

AZ ISON-ÜSTÖKÖS A NAP ÁLDOZATA LETT

Sárneckzy Krisztián

MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet

Az elmúlt évtized legjobban várt, legtöbb reménnyel kecsegtető üstököse volt az ISON, amely végül nagy csalódást okozva nem élte túl tavaly november 28-i napközelségét. Szakmai szempontból persze sokat tanultunk tőle, ám a napközelsége után várt fenséges látványról le kellett mondanunk, pedig az északi féltekéről már 17 éve nem figyelhettünk meg igazán látványos üstököst.

Az üstököst *Vitalij Nyevszkij* fehérorosz és *Artyom Novicsonok* orosz amatőr csillagászok fedezték fel egy 40 cm-es távcső 2012. szeptember 21-i felvételein. Mivel a 19 magnitúdós égitest a képeken csillagszerűnek mutatkozott, kisbolygóként jelentették be, így amikor mások észlelései alapján kiderült, hogy valójában üstökös, már nem kaphatta meg a felfedezőik nevét. Ezért a Nemzetközi Csillagászati Unió szabályai alapján annak a nemzetközi programnak (International Scientific Optical Network – ISON) a rövidített nevét kapta, amelynek keretében az észak-kaukázusi régióban, Kiszlovodszk közelében található automata távcsövet üzemeltetik. Azóta már mindkét amatőr csillagász kárpótolta magát, sikerült olyan üstököst felfedezniük, amely megkaphatta nevüket.

Már az első pályaszámítások is arra utaltak, hogy az ISON minden idők egyik legkisebb perihélium-távolságú üstököse lehet, amit az archívumokból előkerült, jóval korábbi megfigyelések igazoltak. Kiderült, hogy a kisbolygókat kereső Mt. Lemmon Survey (MLS) és az égboltot térképező Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System (PanSTARRS) távcsövei már majd' egy évvel korábban, 2011/2012 telén lefotózták és azonosították is az akkor még 8,5 CSE távolságban járó, 20 magnitúdós égitestet, csak ezek a programok is kisbolygónak vélték, így nem tulajdonítottak neki nagyobb jelentőséget. Később a PanSTARRS képeinek átvizsgálásával egészen 2011 szeptemberéig sikerült visszakövetni az ekkor 9,4 CSE-re, vagyis majdnem a Szaturnusz távolságában járó, 21 magnitúdó fényességű üstökös halvány nyomát.

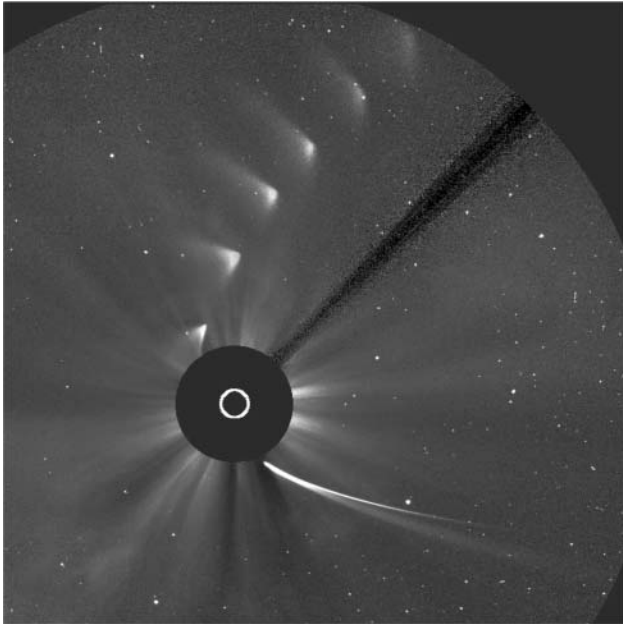
Ezek a korai megfigyelések egyrészt mutatták, hogy nem csak egy hirtelen felfényesedésről van szó, hanem tényleg egy stabil aktivitású üstökös érkezik hozzánk, másrészt azt sugallták, hogy a mag igen nagy átmérőjű, különben hogyan tudott volna ilyen nagy távolságban anyagot kibocsátani (egy átlagos, csupasz üstökös mag a Szaturnusz távolságában körülbelül 25-26 magnitúdós lenne). Az archív adatok alapján rövid idő alatt igen pontos pályá-

elemek álltak rendelkezésre. Ezek szerint az üstökös 2013. november 28-án este 9 óra körül 0,0125 CSE-re megközelítette a Napot, vagyis 1,2 millió km-rel haladt el a fotoszféra felett. A Kreutz-féle napsűrűlő üstökösöket kivéve – amelyek egyetlen korábbi égitest szétszóródott maradványai – csak egy olyan üstököst ismerünk, amely ennél is jobban megközelítette csillagunkat. Az 1680-as Nagy Üstökösről van szó, amely napközelsége idején szabad szemmel is látszott a nappali égen, majd távolodóban 90 fok hosszú, az esti égen látszó csóvával hívta fel magára a figyelmet. A hasonlóan kicsi napközelpont-távolságú üstökösök az erős napsugárzás miatt szinte mindig látványos, szabad szemmel is könnyen megfigyelhető égitestek voltak. Ilyenek pedig évszázadonként csak néhány alkalommal érkeznek a belső bolygók térségébe.

A napsugárzás persze halálos ellenségé is válhat, amennyiben az üstökös magja túl kicsi, vagy túl porózus. A Nap felszínétől 1,2 millió km-es távolságban az égitestek felszíne 2000-2500 °C-ra hevül, miközben csillagunk árapályereje is rendkívüli erőhatásokat gyakorol rájuk. A nagyobb napsűrűlő üstökösöknél többször figyelték már meg magjuk darabolódását, a kisebbeknél pedig a mag teljes szétesését. Korai és nagy távolságból történt felfedezése miatt azonban mindvégig reménykedtünk, hogy az ISON magja elegendően nagy a pokoli körülmények túléléséhez. Egyetlen zavaró tényező azonban akadt: az üstökös keringési ideje. A számítások szerint az üstökös pályája a bolygórendszer elérése előtt rendkívül közel állt a parabolához, formális keringési ideje 10-15 millió év volt. Ez alapján most először látogatott hozzánk az Oort-felhőből, ezek az üstökösök pedig sok borsot törtek az orruk alá az elmúlt években. Mivel még sosem jártak napközelpont közelében, felszínük gazdag illó anyagokban, így már ezek nagy naptávolságban elkezdnek szublimálni, főleg az alacsony olvadáspontú CO és CO₂. A mai, nagy látómezejű és érzékeny távcső-

1. ábra. Ezt a különleges felvételt a Nap körül keringő egyik STEREO űrszonda készítette 2013. november 23-án. A képen a perihéliuma előtt öt nappal járó ISON mellett otthonunk is látható, az ISON feje és a bolygónk erős fénye okozta túlsordulás között pedig egy másik híres üstökös, a 2P/Encke is látszik (NASA).





2. ábra. A SOHO napkutató szonda 2013. november 28-a és 30-a között készült felvételein nyomon követhető az üstökös pusztulása. A napközelség előtti órákban még egy szép, hosszú csóvás üstökös látszik a képeken a Naptól délre, a perihélium után viszont már csak a felbomlás nyomán keletkezett porfelhő lassú oszlását és halványodását figyelhetjük meg (ESA/NASA).

vekkal korán, évekkal a napközelség előtt felfedezik ezeket, később azonban nem fényesednek olyan ütemben, ahogyan azt régebben, sokkal kisebb naptávolságokban megtalált üstökösöknél megszokhattuk. Úgymond túl hamar csúcsra jár az aktivitásuk, a szokatlanul nagy fényesség miatt pedig túl optimista előrejelzéseket készítünk. A pályaelemek és az elmúlt évek tapasztalatai alapján az ISON-nál is számoltunk a fényesedés lassulásával, de mindenki úgy volt vele, hogy a -10 magnitúdó helyett legfeljebb majd csak -5 magnitúdós lesz.

A felfedezés utáni hónapok még gond nélkül teltek, az üstökös a várakozásnak megfelelően fényesedett, így 2013 elején a NASA kampányt indított az ISON észlelésére. A sors szeszélye, hogy éppen 2013 januárjától kezdtek mutatkozni az első aggasztó jelek. Az üstökös fényesedése megtorpant, majd halványodásba kezdett, holott közeledett a Naphoz. Ekkor még azzal vigasztaltuk magunkat, hogy legfeljebb nem lesz telehold fényességű a napközelség idején, a -5 magnitúdó is nagyon szép, ahogy azt 2007 elején a McNaught-üstökös nappali észleléseinél már megtapasztalhattuk. Tavasz végén azután ismét beindult az aktivitás, ám az üstökös hamarosan együttállásba került a Nappal, így csak augusztus végétől láthattuk újra. Ekkor megint fényesedőben volt, majd szeptemberben ismét beragadt. Ez az egyenetlen fényesedés is tipikusan a kis méretű, idővel széteső üstökösök sajátja, de még a szakemberek többsége is a nagy naptávolságban megfigyelt aktivitással nyugtatta magát. Az nem lehet, hogy egy kisméretű üstökös mag már a Szaturnusz távolságában is észlelhető legyen...

Pedig pontosan ez volt a helyzet. A Nap felé közeledő üstökös október 1-jén 10,8 millió km-re megközelítette a Marsot, remek észlelési alkalmat kínálva az ott dolgozó űrszondáknak. A vörös bolygó körüli pályáról készített felvételek elemzése megmutatta, hogy az ISON magja nem nagyobb 1 km-nél, ami még az üstökösök között is kicsinek számít, ám az elemzésekkel sajnos csak a napközelség után készültek el, amikor már egyértelmű volt: az üstökös nem élte túl napközelségét. Korábban csak a Hubble-űrtávcső tavaszi mérései álltak rendelkezésünkre, amelyek 1-5 km-re tették a mag átmérőjét, ami esetünkben nagyon bizonytalan mérésnek számít, hiszen az üstökösöknél az 1 km-es és az 5 km-es két külön kategória. Végül – sajnos – a legkisebb méret bizonyult igaznak, pedig az ISON sokáig hitegetett bennünket. Még azután is erőre kapott néhány órára, hogy a napközelség óráiban teljesen széteszlani látszott. Rengetegen szurkoltak neki a világhálón, a hazai levelezőlisták és közösségi oldalak használói is egyként sóhajtottak fel, amikor a napkutató szondák koronagráfjain ismét feltűnt az elpárologni látszó üstökös. Sajnos ez csak egy gyenge porfelhő volt, az üstökös teljesen feldarabolódott magjának maradványa – belső utánpótlás hiányában – néhány nap alatt teljesen széteszlott.

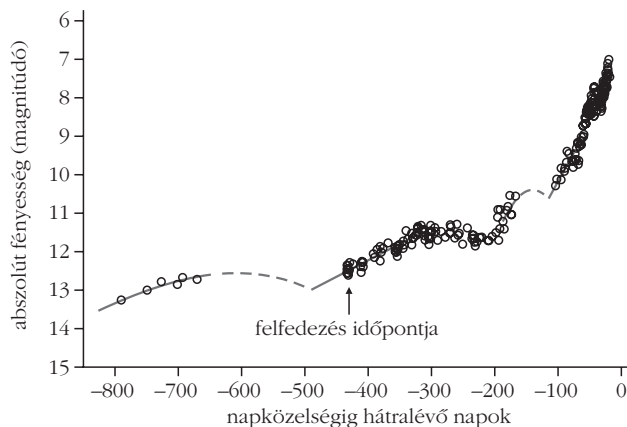
A SOHO napkutató szonda által a napközelség során készült felvételek alapján az is kiderült, hogy nem csak a Szaturnusz, de már az Uránusz távolságában is aktív volt, amit közeledő kométáknál még sohasem sikerült kimutatni. Ezt minden bizonnyal más üstökösök is megteszik, de megfigyeléséhez az kellett, hogy az ISON ennyire megközelítse a Napot, és porösvénye szokatlan mértékben kifényesedjen. Az üstökös mag maradványa már régen távolodott a Naptól, amikor a pálya mentén található és a fejtől lemaradt por még mindig fénylett a napközelség előtti szakaszon. Az ISON a Naprendszer keletkezése óta először látogatott a Nap közelébe, ezért magja illékony anyagokban gazdag volt, így nagy távolságban is jelentős aktivitást mutatott, ami meglepettette a szakembereket. Kis mérete miatt nem tudta tartani aktivitását, néhány kitöréstől eltekintve egyre lassabban fényesedett, majd a Nap közelében végleg széteszlott (1–2. ábra).

Az ISON láthatósága során tapasztalt fényesedő szakaszok közül a koraiakat a magban található illékony anyagok szublimációjának beindulása okozta. A távoli aktivitásért a CO és CO₂ okolható, a nyári együttállás után pedig a H₂O vezérelte a fényesedést, ám a kicsi mag miatt hamar kifogytak a gáztartalékok, így mindkét esetben elhalványodás vagy stagnálás következett (3. ábra). A napközelség előtti két hétben tapasztalt kitöréseket már inkább a mag kezdődő felbomlása, darabolódása okozta, amire a kóma szerkezetében a Nap felőli oldalon mutatkozó szárnyak vagy bajszok utaltak.

Tapasztalataink alapján nem csak a mag kis mérete okolható a felbomlásért, ehhez porózus, gyengén kötött szerkezete is kellett, hiszen 2011-ben a Lovejoy-üstökös úgy is túlélte kisebb távolságú napközelségét,

hogy mérete nem haladta meg az 500 métert. A Lovejoy a már említett Kreutz-féle napsúrolók közé tartozott, így korábban is járt igen közel a Naphoz. Mivel akkor nem semmisült meg, eleve szilárd belső szerkezettel bírt, felszíne pedig már keményre éghetett. Így fordulhatott elő, hogy a Lovejoy két héttel a napközelség előtt még csak 14-15 magnitúdós volt, amit az ISON már legalább fél évvel korábban elért. Mégis, a napközelségük előtti órákban nagyjából ugyanolyan fényesek voltak, a Lovejoy magja pedig a perihélium után további 2-3 napig bírta, míg nem az árapályerők okozta szerkezeti gyengülések miatt végleg szétoszlott.

Az ISON-üstökös végül nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, ám utolsó óráit emberek milliói kísérték figyelemmel az interneten keresztül, és amikor már a szétesés jeleit mutatta, rengetegen szurkoltak neki, hogy túlélje a Nap tüzes poklát. Igazi globális közösemény volt az ISON napközelsége, amely nagyszámú, a csillagászathoz gyengén kötődő, abban kevésbé járatos érdeklődőt is megmozgatott. Szakmai szempontból rendkívül hasznos volt az üstökös, sokat tanultunk és tapasztaltunk az Oort-felhőből érkező és a napsúroló üstökösökről is, miközben a műkedvelők és ér-



3. ábra. Az üstökös abszolút fényességének változása 2011. szeptember 30-a és 2013. november 10-e között. A hullámzó fényesedés a kisméretű, az Oort-felhőből először érkező üstökösök sajátja (Z. Sekanina, 2013).

deklődők számára kétségkívül komoly csalódást jelentett a fél eget átszelő, vagy legalább 10-20 fokos csóva elmaradása. Valahol azonban már biztosan közeledik felénk a következő, tényleg nagy látványt nyújtó üstökös, csak ki kell várnunk az érkezését.

NEGYEDIK GENERÁCIÓS REAKTOROK

Keresztúri András, Pataki István, Tóta Ádám

MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Reaktoranalízis Laboratórium

2000-ben az Egyesült Államok kormányának kezdeményezésére létrejött a Generation-IV International Forum (GIF) olyan új típusú, negyedik generációs atomerőművek nemzetközi együttműködésben történő kifejlesztésére, amelyek az akkori elképzelések szerint 2025-2030 körül állhatnak majd üzembe. Azóta közel 14 év telt el. Emiatt – a jelenlegi típusok felváltásának szükségességén, a kitűzött célokon, az egyes típusok egymáshoz viszonyított előnyeinek és hátrányainak értékelésén túl – célszerű áttekinteni az eddigi vizsgálatok tükrében azokat a felmerülő problémákat is, amelyek további elemzéseket, újításokat, fejlesztéseket tesznek szükségessé, és amelyek időben történő megoldásának hiánya esetleg megakadályozhatja egy-egy típus ipari alkalmazását a GIF által megjelölt időpontig. Az áttekintés a [2] és [3] publikációk felhasználásával történt.

Az atomerőművek eddig megvalósult és az építés befejezése előtt álló generációi

Az első generációs erőművek az 1950–60-as években jöttek létre. Ezek korai prototípusok, amelyeket gyakran nagy bonyolultság és időnként a biztonságot is érintő módosításokat igénylő megoldások jellemezték. Ilyen reaktorok a következők:

- Egyesült Államok: „Shippingport” nyomottvizes (PWR) típus, az energiatermelés mellett feladata a hasadóképes ^{235}U tórium alapú tenyésztése is; „Dresden” nyomott vizes típus; „Fermi I” szaporító gyors spektrumú reaktor,
- Nagy-Britannia: „Magnox2” (CO_2 hűtésű), grafitmoderálás, természetes urán hasadóanyag,
- Szovjetunió: „VVER-440/230” típusú atomerőművek.

A második generációs erőművek a ma működő, az 1970–1990 években épített, kereskedelmi típusok, amelyek kifejlesztése során felhasználták az első generációs tapasztalatokat:

- PWR (nyomottvizes), BWR (forralóvizes), CANDU (csöves nyomottvizes) a nyugati országokban,
- VVER- és RBMK-típusú könnyűvizes reaktorok a Szovjetunióban kifejlesztve,
- HTGR: nagy hőmérsékletű, gázhűtéses reaktor,
- AGR: javított grafitmoderálású, gázhűtéses reaktor,
- Magnox: grafitmoderálású, gázhűtéses reaktor.

A csernobili atomerőmű (RBMK-típus) balesete után az újabb, második generációs erőművek létrehozásában egy rövidebb szünet következett be, amit azonban kihasználtak a még újabb, a harmadik generációs típusok kifejlesztésére, amelyek jellemzői a következőkben foglalhatók össze: