

Mitől ennyire bizarr ez az üstökös?

Az elmúlt hónapokban sok helyen találkozhattunk a 67P/Churyumov–Gerasimenko-üstökösről készült látványos felvételekkel. Az egzotikus, mondhatni bizarr kinézetű égitest felszínformáinak keletkezésére bizonyára sok érdekes elgondolás lát még napvilágot a következő években – az alábbiakban a jelenlegi elképzelésekből válogatunk.

A Rosetta-űrszonda volt az első, amely pályára állt egy üstökös közelében, illetve a Philae leszállóegység elsőként szállt le egy ilyen égitest felszínére. A küldetés történelmi jelentősége mellett a programban résztvevő hazai kutatóintézetek miatt is kiemelten fontos. Magyar fejlesztés alapján működik a PHILAE központi számítógépe, energiaellátó rendszere, a plazmamérfő-rendszer, a porelemző, az elektromos és akusztikus hullámterjedést vizsgáló műszer, valamint több földi ellenőrző rendszer is.

Akárcsak a többi, űrszondával meglátogatott üstökösmag esetében, itt is felmerül a kérdés, hogy mennyire általános, illetve típusára nézve jellegzetes kinézetű a célpont. A Churyumov–Gerasimenko-üstökös nem régóta rója ellipszispályáját a Naphoz közeli pályán. A számítások alapján az égitest 1840 előtt 4,0 CSE-re merészkedett csak központi csillagunk közelébe, majd a Jupiter perturbációi révén ez fokozatosan csökkent 2,8 CSE-ig. Jelenlegi „útvonalára” egy 1959-es Jupiter-közelítés állította, azóta 1,24 CSE-re közelíti meg a Napot, 6,45 év keringési idejű pályán, mostani perihéliumát 2015. augusztus 13. éri majd el. Mindezek alapján úgy fest, nem régóta kering olyan naptávolságban, ahol az erős besugárzás miatt fellépő szublimáció jelentősen alakíthatja a felszínét.

Meglepő felszínformák

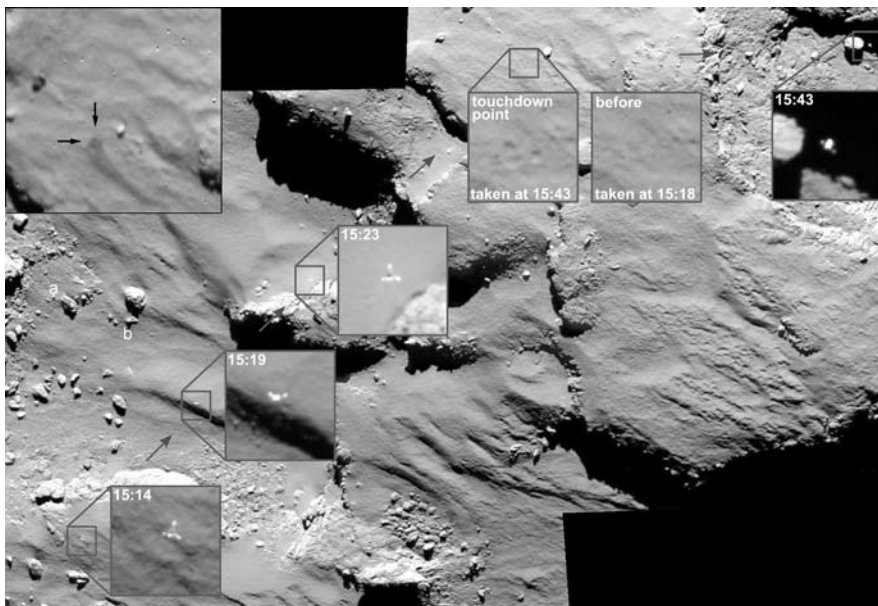
A Churyumov–Gerasimenko-üstökös kettős alakja a sajtóban „gumikacsa” néven vált ismertté – azonban ez a kettős alak nem



Sziklák a nyaki részen (kép közepe) egy 844 m széles képen, amelyet a NavCam rögzített a keringő egységről. A kép felső részén a „fej” egy kisebb, porborítás nélküli, egyenlően felszíni részlete látható

példa nélküli, több, hasonlóan két nagy testből álló apró égitestet ismerünk már, ilyen például az Itokawa kisbolygó, vagy a Tempel 1-üstökös magja. A furcsa alak eredete ma még ismeretlen, de a legnépszerűbb elgondolások alapján két, egymással összetapadt test alkothatja, amelyek között az összekötő „nyaki részt” törmelék töltötte fel, mivel az gravitációs potenciálgödörnek tekinthető. Míg az elgondolás kisbolygónál inkább elképzelhető, egy üstökösmagnál problematikusabb: a heves anyagki-bocsátást mutató objektumnál nehezebben halmozódhat fel ilyen a törmelék, főleg, ha „életének” nagyobb részét a Naptól távol, inaktív állapotban töltötte. Egyébként innen, a „nyaki” részről is indulnak ki anyagsugarak a Churyumov–Gerasimenko esetében, tovább nehezítve az alakzat magyarázatát.

Az üstökösmagról készült részletes felvételeken érdekes alakzatok láthatóak, igen meglepő, hogy becsapódásos kráterek nem mutatkoznak rajta. Igaz, több kerekded



A leszállás környékének 30 perces időszaka alatt az OSIRIS kamerával készült 28 cm/pixel felbontású képek, amelyeken az ereszkedő Philae is azonosítható. Látható továbbá az első leszállás helye a landolás előtt és után (utóbbinál a három kisebb mélyedés a leszállólábak nyomát mutatja. Az első visszapattanás után felvert porfelhővel a Rosetta NavCam kamerájának felvételén balra fent látható, ettől lefelé, a nagy képen „a” és „b” betűk jelölnék két sziklát, amelyekről balra felfelé elnyúló, enyhén kiemelkedő portakaró mutatkozik, talán a cikkben említett tömegmozgással összefüggésben



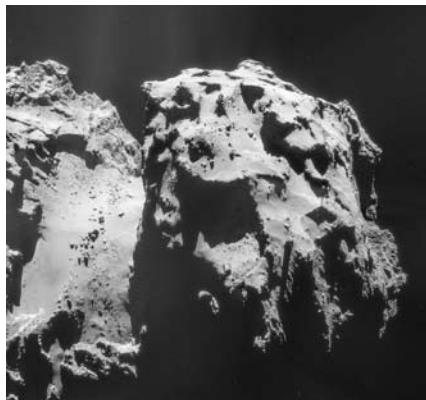
Érdes felületek az üstökösmaçon, és jobbra fent egy porral feltöltött mélyedés a Rosetta NavCam detektorának felvételén. A mélyedés peremén meredek sziklák lábánál balra világos, feltehetőleg frissen kihantolódott anyag figyelhető meg

alakzat is megfigyelhető, ezek egymáshoz hasonló méretű, sekély, peremükkel egymás mellett sorakozó képződmények. Ha becsapódásos kráterek lennének, statisztikai jellegű, véletlenszerű eloszlást mutatnának mind méretüket, mind helyzetüket illetően – ekkor eltérő méretű és egymástól részben távoli, részben kár átfedő képződmények várhatók. Ezek mellett egy olyan kerekded mélyedés is mutatkozik, amely a krátereknél sokkal mélyebb – ezt sem becsapódás okozhatta.

Az üstökösmaçon többféle, közel sík felület is megfigyelhető. Néhol kiemelt helyzetű sík vidékek láthatóak, amelyeket nyilvánvalóan nem a mélyedésekben lerakódott finom por alkot. Itt elyben lehetséges, hogy valamilyen kéregszerű, keményebb réteg van jelen. Más területeken viszont egyértelmű, hogy finom por halmozódott fel a mélyedésekben – az ilyen sima felületeken is néhol hosszanti,

keskeny mélyedések, peremek mutatkoznak. Emellett akadnak sima, de enyhén hullámzó vidékek is, amelyeket meredek sziklaperem határol, itt feltehetőleg a kiemelkedő területen maradt meg a por, és a meredek peremnél a mélybe hullott.

Sok helyen látványos, egymással párhuzamos rétegeket metsz el a felszín, ahol a kibukkanó rétegfejek időnként érdes, apró csúcsokat (sziklák?) is mutatnak. Ezek globális feltérképezése fontos eredményt fog hozni várható keletkezésüket illetően – ehhez azonban további elemzések szükséges. Egyes területeken mintha a párhuzamos rétegződést elmetsző lineamentumok is volnánk, de ezek mibenléte még bizonytalan.



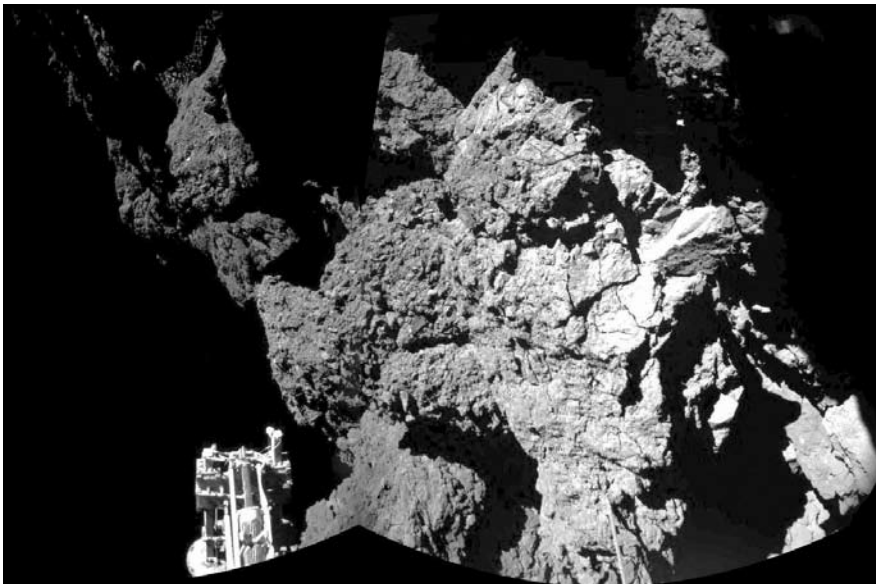
Az üstökösrag „feje” (jobbra) és a „nyaka” (balra). A fej nagy tömbjének felszínén sok rétegfej bukkan ki, amelyek érdes, egyenetlen futása arra utal, hogy kemény és inhomogén anyag alkotja őket. Ezek között por mutatkozik, és sziklák figyelhetőek meg. A nyaki résznek a középső, legmélyebb szakaszán több szikla van, mint máshol, amelyek talán az ott húzódó gravitációs potenciálgödör legmélyebb részén halmozódtak fel

Anyagmozgásnyomok kis számban, de mutatkoznak a felszínen. Ezek között említendő az egyes sziklák mellett felhalmozódó finomszemcsés anyag, amely vagy a környékről eltávozott portakaró után, lejtőirányban maradt meg (mint pl. a poros lejtőkön a keményebb, kiemelkedő szikláktól

a lejtő lába felé mutató, a kemény kőzet „árnyékában” visszamaradt, elnyúlt törmelék-tömeg), vagy a lejtős területeken a szikláktól „felfelé” megmaradt törmelék alkotja őket, ami az adott szikla felett a törmelékből fennakadt. A lejtés irányának meghatározása nem mindenhol egyszerű, mivel a szabálytalan alakból adódó nem gömbszimmetrikus gravitációs tér mellett a viszonylag gyors forgásból származó centrifugális erő is befolyásolja a nehézkedési erőteret.

További anyagmozgásra utaló nyomok egy sima réteglap pereméhez közel mutatkoznak karéjos mélyedésekként, amelyek területről valószínűleg a meredek perem felé távozott a por. A harmadik anyagmozgásra utaló nyom a kisebb mélyedések fenekén mutatkozó sík, porral feltöltött rész („portócsa”), amelyekben vagy rezgések révén, vagy elektrosztatikus porvándorlás által halmozódott fel a finom anyag. Egyes meredek lejtőkön enyhén kanyargó, de egymással közel párhuzamos árkok is vannak, amelyeket akár a lefelé omló, guruló anyag mélyíthetett – a hatás léte a nagyon gyenge gravitációs térben azonban még kérdéses. A mélyedésekben mutatkozó sík felszíneken is akadnak hasonlóak, esetenként szétágazó vonalak formájában vagy néhol szintén íves mélyedésekként.

A felszínen sok szikla is megfigyelhető, amelyek mérete a felbontóképesség határától felfelé, egészen néhány tucat méterig terjed. A Philae leszállóegység ereszkedése vége felé rögzített fotókon néhány cm-es sziklák is mutatkoznak. A sziklák alakja szabálytalan, de többnyire közel izometrikus, felszínük érdes, rücskös kinézetű. A felszín alatti kemény anyag jelenlétére több helyen kibukkanó, éles peremű, szabálytalan alakú „szirtek” utalnak, amelyek talán „maradványgerincként” maradtak vissza az üstökösaktivitást követően. Lehet, hogy ezeket is jég alkotja, csak albedójuk és szerkezetük, ennek nyomán pedig szublimációra való hajlamuk eltér az üstökösrag többi területének jellemzőitől.



A Philae leszállóegység CIVA detektorának képe a felszínről. Látható, hogy törések szabdalják az anyagot, néhol mintha sima felületek is lennének rajta – mindezek arra utalnak, hogy viszonylag kemény anyag alkotja a vékony felszíni portakaró alatti réteget. A kép azt a sziklafalat mutathatja, amely mellett a Philae végül megállapodott (ESA/Rosetta/Philae/CIVA)

Háromszor is leszállt a Philae

A Philae leszállóegység landolási helyének közel 1 km-es, viszonylag sima vidéket kerestek kevés sziklával és 30 foknál nem meredekebb lejtőkkel (ilyen terület alig akad az üstökösön), amelyet szabadésben elérhet a szonda. Követelmény volt még, hogy a leszállóhelyen egy-egy üstökösfordulatonként (12,5 óránként) közel 7 órán keresztül napfényt kapjon a berendezés, és rendszeresen legyen képes kommunikálni a keringő egységgel, továbbá a területen nem várható jelentős aktivitás, tehát feltehetőleg nem törnek ki látványos anyagsugarak. Ezeknek megfelelően első körben öt potenciális helyszínt jelöltek ki, melyek közül a J jelzésű, később Agilka névre keresztelt terület mellett döntöttek a szakemberek, amely a kettős üstökös mag kisebbik tömbjén helyezkedik el.

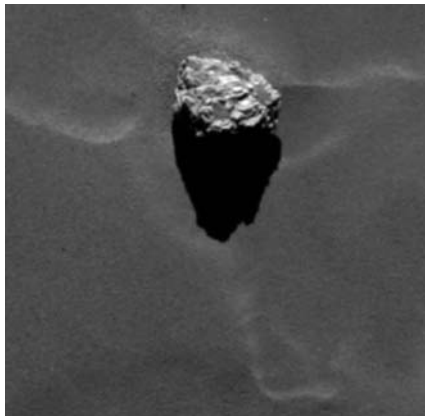
A Philae landolása – a várakozásoknak megfelelően – nem zajlott simán. Sajnos már a Rosetta-űrszondáról történő leválasztás előtt a diagnosztikai jelek alapján kiderült, hogy a Philae leszállóegységet a felszín elérésekor lefelé nyomó, a szonda tetején lévő hideggáz hajtómű nem működik. A leválasztást követően az egység szabadéséssel, közben méréseket végezve és eredményeit rádióon sugározva érte el 7 óra alatt a felszínt. Noha a landoláskor a közel 1 m/s-os ütközési sebességet részben tompította a három leszállóláb rugós szerkezete, a helyzetrögzítő horgonyt a felszínbe lövő piropatronok sajnos nem működtek – az ezzel kapcsolatos rádióüzenet először még nem is volt egyértelmű a földi irányítók számára. A rögzítés hiányában a szonda visszapattant, aminek nyomán egy apró porfelhő keletkezett és a három leszállóláb után kis mélyedések maradtak vissza – amelyek a keringő egység felvételein látszanak is.

Az első mérési eredmények

A szerencsétlen landolás ellenére a szonda az előre tervezett program nagyobb részét végrehajtotta, miközben 57 órán keresztül üzemelt. Ennek során a MUPUS detektor apró penetrátora néhány mm mélyen a felszínbe hatolt, annak hőmérsékletét és mechanikai ellenállását vizsgálva, majd igen kemény anyagba ütközött, amibe nem tudott már mélyebbre jutni. A kemény anyag feltehetően szilárd és tömött vízjég lehet a porréteg alatt. A COSAC gázanalizátor szerves molekulákat mutatott ki, amelyek a felszíni anyagból származhattak, a SEASAME műszer vizsgálatai alapján pedig sok vízjég volt a szonda alatt.

Az OSIRIS kamera részletes elemzése alapján szinte tökéletesen szűrőnek tűnik az üstökösmağ, mintha valamivel erősebben verne vissza a vörös hullámhosszakon, mint az optikai tartomány egyéb részein. A jelenség oka az igen aprószemcsés felszíni poranyag lehet, azonban az üstökös közelről is teljesen szűrke lenne az emberi szem számára. Ami emellett kissé meglepő, hogy a műszerek eddig egyáltalán nem akadtak olyan színelkülönbség (egyszerűen fogalmazva: kék folt) nyomára, amit egyértelműen felszíni vízjéghez lehetne kapcsolni.

A VIRTIS detektor mérései alapján a felszín enyhén melegebb, mint a szakemberek várták, ennek oka a felszín borító laza por lehet. Ugyanez a műszer H_2O és CO_2 molekulákat is azonosított az üstökös kómájában. A ROSINA tömegspektrométer szintén több molekulát ismert fel a kómában (H_2O , CO , CO_2 , CH_3 , valamint N és S nyomai – emellett néhány porszemcsét is elkapott, amelyekben magnéziumot és nátriumot mutatott ki. A ROSINA a deutérium/hidrogén izotóparányt is meghatározta, amely fontos nyomjelző a földi vízkészlet eredetét illetően. A mérések alapján a D/H arány $(5,3 \pm 0,7) \cdot 10^{-4}$ értékű, amely mi mintegy háromszorosa a földi óceánokra jellemző értéknek $(1,55 \cdot 10^{-4})$ – tehát deutériumban erősen dúsult a földi értékekhez képest. Mindez arra utal, hogy az üstökösök (legalábbis a Jupiter-családba tartozó, a Churyumov–Gerasimenkóhoz hasonló kométák) nem hozhattak sok vizet az ősi



A Cheops névre keresztelt 45 m-es szikla fényképe (ESA/Rosetta/MPS, OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA)

Földre. Ez ellentétben áll azon mérésekkel, amelyek alapján más Jupiter-családbeli üstökösök hasonló D/H aránnyal bírnak, mint a földi vizeink. Ugyanakkor az is elképzelhető, hogy D/H arány szerint is igen sokfélék az üstökösök, még akár a Kuiper-övön belül is.

A Philae pozíciója, főleg a szomszédos sziklafal árnyékoló hatása miatt, igen kedvezőtlen, és az üstökösmağ egy-egy napja során mindössze 1,5 óráig töltődött csak akkumulátora – emiatt közel két és fél nappal a landolás után lemerült. Még ezt megelőzően a szonda testét a lábához képest 4 cm-t megemelve és 35 fokkal elforgatva kissé kedvezőbb helyzetbe hozták. Ez távlatilag jelenthet előnyt. A Nap felé közeledő üstökösmağ ugyanis egyre erősebb besugárzást kap. Ha ezek nyomán az akkumulátorokat sikerül az üzemi hőmérsékletre melegíteni, akkor áramot vesznek fel, és adnak le a műszereknek – és a szonda feléled. Ha erre a szerencsés esetre sor kerül, az a tavasz közepén várható. Érdemes megjegyezni, hogy a modellek alapján, ha a szonda az első landolási helyen (amely a kijelölt leszállóhely közepén volt) sikeresen megmarad, onnan számolva közel három hónap végére (normál üzemelés mellett) az erős napsugárzás révén annyira túlmelegedett volna, hogy nagyjából ezen sorok megjelenésekor beszüntette volna működését, ugyanis nincs hűtése.

Az üstökös láthatósága

A 67P/Churyumov–Gerasimenko nagyon kedvezőtlen helyzetben tartózkodik a következő hónapokban. Elongációja januárban 20 fok alá csökken, s amikor tavasszal ismét jelentősebben eltávolodik a Naptól, délebbi deklinációja miatt nem lesz észlelhető hazánkból. Csak augusztustól lesz megfigyelhető nagyobb távcsövekkel előbb a Taurus, majd a Gemini csillagképben, a hajnali égen. Az ekliptika közvetlen közelében kelet felé haladó, naponta 1 fokot megtevő, 13 magnitúdós égitestet 7-én hajnalban a laza IC 2157 jelű nyílthalmaz keleti szélénél láthatjuk, másnap pedig a szépséges M35 déli pereménél észlelhetjük, ami az asztrofotósok számára kínál remek témát. A pirkadat kezdetén 20 fok magasan álló üstökös megtalálását segítheti, hogy 21-én hajnalban 13'-cel délre láthatjuk az 5,2 magnitúdós ω Geminorumtól, 24-én pedig 21'-re északkeletre látszik majd az 5,9 magnitúdós 48 Geminorumtól. Szeptemberben még kedvezőbb helyzetbe kerül, de fényessége hanyatlásnak indul, így már csak fotókon rögzíthetjük a híres vandort.

Sárnecky Krisztián

A megfigyelések részletes elemzésével bizonyára közelebb jutunk majd az üstökösök keletkezésének és viselkedésének megértéséhez – az eddigi elemzések kiértékelése jelenleg zajlik. A megfigyelések fényében két modell kapott kedvező visszhangot az utóbbi időben. Egyikük egy korai elgondolás, amelyek szerint az ősi Naprendszerben egymással kis relatív sebességgel ütköző laza anyagcsomókból úgy épültek fel réteges üstökösök, mint ahogy rétegszerűen vastagszik a hóember teste, amelyhez görgetésekor egy-egy újabb hóréteg tapad. Egy másik modell alapján a rétegek részben látszólagosak, és akkor keletkeznek, ha egy szublimáló jégréteg tetején por halmozódik fel, majd az erősebben szublimáló részek felett beszakad, és ezzel egy mélyebben lévő szint kerül a felszínre. Valószínűleg mindkét modellben van igazság, de a valóság feltehetően még bonyolultabb. A képeken látható sok-sok szerkezeti elem mindenesetre ősi eredetűnek tűnik. Ha a korábban megfigyelt üstökösökkel hasonlítjuk össze, nehéz néhány apró hasonlóság mellett sok közös vonást találni.

Kereszturi Ákos

Székács Vera

Alkalmi vers

Felejthetetlen pillanat: leszálltunk egy üstökösre.
 Műszerünk, szűnyöglábain, rajta áll.
 Csurjumov–Geraszimenko – nincs ma szebben csengő név!
 Izgalmasak ott a nappalok és az éjszakák:
 alighogy kisüt a Nap, máris leszáll az éj,
 de máris virrad, és máris újra ott az éj.
 Kurta álom, kurta sütkérezés.
 Mondják, a gravitációja csekély, műszerünk is majdnem ellebeg.
 Vajon engem megtartana-e, vagy esetleg
 én vonzanám magamhoz, és alámsimulna az űr csendjében,
 hogy együtt forogjunk, és élvezzük a fény játékait?

2014. november 14.