

SIKERES ÚJÉVI RANDEVŰ

Időkapszula a Naprendszer őskorából

Az elmúlt év vége és az újesztendő első napjai űreseményekben gazdag időszakot jelentettek a Naprendszer megismerésében: a japán Hayabusa-2, valamint a NASA OSIRIS-REx szondái egy-egy érdekes és fontos földközeli aszteroida alapos tanulmányozását kezdték meg, a kínai Chang'e-4 holdszonda pedig felkészült a Hold tőlünk nem látható oldalán történő sima leszállásra – az űrkutatás történetében először – és egy gördülő holdjáró elengedésére a felszínen. Ilyen felfokozott hangulatban várták a szakemberek és érdeklődők a New Horizons űrszondától a híreket a Kuiper-övből a Neptunusz és Pluto pályáin túlról.

A 2014 MU69 (Ultima Thule) a legtávolabbi égitest, amit űrszonda valaha meglátogatott. (A célpont kiválasztásáról és az előkészületekről lásd múlt év decemberi cikkünket honlapunkon is! – a szerk.) A találkozás az előzetes tervnek megfelelően a szonda fedélzeti órája szerint 2019. január 1. 05:33 világidőkor történt, de a rádiójelek több mint 6 óra alatt érték el a Földet, mivel az űrszonda mintegy 6,62 milliárd km távolságra volt. A szonda a kisbolygótól az úti tervének megfelelő 3500±30 km távolságban repült el. A New Horizons tehát háromszor közelebb haladt el az Ultima Thule mellett, mint 2015-ben a Pluto közelében. A Pluto felszínén a legjobb felbontás 80 méter volt, az Ultima Thule esetében ez 35 méteres lehet majd.

A legnagyobb közelség előtt, alatt és után az űrszonda természetesen célpontja vizsgálatával volt elfoglalva automatikus üzemmódban, előre beprogramozott lépéseket (képfelvételek, mérések, helyzetbeállító manőverek, stb.) hajtott végre. A fedélzetén levő 2,1 m átmérőjű kommunikációs antennáját csak közel 4 óra elteltével fordította a Föld irányába és kezdte meg az első bejelentkezését. A NASA DSN (Deep Space Network) űrkövető hálózata spanyolországi, Madrid melletti 70 méter átmérőjű rádiótávcsöve számára volt lehetséges a New Horizons szondáról érkező rádiójelek vétele.

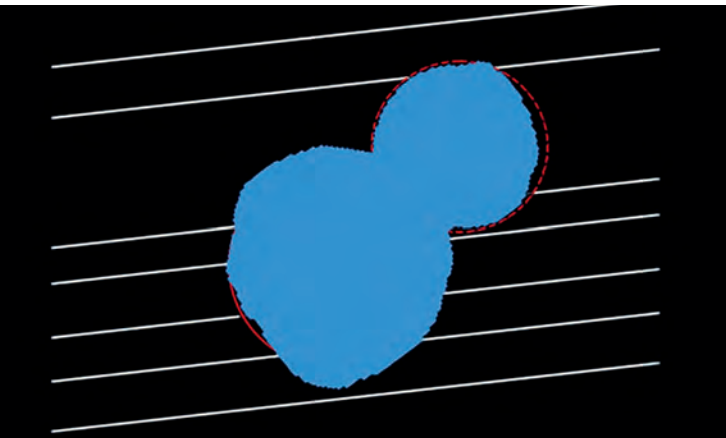
Mai számítástechnikai mértékkel a körülbelül 7 gigabájtnyi adat nem tűnik túlságosan soknak, de figyelembe kell venni a csupán kb. 1 kilobites másodpercenkénti adatátviteli sebességet és a kommunikációra rendelkezésre álló korlátozott kapacitást és időt is. Így az összes adat és kép megérkezésére még 20 hónapot kell várni.

A New Horizons képfelvévő rendszerei, a részecskedetektorok és az ultraibolya spektrométer is a kisbolygót figyelte az elrepülés alatt. Mivel a kis égitest pozícióját csak bizonytalanul tudták, a műszerekkel nagyobb területet kellett letapogatni a programozott „vakrepülés” során. A manőverezésre használt hajtóművek segítségével úgy változtatták az űreszköz térbeli helyzetét, hogy közben a műszerek folyamatosan a célra tarthassanak. A New Horizons űrszonda LORRI (Long Range Reconnaissance Imager) kameráját előzetesen úgy programozták, hogy összesen 1500 képet készítsen az egyszeri és megismételhetetlen elrepülés néhány órája alatt.

**Az Ultima Thule alakja,
mérete és forgómozgása**

A New Horizons közeli felvételeiből kiderült, hogy az Ultima Thule két kis testből álló érintkező kettős. A két összetevőt egy vékony konkáv befűződés választja el

egymástól, így egy kuglibábúra vagy hóemberre emlékeztető alakú testet alkotnak, amelynek hossz tengelye $31,7 \pm 0,5$ km. Gömb alakkal közelítve a két komponenst a nagyobbik összetevő mintegy 19,5 km, a kisebbik 14,2 km átmérőjű. A két test pontos alakját még nem ismerjük és csak később elkészítendő térbeli modellek segítségével lehet a térfogatokat egyenként megállapítani.

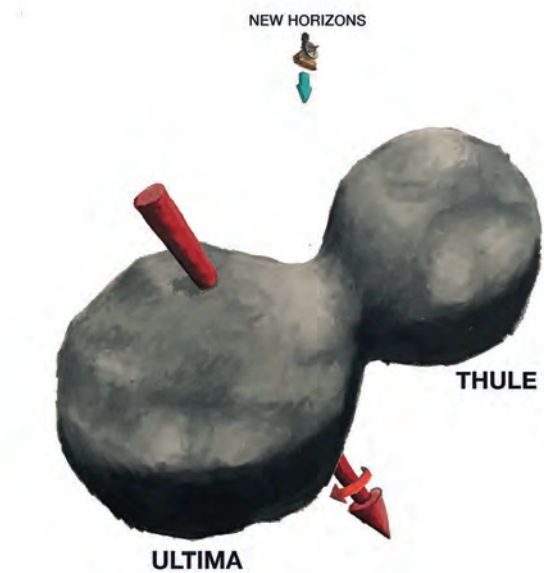


1. ábra. Az Ultima Thule földi csillagfedésből megfigyelt (piros szaggatott vonal) és a New Horizons közeli felvételéből származtatott sziluettje (kék színnel jelölve). A kétféle megfigyelésből kapott alak és méret igen jó egyezést mutat. (NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute)

Rejtély volt, hogy az Ultima Thule megfigyelései miért nem mutattak periodikus fényváltozást, ahogy a szonda hol nagyobb, hol kisebb felületet lát a forgó kisbolygóból. Ennek kézenfekvő magyarázata Marc Buie (New Horizons team, SWRI) szerint az, hogy a kisbolygót a rövidebb tengelye mentén "átdőfő" forgástengely a látóirányba vagy ahhoz nagyon közel esik, így mindig ugyanakkora a megfigyelhető megvilágított felület. Ennél vadabb elképzelések is napvilágot láttak, Mark Showalter (SETI Intézet) azt vetette fel, hogy az Ultima Thule-t porfelhő veszi körül, és az ebbe "burkolt" kis égitest forgási fényváltozását az átlátszatlan porburok miatt nem lehet megfigyelni, hasonlóan ahhoz, ahogyan egy aktív üstökös mag forgási fényváltozását is eltakarhatja a körülötte levő kóma. Még ennél is merészebb lehetőséget vázolt fel Anne Verbischer (Virginiai Egyetem), a New Horizons kutatócsoportjának tagja, aki szerint az Ultima Thule körül gerjesztett forgómozgást végző kis holdak vannak, amelyek mindegyike mutat fényváltozást, és ezek összessége kioltja egymást. A New Horizons felvételei megmutatták, hogy sem átlátszatlan porkóma, sem pedig fénygörbék szuperpozícióját mutató kis holdak nem léteznek a kisbolygó körül, tehát a távolról nem mutatkozó – vagy legalábbis nagyon kis amplitúdójú –

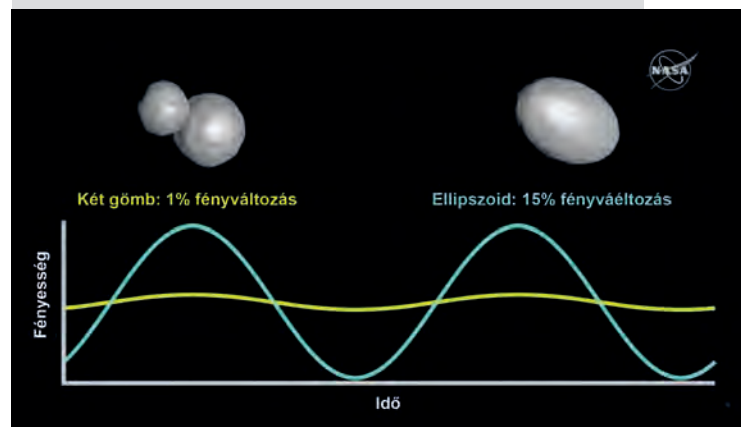
fényváltozás oka egyszerűen az, hogy közel a forgástengely irányából figyelte meg a szonda (és a földi távcsövek is) a kisbolygót.

A képfelvételek további elemzésével bebizonyosodott, hogy a kisbolygó tengelyforgási ideje $15,9 \pm 0,1$ óra (ez a számérték még pontosítható majd a további elemzések során). Nem mindegy, hogy egy forgó konvex ellipszoid testet vagy egy forgó "hóembert" figyelünk meg úgy, hogy a forgástengely és a látóirány egyenese kis szöget zár be. Esetünkben ez a szög mintegy 30 fok. Az ellipszoid jól megfigyelhető, 15%-os amplitúdójú fényváltozást mutat, de a hóember alakú test csak



2. ábra. A 2014 MU69 Ultima Thule kisbolygó forgástengelye a kis égitest nagyobbik összetevőjén halad keresztül tartalmazva a test tömegközéppontját (NASA/JHUAPL/SWRI)

3. ábra. Egy forgó ellipszoid (kék vonal) és egy "hóember" (sárga vonal) fénygörbéjének modellezése, ha a forgástengely és a látóirány közel egybeesik és a fényforrás a megfigyelő mögött van (NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute)



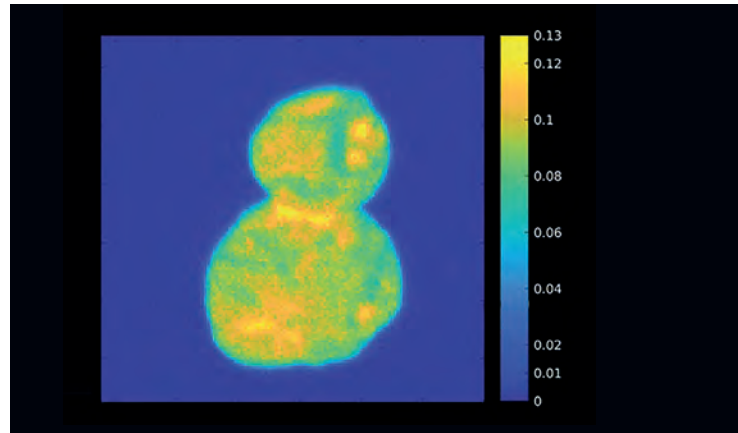
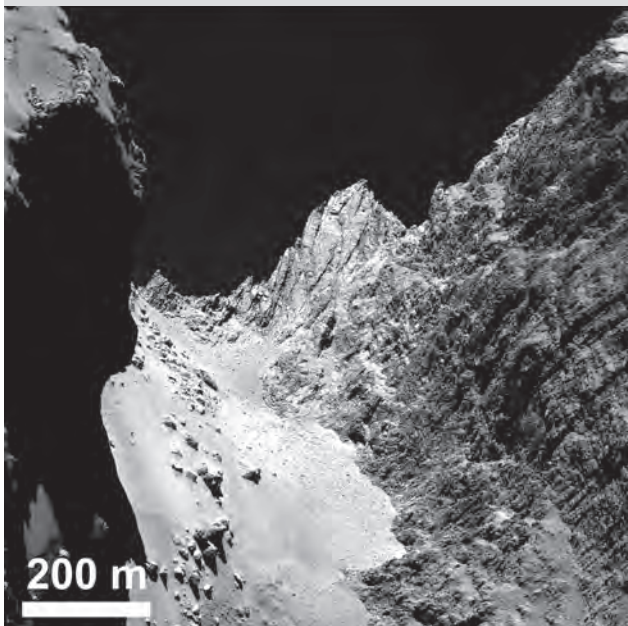
mintegy 1%-os amplitúdójú fénygörbét eredményez, amit a **3. ábrán** látható – modellszámítás alapján készített – grafikon is mutat.

A felszín

A New Horizons LORRI és MVIC (Multicolor Visible Imaging Camera) kamerái által készített képeken a kisbolygó felszínének nagy skálájú részletei különíthetők el: közel kör alakú fényes és sötét foltok, nagy kiterjedésű krátterszerű mélyedések, vonalszerű redők, lapos területek, valamint a „nyaki” rész vékony fényes sávja. A felszín fényvisszaverő képességének helyi változásai sötét és világos területeket mutatnak, azonban sötét és világos foltok a beeső napfény következtében is kialakulhatnak, mint árnyékos és jobban megvilágított területek. A New Horizons legközelebbi képei 11-13 fokalapú fázisszögönél készültek (szonda és a Nap iránya a kisbolygóról nézve), tehát az egész látható felszín jól megvilágított és csak a permenél van valamennyire jó kontraszt a felszíni domborzat érzékelésére.

A kisbolygó pereme környezetében a topográfiai szintkülönbség változás profilját sikerült elkészíteni, ami 1 km-nél nagyobb változásokat mutat az „Ultima”, és mintegy 0,5 km-es változásokat a „Thule” pereménél. Ezek mechanikailag erős kéreg zónára és/vagy

4. ábra. Az ESA (Európai Űrügynökség) Rosetta űrszondája OSIRIS képfelvévő rendszerével készített közeli felvétele a 67P/Churyumov-Gerasimenko-üstökös magja Hapi és Hathor területéről, amelyek a két összetevő közötti nyaki részen vannak (ESA/Rosetta /DLR/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA)



5. ábra. 2014 MU69 Ultima Thule felszíni fényvisszaverő képességének térképe. A legsötétebb részeket (0,01-0,04, 1-4%) kék szín mutatja, a legfényesebbeket (0,10, vagyis 10% felett) sárga szín jelöli. A kisbolygó átlagos fényvisszaverő képessége 0,09 (9%). (NASA/JHAPL/SWRI)

erős belső szerkezetre utalnak, amit például vízjég és szénmonoxid-jég, illetve más jegek, valamint szilárd szerves vegyületek és poros-szikkasztó kőzetek alkothatnak. A peremnél, illetve a felszín más részein megfigyelt szintkülönbségek pontosabb geológiai magyarázata, geomorfológiai alakzatokkal való azonosítása a később megérkező részletesebb felvételek elemzése után lesz majd lehetséges.

A legfeltűnőbb, legfényesebb a két összetevőt elválasztó nyaki rész csak legfeljebb 300 méter széles, tehát egy vékony sáv vagy „gallér”, ami valószínűleg a két összetevőről a kettőjük közé behullott, legördülő finom porszemcsék felhalmozódási helye. A mozgást elősegíti, hogy ott a legmeredekebb a lejtés, amit az előzetes nagy skálájú topográfiai felszíni meredekségi térkép is jól mutat.

Ez a terület hasonló az ESA Rosetta űrszonda célobjektuma, a 67P/Churyumov-Gerasimenko-üstökös két összetevőjét elválasztó részéhez, a Hapi és Hathor régiókhoz, ami szintén egy finom porral borított terület.

A New Horizons szonda január 4-én a Földről nézve a Nap túlsó oldalára került, így kis ideig a Nap a rádióvonal közelében volt és ez alatt a szonda nem sugárzott adatokat, de január 18/19-én az addigi legrészletesebb képet küldte el, amit a Ralph műszeregyüttes MVIC kamerájával a kisbolygótól 6700 km-ről készített 7 perccel a legnagyobb megközelítés előtt. A kép felbontása 135 méter/képelem. Ezen a felvételen jobban megfigyelhető a kisebbik összetevőn levő mintegy 7 km átmérőjű mélyedés, benne két nagyobb fényes folttal. A terminátor (a nappalt az éjszakától elválasztó vonal) közelében a kontraszt igen jó, így kisebb alakzatok is



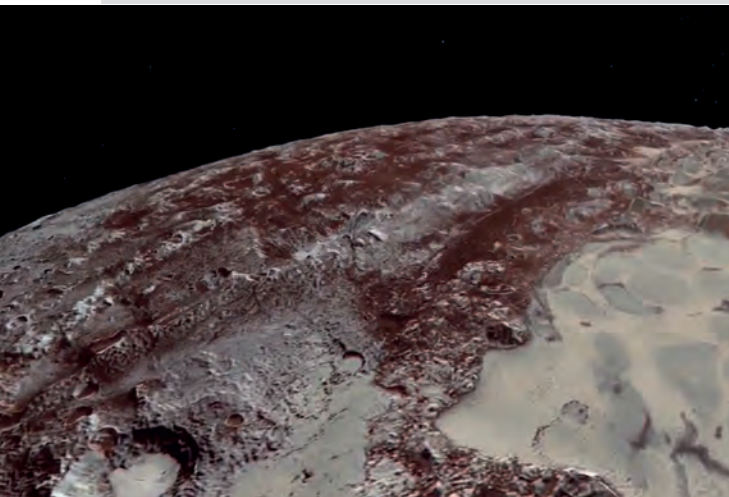
6. ábra. A 2014 MU69 Ultima Thule színe a New Horizons MVIC és LORRI kamerái megfelelő felvételeinek összekombinálásával (ANSA/JHUAP/SWRI)

jól kivethetők: több, mintegy 700 méter átmérőjű mélyedés (lyuk, gödör vagy kráter), amelyek vagy becsapódási eredetűek vagy pedig gáz- és porkibocsátás miatt keletkezett kiüresedések, esetleg beomlások eredményeképp jöttek létre. Az elkövetkezendő hetekben-hónapokban beérkező további képekből a kisbolygó felszíni alakzatai könnyebben vizsgálhatók lesznek.

A kisbolygó felszíni fényvisszaverő képességének és színének feltérképezése

A kis égitest felszíni fényvisszaverő képessége és a felszíni alakzatok, a topográfia közötti összefüggést is vizsgálták. Elkészítették a felszín albedó-térképét is, melyen a legsötétebb területeknek mintegy 4-6%-a fényvisszaverő képessége, ami az üstökösökéhoz hasonló, a legfényesebb a nyaki rész, ez 13-14%-át veri

7. ábra. A Pluto és holdja, a Charon északi pólusvidéken található Mordor Macula elnevezésű terület sötét vöröses-barna színe metán és nitrogén tartalmú tholin vegyületre utal (NASA/JHUAPL/SWRI)



vissza a rá eső fénynek. A teljes felszínre vonatkoztatott átlag 9%, ami a dinamikailag hideg, klasszikus Kuiper-öv objektumokéhoz hasonló

A Pluto Nix holdján korábban víz (jég) jelenlétét mutatták ki. Ezzel összevetve a mostani adatokat az Ultima Thule-n jóval kevesebb a felszíni vízjég, mint a Nix esetében.

Az Ultima Thule felszínének színét is sikerült előállítani az MVIC műszer különböző hullámhosszakon készített képfelvételeiből. A kamera képfelbontása csupán 1,5 km, ezért az alakzatok azonosítása érdekében a színes képet ráillesztették a LORRI nagyobb felbontású képére.

A Pluto és annak legnagyobb holdja, a Charon sötét vöröses-barna színű területeihez nagyon hasonló a kisbolygó színe, ami a metán és nitrogén vegyületek kozmikus részecskesugárzás hatására történt átalakulásából keletkezett speciális tholin színe. Hogy valójában erről van-e szó, csak az összes képi és színképi adat beérkezését és elemzését követően lehet majd biztosan állítani. A tholin különböző változatai gyakoriak a külső Naprendszerben, így a Kuiper-övben is az ottani kis égitestek felszínén.

Nagyon fontos eredmény az, hogy az Ultima Thule két összetevője azonos színű, illetve a szonda által megfigyelt felszín nem mutat számottevő, nagy skálájú helytől függő színi eltéréseket (csak a nyaki rész kékebb). Ez azt mutatja, hogy az összetevők az ősi Naprendszer ugyanazon vidékén formálódtak. A kisbolygó színe megfelel a dinamikailag hideg, vagyis a körhöz közeli és kis pályahajlású Kuiper-övbéli objektumok átlagos vörös színének. Tehát a Naprendszer kialakulása óta stabil pályán van a Kuiper-övben, és őrzi az eredeti ősi anyagot.

Az Ultima Thule kialakulása és az égitestek összeállása az ősi Naprendszerben

A Kuiper-övbéli objektumnak közeli vizsgálata egy új égitesttípus kimutatását és közeli tanulmányozását tette lehetővé: az érintkező kettős kisbolygókét. Ilyen rendszerek létezését Földről rögzített fénygörbék alapján már lehetett sejteni, de közelről csak most látunk ilyet először. Az érintkező kettősök az ősi Naprendszerben végbement lágy ütközésekkel keletkeztek, amikor nem tapadtak össze az összetalálkozó komponensek, hanem független testként a tömegközéppontjuk körül keringenek. Az előzetes modellszámítások szerint az Ultima Thule érintkező kettős rendszer kialakulásához mintegy 80 centiméter másodpercenkénti sebessége (sétáló ember) elegendő volt, így nem esett kár a két



8. ábra. Érintkező kettős kis égitestek kialakulása a korai Naprendszerben. Így keletkezhetett az Ultima Thule kisbolygó is a külső Naprendszerben, de a hozzá hasonló Neptunuszon túli objektumok is. (NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute)

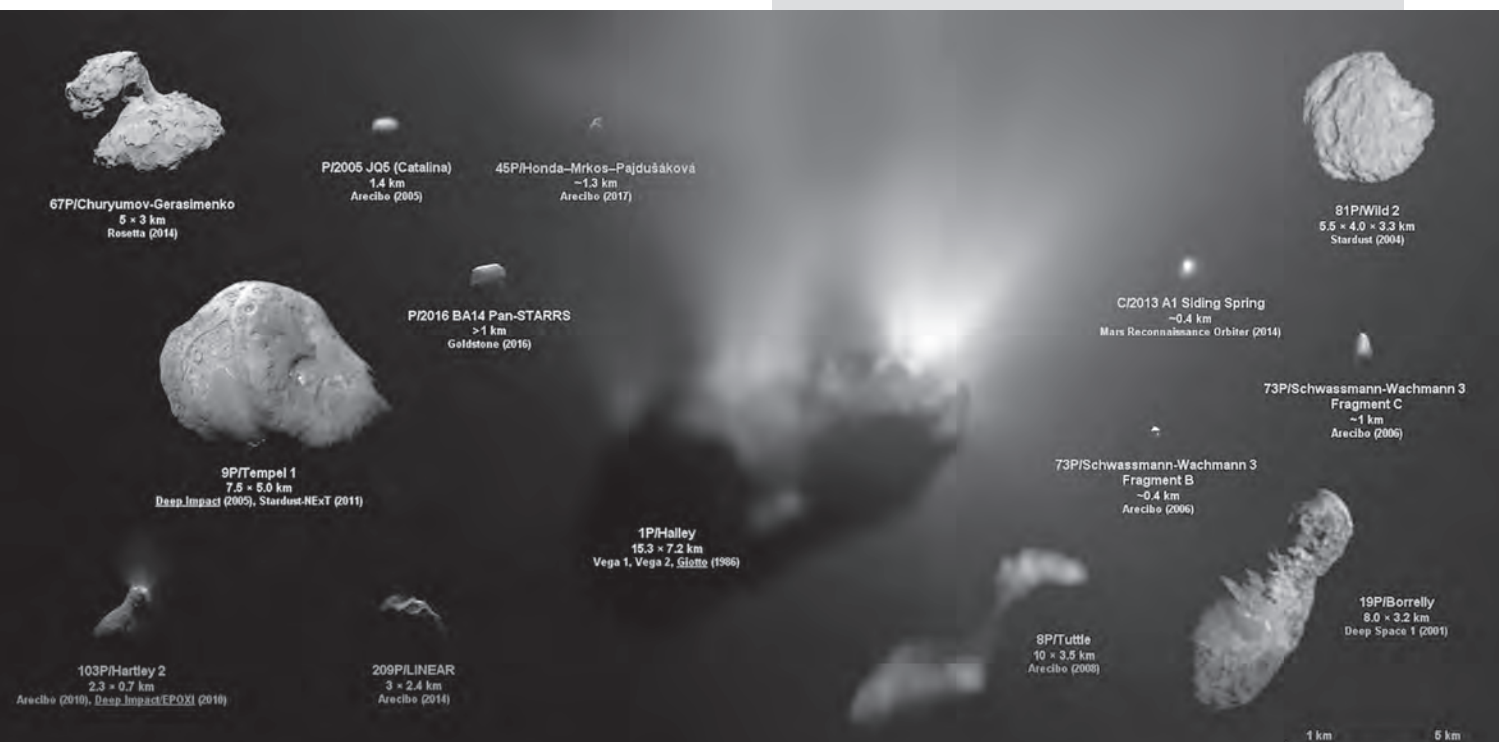
kis égitestben, nem estek szét és nem is tapadtak erős kötéssel egybe, csak a kölcsönös tömegvonzás tartja együtt őket. A 8. ábra az ilyen kis égitestek keletkezését mutatja be a New Horizons kutatói által felvázolt modell szerint.

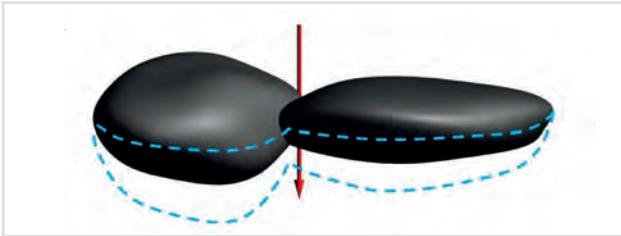
Kezetben a Kuiper-övben centiméteres, méteres kis testek álltak össze az ősi Naprendszerben, majd ezek gyakori találkozásai, tömegvonzás általi összetartása nagyobb csomókat, tömböket hozott létre egészen a néhány száz méterestől a kilométeres bolygócsíra méreteig. A Kuiper-öv specialitása ebben az, hogy ott jegek és por dúsult fel és a kialakult tömbök, kis testek nagy naptávolsága stabil kettős vagy többszörös rendszerek kialakulását és fennmaradását tette lehetővé. Az érintkező vagy jól összetapadt kettős kis égitestek gyakoriak a Naprendszerben, több üstökösmag is ilyen szerkezetűnek bizonyult a helyszíni űrszondás (pl. 19P/Borrelly, 103P/Hartley 2, 67P/Churyumov-Gerasimenko)

vagy Földről végzett radarszillagászati (pl. 8P/Tuttle, 45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova) megfigyelések alapján. Ezek között ekliptikai üstökösök is vannak, amelyek a Kuiper-övből származtak és a Jupiter hatása alatt, annak üstökös-családjához tartoznak. Tehát a Kuiper-öv kis égitestjeinek tanulmányozása az ekliptikai üstökösök forrásvidékének tanulmányozását is jelenti.

A New Horizons űrszonda által alig egy nap alatt többet tudtunk meg a kis égitestek, illetve bolygózedemények (bolygócsírák, planetezimálok) kialakulási folyamatairól az ősi Naprendszerben, mint az utóbbi 200 évben összesen.

9. ábra. Űrszondákkal közelről vagy földi radarszillagászati műszerekkel távolról megfigyelt üstökösmagok. Közöttük több érintkező kettős vagy összetapadt szerkezetű is van, például a 8P/Tuttle, 19P/Borrelly, 45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova, 67P/Churyumov-Gerasimenko, 103P/Hartley 2. (Daniel Micháček, Bruce Murray Space Image Library)





Lapzártakor érkezett

Bár lassan, de egyre érkeznek újabb adatok és képek. A legnagyobb megközelítés után készített felvételeken már "visszafelé néz" a szonda így a kisbolygó Nap által meg nem világított sötét oldala fordul felé, csak egy vékonyabb – a holdsarlóhoz hasonló – rész látszik az Ultima Thule felszínéből.

A kisbolygó kitarolja a háttércsillagokat és az, hogy melyik felvételen melyik csillag jelenik meg, segít az égitest kontúrájának megrajzolásában. És itt jön a meglepetés: az Ultima Thule két érintkező lapos korongból vagy kavicsból áll és nem egy hóember-szerű test, mint ahogy azt a korábbi képek alapján vártuk. Az összetevők hosszabb tengelyeik végpontjaiban érintkeznek egymással.

Az összetett alak magyarázatára át kell gondolni a kis égitestek keletkezésének, az ősi Naprendszer anyagából történt összeállásának modelljeit. Ismét az fordult elő, ami gyakran szokott: az új megfigyelések megválaszolnak korábbi kérdéseket, de újabb kérdések merülnek fel, ami a megismerés, a tudomány fejlődésének

Kísérők keresése

Az Ultima Thule kisbolygó körüli esetleges holdak keresése is része a New Horizons programjának, ami azért is fontos, mert ha van holdja, akkor annak mozgásából a kettős rendszer tömegére, a testek méretének és térfogatának ismeretében pedig az átlagos tömegsűrűsége is lehet következtetni. A 2019. január 4-ig a Földre érkezett képeken nem találtak kísérőket a kisbolygó Hill-szféráján belül, vagyis abban a tartományban, ahol stabil pályán keringhetnek. Továbbá a kisbolygótól számított 1000 km-es távolságon kívül sem találtak 1,5 km átmérőnél nagyobb holdat (a kisbolygóéval megegyező albedójú testet feltételezve). Nem zárható ki azonban, hogy az összes képfelvétel megérkezése után felfedeznek majd kis holdat vagy törmelékgyűrűt.

Az Ultima Thule gáz, plazma és por környezete

Az Ultima Thule körüli gáz-, plazma- és porkörnyezet vizsgálata szintén fontos, ugyanis gáz- és porkibocsátás esetén kóma alakulhat ki, ami üstökösaktivitást jelentene a Naptól távol, ez pedig önmagában is érdekes folyamat, de a napszél és a kis égitest közötti kölcsönhatás is tanulmányozható lenne nagy naptávolságban.

A január 4-ig beérkezett adatok alapján nem mutatnak ki kómát a kisbolygónál sem a látható fényben, sem pedig az ultraibolya tartományban. A korábbi HST, illetve távolról végzett New Horizons megfigyelések alapján sem találtak nagyobb porszemcséket, porkómát vagy porgyűrűt a kisbolygó környezetében. Megnyugtató volt az is, hogy a találkozás során a szondát nem találta el nagyobb porszemcse vagy mikrometeorit. Ez ugyanis kikölkenthetette volna a stabilitásából, így műszerei elfordulnak, valamint a létfontosságú parabolaantennájának térbeli iránya is megváltozik, elvesztve a rádiókapcsolat a Földdel.

Újév napja különleges a Naprendszer megismerésének történetében: 1801. január 1-jén Giuseppe Piazzi Palermóban felfedezte a Mars és Jupiter pályája között keresett égitestet, amiről kiderült, hogy kisbolygó és később Ceresnek nevezték el (2006-tól törpebolygónak lett átsorolva). 1801-hez hasonlóan most is elmondhatjuk: "ez az év jól kezdődik!"

Amennyiben a New Horizons szonda számára nem akad a jövőben felfedezendő új célobjektum, jó ideig a 2014 MU69 kisbolygó marad a legtávolabbi égitest a Naprendszerben, amit űrszonda közelről meglátogatott.

TÓTH IMRE

E SZÁMUNK SZERZŐI

BABINSZKI EDIT: PhD, geológus, Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest; BRAUN TIBOR: vegyész, ELTE Kémiai Intézet, MTA Könyvtár és Informatikai Központ, Budapest; GÁL ERIKA: tudományos főmunkatárs, kandidátus, MTA BTK Régészeti Intézet, Budapest; HÉRINCS DÁVID: meteorológus, HungaroControl, Budapest; KOVÁCS LÁSZLÓ: fizikátorténész, főiskolai tanár, Nemesrempehollós; NAGY JENŐ: doktorjelölt, Debreceni Egyetem Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola, Debrecen; TÓSZEGI ZSUZSANNA: PhD, c. egyetemi docens, ELTE BTK Könyvtár- és Információtudományi Intézet, Budapest; TÓTH IMRE: MTA doktora, tudományos tanácsadó, MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Budapest; VÁSÁRHELYI TAMÁS: biológus, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest;

KÖVETKEZŐ SZÁMUNKBÓL

JABLONSZKY MÓNICA – KRENHARDT KATALIN – MARKÓ GÁBOR – SZÁSZ ESZTER – ZSEBŐK SÁNDOR: Személyiség az erdőben – a konzisztens állati viselkedés – Mind egyéniségek?
TÓSZEGI ZSUZSANNA: Kreatív Természetfotózás – Interjú Nagy Bertold természetfotóssal
GONDA XÉNIA – PETSCHNER ANNA – BAGDY GYÖRGY: Anyagi gondok vagy haláleset? – A depresszió és a stressz összefüggései
PATKÓS ANDRÁS: A tudomány véget ér ott, hol a csodálkozás kezdetét veszi
SIMONYI MIKLÓS: A kilogramm detronizálása – Egy etalon búcsújára