

A Plútó és holdjai

BOTH ELŐD

A NASA *New Horizons* űrszondája 2015. július 14-én repült el a Plútó mellett. Az első eredményekről – a fedélzeti számítógép által kiválogatott és soron kívül továbbított adatok, a teljes adatmennyiség 1%-a alapján – lapunkban már beszámoltunk (*Természet Világa*, 2015. szeptember). Cikkünk megjelenése után kezdődött az 50 gigabitet meghaladó mennyiségű adat teljes letöltése, ami egy évig tartott, és tavaly október 25-én ért véget. Az utolsó adatsomagok már 5,5 milliárd km távolságból érkeztek és több mint 5 óra alatt tették meg az űrszondától a Földig tartó utat. Minthogy korábbi cikkünkben elsősorban a Plútó szilárd felszínéről volt szó, most részletesebben foglalkozunk a holdjaival, de röviden kitérünk a bolygó légkörére és felszínére vonatkozó újtonságokra is.



A Plútó és legnagyobb holdjának mérete a Földhöz viszonyítva (Képek forrása: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute)

A *New Horizons* kutatói nem sokkal az első részletes képek érkezése után javaslatot tettek a felszíni alakzatok elnevezésére, azonban a Nemzetközi Csillagászati Unió (IAU) illetékes bizottsága mindmáig nem tudott (vagy nem akart) döntenie az elnevezésekről. Egy év elteltével, tavaly augusztusban a bizottság már leült tárgyalni a javaslattevőkkel, de csak annyit jeleztek, hogy hosszú tárgyalássorozatra kell készülni. Úgy tűnik, a helyzet elmérgesedhetett, mert az IAU az égitestek felszíni alakzatainak nevét tartalmazó honlapjáról még magát a Plútót is eltüntette. Hivatalos nevek tehát nincsenek, és bár a



A Charonon kívül négy apró hold kering a Plútó körül

sajtóban gyakran felbukkannak az informális nevek, ezek használatát – a későbbi zavar elkerülése érdekében – cikkünkben mellőzzük.

Az első tudományos eredményeket közlő, átfogó cikk még 2015. október 16-án jelent meg a *Science*-ben. (A mélyebben érdeklődők számára jó hír, hogy a *Science* szokásos gyakorlatától eltérően ezúttal az egész, a projektvezető Alan Stern és 150 további közreműködő szerző nevével jegyzett cikk *szabadon letölthető* a folyóirat honlapjáról.) A cikk mindenekelőtt hangsúlyozza, hogy a Plútó és a Charon mind geológiailag, mind pedig geokémiaileg sokkal változatosabb, mint amire a kutatók legmerészebb álmaikban számítottak.

A Plútó és legnagyobb holdja, a Charon feltűnően szabályos gömb alakú, átmérőjük 2374 km, illetve 1212 km. A Plútó esetében ez a földi méréseknél valamivel nagyobb érték, a Charonnál jól egyezik a korábbi becslésekkel. Ennek megfelelően átlagsűrűségük 1,86 g/cm³, illetve 1,70 g/cm³. Ha elfogadjuk azt a (kutatók legtöbbször, és számítógépes modellek által is támogatott) hipotézist, miszerint a Charon a Plútót egykor ért hatalmas erejű becsapódás nyomán keletkezett, akkor a lapultság hiánya azt jelenti, hogy a Plútó a becsapódás után elég hosszú ideig meleg maradt ahhoz, hogy felvegye a tökéletes gömbalakot. A Styx és a Kerberos elnyúlt alakjából viszont arra következtetnek, hogy a becsapódás-kidobott törmelék darabjainak kis sebességű ütközése eredményeképpen álltak össze.

Sikerült pontosan meghatározni az öt hold fizikai és pályadatait. Feltűnő, hogy az öt hold fél foknál kisebb eltéréssel azo-

nos síkban kering (lásd a táblázatban). Pályáik szinte tökéletesen kör alakúak, az apró Hydra pályájának Plútóhoz legközelebb és legtávolabbi pontja között csupán 700 km a különbség, ami a pálya közel 130 ezer km-es átmérőjéhez képest igen csekély, a többi hold pályája még pontosabb kör. Történetük érdekessége, hogy a négy apró hold közül kettőt nem sokkal a *New Horizons* indítá-

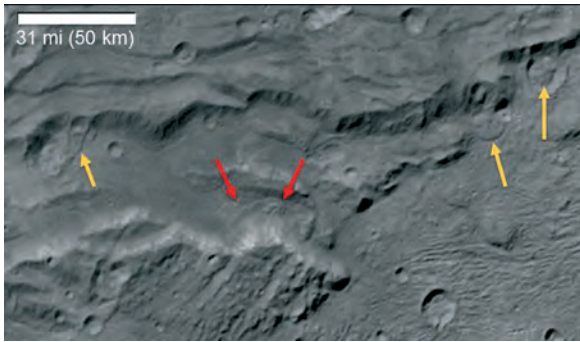
sa előtt fedeztek fel, a másik kettőt pedig akkor, amikor a szonda már a Plútó felé vezető útja nagyobb felét megtette. A legnagyobb, az 1978-ban felfedezett Charon kötött keringésű, a kicsik viszont szabálytalanul bukdácsolva keringenek a Plútó körül, ami szokatlan, más bolygók körül az ilyen apró holdak kötött keringésűek. Tengelyforgásuk gyors, a Hydra például egyetlen keringése alatt 89-szer fordul meg a tengelye körül.

A négy kis hold összetétele is a becsapódásos hipotézist támasztja alá, miszerint ezek az összeütköző nagy testek külső rétegének jeges törmelékéből álltak össze. Mindegyiknek szokatlanul nagy



A változatos felszíne Charon legjellegzetesebb alakzatai a sötét folt az északi pólusa környékén és az egyenlítője mentén futó hosszú, széles és mély repedésrendszer

az albedója, a rájuk eső fény 60–80%-át visszaverik, ami a frissen hullott hó fehérségének felel meg. Valójában az okoz



A Charon árokrendszerében a színes nyilakkal jelölt helyeken földcsuszamlások nyomait fedezték fel

fejtőrést a kutatóknak, hogyan maradtak évmilliárdokon át ennyire fehérek. A négy kis hold közül a New Horizons csak a Nixet tudta lefényképezni. Felszínét kráterek borítják, elég nagy számban ahhoz, amit az égitest mintegy 4 milliárd

talában körülbelül 5 km mély, de helyenként a 7 km-t is eléri a mélysége. Leginkább a marsi Valles Marinerisre vagy némileg a földi kelet-afrikai hasadékvölgyre emlékeztet. Keletkezése logikusnak tűnő hipotézise szerint a felszín alatti óceán megfagyott, kitágult, és megrepesztette a kérget. Számítások szerint a felszín alatti, 35 km mély óceán megfagyása magyarázhatja a sugár 3 km-rel történt megnövekedését.

A Charon északi pólusa közelében 275 km átmérőjű, sötétebb terület látszik, amelyet 450 km átmérőjű, valamivel világosabb, a szélei felé halványodó terület vesz körül, a kettő között

szublimáló gázok légkört alkossanak körülötte. Kijelenthetjük, hogy a Charonnak nincs légköre, hiszen környezetében a gázok nyomása legfeljebb néhány pikobar (ami a földfelszíni légnyomás néhány billiomod része).

Ezzel szemben a szilárd ammónia ezen a hőmérsékleten is meglehetősen stabil, jelenlétét a Charon felszínén 2007-ben már földi mérésekkel kimutatták. Ezt egészítette ki a New Horizons LEISA spektrométere azzal az információval, hogy sokfelé található ammónium-hidrát is a felszínen. A műszerrel az ammónia eloszlását is vizsgálni lehetett, kiderült, hogy az egyik fiatalnak látszó kráter környezetében különösen magas a koncentrációja. Az viszont nem világos, hogy az ammónia a krátert létrehozó becsapódás nyomán a hold belsejéből került a felszínre, vagy a becsapódó test hozta magával.

A felszínükön látható kráterek száma alapján tehát kijelenthető, hogy a Plútó és a Charon felszínének egyes területei ösiek, közel négy-milliárd évesek. Ugyanakkor mindkét égitesten megfigyelhetők a kráterekben nagyon szegény, vagy teljesen krátermentes területek. A kráterek

nagyágából viszont azt állapították meg, hogy a Kuiper-övet alkotó égitestek – amelyek becsapódásai egykor a krátereket létrehozták – a korábban fel-

A Plútó holdjai (forrás: Sky and Telescope, 2016. december)

Hold	Fél nagy-tengely (km)	Keringési idő (nap)	Tengelyforgási idő (nap)	Pálya excentricitása	Pálya-hajlás	Átmérő (km)
Charon	19 596	6,387	6,387	0,00005	0,0°	1212 ± 2
Styx	42 213	20,162	3,24	0,00001	0,0°	14 × 10 × 8
Nix	48 690	24,855	1,829	0,00000	0,0°	50 × 31 × 26
Kerberos	57 750	32,168	5,31	0,00000	0,4°	18 × 11 × 9
Hydra	64 721	38,202	0,430	0,00554	0,3°	56 × 41 × 37

éves kora indokol, vagyis a holdakat létrehozó becsapódás a Naprendszer korai időszakában történthetett.

A Charon geológiai szempontból ropant változatos felszínű, formációi szintén alátámasztják 4 milliárd éves korát. Ugyanakkor a déli félgömbön az egyik nagy kiterjedésű síkságon kevesebb a kráter, viszont párhuzamos árkok futnak a területen. A geológusok feltételezik, hogy a terület röviddel a hold keletkezése után „megújulhatott”, talán a tektonikus erők hatására a fagyponthoz közeli állapotban lévő sós jégkása a felszínre törhetett (kriovulkanizmus). Különösen érdekesek a Charonon helyenként előforduló, magányos, 3–4 km magas hegyek, amelyeket akár 2 km mélységet is elérő árok vesz körül. Kialakulásukra egyelőre nincs magyarázat.

A nagy hold legfeltűnőbb képződménye az északi és a déli félgömb síkságait elválasztó, hatalmas árokrendszer. A törés legalább 1600 km hosszú, de gyanítják, hogy a Charonnak azon az oldalán is folytatódhat, amelyet a New Horizons nem fényképezett le. Szélessége helyenként az 50 kilométert is meghaladja, ál-

vetődés vagy heglánc határozott körvonalai látszanak. Ez arra enged következtetni, hogy a felszínt sötétre színező anyagok a Charon belsejéből származnak, nem a Plútóról. (Más feltevések szerint viszont a Plútó igen ritka légkörében képződő, vörösesbarna színű tholin egy része megszökik a Plútó vonzásából, és a Charon felszínére ülepszik le. A tholinok a Plútó felszínéről szublimáló nitrogénből és metánból a Nap ibolyántúli sugárzása hatására alakulnak ki, majd koromszerű szemcsékké összeállva leülepsznek a felszínre.)

A Charon felszínének többi részén, a kutatók várakozásainak megfelelően, a vízjég dominál. A Plútóval ellentétben nincsenek fagyott nitrogén-, metán- vagy szén-monoxid-lerakódások. A Charon ugyanis a maga dermesztő, 44 kelvin (–229 °C) hőmérsékletével túl „meleg” ahhoz, hogy ezeket az illékony anyagokat fagyott állapotban megtartsa, gravitációja pedig gyenge ahhoz, hogy a



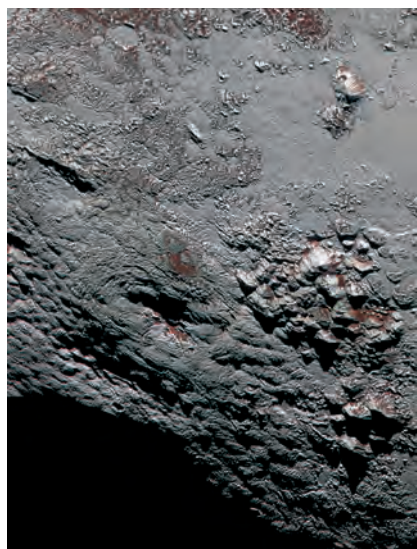
Az ellenfényben készített felvételen jól felismerhető a Plútó ritka légkörének réteges szerkezete

tételezettnél nagyobbak, nem néhány, hanem néhányszor tíz kilométeresek, vagyis a belső kisbolygóöv égitestjeihez hasonló méretűek.

A Plútó légkörét illetően az első meglepő felfedezést szintén földi mérésekkel tették: megállapították, hogy az elnyúlt pályáján 1989 óta a Naptól távolodó

Plútó légkörének nyomása nem csökken, hanem a várakozással ellentétben nő. A jelenséget a bolygó forgástengelyének szokatlan helyzetével magyarázták, de a részletes értelmezést a New Horizonstól várták.

Az első meglepetést a Plútó felsőlégköre jelentette, amely a vártnál sokkal hidegebbnek bizonyult, 100 K helyett csak 70 K hőmérsékletet mértek. Ennek következtében a légkör kompaktabb és jobban ellenáll a napszél hatásának, amint arról korábban már beszámoltunk (*Természet Világa*, 2017. február, Hírek). A kompakt légkörből a vártnál 10 000-szer lassabban szökik a nitrogén, mindössze 10^{23} molekula másodpercenként. A kevés megszökő gáz főként metán. A légkör szokatlan hidegségére még nincs magyarázat.



A Plútó felszínét a kriovulkanizmus is alakíthatta. Valószínűleg kriovulkán lehet a kép közepén látható, 150 km átmérőjű, 4 km magas, a közepén bemélyedő hegy.

Ha ez így van, akkor ez a Naprendszer legnagyobb kriovulkánja

Az ellenfényben készített képeken a légkörben határozottan elkülönülő rétegeket lehet felismerni, amit a földi méretek (csillagfedések) alapján már sejtettek. Meglepő, hogy a felvételeken mintegy húsz ilyen, egyenként néhány kilométer vastag réteget tudtak megkülönböztetni, amelyek közül a felsők már nem lehetnek stabilak. A légkörben a napfény könnyen felbontja a metánmolekulákat, a molekulatöredékek könnyen az aeroszolt alkotó, nehezebb vegyületekké (acetilén, etilén, etán) egyesülnek, amelyek jelenlétét az űrszonda mérési kimutatták.

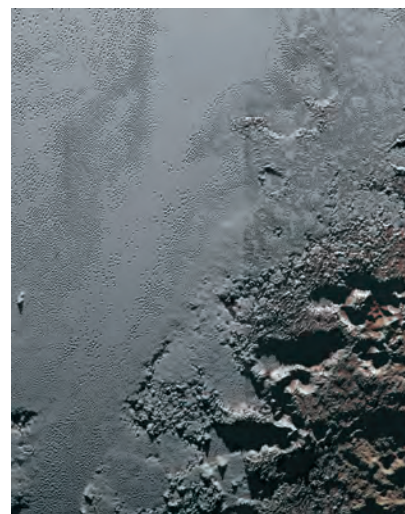
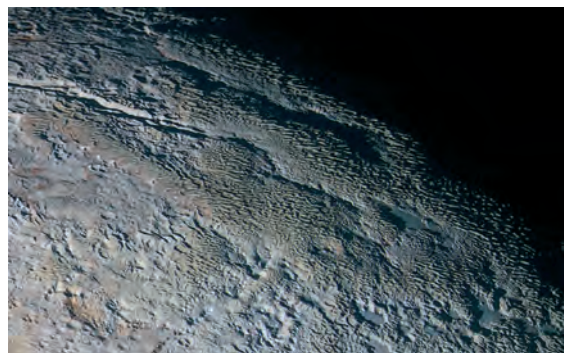
A rádióokkultációs mérésekből (amikor a szonda a Földről nézve a Plútó takarásába került) a felszíni légnyomás

10–11 mikrobarnak adódott, ami a földfelszíni légnyomás 0,001%-a. Bizonyítani sikerült azt is, hogy a Plútó légköre soha nem tűnik el teljesen (naptávolban sem fagy ki maradéktalanul), sőt bizonyos körülmények közt sűrűsége a mostaninak több ezerszerese is lehet. Utóbbi az égitest tengelyferdeségének több millió éves periódusú billegésével függ össze. Legutóbb 900 000 éve a Plútó északi pólusa a pálya napközeli pontján éppen a Nap felé nézett, következésképpen a hőmérséklet 7 K-nel magasabb lehetett a jelenleginél. A csekély melegedés elég ahhoz, hogy exponenciálisan nőjön a szublimáció, így a nyomás 18 és 280 millibar közöttig emelkedhetett (utóbbi a földfelszíni nyomás kb. negyede). A felszínen több olyan alakzatot találtak a kutatók, amelyek formája arra enged következtetni, hogy egyes időszakokban valóban a mostaninál sokkal sűrűbb lehetett a légkör.

Magát a Plútót illetően a legfontosabb újdonság, hogy a nagy világos, jéggel borított síkságról (a szív alakú terület részéről) a sztereóképek alapján bebizonyosodott, hogy nem fennsík, hanem mélyföld, 3–4 km-rel a környezete alatt. Így csaknem bizonyos, hogy nagy erejű becsapódás hozta létre a medencét, amelyet a jég kitölt. A síkság korát legfeljebb 100 millió évesnek becsülték, később ezt legfeljebb 10 millió évesre módosították. Ez a geológiai időskálán azt jelenti, hogy a Plútó ma is aktív. A síkságon egymással érintkező, 10–40 km közötti kiterjedésű sokszögek mintázata figyelhető meg, közöttük sekély árkokkal. A legrészletesebb képeken az is látható, hogy a síkságot körülvevő hegyektől a nitrogénjég – a földi gleccserek mozgásához hasonlóan – a síkság felé folyik.

A különböző hőmérsékletű területeken (37–50 K között) különböző anyagok jegei találhatóak: víz, nitrogén, metán és szén-monoxid. Ezek közül csak a vízjég elég szilárd ahhoz, hogy a megfigyelt

Különös, kígyóbőrre emlékeztető felszíni képződmények a Plútón. A képen látható terület mintegy 500 km kiterjedésű



A világos síkság peremén a tholintól vöröses hegyek között 8–13 km átmérőjű, 2,5 km mély gödrök sora látható.

Aljukat nitrogénjég borítja. A kutatók feltételezik, hogy a felszín beomlása révén jöttek létre, azonban nem tudják, mi okozhatta a beszakadást

felszíni alakzatokat alkossa. Valószínűleg a Plútó tömegének kétharmadát szilikátos kőzetek teszik ki, ezekből azonban a felszínen semmi sem látható. Viszont az ezekben lévő radioaktív elemek bomlási hője alulról fűti a felszínt, és a geológiai folyamatok hajtóerejéül szolgálhat. Vélhetően konvekciós áramlás alakul ki, ezeknek az óriás buborékoknak a felszíni megjelenése a sokszöges szerkezet. Az áramlás sebessége évente néhány centiméter lehet, ami azt jelenti, hogy a síkság felszíne legfeljebb egymillió évente megújul, ezért nem látunk krátereket rajta.

Jelentős különbségeket mutat a Plútó felszínének fényvisszaverő-képessége (albedója). Egyes területeken ez csak 8%, míg másutt 100% közelében van, meglepő helyenként a sötét és világos területek közötti hirtelen átmenet.

A jéggel borított területek világosak, ezzel szemben a vörösesbarna árnyalatú, idősebb területek színét a tholin nevű szerves vegyület szemszíj adják.

A mérési eredmények valószínűleg kincsésbányát jelentenek a kutatóknak, kiértékelésük, feldolgozásuk még évekig eltarthat. Eközben a New Horizons következő célpontja, a 2014 MU₆₉ jelű Kuiper-objektum felé halad (*Természet Világa*, 2015. november, Hírek rovat), amely mellett 2019. január 1-jén repül el. ↩