

Az egymillió tonnás napsúroló

Mire ezek a sorok megjelennek, már feltűnik az esti égen a reményeink szerint szabad szemmel is látható PANSTARRS-üstökös. Mielőtt azonban nekivágunk a 2013-as nagy üstökösjárásnak, érdemes visszapillantánunk a legutóbbi – sajnos számunkra nem látható – fényes kométára, a Kreutz-féle napsúrolók közé tartozó C/2011 W3 (Lovejoy)-üstökösre. A Meteor tavaly februári számában olvashattunk egy összefoglalót a kométa láthatóságáról, amely számos új kérdést vetett fel ezekről, a különleges égitestekkel kapcsolatban.

1843 és 1970 között nyolc biztosan azonosított Kreutz-féle napsúrolót észleltek a csillagászok, melyek egy kivételével nagyon látványos, többségében hosszú csóvás és rendkívül fényes jelenségek voltak. Legérdekesebb vonásuk, hogy nagyon hasonló helyzetű, 600–1000 éves keringési idejű pályákon járják körül a Napot, vagyis egyetlen közös őstől származnak. Az újabb vizsgálatok szerint a Kr.e. 214-es, a Kr.u. 467-es és 1106-os üstökösök az égitest korábbi visszatérései. Több jel utal arra, hogy az ős-üstökös feldarabolódása 467-ben vagy már korábban megtörtént, és 1106 környékén érkezhettek egy másik fényes napsúroló is. Elvben ezt is látni kellett volna a XII. század elején, ám a család tagjai a pályahelyzet miatt május vége és augusztus eleje között a földfelszínről megfigyelhetetlenek, így a korábbi évszázadokban sok napsúroló észrevétlenül maradhatott.



Az 1843-as Nagy Üstökös az amerikai W. Kranz korabeli rajzán

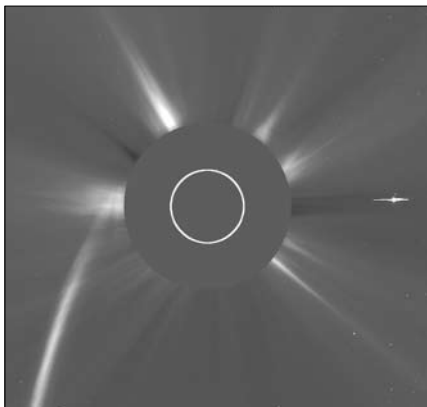
Az 1970-es utolsó napsúroló után a napkutató szondák koronagráfjai kezdték el szálítani a család újabb, a korábbiaknál jóval kisebb tagjait. Ezek csak a napközelség előtti órákban megfigyelhetők, és kivétel nélkül elpárologtak, még mielőtt elérték az 100–500 ezer km-rel a felszín felett húzódó napközelpontjukat. A törpe napsúrolóknak is nevezett, 5–50 méter közötti repeszdarabokból rengeteg van, 1979 óta több mint kétezret azonosítottak, döntő részben a SOHO napkutató szonda felvételein. Ebbe a környezetbe robbant bele 2011. november 27-én a Terry Lovejoy által felfedezett üstökös, amely az első nagyobb családtag volt, melyet már korszerű eszközökkel, modern technikával lehetett vizsgálni. Ezen vizsgálatok és számítások első eredményeit foglalta össze 2012 októberében megjelent cikkében Zdenek Sekanina és Paul Chodas.

A leszakadt csóva csodája

Az üstökössel kapcsolatos legváratlanabb jelenség porcsóvájának leszakadása volt, közvetlenül a napközelség előtt. Amikor a SOHO képein megláttuk, hogy mi történt, szinte mindenkinek az volt az első gondolata, hogy ez az égitest végét jelenti, a mag teljesen feloszlott, ezért nincs anyagutánpótlás. Néhány órával később, amikor az üstökös ismét megjelent a képeken, nyilvánvaló lett, hogy valami más magyarázatot kell keresni. Több egzotikus elképzelés is felmerült, például egy összeégett, üvegszerű réteg megjelenése a mag felszínén, de a magyarázat sokkal egyszerűbb. A csóva leszakadása 0,1 nappal a perihélium előtt, 1,9 napsugár távolságban történt. Ilyen közel a napfelszínhez már olyan nagy a forróság, hogy minden szilárd szemcse szinte azonnal elpárolog. A számítások szerint utoljára a kvarcsemcsék mintegy 1,5–4 napsugár távolságban. Volt tehát anyagkibocsátás – ezt a napkutató szondák extrém ultraibolya tar-

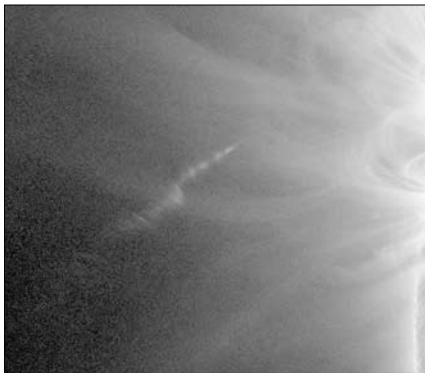
ományban készített felvételei egyértelműen mutatják – csak a porszemcsék azonnal gőzzé váltak, így nem volt minek visszavernie a napfényt. A porcsóva újraképződése végül 0,2 nappal a perihélium után indult meg, amikor a szemcsék már nem párologtak el a hatalmas hőségben.

Nagy kérdés persze, hogy miért nem történt ez meg az Ikeya–Seki-üstökösrel 1965-ben, hiszen a vizuális beszámolók mellett fotók is bizonyítják, hogy az égitest végig megtartotta porcsóváját, akárcsak az 1843-as és az 1882-es nagy napsúroló. Minden bizonnyal ezek a sokkal nagyobb üstökösök annyi port bocsátottak ki, olyan sűrű volt körülöttük az anyag, hogy leárnyékolták a belsőbb részeket, így nem párologott el az összes porszemcse.



Néhány órával a napközelség után a kép jobb szélénél fényes csillagként ragyog az üstökös, miközben a korábban leszakadt porcsóvája még mindig ott lebeg a Nap bal oldalán. A felvétel a SOHO C2-es koronagráfjával készült

A napkutató szondák ultraibolya felvételein – hat műhold 18 berendezése figyelte a kométát – egészen fantasztikus módon tekeredik, csavarodik valamiféle anyagsugár, ami az üstökös magjából tör elő akkor is, amikor a porcsóva már leszakadt. A Földről nézve a Lovejoy napközelpontja a Nap mögött volt, így az üstökös eltűnt a napkorong mögött, majd a túloldalon ismét előbukkant. Mindkét alkalommal látszott az anyagsugár, amely az elemzések szerint azért mutatta a furcsa moz-

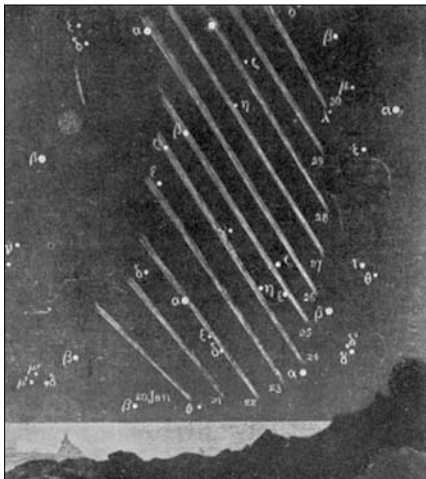


A Solar Dynamics Observatory extrém ultraibolya tartományban készült felvétele a napkoronán átszáguldo üstökösről. A kép jobb szélén koronahurkok látszanak a Nap felszíne felett, középen pedig a balról jobbra haladó üstökös. A csóva eleinte nem mutat szerkezetet, ám a második felében az oxigénionok már sávokba rendeződnek, követve csillagunk mágneses erővonalait

gást, mert kölcsönhatásba került a Nap mágneses terével. Ezek alapján ionokból, mégpedig oxigénionokból állt, melyek a magból kiszabaduló víz felbomlásával keletkeztek.

Törpének óriás, óriásnak törpe

A Kreutz-család fejlődésének, dinamikájának megértése, és a jövőben várható családtagok lehetséges előrelézése szempontjából rendkívül fontos kérdés, hogy valójában mekkora volt a Lovejoy-üstökös. A válasz nem is olyan egyszerű. A múltból nehéz kiindulni, mert bár a különböző tanulmányok ötvennél is több lehetséges, a XVI. és XX. század között feltűnt családtagot tartanak számon, a Lovejoy-jal együtt csak nyolcat ismerünk, amely biztosan a Kreutz-féle napsúrolók közé tartozik, és túlélte napközelségét. Az 1945-ös napsúroló kakukktójas, mivel a napközelség előtt két héttel készült fotókon látszik, utána viszont nem sikerült megfigyelni, vagyis nem élte túl perihéliumát. A nyolc túlélő között három igazán fényes volt, az 1843-as, az 1882-es és az 1965-ös. Mindhárom már a napközelsége előtt látszott szabad szemmel, majd a perihélium idején a nappali égen, és még utána is hosszú hetekig, hónapokig. Ezek tehát nem jó analógiák.

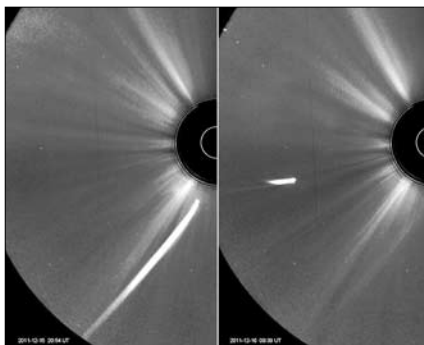


Az 1887-es üstökös helyzete és megjelenése január 20-a és 30-a között egy korabeli rajzon. A horizonton a β Indi, a bal felső sarokban pedig a Kis Magellán-felhő látható

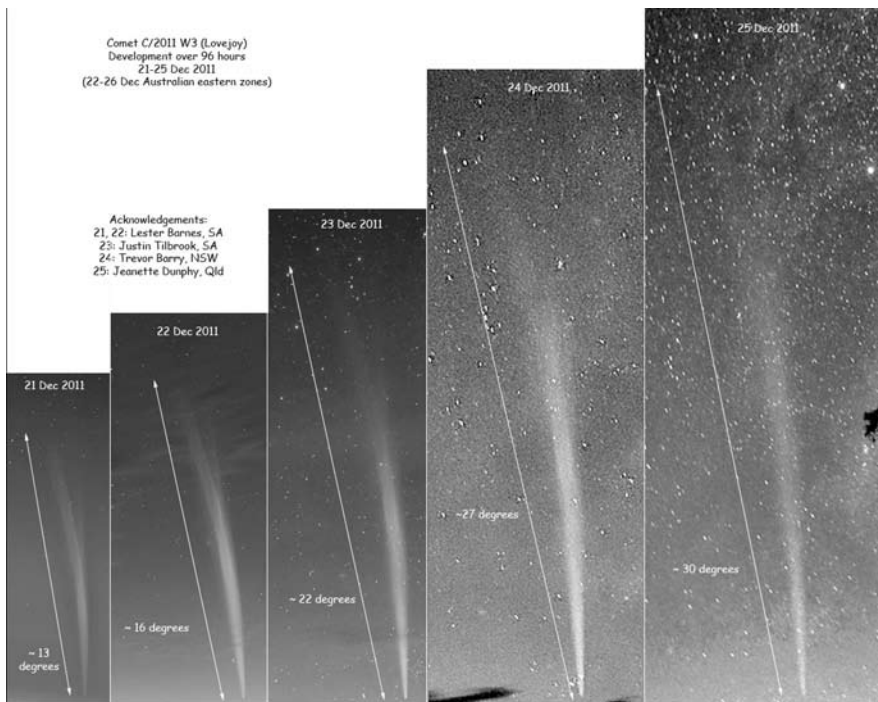
További hármat – 1880, 1887 és 1970 – csak a perihélium utáni napokban vettek észre a déli égről, gyorsan halványodtak, és csak 10–12 napig látszottak szabad szemmel. Negyven évvel ezelőtt, digitális technika és napkutató szondák híján a Lovejoy is pontosan ebbe a csoportba tartozott volna, tehát velük lehet összehasonlítani, bár az említett kométákról meg a napközelségük előtről nincsenek információink. A legszorosabb párhuzam az 1887-es napsúrolóval vonható, amely a „fejnélküli üstökös”-ként került be a krónikákba, mivel – akárcsak a C/2011 W3 – ez is csak egy kondenzáció nélküli csóva volt, amikor szabad szemmel is látszott. Ez a csóva azonban 40 fok hosszan nyújtódott az égen, amely nem csak számszerűleg múlta felül a Lovejoy 30–35 fok körüli csóvahosszát, hanem abszolút értelemben is. A C/2011 W3 ugyanis pont ideális időpontban érkezett, amikor a Kreutz-féle pályán haladva a legjobban megközelítheti bolygónkat, és a csóvára is a legjobb rálátás kínálkozik. Sok szempontból tehát a Lovejoy példa nélküli a család történetében. Összehasonlítva a korábbi hét, napközelségét túlélő családtaggal (beleértve az 1963-as nagy méretű, de rossz láthatóságú Pereyra-üstököst), annyit

mindenképpen kijelenthetünk, hogy a Lovejoy volt a legkisebb, leghalványabb napsúroló, amely túlélte perihéliumát.

Tovább bonyodalmat jelent az összevetésekben, hogy az 1945-ös napsúroló a perihéliuma előtt 4–5 magnitúdóval fényesebb volt, mint a Lovejoy, vagyis bőven túl kellett volna élnie napközelségét, mégsem ez történt. Mindez arra utal, hogy hiába származnak egy közös őstől a családtagok, anyagösszetételük különbözik. Erre utal a tavaly márciusi újabb Kreutz-láz, amikor a SOHO SWAN detektorának képein fedeztek fel egy napsúrolót. Korábban ezzel a detektorral egyetlen családtagot, még a Lovejoy-t sem sikerült megfigyelni, így mindenki azt várta, hogy egy igen fényes üstökös érkezik hozzánk. A vége nagy csalódás lett, mert az ultraibolyában szokatlanul fényes vándor a vizuális tartományban dolgozó koronagráf képein már egy teljesen átlagos törpe napsúroló képét mutatta, és még a perihéliuma előtt semmivé foszlott, akárcsak ezernyi társa. Minden bizonnyal egy vízjégben szokatlanul gazdag, de méretben és portartalomban teljesen átlagos fragmentum volt. Szintén az inhomogén anyagösszetételre utal az a vizsgálat, amely szerint az 1996 és 2005 között a SOHO képein feltűnt 900 napsúroló fényességmaximuma egy széles tartományban, 10,5 és 14 napsugár között viszonylag egyenletesen oszlik el, nem egy vagy két jól definiált távolságnál.



Az egyik STEREO szonda felvételei a napközelség előtt három órával (balra), és utána kilenc órával (jobbra) mutatják a csillagunkat megkerülő üstököst



Egy remek válogatás az üstökösről december 21-e és 25-e között Ausztráliában készült fotókból. A felvételeket Lester Barnes, Justin Tilbrook, Teevor Barry és Jeanette Dunphy készítette

Marad tehát a Lovejoy egyedi vizsgálata, ahol az első közelítési pont az üstökös összfényességének megadása lenne, ám ez sem olyan egyszerű feladat, mint gondolnánk. A felfedezés utáni időszakról van néhány jó digitális és vizuális becslésünk, de közvetlenül a napközelpont elérése előtt a SOHO képein már beég az üstökös, ami nagyon pontatlanná teszi a méréseket. Annyi biztosnak látszik, hogy maximális fényességét 0,3 nappal a december 16,0 UT-kor bekövetkező perihélium előtt, mintegy 9,5 napsugár távolságban érte el, valahol -3 magnitúdó környékén. Ez a távolság meglepően jó egyezést mutat az imént említett törpe napsúrolókkal, bár kicsit kilóg az intervallumból. Ezt megelőzően december 11-én a STEREO szonda első képein 7,7 magnitúdós fényességet becsültek, míg az utolsó földfelszíni vizuális észlelések 11 magnitúdósak mond-

ták december 4–5-e környékén. A Naphoz közeledő üstökös elképesztő ütemben fényesedett.

A helyzet a napközelség után még bonyolultabbá vált. Az erejét visszanyerő üstökös ismét felfényesedett, nagyjából -3 magnitúdóra, de ezt a maximumot már sokkal nagyobb naptávolságban érte el, és legalább három kisebb kitörés is volt 0,4, 0,8 és 1,5 nappal a perihélium után. Ez utóbbi pedig már az előfutára volt a december 17,6 UT környékén bekövetkező katasztrófális eseménynek, melynek során a mag anyaga két nap alatt teljesen szétszóródott, bevégezve az üstökös sorsát. Szerencsére a porfelhő még hetekig, hónapokig látható maradt, de a vizuális fényességbecslés nagyon bizonytalanná vált. Egy szinte egyenletes fényességű, 1–2 fok széles, 25 fok hosszú fénypázsma vonult a csillagos háttér előtt. Ennek ellenére többen is

próbálkoztak a fej 5–10 ívperces környezetének fényességbecslésével. Ezek alapján a 20-án még +1 magnitúdós központi rész 23-án már csak +4 magnitúdós volt, vagyis napi 1 magnitúdót halványodott. A karácsony utáni napokban általában +5, szilveszter környékén +6 magnitúdós becslések születtek. Az utolsó adataink január 4-éről származnak, és +7–8 magnitúdóra teszik a maradvány fényességét. Ezt követően nagy határfényességű digitális felvételeken még két hónapig látszott a csóva oszladozó maradványa, de ezzel már nem sokat lehetett kezdeni. A végső számítások szerint a C/2011 W3 abszolút fényessége, vagyis az 1 CSE távolságban mutatott fényesség a napközelség után 5 magnitúdóval volt magasabb, mint előtte, ami óriási különbség, és befelé jövet sokkal gyorsabban fényesedett, mint ahogy távolodóban halványult. Mint a tanulmányból kiderül, pont a mag teljes szétesése kellett ahhoz, hogy valami közelebbit tudjunk mondani a Lovejoy magjának méretéről.

jelölés	átmérő	tömeg
C/1843 D1	16 km	$7,3 \times 10^{17}$ g
C/1880 C1	2	$2,0 \times 10^{15}$ g
C/1882 R1	62	$4,2 \times 10^{19}$ g
C/1945 X1	1	$3,9 \times 10^{14}$ g
C/1963 R1	27	$3,8 \times 10^{18}$ g
C/1965 S1	8	$1,2 \times 10^{17}$ g
C/1970 K1	2	$2,1 \times 10^{15}$ g
C/2011 W3	0,2	$1,0 \times 10^{12}$ g

A széteső porfelhő mérete, mozgása, alakjának és fényességének változása alapján ugyanis meg lehetett mondani, hogy a széthullás pillanatában mennyi anyagot tartalmazott a mag! Ezek azerint a széteséskor az üstökös tömege 10^{12} g, azaz egymillió tonna volt, ami az üstökösökre jellemző $0,3 \text{ g/cm}^3$ körüli sűrűséggel számolva 150–200 méteres átmérőt jelent. Bár a mag a szétesés előtt is veszített anyagából, annyit semmiképpen sem, hogy tartható legyen az a korábbi elképzelés, mely szerint egy 500 méternél kisebb napsúroló semmiképpen sem élheti túl napközelségét. A kapott átmérőt érdemes összehasonlítani a felszínről észlelt többi napsúroló korábban becsült méretével (saj-



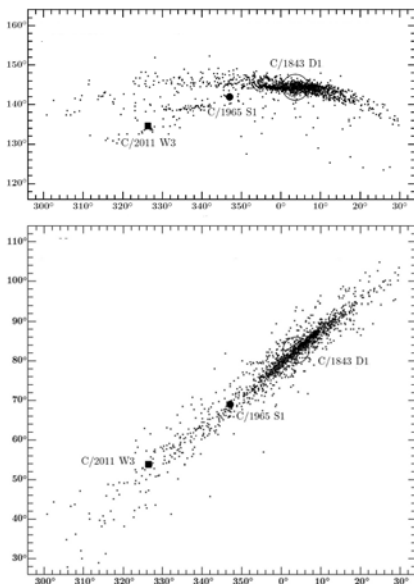
Dan Burbank felvétele 2011. december 22-én készült a Nemzetközi Űrállomásról. Alul a földi légkör rétegei láthatók (NASA)

nos pont az 1887-esről nincs ilyen adat), bár a mostani eredmények után a mellékelt táblázatban feltüntetett értékeket kellő óvatossággal kell kezelni.

A sivatagi vándor

Talán senki sem örült úgy a Lovejoy feltűnésének, mint Sekanina és Chodas, akik egy 2007-es cikkükben azt a jóslatot tették, hogy hamarosan egy újabb fényes napsúrolónak kell megjelennie, amely egy látványos üstökösökből álló csoport első tagja lesz. Reméljük, valóban így van, ám az első lelkesedés után érdemes megvizsgálni, hogy miként illeszkedik ez az üstökös a Kreutz-áramlat szerkezetébe. Valójában nem nagyon.

A napsúrolók pályaelemeinek szög jellegű adatai közel állnak egymáshoz, de a perihélium hossza 25 fokos, a felszálló csomó hossza 30 fokos, a pályahajlás pedig 8 fokos szórásért mutat. Az elszlás viszont nem véletlenszerű, egy adott perihélium-hosszúsághoz adott felszálló csomó tartozik, ami a pályasíkok



Több mint 1500 napsűrűlő üstökös pályaelemei alapján készült a fenti két ábra. A felső panel a pályahajlást, az alsó pedig a perihélium hosszúságát mutatja a felszálló csomó hosszúságának függvényében. Mindkét grafikonon bejelöltük az 1843-as, az 1965-ös és a Lovejoy-üstökös helyzetét

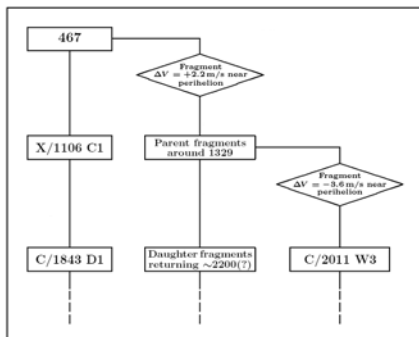
perturbációk miatti elfordulásából adódik. Az adatokat egymás függvényében ábrázolva szépen kirajzolódik a Kreutz-áramlat fő része, amely az 1843-as üstökös mentén a legsűrűbb. Részben emiatt gondolják úgy a szakemberek, hogy hiába az 1882-es és 1965-ös napsűrűlők voltak a legfényesebbek, a fő tömeget és az ő-üstökös pályaelemeit az 1843-as kométa reprezentálja. A mellékelt ábra felső részén jól látható, hogy a Lovejoy igencsak kilóg a sorból, bár kétségtelen, hogy egy kisebb sűrűsödés centrumában foglal helyet. Üstökösünket nem kíséri egy sűrűbb, törpe napsűrűlőkből álló felhő, amit elvárnánk, ha nagyobb darabok is közelednének. Bár az is lehet, hogy ez egy teljesen új mellékszáll a nagy áramlaton belül, amelynek az elejét, első képviselőit látjuk, és a jövőben egyre emelkedik majd a törmelékek száma.

Sekaninának természetesen emellett érvelnek, ám a származás pontos tisztázásához

meg kellett határozni a C/2011 W3 kerिंगési periódusát, ami a pályaelemek között a legbizonytalanabb, ezért a legtöbb megfigyelést igénylő paraméter. A már említett három szög jellegű adat a SOHO maximum két napos pályáivei alapján is jól meghatározható, a perihélium időpontját egy hét, perihélium-távolságot néhány hét után lehet belőni, az excentricitásra azonban (amely meghatározza a nagytengely hosszát, így a kerिंगési periódust) legalább egy-két hónapnyi megfigyelés után lehet mondani valamit, ha annyira elnyúlt ellipsziszekről beszélünk, mint a Kreutz-család tagjainál. Az excentricitás értékének ötödik tizedes jegyében bekövetkező változás 100 évvel változtatja meg a kerिंगési időt.

Az üstököst november 27-én fedezték fel, ám december 20-ára teljesen széteszlott a magja, a maradványt pedig láthatóan elsodorta a sugárnyomás, így nem volt meg a szükséges egy-két hónap a periódus meghatározásához. Sekanina és Chodas azonban kidolgozott egy teljesen új módszert, amelylyel a széteszlő csóva segítségével rekonstruálni tudták a meg elméleti helyzetét. A kulcs a csóva közepén látszó fényesebb, egyenes szál volt, amely a legnagyobb, 1–2 mm körüli porszemcséket tartalmazta. Ez a rész tartott ki legtovább, és megmutatta, hogy merre lenne a üstökös magja, ha nem esett volna szét. A fényes szál irányát kellett tehát minél pontosabban meghatározni, mégpedig azokon a felvételeken, amelyet Robert McNaught készített a Siding Springben felállított 52 cm-es Schmidt-teleszkóppal december 23-a és január 18-a között. Mivel az excentricitás kivételével a többi pályaelemet a perihélium előtti felszíni, illetve a műholdas felvételek alapján kellő pontossággal meg tudták határozni, csak ki kellett számolni, hogy különböző lehetséges excentricitásokkal hol látszana az üstökös magja a felvételek készítésének időpontjában. A lehetséges pozíciók egy egyenesen rajzoltak az égre. Ahol ez az egyenes, és az elsodródott fényes csóvaszál meghosszabbítása metszi egymást, ott kéne lennie a mának, ott van a helyes excentricitásérték. A kapott adatok alapján

ez 0,99993-nek adódott, ami a 0,00555 CSE-s perihélium-távolsággal kombinálva 698 ± 2 éves keringési periódust jelent.



A Lovejoy-üstökös családfája. Ezek szerinte egy második generációs törmelék volt, bár a napközelség környéki darabolódás mellett nagy naptávolságban is történnie kellett egy-két felbomlási eseménynek, hogy jelenlegi pályájára álljon

Ezek szerint legutóbb a XIV. században járt itt az üstökös, pontosabban a szülőégitest, melynek feldarabolódásával keletkezett a Lovejoy. Ez jó hír a szerzők számára, hiszen így az égitest nem kapcsolható közvetlenül a XI. vagy XIX. századi fényes napsúrolókhöz, így tartható az az elképzelés, hogy egy külön kis szál kezd aktivizálódni, amely a következő egy-két évszázadban több fényes napsúrolót ad majd. Elképzelésük szerint a szál eredete az őszüstökös V. századi napközelségére vezethető vissza, amely számításaik szerint a 467-ban kínai és bizánci csillagászok által megfigyelt, a fél égbolton átívelő, egyenes csóvát mutató üstökösnek feleltethető meg. A napközelség utáni órákban vagy napokban válhatott le az a fragmentum, amely a fő tömeghez képest $+2,2$ km/s-os sebességgel mozogva jó kétszáz évvel hosszabb keringési idejű pályára állt, így nem az 1100-as, hanem az 1300-as években tért vissza. Ekkor a Nap árapályereje ezt a fragmentumot is feldarabolta, melynek $-3,6$ km/s-os sebességet nyerő része immáron jóval rövidebb keringési idővel bírva 2011-ben porfelhővé hullva befejezte égi pályáját.

Az említett sebességek azért lényegesek, mert az égimechanikai számítások szerint a

Kreutz-féle napsúrolók árapály-darabolódásakor maximum ± 5 km/s sebességkülönbségre tehetnek szert az eredeti fragmentumhoz képest (a negatív sebesség csökkenti, a pozitív növeli a keringési időt). A $-3,6$ km/s pedig jól megfelel a legjobban lerövidült keringési időnek, vagyis az 1300-as években keletkezett, és évszázadokra széthúzódott törmelékfelhő elejének, a legkorábban visszatért maradványoknak. A történet tehát szép kereknek tűnik, most már csak azt kellene látnunk, hogy a következő években, évtizedekben valóban megérkeznek a hosszabb keringési idejű fragmentumok, és a 9. oldalon látható ábrán lassan benépesül a C/2011 W3 környékén látható napsúroló sivatag.

Sárneczky Krisztián

Üstökösészlelők találkozója Bakonybélben

Az idei gazdag üstökösjárásra való tekintettel észleléssel egybekötött találkozót szervezünk március 16-ára Bakonybélbe, a Pannon Csillagdába. Az időpontot a PANSTARRS-üstökös esti láthatóságához igazítottuk, így a szombat délelőtt 10:30-kor kezdődő előadások után reményeink szerint saját szemünkkel is láthatjuk a nyugati horizonton terpeszkedő üstökösöt. Akinek van kedve, maradhat éjszakára is, a faluban rengeteg szálláslehetőség található.

A délelőtti programban a 2013-as üstökösökről lesz szó, míg ebéd után az üstökösök DSLR észleléséről, fotometriájáról szeretnénk gyakorlati útmutatóval egybekötött workshopot tartani. Aki teheti, hozzon magával laptopot, melyre az IRIS és Photoshop programok feltelepítését javasoljuk. Az ülőhely és a díjmentes belépés érdekében kérjük a résztvevőket, hogy előzetesen jelezzék részvételi szándékukat Sárneczky Krisztiánnál, a sky@mcse.hu címen.