: 29,46 év.

Szinódikus keringési ideje: 378,1 nap.

Az egyenlítői sík hajlásszöge a pályasíkhhoz: $26,^{\circ}8$.

Közepes pálya menti sebessége: 9,65 km/s.

A pálya excentricitása: 0,0556.

A pályasík hajlása az ekliptikához: $2,^{\circ}5$.

A felszíni nehézségi gyorsulás: $10,4 \text{ m/s}^2$.

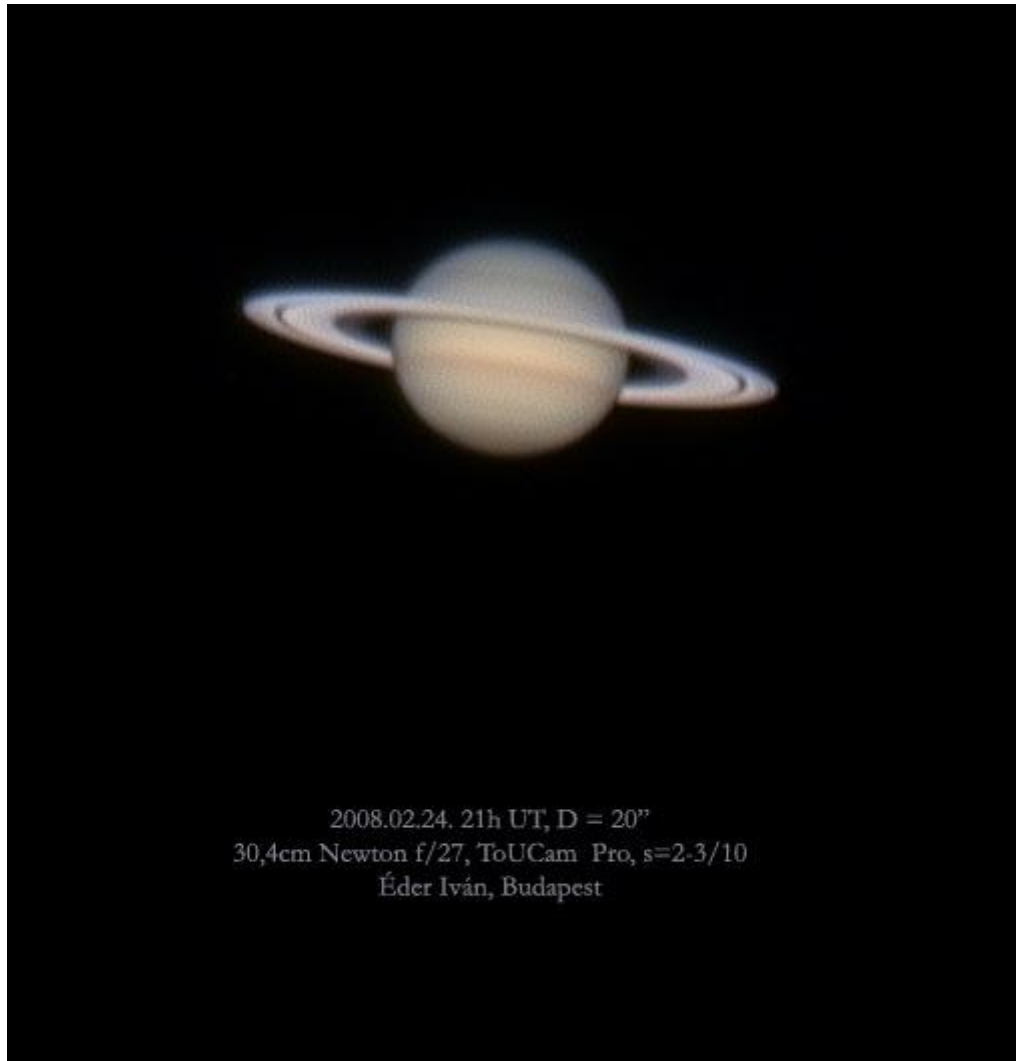
Szökési sebesség: 35,5 km/s.

Albedó: 0,7.

Már Galileii (lásd korábban) észrevette a bolygó furcsa alakját, de nem ismerte fel a gyűrűrendszer mivoltát. 1655-ben Christian Huygens – sokkal jobb képet adó távcsöve

segítségével – felismerte, hogy a bolygót egy tőle független gyűrűrendszer övezi, és felfedezte legnagyobb holdját, a Titánt.

Minden kétséget kizáróan a bolygórendszerünk leglátványosabb égitestjéről van szó, mely a távcsöves bemutatók kedvence.



Éder Iván Szaturnusz felvétele. Kiválóan látszanak a bolygón lévő különböző felhősávok és a gyűrűrendszer, amelyben a Cassini-rés figyelhető meg.

Néhány figyelmet érdemlő adat: az átmérője mutatja, hogy milyen óriás, az átlagsűrűsége pedig, hogy a víznél is kisebb értékű! Ezért szoktuk az ismeretterjesztő előadások alkalmával azt mondani, *ha volna egy óriási méretű lavórban víz, akkor a Szaturnusz azon úszna!*

A tengelyforgási ideje roppant rövid. A Jupiterhez hasonlóan – övezetenként, szélességi körtől függően, változik – differenciális rotációt mutat.

A gyors tengelyforgási sebesség, valamint az alacsony átlagsűrűség miatt *a Naprendszer leglapultabb planétája*. Mindez már távcsőbe tekintve is szembetűnő. A mérések szerint ennek mértéke 0,1, tehát a két sarok közötti átmérője 12540 kilométerrel (ez a Föld mérete) rövidebb, mint az egyenlítői.

Érdeemes figyelni arra, hogy minél távolabb megyünk a Naptól, annál nagyobb sziderikus keringési idővel, és egyre kisebb pálya menti sebességekkel találkozunk. Ezt a Kepler által felismert törvények pontosan megmagyarázzák. *A Naprendszer egyetlen tagja sem úgy végzi mozgását, mint a merev test bármely pontja*. Egyik sem tekinthető egy tengelye körül forgó fémlemez pontjának.

A fényvisszaverő képessége jelentősen felülmúlja a Jupiterét. Ezért, hiába van kétszer távolabb a Naptól, feltűnő égitestként vehetjük észre az éjjeli égbolton.

Először vegyük szemügyre a bolygótest tulajdonságait!

Távcsövön át szemlélve a Jupiteréhez hasonló felhőrendszert vehetjük észre, de a nagy távolság miatt ezek kevésbé kontrasztosak, színeik pedig jóval fakóbbak. Időnként fehér oválok látszanak, de a Nagy Vörös Folthoz hasonló örvény nem mutatkozik.

A felhőtető hőmérséklete -185°C , ami azt mutatja, hogy magasabb, mint, amit a sugárzási törvény ad. Ebből az következik, hogy *a Szaturnusz – a Jupiterhez hasonlóan – belső hőt termel*.

Az atmoszféra kémiai összetétele: 80% atomos hidrogén, 11% atomos hélium, ammónia, metán, etán, acetilén és sok más szénhidrogén!

Érdeemes megemlíteni, hogy mindkét gázóriás sarki területei fölött – a földihez hasonló – sarki fényt figyeltek meg.



A HST által készült felvételen jól látszanak a sarki fények.

A rádiótartományban végzett megfigyelések pedig egyértelműen bizonyították, hogy *mindkét bolygó légkörében elektromos kisülések (villámok) figyelhetők meg. Ezek szerint ott is vannak zivatarok!*

(Némi nosztalgiával gondolok azokra az időkre, amikor a középhullámú rádióadást hallgatva jellegzetes recsegést lehetett észrevenni. Ezek arra utaltak, hogy a közelben zivatarfelhők vannak. A villámok hozták létre az elektromágneses sugárzást.)

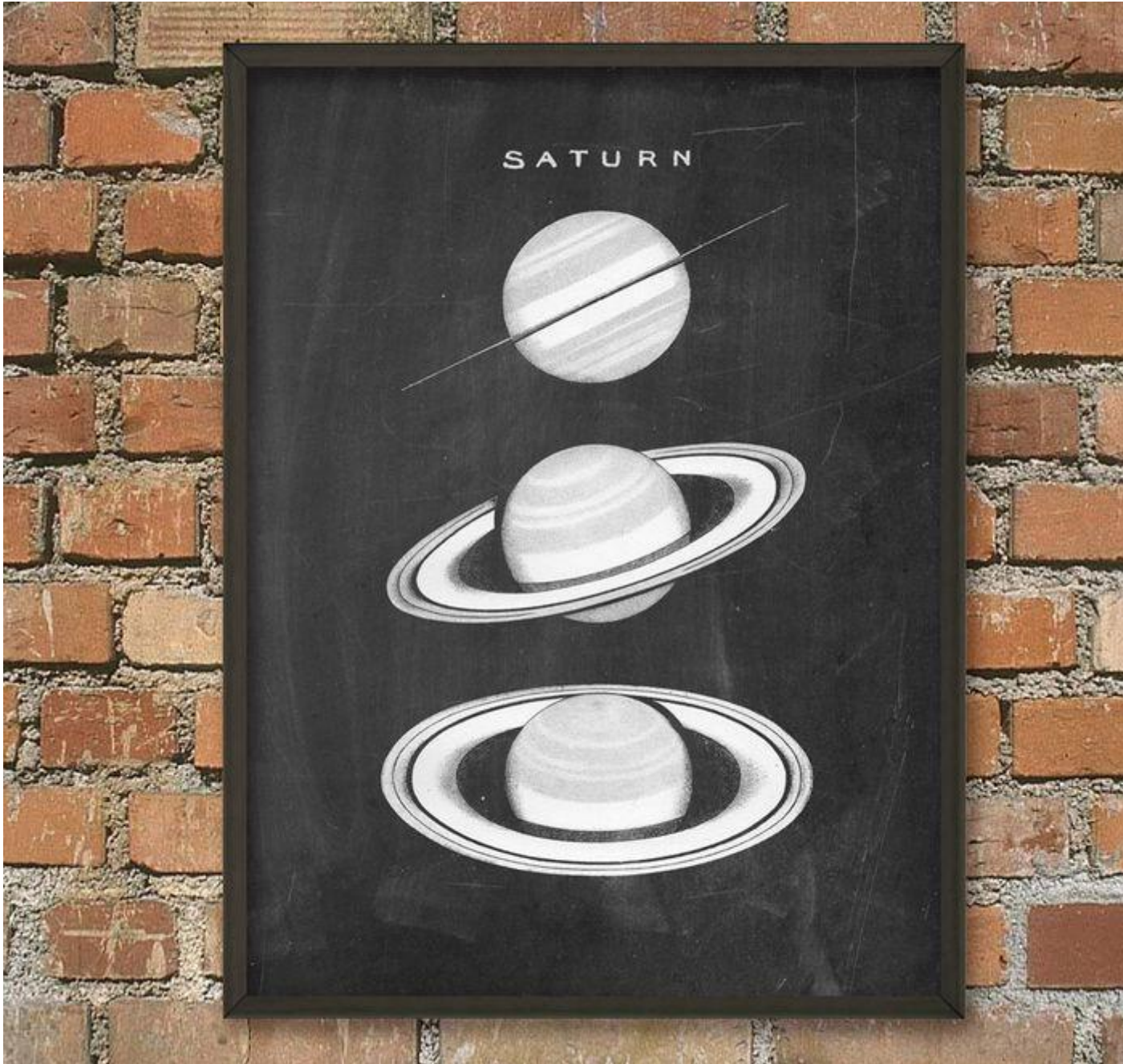
A gyűrűrendszer.

A Szaturnuszt mindig a látványos gyűrűrendszere miatt szokták emlegetni.

Már a XVIII. században feltételezték, hogy ez nem lehet merev korong. *Édouard Roche* (1820-1883) francia csillagász matematikai módszerrel kiszámította, hogy minden égitest körül van egy olyan pálya, ami miatt az ott keringő égitest az árapály hatások miatt feldarabolódik. Ez a Szaturnusz esetében 2,44 bolygósugárnak adódott. Így magyarázta a

gyűrű kialakulását. Más kutatók szerint – a Naprendszer őanyagát alkotó kisebb darabokból -- itt nem állt össze egy égitest.

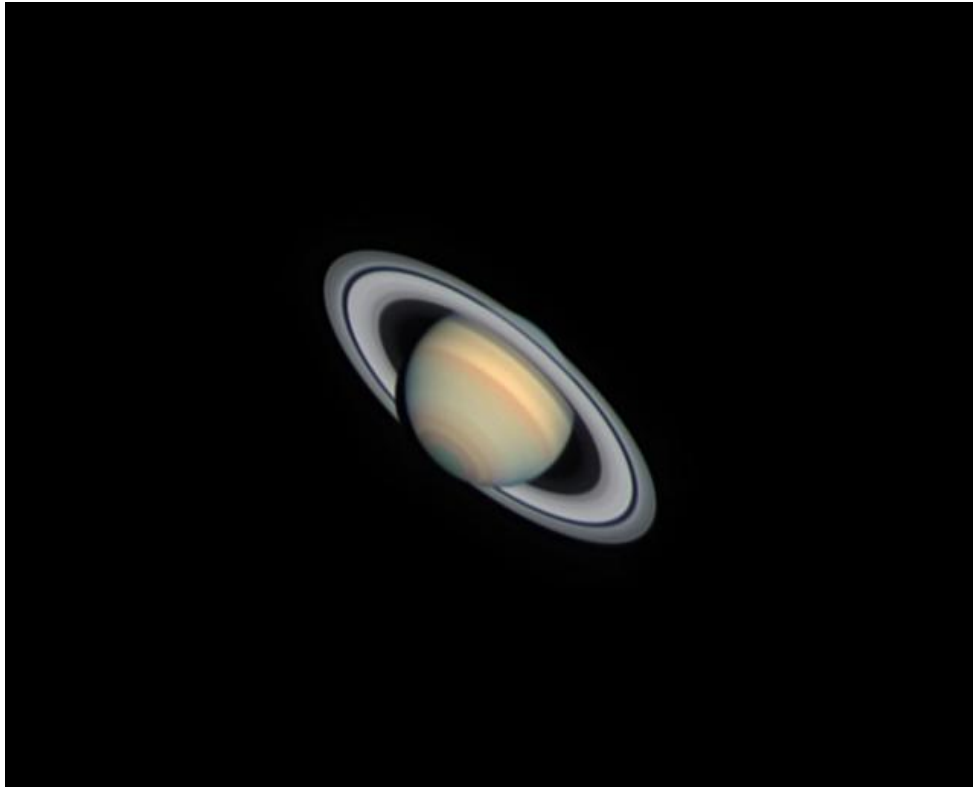
James Clark Maxwell (1831-1879) is azt vallotta, hogy a gyűrű apróbb testek halmaza, melyek Kepler-pályákon mozognak. Ezt a felvetését megfigyelések támasztották alá. (Ő volt az a híres fizikus, aki kidolgozta az elektromágneses térelméletet. Itt találjuk meg a fény vákuumbeli sebességének elméleti értékét!)



A bolygóról 1892-ben készült rajzok. Érdeemes megfigyelni a gyűrű szerkezetét és azt is, hogy mindig más szögben látunk rá erre a szép égi csodára.

A fenti rajzokon is látszik, hogy a földi távcsövekkel a gyűrűrendszer csupán néhány részre tagozódik. Benne két olyan terület vehető észre, ahol nincsenek részecskék – ez az Encke-rés és a Cassini-rés. Ezek választják el egymástól a különböző zónákat.

Érdeemes megnézni egy olyan képet, amely a mai műszaki lehetőségek segítségével készült. Valóban lélegzet elállító az a technika, amit már sok megfigyelő használ.

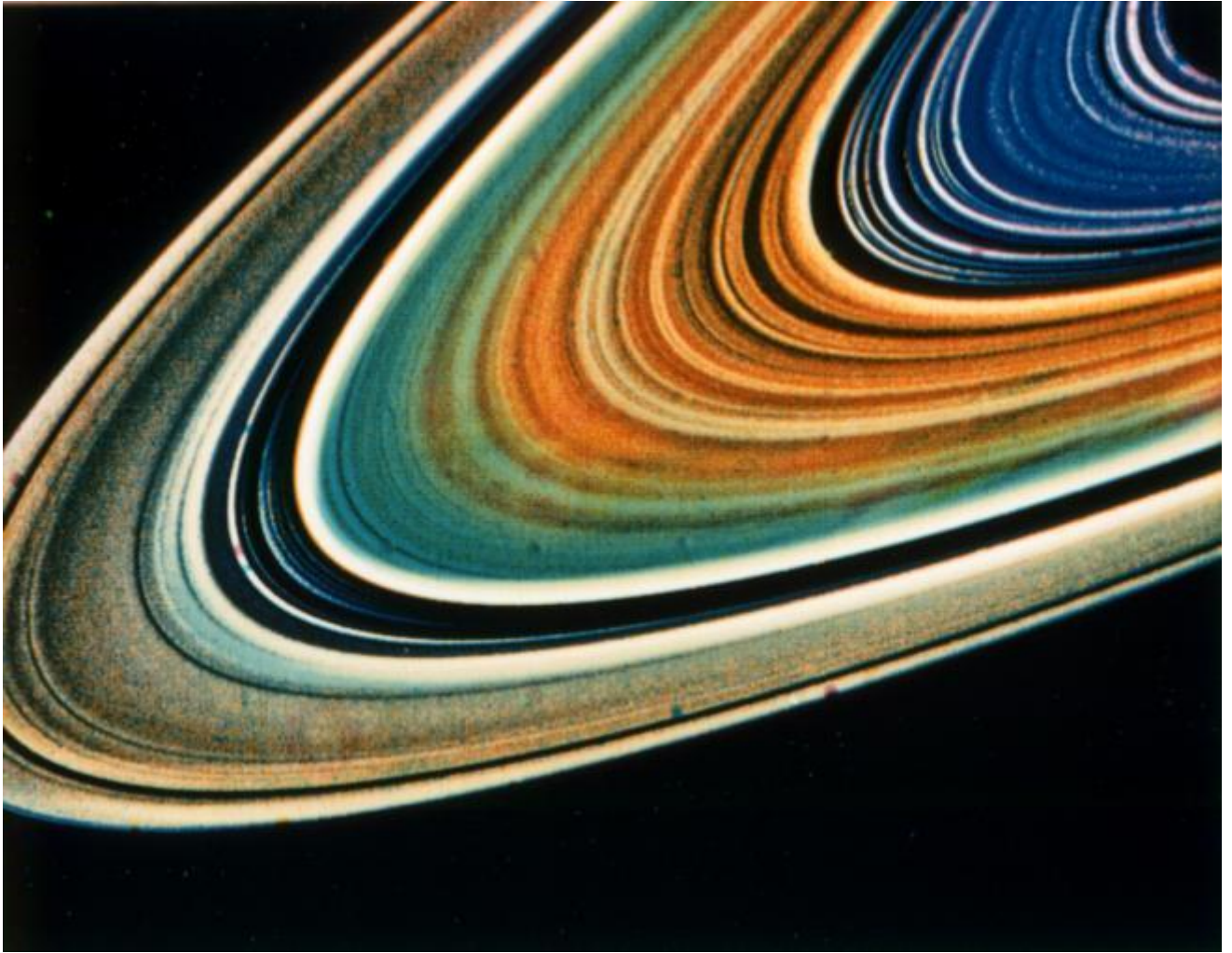


Stefan Buda felvétele.

A gyűrűrendszer mérete a földi mérések szerint 276 ezer kilométernek adódott. A gyűrűrendszerre való rálátásunk 14 év és 9 hónapos periódussal változik. Ezért néha csak az élét láthatjuk. Egy 1966-ban végzett mérés azt az eredményt adta, hogy *a vastagsága mindössze 1,3 kilométer*. A méretarány tehát – 1:207000. Tessék elképzelni egy 207 méter széles fémlemezt, amely mindössze 1 milliméter vastag!

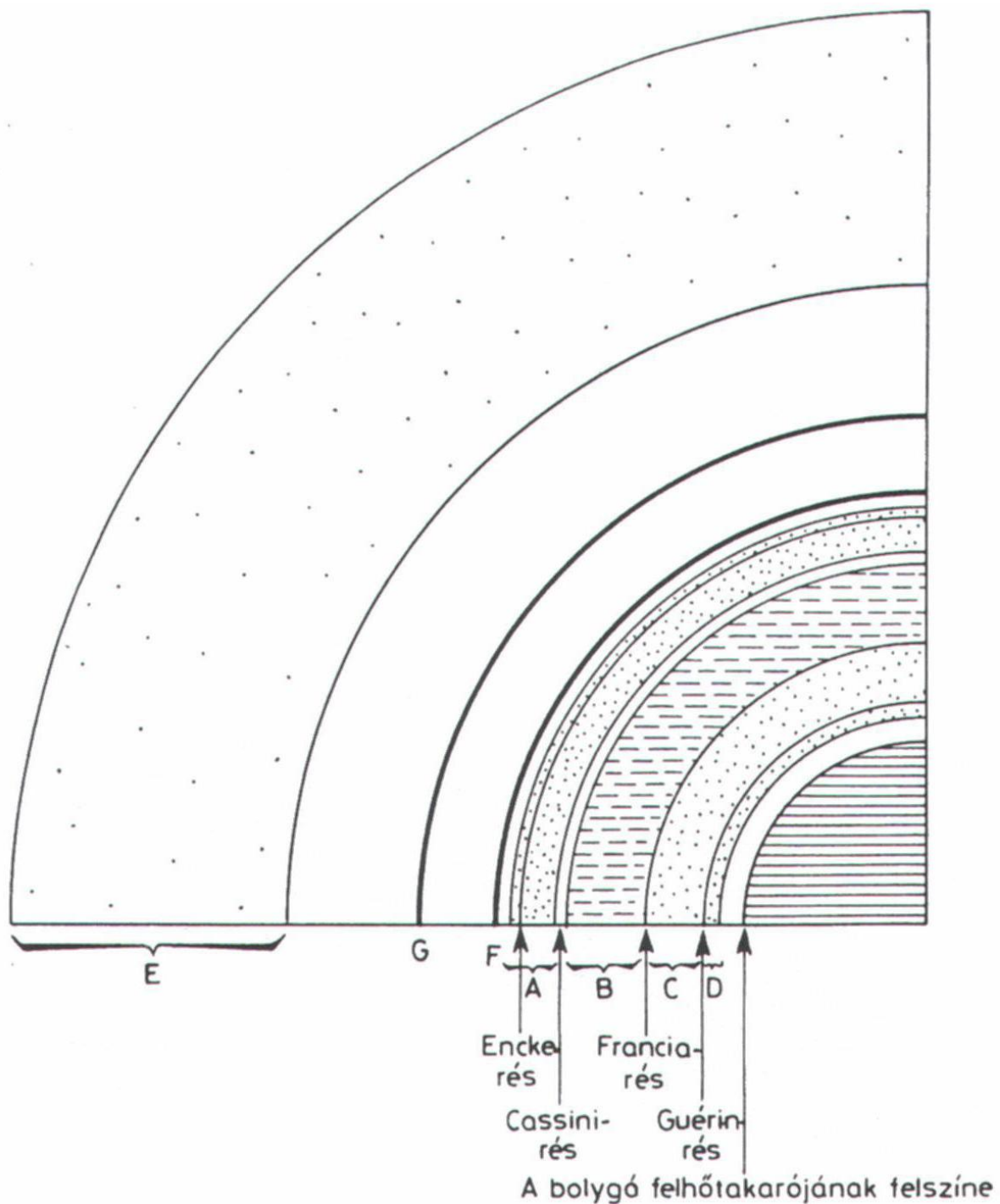
Az űrszondák megfigyelései révén sok új eredményt ismertünk meg.

Kiderült, hogy a felhőtető fölött 5000 kilométerrel kezdődő látványos alakzat kb. 1 millió kilométerre terjed a Szaturnusz felszíne fölé.



A Voyager-2 felvétele 1981-ben készült. A hamis színek jól mutatják a gyűrűrendszer részletes szerkezetét. (NASA.)

Azt szoktuk mondani, hogy ez olyan, mint egy óriási hanglemez barázdái.



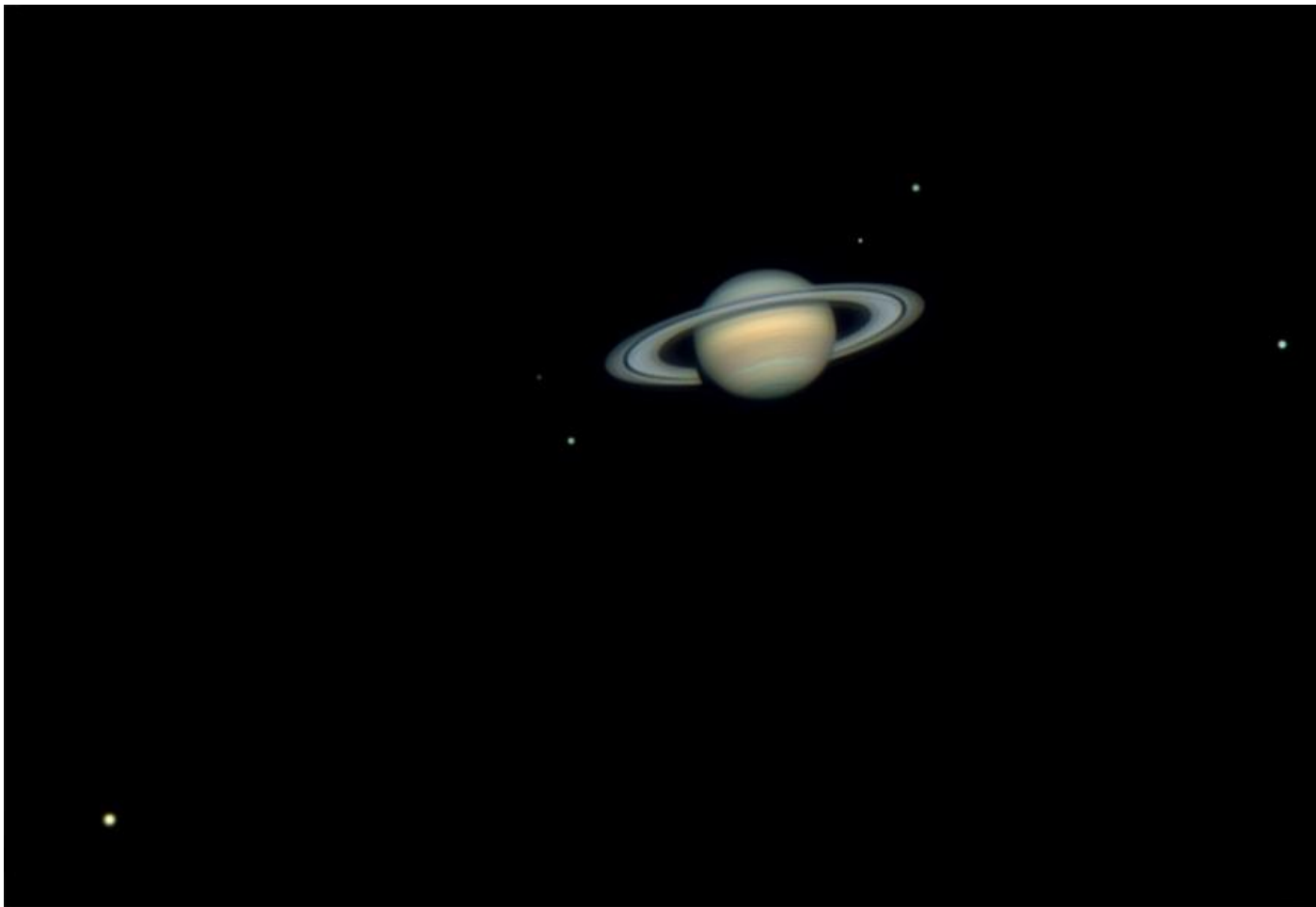
A gyűrűrendszer szerkezete. A rajz a különféle anyagmentes réseket és a különböző gyűrűket mutatja. A rajz méretarányos. (W. Köhler és mások alapján.)

A Voyager-szondák mérései szerint a gyűrűrendszer nem lehet 100 méternél vastagabb, sőt, van olyan része, amely ennél jócskán vékonyabb. Az E- és az F-gyűrűt alkotó részecskék mérete 0,008 milliméter.

A különböző szegmensek fényessége eltér egymástól. Ennek nyilvánvaló oka a különböző fényvisszaverő képesség. Vannak olyan területek, amelyek jéggel borítottak, és olyanok is, amelyek jégszemcsékből állnak.

A holdjai.

Már egy közepes teljesítményű távcsövön át is számos holdját megpillanthatjuk. A legnagyobb méretű, és ezzel együtt a legfényesebb a *Titán*.

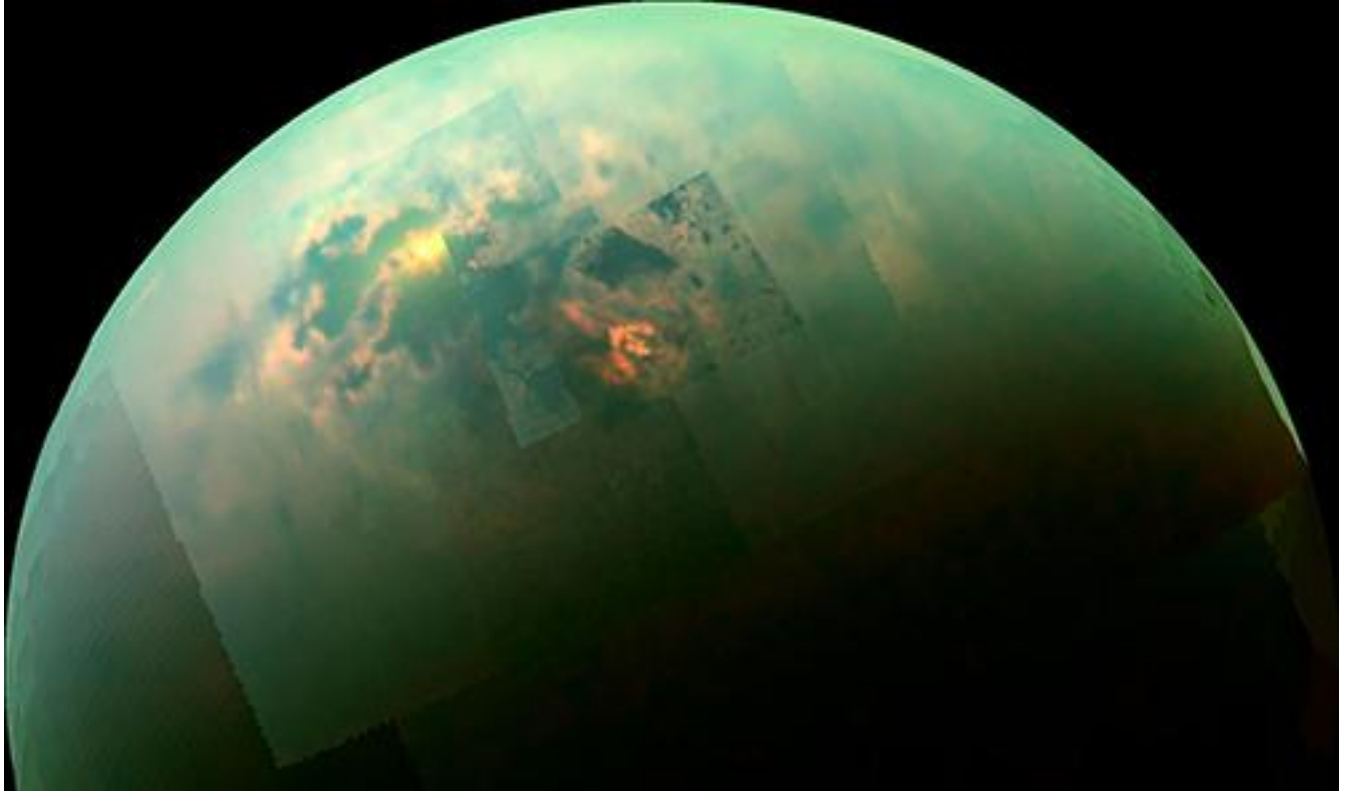


A Szaturnusz és néhány holdja. A felvételt Rafael Defavari készítette. A Titán a bal alsó sarokban látszik. (APOD.)

A hold mérete valóban titáni, azaz óriási: 5150 kilométer az átmérője. Ez pedig nagyobb, mint a Merkúr! A földről végzett megfigyelések azt jelezték, hogy *vastag légköre van*. Egy 1974-ben elvégzett színeképelemzés során kiderült, hogy *az atmoszférája metánt tartalmaz*.

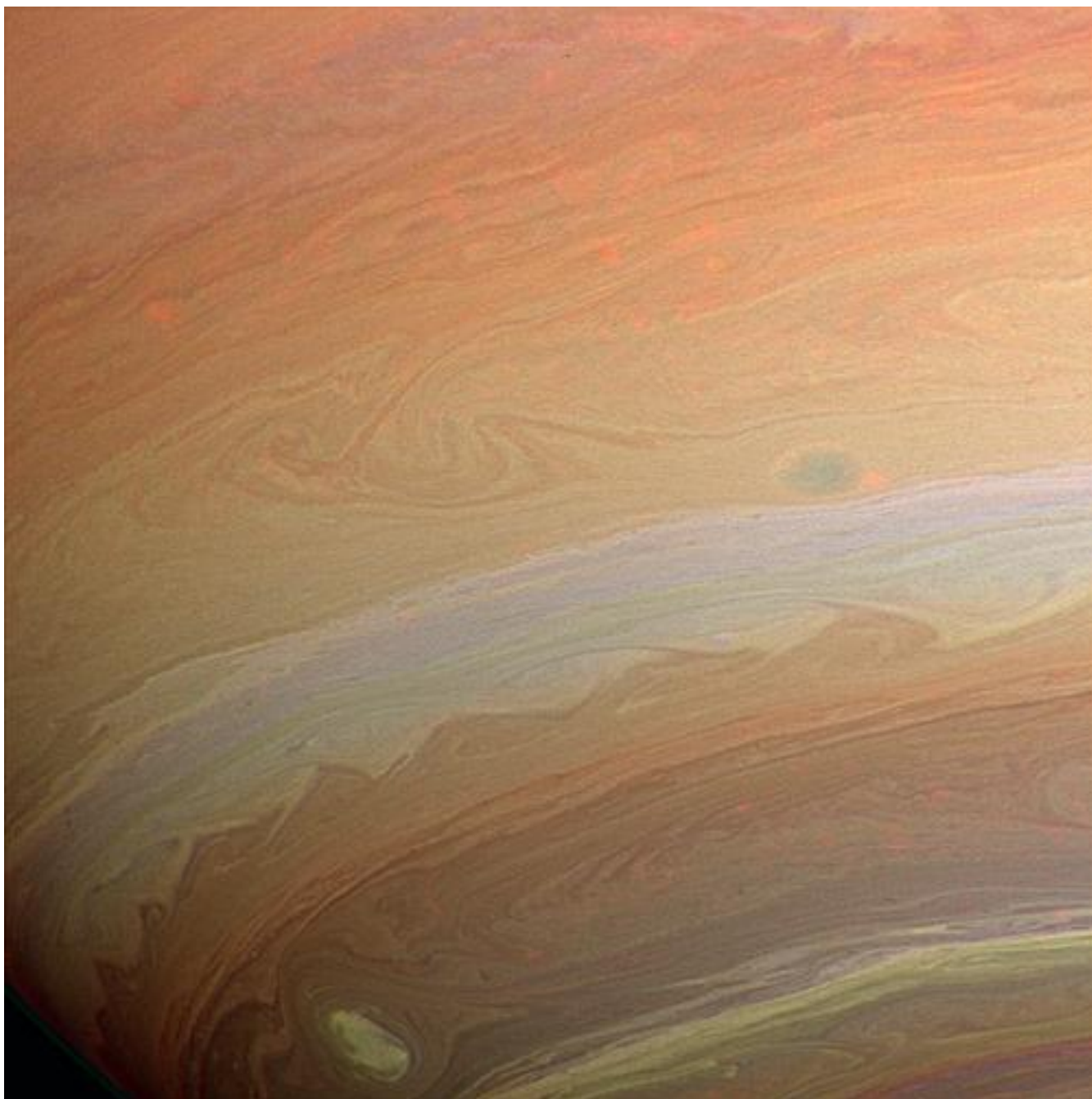
Az űrszondák mérései szerint *a Titán légkörének tömege nagyobb, mint a Földé!* A hold légköre több rétegből áll, melyek fagyott metánkristályokból és metáncseppekből állhatnak.

A felszíni hőmérséklet 95K (-178⁰C). A Voyager-1 méréseire alapozva azt gondolták, hogy a *felszínen metánból és etánból álló tavak, folyók és óceánok léteznek, melyek nitrogént is tartalmaznak*. Mindez megmagyarázza a holdon megfigyelhető sokféle színt. A felszíni légnyomás értéke a földinek a másfélszerese.



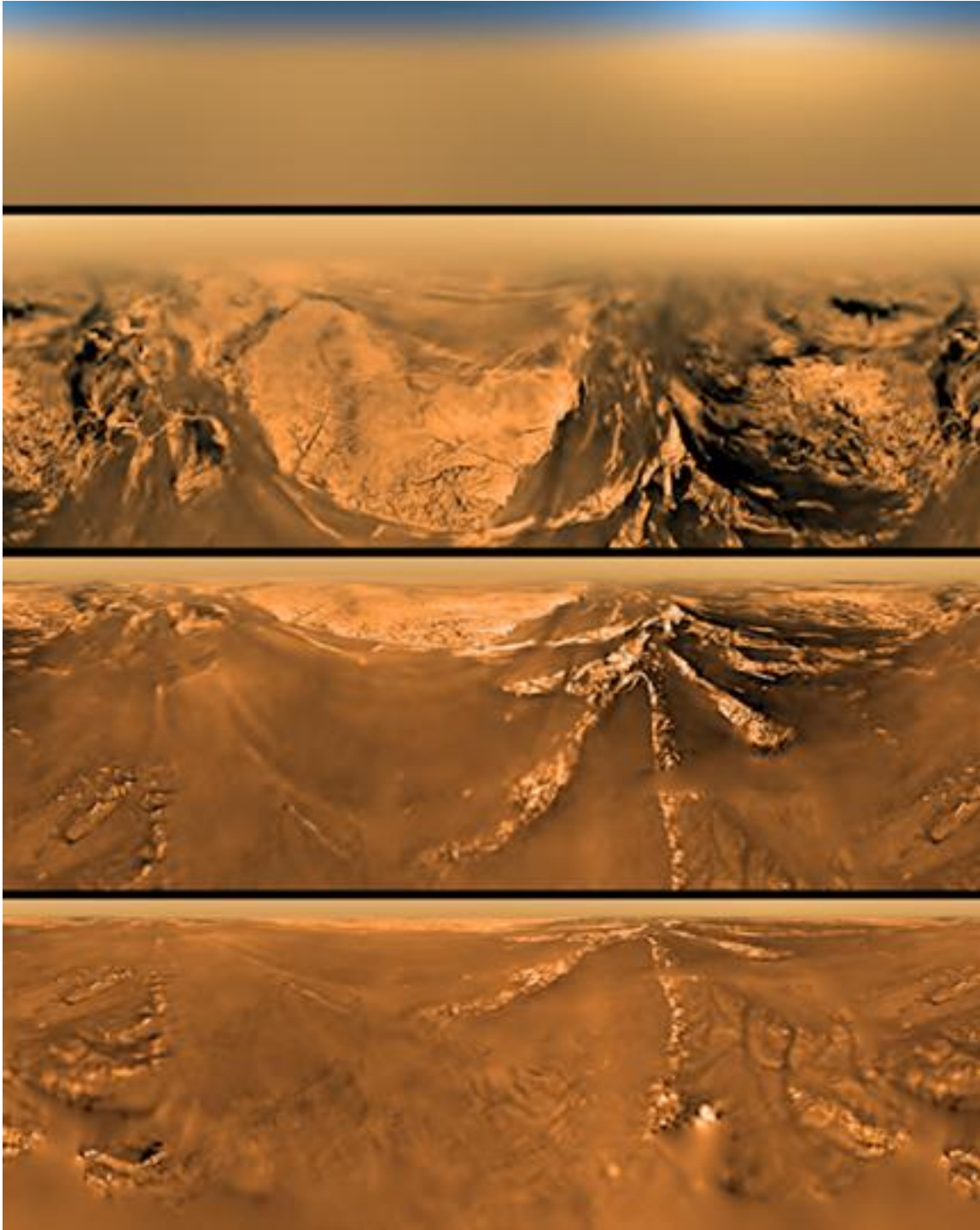
A Titánról készült egyik kép. A Cassini-Huygens küldetés során készült felvétel. (NASA, JPL.)

A leszállóegységből és a keringő szondából álló Cassini-Huygens 1997. október 15-én indult el a floridai Cape Canaveralból. A Cassini szonda 2004 júliusától a Szaturnusz körül bolyong.



A Szaturnusz kavargó felhőzónái a Cassini felvételén (NASA).

A Huygens leszállóegység 2005 januárjában ért talajt a Titánon. Az elvárt óceán helyett kb. 100 méter magas dűnéket talált. Az egyenlítő környékén több száz kilométer hosszan elnyúló vonulatok terülnek el. Mindez megmutatta a szelek irányát. Ezek a dűnék hasonlítanak azokra, amelyeket a földi sivatagokban is találunk. Csakhogy ezek nem olyan összetételű homokszemek, mint nálunk, hanem metánból állnak.

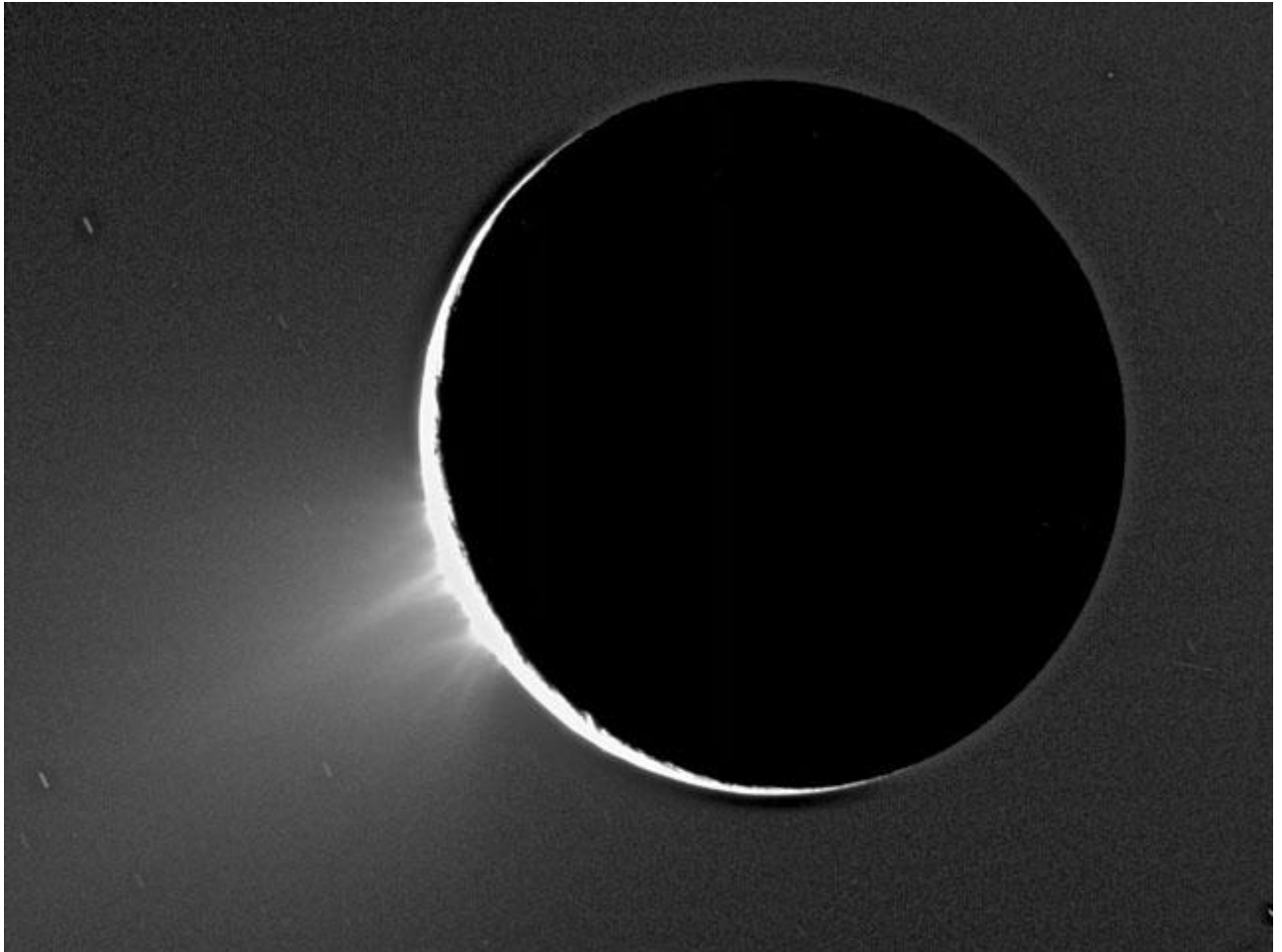


A szonda ereszkedése közben készült képsorok. (NASA/ESA.)

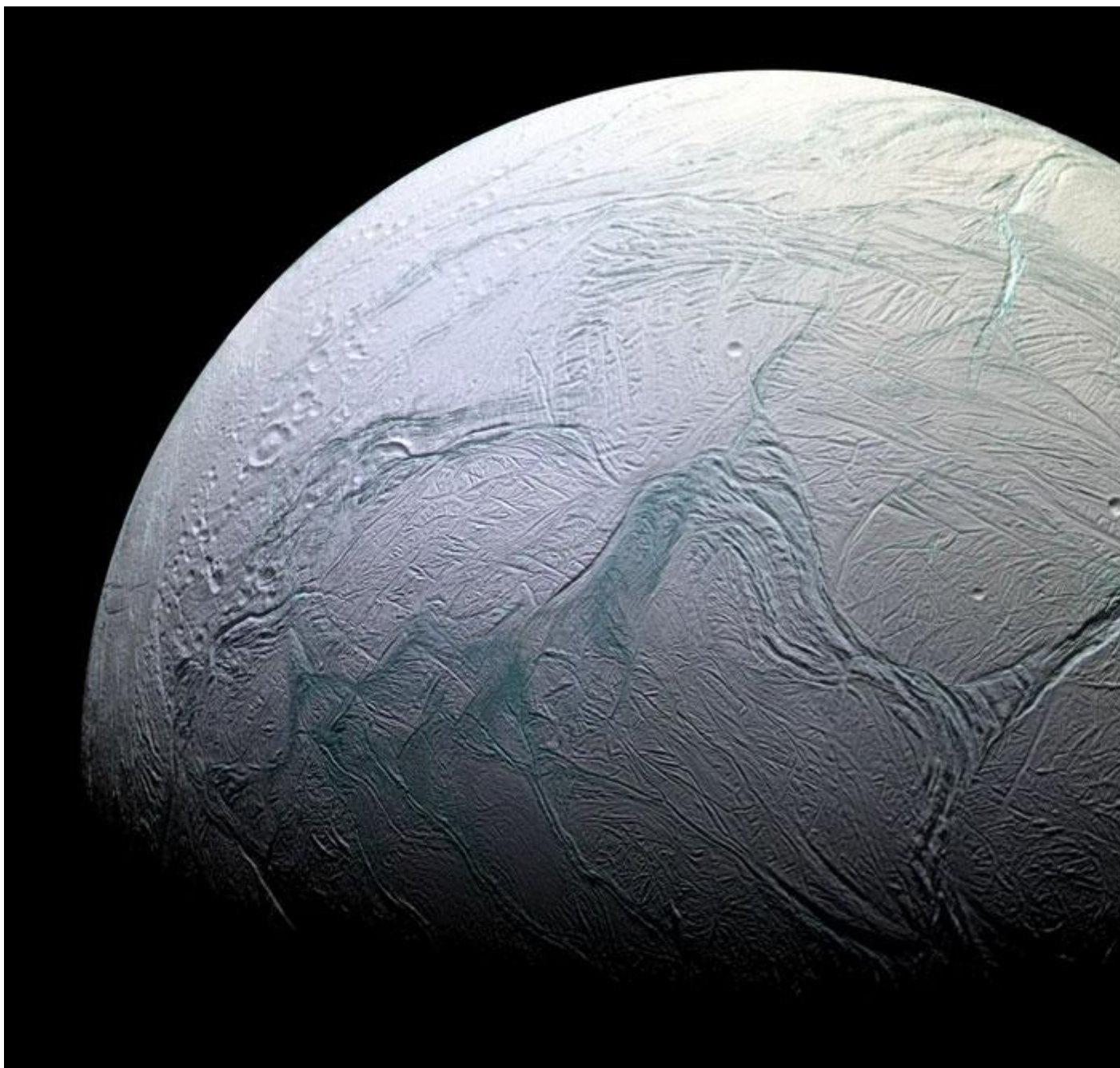
A leszálló egység kiszáradt folyóvölgyeket is talált. A NASA 2008 nyarán jelentette be, hogy a hold felszínén folyékony metán- és etán tavak léteznek. Folyókat is sikerült azonosítani. A Föld mellett ez a második olyan égitest, melynek felszínén folyadék található! Mindezt a Cassini radarképei segítségével sikerült felismerni.

Sikerült a felszínen végig söprő árapály okozta hullámot is megfigyeli. Ennek nagysága arra utalt, hogy az óriás hold felszíne alatt kb. 50 kilométerrel folyékony anyagnak – víznek -- kell lennie.

A Cassini űrszonda, a Jupiter holdrendszerében éveken át működött Galileóhoz hasonlóan, folyamatosan közvetíti azokat a képeket, amelyek tovább színesítik Naprendszerünk eddig is gazdag világát.



Az Enceladus hold felszíne alól feltörő vízgőz gejzírek. (NASA/JPL.)



A jégpáncélba zárt Enceladus tagolt felszíne. A folyékony vízóceán mindössze néhány kilométerrel húzódik a jég alatt. (NASA/JPL.)



A Hyperion. Ennek a holdnak az átlagsűrűsége a fájával egyezik meg. Ez pedig azt jelzi, hogy belül üregesnek kell lennie, és vízjég a fő alkotóeleme. Egy tengeri szivacsra emlékeztet. Felszínén szintén vannak szénhidrogének. (NASA/JPL.)

A Szaturnusznak eddig 59 holdját ismerjük.

Az Uránusz.

Évezredekken át az öt szabad szemmel látható planétát ismerték. Úgy gondolták, hogy nincs több bolygó a világunkban.

1781. március 13-án este Friedrich Herschel – aki ekkor már Angliában élt – a saját készítésű, 18 cm-es nyílású távcsövével egy zöldes színű „csillagot” pillantott meg az Ikrék csillagképben. Az objektum nem volt rajta a csillagtérképeken. Nagy nagyításnál már egy ködös, kiterjedt égitestnek látta. Arra gondolt, hogy új üstökösöt fedezett fel, így nem tulajdonított nagyobb jelentőséget a megfigyelésének. Ennek ellenére tovább figyelte. Észrevette, hogy a „csillag” lassan továbbhalad az égi háttér előtt. Hat heti észlelés után tapasztalatait megírta John Maskelyne-nak, aki a greenwichi csillagda igazgatója volt. Ezt követően többen figyelték az új égitestet. Egy év elteltével bizonyossá vált, hogy Herschel új bolygót fedezett fel.

A planéta az Uránusz nevet kapta. A görög mitológia szerint Uránusz volt Szaturnusz atyja.

Érdemes megemlíteni, hogy a korabeli feljegyzések szerint már Herschel előtt többen is látták az Uránuszt, de csillagszerű megjelenése miatt nem ismerték fel, hogy bolygóról lehet szó. A látszó mérete a legkedvezőbb körülmények esetén is csak 4,2". Már az is nagy eredmény, ha a távoli égitestet valaki korongnak látja a távcső látómezejében.



Az Uránusz korongja a Voyager-2 felvételén. (NASA.)

Jellemző adatai:

Átmérője: 52456 km = 4,11 Föld-átmérő.

Tömege: $8,698 \cdot 10^{25}$ kg = 14,52 Föld-tömeg.

Átlagos sűrűsége: 1,19 g/cm³.

Közepes naptávolsága: 2873 millió kilométer = 19,9869 csillagászati egység.

Tengelyforgási ideje: 17 óra 14,4 perc.

Sziderikus keringési ideje: 84,02 év.

Szinódikus keringési ideje: 369,7 nap.

Az egyenlítői sík hajlásszöge a pályasíkhhoz: 97,⁰92.

Közepes pálya menti sebessége: 6,8 km/s.

A pálya excentricitása: 0,050526.

A pályasík hajlása az ekliptikához: $0,07721^\circ$.

Felszíni nehézségi gyorsulás: $8,63 \text{ m/s}^2$.

Szökési sebesség: 21,2 km/s.

Albedó: 0,5.

Érdeemes néhány adatra felfigyelni. A pályájának alakja majdnem tökéletes kör. Az egyenlítői szög azonban roppant nagy értékű. Ez azt jelenti, hogy *a bolygó forgástengelye majdnem a pályasíkba simul bele*. Úgy forog a tengelye körül, mint egy autó kereke. Erre szokták azt mondani, hogy tovagördül a pályáján. Ennek eredménye, hogy az ottani napforduló idején az egyik pólus fordul a Nap irányába. Ott 42 éven át tart a világosság, míg az ellenkező póluson ugyanennyi ideig a sötétség.

Az *albedó* nagy értéke arra engedett következtetni, hogy *a bolygót olyan felhőzet öleli át, amelynek kiváló a fény visszaverő képessége*. Sokan megpróbálkoztak azzal, hogy valamilyen feltűnő alakzat segítségével megpróbálják meghatározni a tengelyforgási idejét. Mivel ilyen alakzatot nem láttak, ezért más módszert kellett alkalmazni.

A *Doppler-effektus* a hangtan egyik jól ismert jelensége. *Christian Doppler* (1803-1852) osztrák fizikus ismerte fel, ha egy hang- vagy fényforrás hozzánk képest mozog (vagy mi mozdulunk el a forráshoz képest), akkor a fülünkbe vagy szemünkbe érkező hang illetve fény frekvenciája (hullámhossza) megváltozik. Amikor közeledik, akkor az eredetileg kibocsátottnál magasabb frekvenciát (rövidebb hullámhosszat), amikor pedig távolodik, akkor alacsonyabb frekvenciát (nagyobb hullámhosszat) fogunk megfigyelni. A változás mértéke a relatív sebesség nagyságától függ. Az égitestekről rögzített színeképvonalak eltolódását is a Doppler-effektus magyarázza meg, amely számos információt ad a helyi fizikai viszonyokról. (Lásd később.)

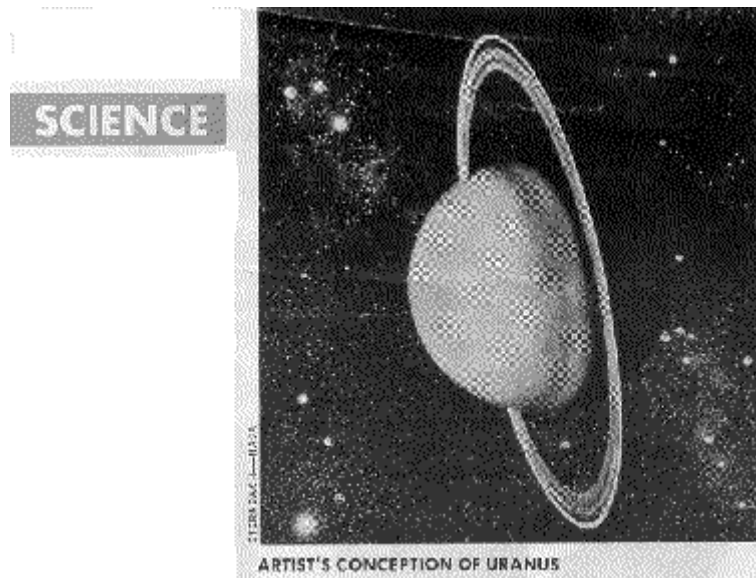
Ezzel a módszerrel sikerült megállapítani az Uránusz tengelyforgási idejét, amely nem volt pontos, a megfigyelési nehézségek miatt, de legalább lehetővé tette a nagyságrendi meghatározást.

1977 tavaszán *az Uránusz egy csillagot fedett el*. Mindezt a déli féltekéről lehetett látni. Azonban az okkultáció zónájában nem volt olyan obszervatórium, ahonnan a pontos megfigyeléseket el tudták volna végezni. Ezért egy repülőgép fedélzetén helyeztek el egy olyan távcsövet, amelyhez fotométert (a fény erősségét mérő berendezés) kapcsoltak. A fotométer azt jelezte, hogy -- még mielőtt az Uránusz elhaladt volna a csillag előtt -- fénycsökkenés következett be. Ezek a csökkenések rövid ideig tartottak, majd pedig szimmetrikusan megismétlődtek, amikor a csillag az Uránusz túloldalán látszott. Új holdakról

nem lehetett szó, mert akkor a fénycsökkenés hosszabb ideig tartott volna és nem mutathatott volna szimmetriát. Így csak egyetlen magyarázat maradt: *az Uránusz körül gyűrűrendszer van!*

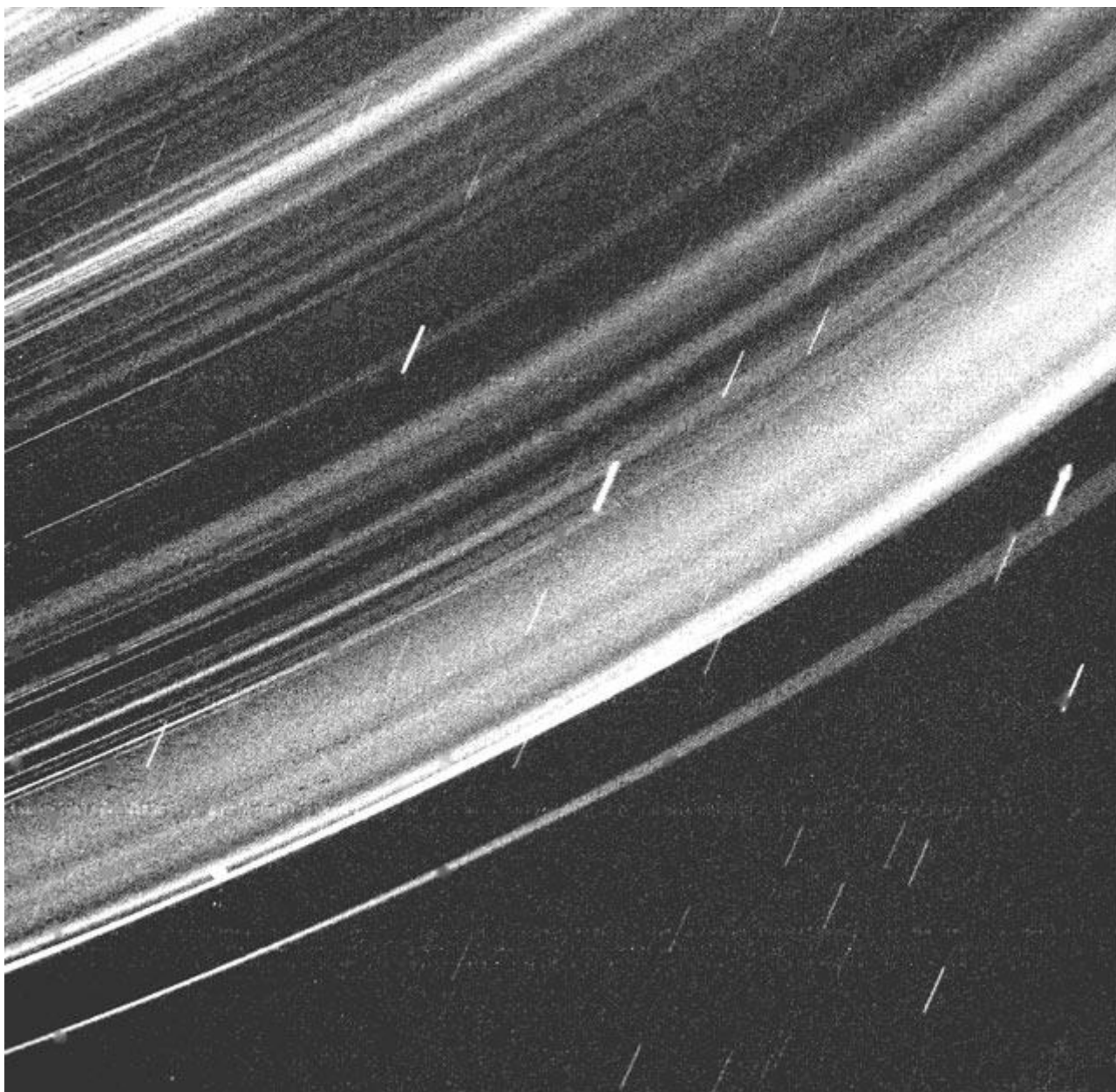
Az Uránuszról szerzett ismereteink sokkal pontosabbak és bővebbek lettek akkor, amikor 1986. január 24-én a Voyager-2 elrepült a bolygó mellett.

Megerősítette a gyűrűrendszer létét, és további gyűrűket fényképezett le.



A felfedezést követően a Science (USA) folyóiratban megjelent illusztráció.

A kutatók szerint ezek lényegesen kevesebb anyagból állnak, mint a Jupiter vagy a Szaturnusz gyűrűi. Valószínűleg 1m-nél nagyobb jégtömbök alkotják.



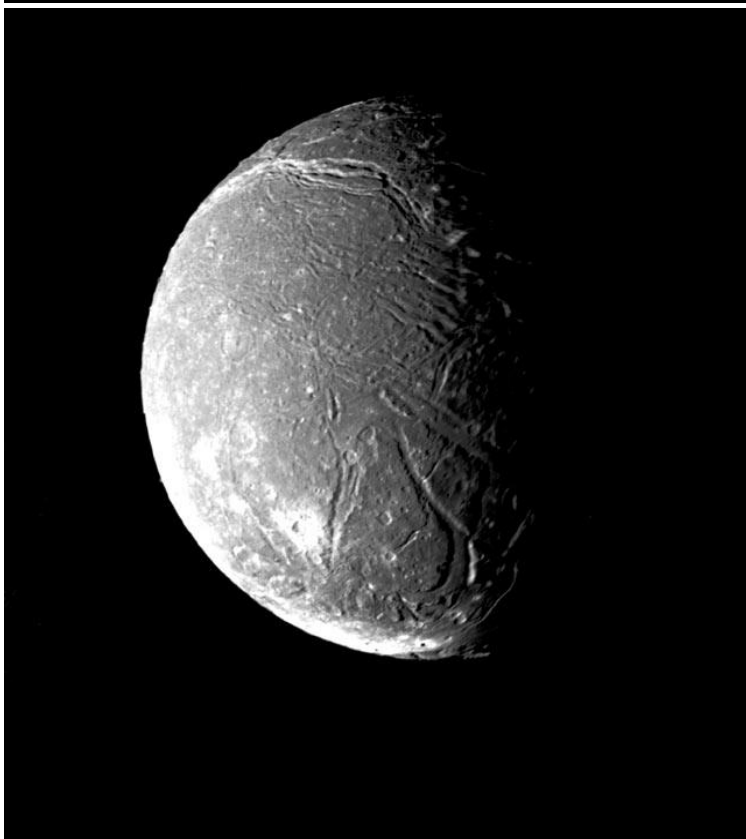
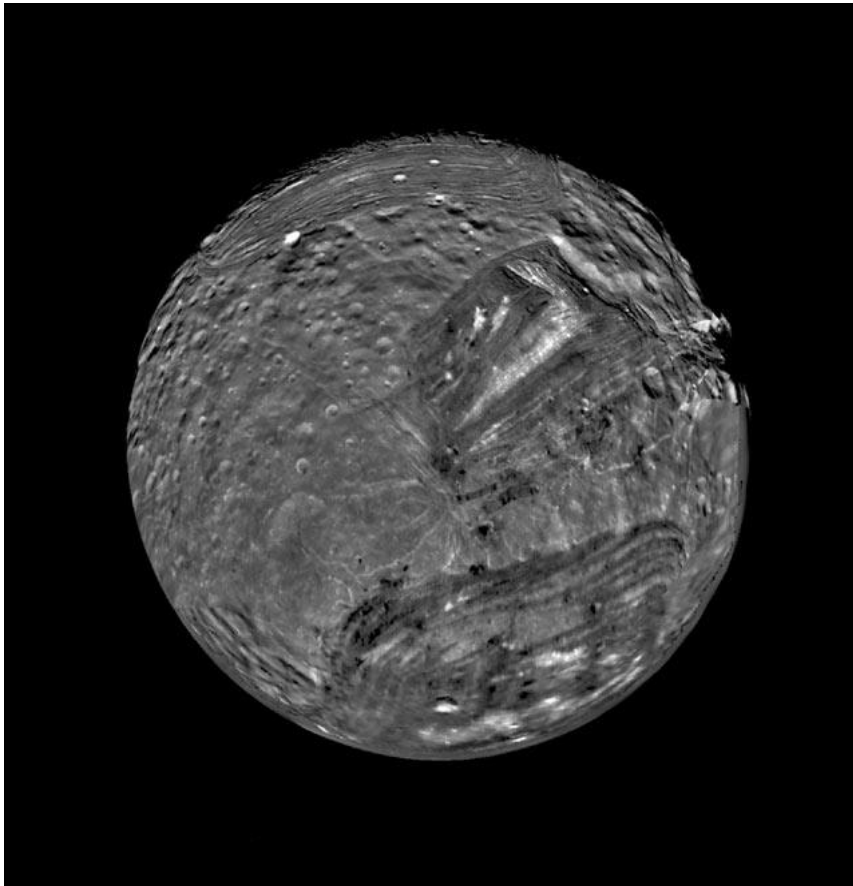
A Voyager-2 egyik felvétele a gyűrűrendszeréről. (NASA.)

Az Uránusz kísérőinek száma 15-re növekedett, tehát 10 új holdat fedezett fel. A földi megfigyelések révén ismertük már a Titániát és az Oberont (1787), az Arielt és az Umbrielt (1851), valamint a Mirandát (1951).

Az űrszonda képei alapján az alábbiakat lehetett megállapítani a legnagyobb, addig ismert holdjairól.

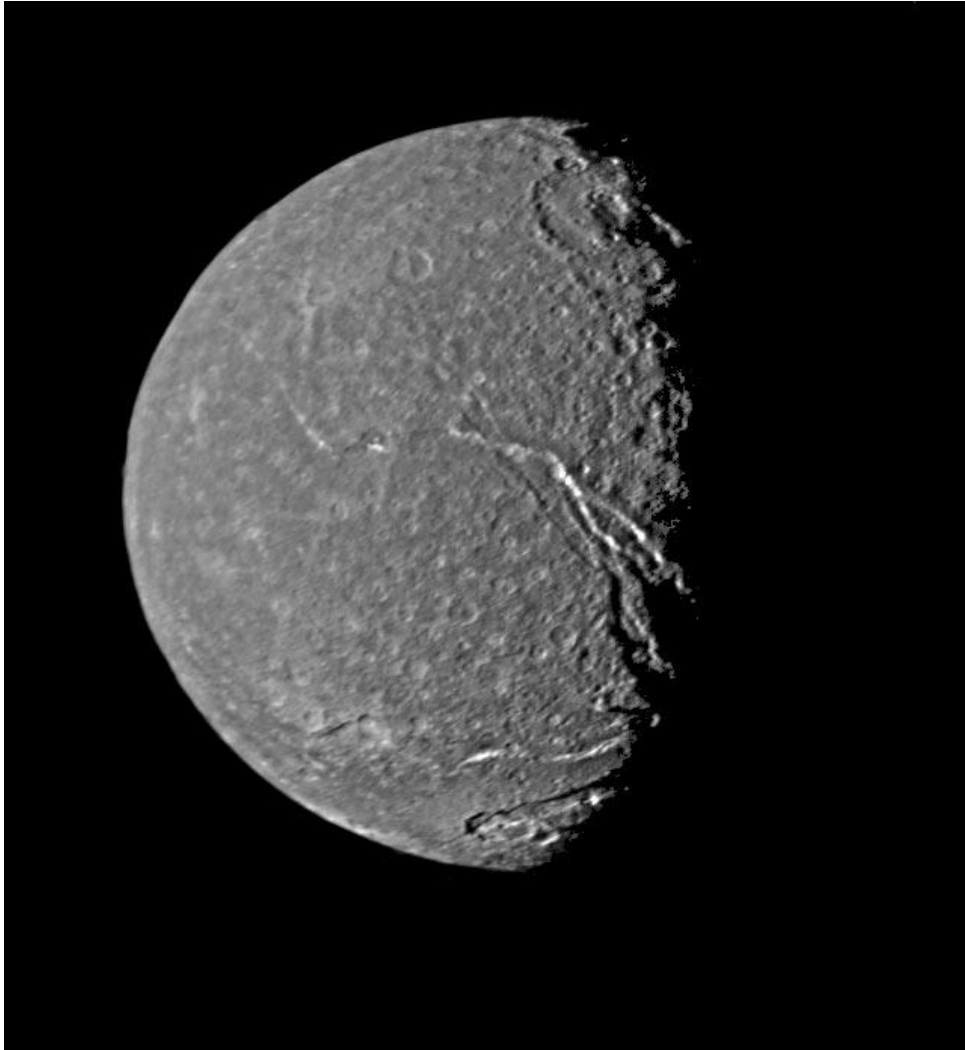
Az Arielt óriási repedések és becsapódásos kráterek szabdalják keresztül-kasul. A Miranda változatos felszínén árkok és szirtek látszanak. Az Umbriel felszíne nagyon sötét, valószínűleg

metánból kivált szén borítja. A Titánia és az Oberon egy kicsit világosabb felületű, kráterekkel tűzdelt. A Titánián több száz kilométer hosszú szakadékok sejthetők.

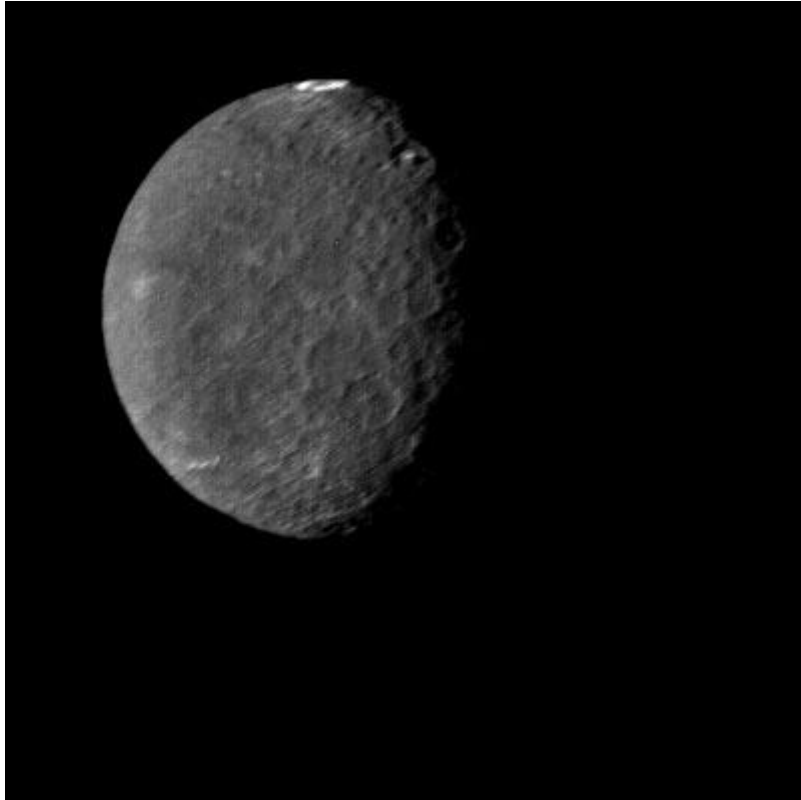


A Mirnda és az Ariel. (Voyager-2, NASA.)





Az Oberon és a Titania. (Voyager-2, NASA.)



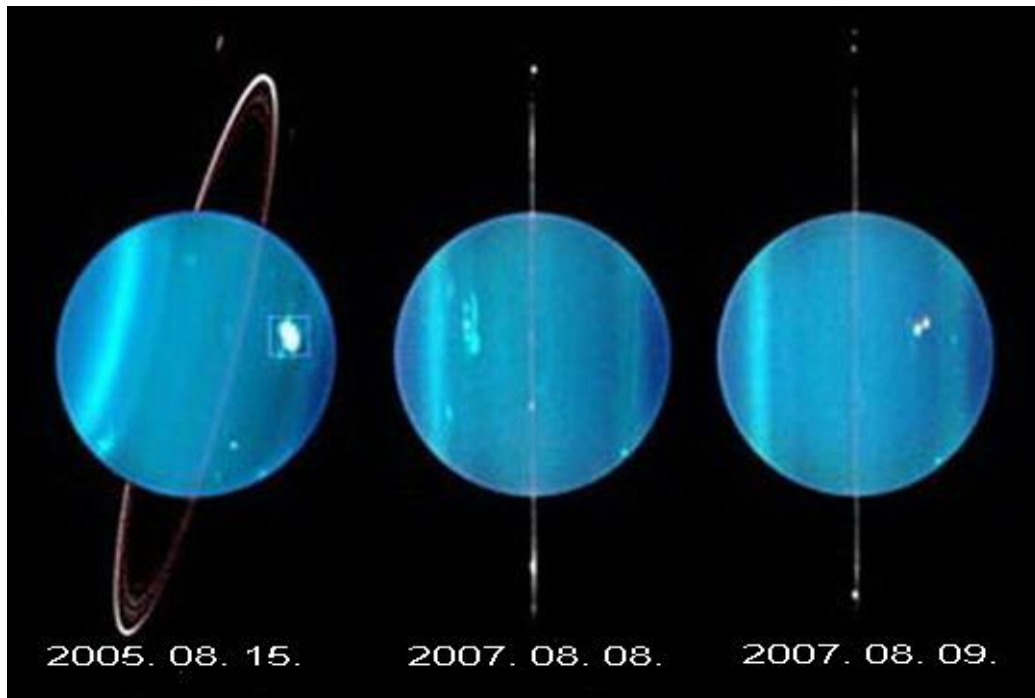
Az Umbriel. (Voyager-2, NASA.)

A mérések szerint a légkör legfőbb összetevője a hidrogén. Emellett 12% hélium is előfordul. Az atmoszféra felső részén metánfelhőket figyelt meg az űrszonda. A bolygómodell szerint az Uránusz magja kis méretű, és szilikátokból áll. A mágneses mezeje tízszer erősebb a földinél.

A legújabb földi mérések.

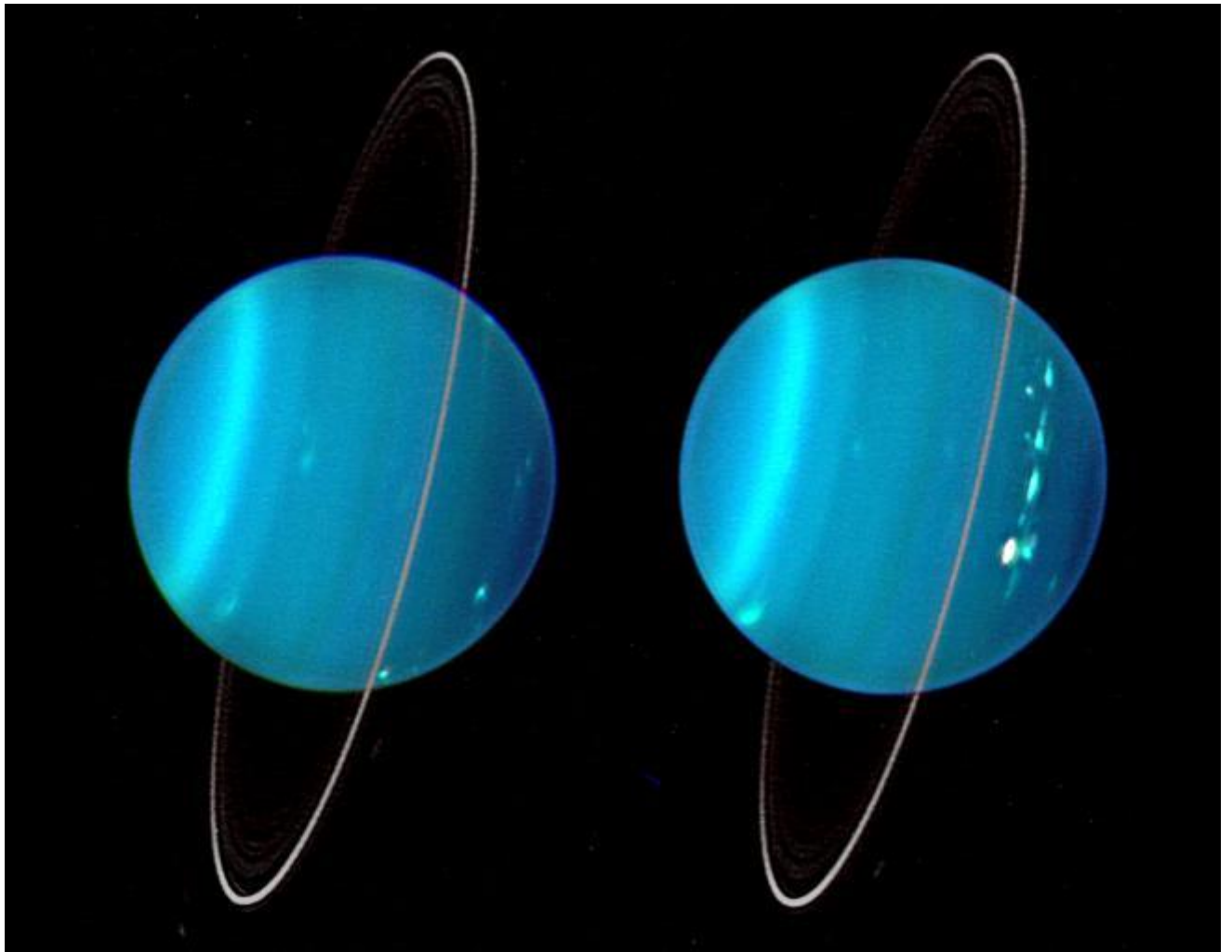
Az eltelt néhány évtized során sok olyan távcső készült el, mely minőségi változást hozott az égitestek megfigyelése területén. Számos új műszaki és informatikai megoldásnak köszönhetően olyan képek készíthetők, mintha a légkör fölött lenne egy-egy obszervatórium. Így a felbontóképesség, a kontraszt, a fényérzékenység értéke is jelentős változást mutat.

Ezt bizonyítja az alábbi képsor is, amely az Uránuszról készült.



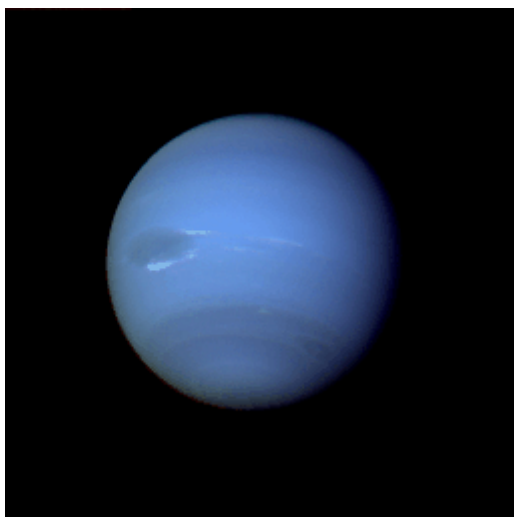
A Keck II (Hawaii, Mauna Kea) távcsővel készült sorozatfelvétel. Az infravörös tartományban rögzített képeken jól látható, egy éveken át meglévő felhőörvény alakjának megváltozása.

A képeken a gyűrűrendszer, valamint több sáv és zóna vehető észre. A képsorozat azt bizonyítja, hogy a Naptól távoli bolygón is vannak évszakok. A kiértékelt megfigyelési eredmények azt mutatják, hogy a felhőzetben fújó szelek sebessége elérheti az 1000 kilométer/óra értéket.



Egy másik felvétel páros, amelyet szintén a Keck távcső készített, amely 4195 méteres tengerszint feletti magasságban található. Érdekes megnézni a felhőzet szerkezetén belül bekövetkezett változásokat.

A Neptunusz.



Jellemző adatai:

Átmérője: 49200 kilométer = 3,86 Föld-átmérő.

Tömege: $1,029 \cdot 10^{26}$ kg = 17,22 Föld-tömeg.

Közepes naptávolsága: 4469 millió kilométer = 30,07 csillagászati egység.

Tengelyforgási periódusa: 15,97 óra.

Sziderikus keringési ideje: 164,79 év.

Szinódikus keringési ideje: 367,5 nap.

Az egyenlítői sík hajlása a pályasíkhhoz: $29,^{\circ}56$.

A közepes pálya menti sebessége: 5,43 km/s.

A pálya excentricitása: 0,0086.

A pályasík hajlása az ekliptikához: $1,^{\circ}77$.

Felszíni nehézségi gyorsulás: $11,38 \text{ m/s}^2$.

Szökési sebesség: 23,2 km/s.

Albedó: 0,84.

Felfedezése a tudománytörténet egyik kuriózuma.

Az új bolygó, az *Uránusz* mozgását nagyon sokan kísérték figyelemmel. Rájöttek arra, hogy a megfigyelt és *az előre számított égi helyzete nem egyezett!* Azt is felismerték, hogy ezt az eltérést nem okozhatja a Jupiter és a Szaturnusz gravitációs zavaró hatása (perturbáció). Így magyarázatként *csak az a lehetőség adódott, hogy egy új, eddig ismeretlen bolygónak kell*

lennie az Uránuszon túl. A számítások alapjául a Kepler- és Newton által felismert törvények szolgáltak, amelyek addigra már szerves részei lettek az égi mechanika matematika rendszerének. A Titius-Bode szabályban is bíztak, hiszen az Uránusz távolságát is megadta ez az összefüggés.

De milyen tömegű égitestet vegyenek figyelembe, ez mekkora távolságra helyezkedik el a Naptól? Ezek olyan alapadatok, melyek ismerete nélkül – szó szerint – a matematikai sötétbe kell ugrani. Tehát – a zavaró hatásokra támaszkodva – pályát és égi pozíciót kellett meghatározni.

Ketten fogtak hozzá a feladat megoldásának. Az egyikük egy tehetséges cambridge-i diák, *John Couch Adams* (1819-1892) volt. 1843-ban fejezte be tanulmányait, és két évvel később készült el a számításokkal. Eredményeit az akkori királyi csillagásznak *Sir George Airy-nek* (1801-1892) küldte el, aki olvasatlanul az íróasztalának fiókjába tette a tanulmányt.

Urbain Leverrier (1811-1877) francia csillagász szintén ezen dolgozott. A számítási nehézségeket jól mutatja, hogy 14 ismeretlenből álló differenciálegyenlet-rendszert kellett megoldania! Így nem csoda, hogy 14 havi megfeszített munka után jutott eredményre.

Airy tudomást szerzett Leverrier munkájáról, ezért megbízta *James Callist*, hogy próbálja Adams számításai alapján megtalálni az új bolygót. A csillagász professzor azonban híján volt a pontos csillagtérképeknek, ezért immel-ámmal látott hozzá.

Leverrier „nem gatyázott”! Számításait *Johann Enckének* (1791-1865) küldte el a berlini csillagdába. Ott *Johann Gottfried Galle* (1812-1910) friss csillagtérképekkel rendelkezett. Az adatokat 1846. szeptember 23-án kapta meg. Azonnal nekilátott a keresésnek. Még aznap este *megtalálta az új égitestet az előre jelzett helytől mindössze 52' szögtávolságra!*

Erre szokás azt mondani, hogy szenzációs teljesítmény volt.

Adams számításai hasonló égi helyzetet adtak, de nem vették komolyan.....

Ha valaki azt kérdezi, hogy ki fedezte fel az új bolygót, akkor mindkét név egyenrangú – Adams és Leverrier.

A bolygó a Neptunusz nevet kapta. Neptunusz a görög mitológiában a tenger istene volt. A Neptunusz kék színű égitest.

Oly nagy távolságban kering a Naptól, hogy a legkedvezőbb viszonyok esetén is csak 2,4 a látszó mérete. Ezért a földi távcsövekkel csak kevés jellemző adatát sikerült megállapítani. (A táblázatban szereplők jelentős része a Voyager-2-nek köszönhető.)

Érdemes megemlíteni, hogy Galilei – a Jupiter – megfigyelése során megjelölte a Neptunuszt az egyik rajzán, de nyilvánvaló, hogy nem ismerte fel bolygó mibenlétét, hiszen csillagnak látszott.

1981 és 1985-ben egy-egy okkultáció alkalmával megfigyelték, hogy *a Neptunuszt is gyűrűk veszik körül. De ezek nem összefüggők, hanem csupán íveket alkotnak a planéta körül.*

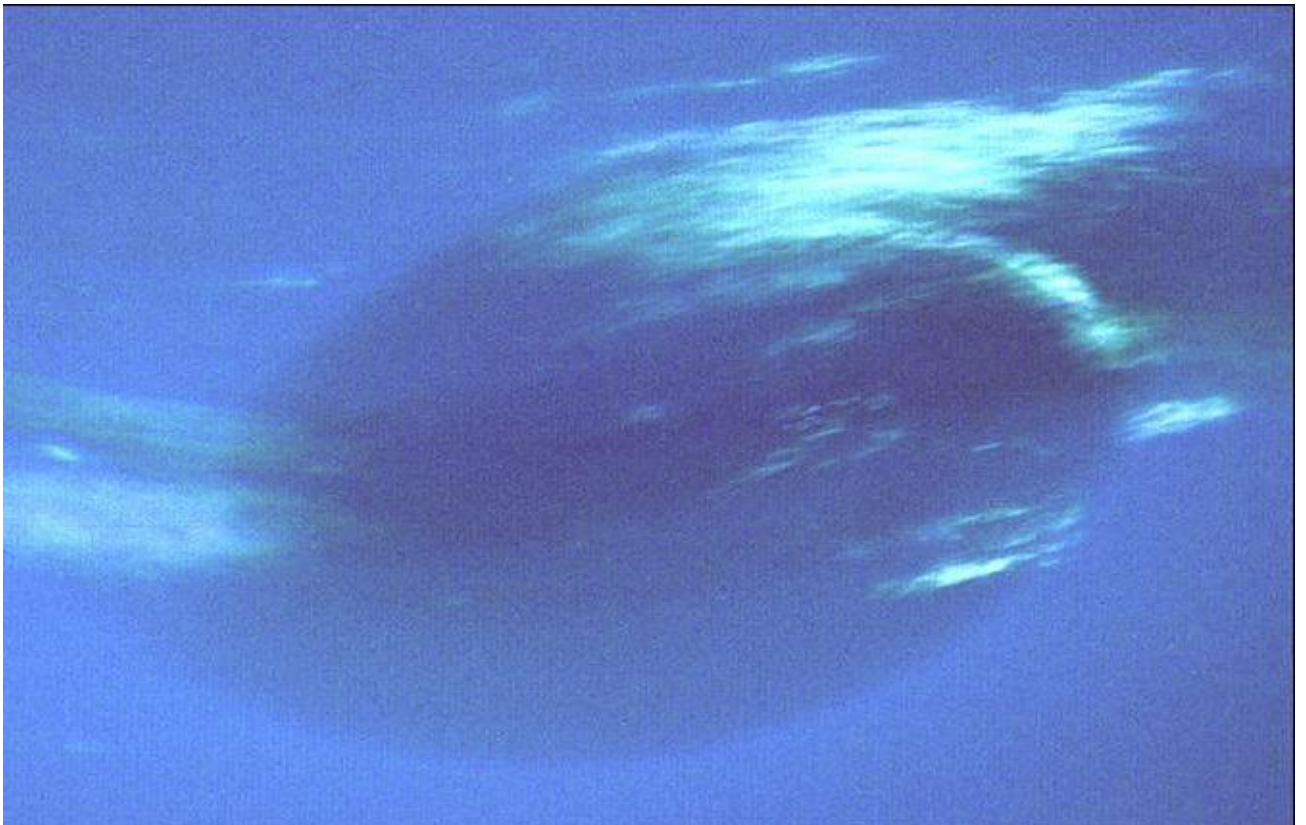
A színeképelemzés során megállapították, hogy a bolygó légkörében hidrogén, metán és etán fordul elő.

Az akkoriban újdonságnak számító CCD-technika alkalmazásával végre sikerült a parányi látszó koron részleteket, foltokat észrevenni.

A földi távcsővel végzett megfigyelések révén két holdját: a Tritont és a Nereidát sikerült felfedezni.

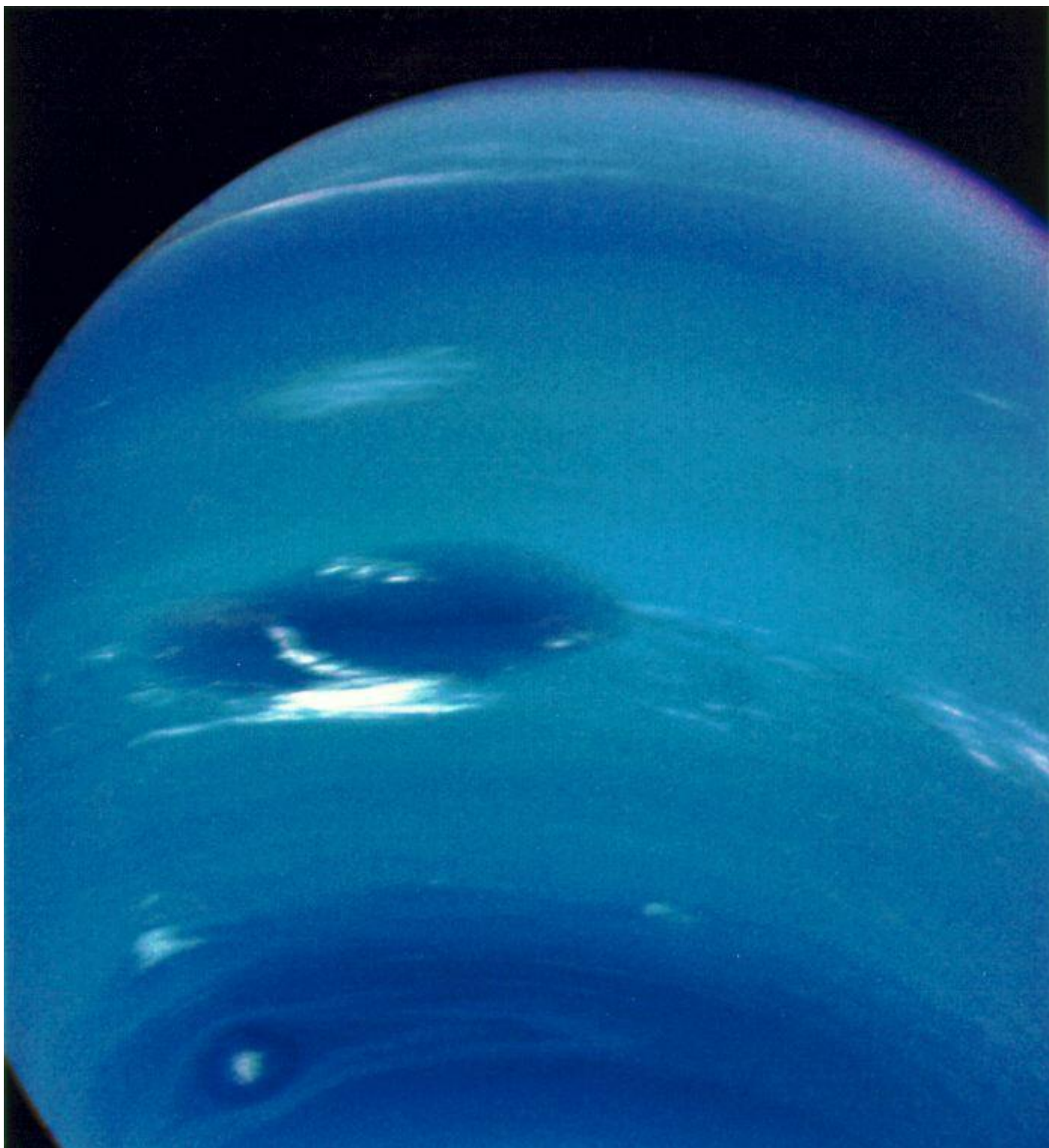
Az új eredmények akkor születtek meg, amikor a Voyager-2 megközelítette a Neptunusz világát.

1989 májusában készültek az első felvételek, melyek már néhány légköri részletet feltártak. A közelebbi képeken jól látható lett egy olyan nagy örvény, melyet a Jupiter Nagy Vörös Foltjának révén *Nagy Sötét Folt*nak kereszteltek el.



A Nagy Sötét Folt nevű légköri alakzat. (NASA/JPL.)

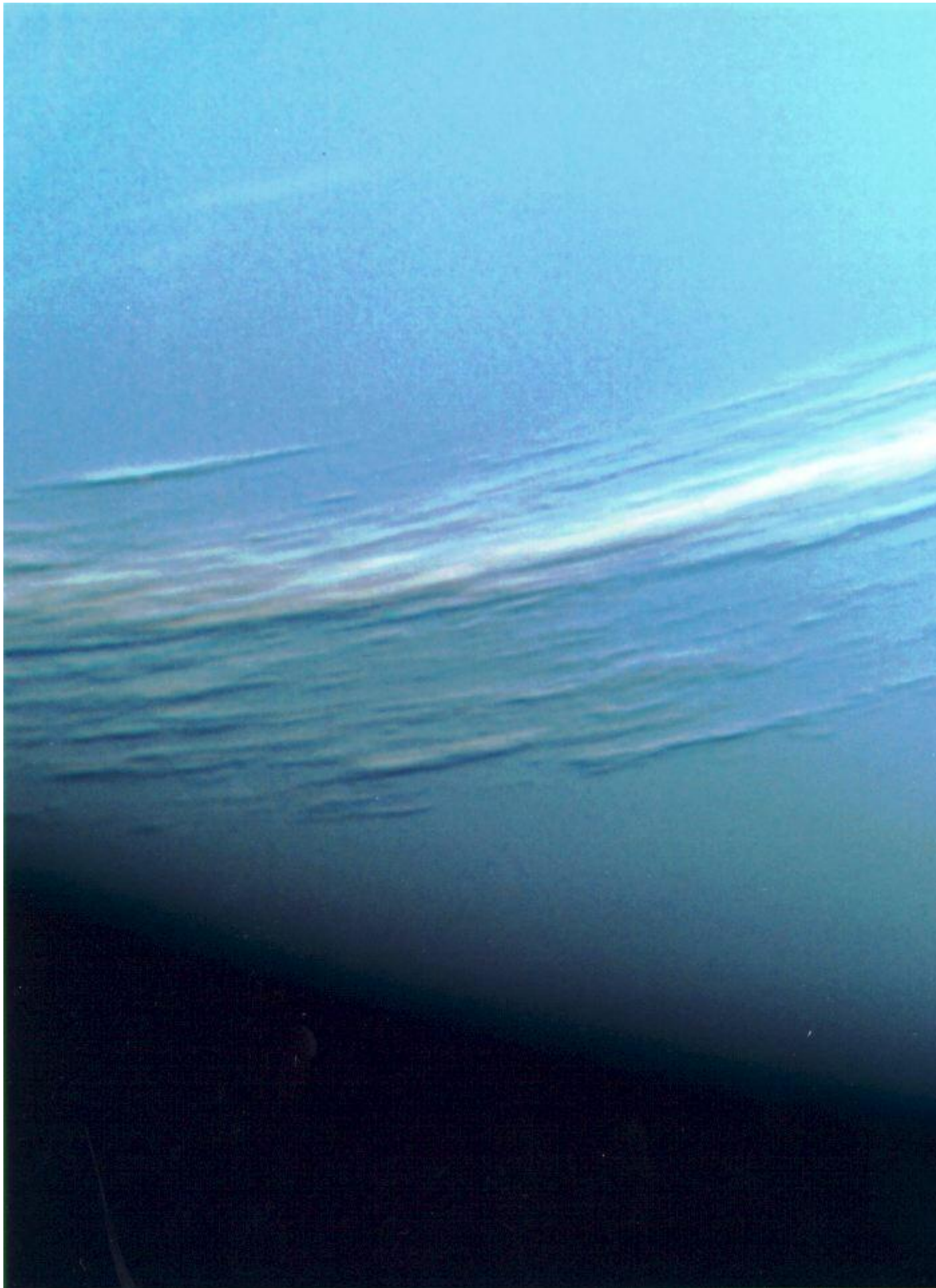
A bolygó légkörének összetett voltát itt is sikerült kimutatni.



A légköri zónák. Jól láthatók a különböző ovális alakzatok és felhők is. (NASA/JPL.)

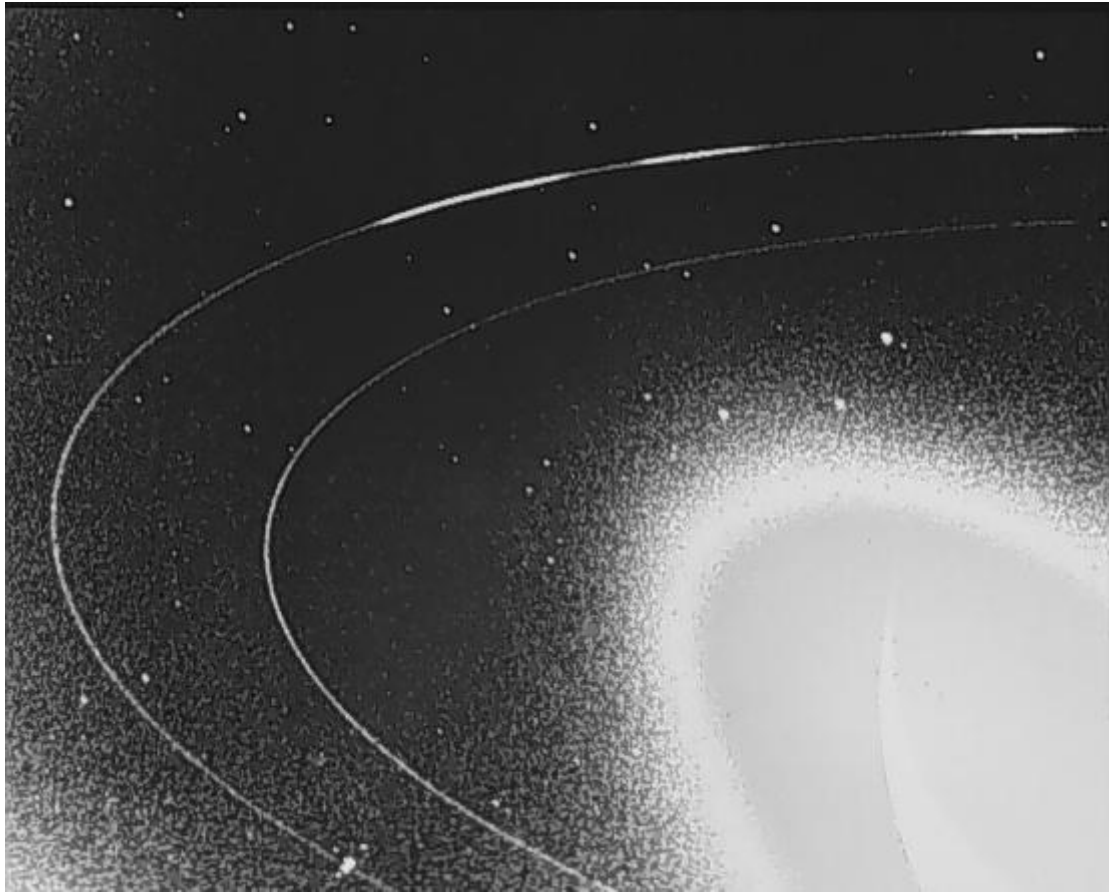
A Neptunuszon lévő szelek – a többi óriásbolygóhoz hasonlóan – mindig az egyenlítővel párhuzamos irányban fújnak.

A Föld után itt sikerült felhőárnyékot megfigyelni.



Felhőárnyékok. A kép felbontása 11 kilométer! (NASA/JPL.)

A szonda megfigyelései révén megtudtuk, hogy a *Neptunusznak összefüggő gyűrűrendszere van*. Tehát mind a négy óriásbolygót ez veszi körbe!

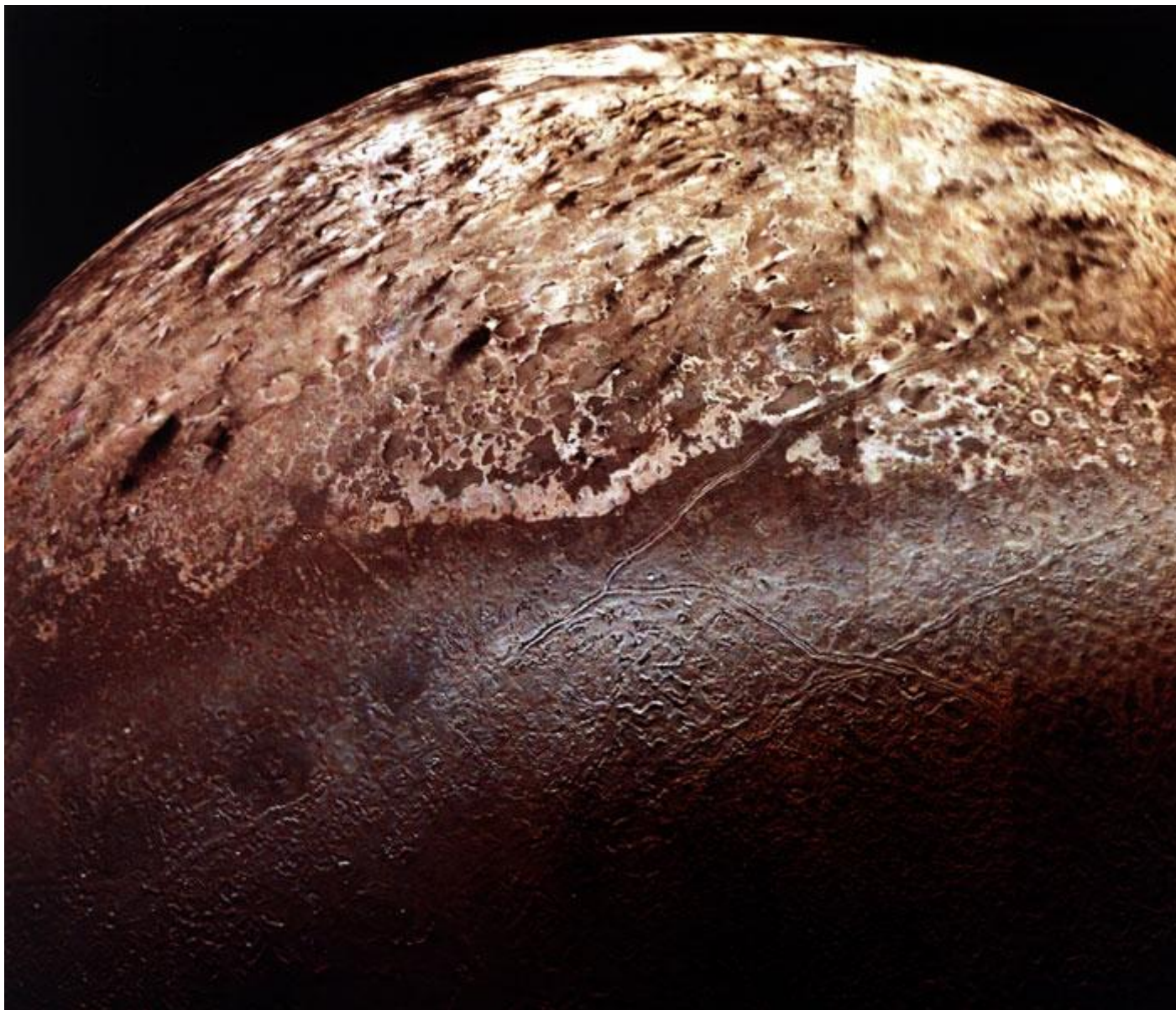


A gyűrűk a Voyager-2 egyik felvételén. (NASA/JPL.)

Hat új holdat fedezett fel, ezzel nyolcra bővült a bolygó család tagjainak a száma.

A *Tritonról* kiderült, hogy olyan kiterjedt sarki sapkával bír, amely majdnem az egyenlítőig terjed. Valószínűleg nitrogén- és metánjégből áll. A felszínén számos, párhuzamos eredetű repedéseket lehet látni, melyeket kitöltött a feláramló anyag.

A Triton átmérője mindössze 2700 kilométernek, azaz jóval kisebbnek bizonyult, mint azt a földi mérések révén tudtuk. Átlagsűrűsége 2 g/cm^3 .



A Triton (NASA/JPL).

A pályáját a többi holdéval ellenkező irányban kerüli meg, azaz retrográd mozgást végez. A pályahajlása nagy. Ezért a két utóbbi tény miatt sokan úgy vélik, hogy a Neptunusz gravitációs mezeje fogta be ezt az égitestet.

A Plútó – új bolygó, majd törpebolygó.

A felfedezése sokkal kalandosabb, mint a Neptunuszé.

Leverrier vetette fel, hogy kell még egy bolygónak lennie a Neptunusz pályáján túl. Mindezt arra alapozta, hogy a nyolcadik bolygónál tapasztalt pályaháborgásokat (a

gravitációs hatás okozta perturbáció) nem lehetett csak az Uránusz hatásával kielégítően megmagyarázni.

Percival Lowell (1855-1916) a csillagászatot kedvelő üzletember (USA), aki szintén a Marson lévő csatornákat vélte látni, *életcéljává tűzte ki a Plútó felfedezését*. Képzett matematikusként elvégezte a megfelelő számításokat, és mozgósította az Arizona szövetségi államban lévő Flagstaff Obszervatórium munkatársait, hogy találják meg. Ennek érdekében folyamatosan fényképfelvételeket készítettek az égbolt azon területéről, amit Lowell megjelölt.

Az akkori képeket üveglemezre rögzítették. A célterületről néhány nappal később ismét felvétel készült, majd a képpárokat egy olyan készülékbe (blink komparátor) helyezték, amelyben – a felvételek egyenkénti, váltogató megfigyelése révén azonnal kiugrott az a pontszerű objektum, amit kerestek. Ezzel a módszerrel nemcsak a Plútót sikerült megtalálni, hanem számos kisbolygót is.

A Lowell által irányított kutatómunka, mely nem hozott eredményt, haláláig, 1916-ig tartott.

1929-ben folytatták a keresést. A Lowell Csillagda vezetője, *Vesto Melvin Slipher (1875-1969)* egyik munkatársát, *Clyde Tombaugh-t (1906-1997)* bízta meg. A bolygó felfedezéséhez egy új, 33 centiméter nyílású refraktor szolgált. Ezzel készültek a fényképek.



Tombaugh a blink komparátor előtt ülve nézi a felvételpárokat. (Kickstarter.com)

Tombaugh két naponta felvételeket készített arról az égterületről, ahol Lowell számításai szerint a Plútónak lennie kellett. Végül 1930. február 18-án egy olyan felvételpárt talált, amely egyértelműen bizonyította az új bolygó létezését! A Lowell által számított égi pozíciótól 6 foknyira találta meg. Ez pedig nagyon nagy különbséget jelent.

Az új planéta a Plútó nevet kapta, az alvilág istene nyomán.

Ezután – már nyugodt körülmények között – átnézték a korábbi felvételeket, és kiderült, hogy 13 alkalommal felfedezhették volna, ha nem siklanak át egy csillagszerű piciny pont fölött!

Az égitest oly távol van tőlünk, hogy még az akkori idők legnagyobb teljesítményű távcsöveiben is pontszerűnek mutatkozott.



A Föld, a Hold és a Plútó méretarányos képe. (Forrás: Origo.)

Jellemző adatai:

Átmérője: 2374 kilométer, melynek hibája 8 kilométer = 0,18 Föld átmérő.

Tömege: $1,305 \cdot 10^{22}$ kg = 0,0021 Föld-tömeg.

Átlagos sűrűsége: 1,86 g/cm³.

Átlagos naptávolsága: 5966 millió kilométer = 39,8 csillagászati egység.

Tengelyforgási ideje: 6,387 nap.

Sziderikus keringési ideje: 251,86 év.

Szinódikus keringési ideje: 366,7 nap.

Az egyenlítői sík hajlásszöge az ekliptikához: $122,0^{\circ}5$.

Közepes pálya menti sebessége: 4,74 km/s.

A pálya excentricitása: 0,2488.

A pálya hajlása az ekliptikához: $17,0^{\circ}1$.

A felszíni nehézségi gyorsulás: $0,58 \text{ m/s}^2$.

Szökési sebesség: 1,2 km/s.

Albedó: 0,5 (változó értékű).

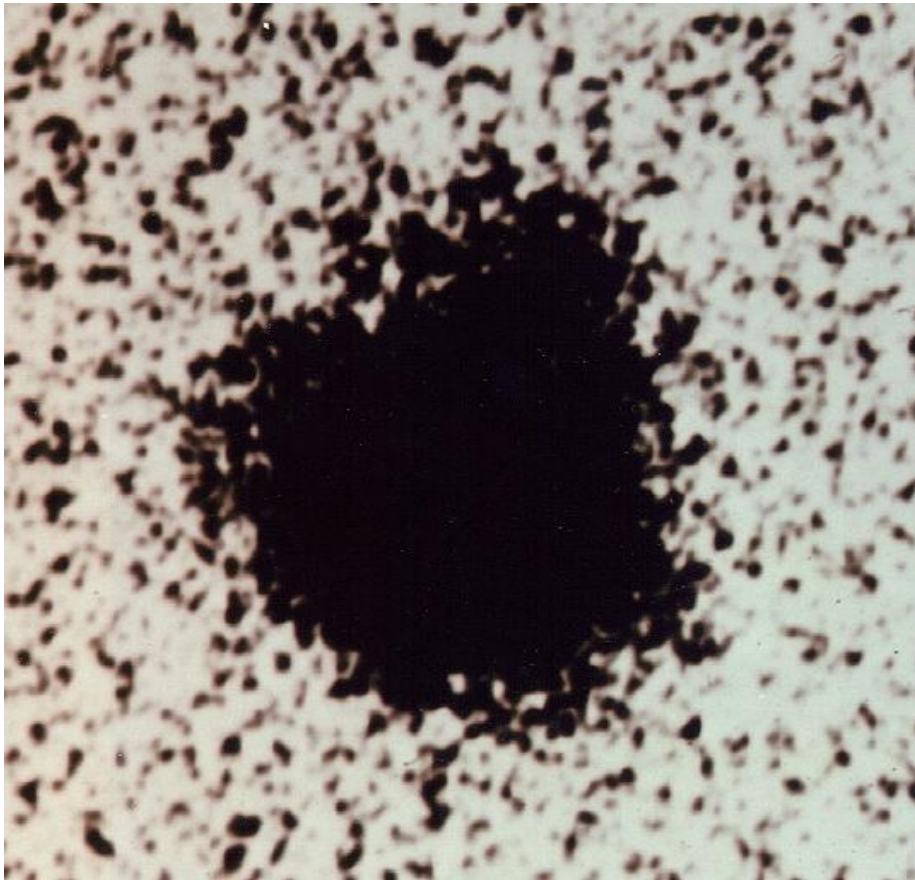
Érdemes felfigyelni néhány adatra! A pálya alakja jelentősen eltér a körtől (excentricitás, ez a legnagyobb érték, mit a bolygók kapcsán a Naprendszerben tapasztalunk). Ezért a Neptunusz pályáján belül is lehet, valamint a Kuiper-övben is mozoghat. A másik megdöbbentő érték pedig a pályahajlás szöge. Mindkettő azt igazolja, hogy a Plútó „kilóg” a többi bolygó közül. Ezért néhány szakember úgy gondolta, hogy a Neptunusz holdja volt egykoron, és onnan „szökött” meg. Mindezt igazolni látszik az itt is tetten érhető pálya rezonancia. Amíg a Neptunusz három keringést végez, addig a Plútó csak kettőt. (Tehát a 3:2 arányt látjuk.)

A pontszerű látványa miatt sok alapadata korábban bizonytalan volt.



A Lowell Obszervatórium felvételén a nyilakkal megjelölt Plútó. A fényes csillag az Ikrek csillagkép egyik tagja.

1978-ban *J.W.Christy* (USA) a US Naval Observatórium 155 centiméter nyílású távcsövével készült képek alapján felismerte, hogy a Plútó alakja elnyúlt.

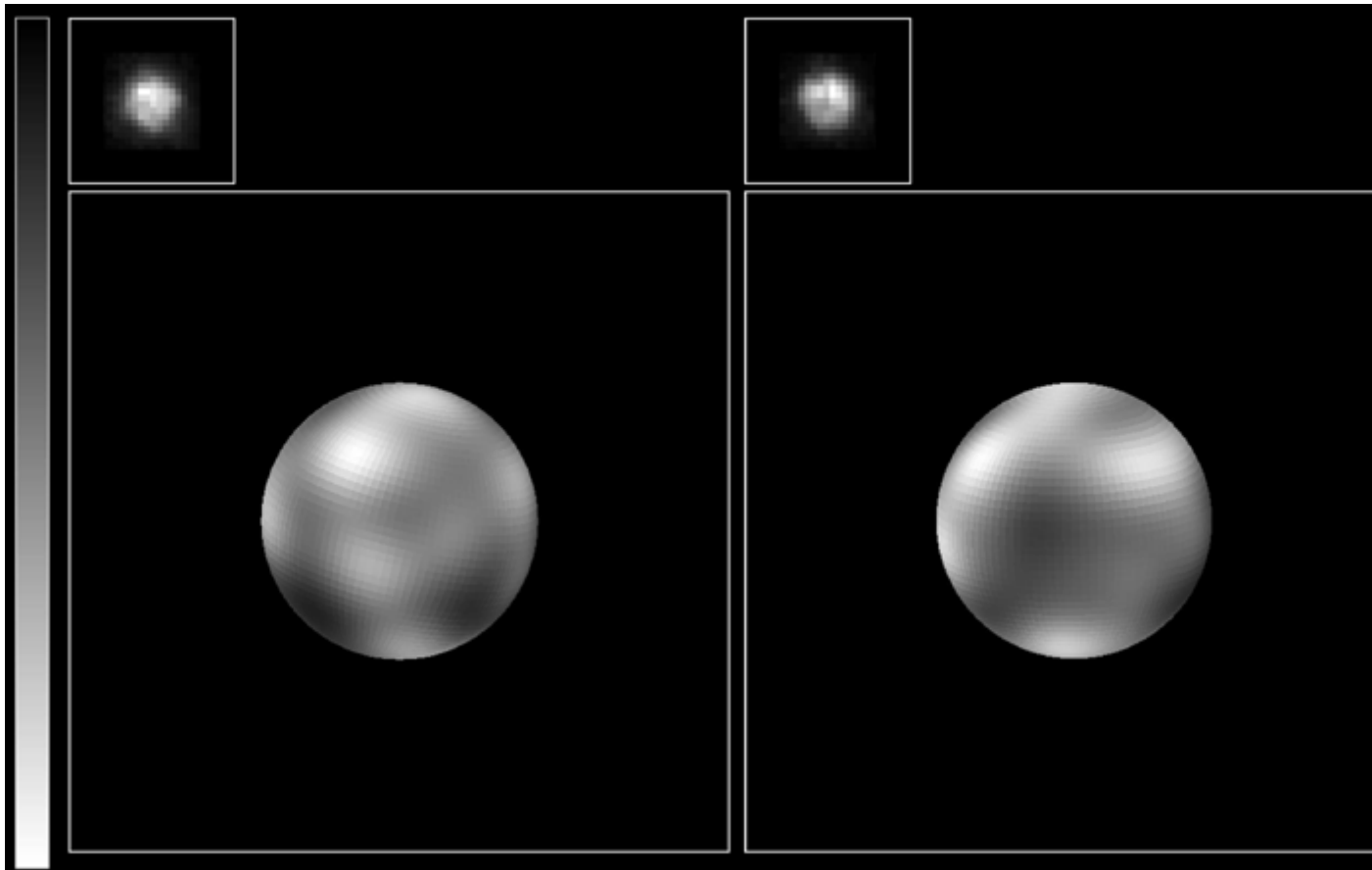


A Charon felfedezését bizonyító kép. (US Naval Observatory).

Az új égitest a *Charon* nevet kapta. Charon volt a mitológia szerint az a csónakos, aki a holtak lelkét a Styx folyón át az alvilágba szállította.

Ez a felfedezés lehetővé tette, hogy az anyabolygó több jellemzőjét is meg tudják határozni. A megfigyelések alapján kiderült, hogy a *Charon keringése kötött*. Vagyis a hold a Plútóról nézve mindig ugyanazon az égi ponton látható. Így lehetővé vált pl. a Plútó tengely körüli forgási idejének meghatározása, valamint mindkét égitest össztömegének, és arányainak megállapítása. (Milyen nagyszerű, amit Kepler és Newton több száz évvel ezelőtt felismert a bolygók mozgásáról és a gravitációs kölcsönhatásról!)

A Hubble űrteleszkóp 1994 júliusában készített képein már korongnak láttuk a bolygót, sőt néhány jellegzetes felszíni terület is megfigyelhető volt.



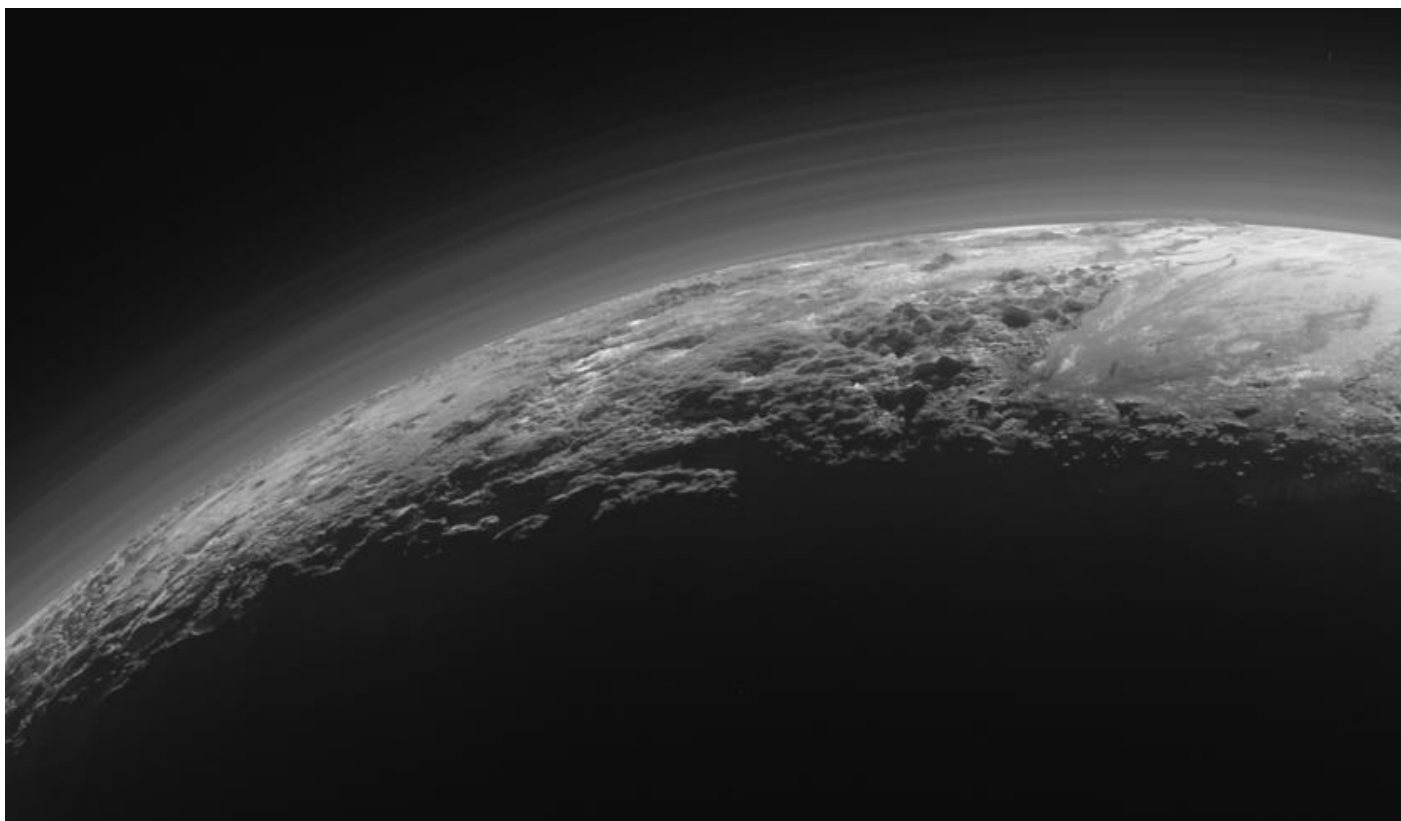
A HST képei a Plutóról, NASA.

A Föld körül keringő obszervatórium 2005-ben és 2011-ben négy új holdat fedezett fel. Ezek a Nix, Hydra, Kerberos és Styx nevet kapták.

A *New Horizons* űrszonda 2006. január 10-én indult el ebbe a világba. 2015. július 14-én repült el a Plútó közelében.

Sokan arra számítottak, hogy e Naptól távoli vidék elég unalmas lesz. Az űrszonda képei és mérései épp az ellenkezőjét bizonyították!

A Földről végzett mérések révén tudtuk, hogy légköre van. A szonda ezt lefényképezte.



A bolygó pereme fölött látható páráréteg, amely etilén és acetilén szemcsékből áll. A feltevések szerint a Nap ultraibolya sugárzása hozza létre ezt a ködöt, amely metánból jött létre (NASA.)

A Plútó felszíne roppant változatos. A képek tanúsága szerint itt is vannak becsapódás okozta kráterek, de a vulkáni tevékenység nyomai is megfigyelhetők. Tektonikus töréseket és gleccserekre emlékeztető alakzatokat is talált a New Horizons.

A Naptól távoli világban – csillagunk látszó mérete már csak 49" – a hőmérséklet egyre jobban megközelíti a nyílt világűrét, amely 3K, azaz -270°C . Itt „meleg” van. A hőmérséklet 60-70K értékű. Így nem kell azon csodálkozni, hogy ez a jég birodalma. Nitrogént-, metánt-, szén-monoxidot, és víz jeget sikerült találni. A képeken látható színes területek pedig különböző szénhidrogének jelenlétére utalnak.



A bolygó felszíne. (NASA.)

Mindenképpen érdemes megemlíteni, hogy milyen változatos képet mutat a Naprendszer. Erre a Plútó az egyik pregnáns példa, melynek felszíne aktív tevékenységet mutat, telis-tele van olyan szénvegyületekkel, melyek a földi élet alapjául szolgáltak. Itt is van H_2O , mint a legtöbb holdon és néhány bolygón. Tehát a víz nem a Föld kiváltsága!

A Plútót – nagy távolsága miatt – méltán tartották a sötétség bolygójának. Ugyanezt a címet viseli az a könyv, amelyet a felfedezője Tombaugh és a kitűnő ismeretterjesztő *Patrick Moore* (1923-2012) angol csillagász közös munkája. A könyvben a már szabad szemmel nem látható bolygók felfedezésének izgalmas történetét is elolvashatjuk. Szívesen ajánlom mindenki figyelmébe.

A *New Horizons* szonda mérései alapján arra lehet következtetni, hogy a Plútó belseje kőzet-vízjég keverékből állhat.

A többi törpebolygó:

A Ceresről már volt szó.

De a Mars és a Jupiter pályája között – ahol a Ceres is található --keringő kisbolygó övezeten túl van egy másik olyan övezet, ahol több törpebolygót sikerült találni. A Plútót is ide sorolhatjuk. Ez pedig *Gerard Kuiper* (1905-1973) holland csillagászról elnevezett térség.



Ez a montázs jól mutatja a törpebolygónak, a Földhöz viszonyított méretét. (Forrás: www.csillagaszat.hu)

A jelenlegi (2017) nyilvántartás szerint öt törpebolygó van: a Ceres, a Plútó, a Makemake, az Eris, és a Haumea.

