

## ÜSTÖKÖSPROJEKT KÉT BUDAPESTI GIMNÁZIUMBAN

Gócz Éva – Lónyay Utcai Református Gimnázium és Kollégium  
Horváth Zsuzsa – Kosztolányi Dezső Gimnázium

Az üstökösök ritka égi jelenségnek számítanak az átlagember számára, pedig üstökösök mindig vannak az égbolton. Megfigyelésükhöz általában (nagy) távcsövekre vagy űrtávcsövekre van szükség. Szabad szemmel csak akkor látunk üstököst, ha némelyikük közel kerül a Naphoz és a Földhöz is, és ez valóban ritkán történik meg. 2013 ilyen szempontból különleges évnak számított, több üstökös is járt a közelünkben, köztük olyanok is, amelyek fényessége távcső nélkül is észlelhető. Ezek között is kiemelt várakozás kísérte a decemberre várt ISON-üstököst, amelyről a csillagászok feltételezték, hogy rendkívüli fényessége miatt különleges élményt jelent majd minden érdeklődő számára.

A média talán még a csillagászkét is meghaladó, felfokozott figyelemmel várta és kürtölte szét az égi szenzációt. Néhány hangzatos cím a sok közül: Az üstökös, ami nagyon közel lesz a bolygóhoz,<sup>1</sup> Napi 50 millió kiló port okád az ISON-üstökös,<sup>2</sup> Már a Föld pályáján belül az ISON-üstökös,<sup>3</sup> A Föld felé száguld a szuperüstökös.<sup>4</sup>

A különlegesnek ígérkező eseményre a 2013-as Fizika Tanári Ankétan *Nyerges Gyula: Az évszázad üstököse!?* című érdekes előadása hívta fel a figyelmünket. Ekkor született az ötlet, hogy a szeptemberben induló új tanévben *Üstökösök éve – 2013* című fakultatív rendezvénysorozatot indítunk két budapesti nyolcosztályos gimnázium – a Lónyay Utcai Református Gimnázium és Kollégium és a Kosztolányi Dezső Gimnázium – diákjai számára. Reméltük, hogy a program során nemcsak az üstökösökről szereznek hiteles elméleti ismereteket a diákok, de az ISON-üstökös megfigyelésével igazi csillagászati élményben is részüket lesz. Természetesen azt is fontosnak tartottuk, hogy az üstökösökkel foglalkozva felkeltjük érdeklődésüket általában a fizika iránt. A programot mindkét iskolában szeptemberben, korhatár nél-

kül hirdettük meg, így mindkét iskolából alsó és felső évfolyamokból egyaránt szép számmal voltak érdeklődő jelentkezők.

### Mit tud egy átlagos diák az üstökösökről?

Az üstökösprojekt bevezetőjeként igyekeztünk felmérni, mit tudnak tanulóink a témáról. A „kicsik” rajzoló feladatot kaptak: azt kellett megrajzolniuk/megfesteniük, milyennek képzelik az üstökösöket. A közel száz elkészült rajz jelezte, hogy a kisdíjakok elképzelései nem terjedtek túl a bulvármédia információin. A fentebb idézett médiacímekkel összhangban a rajzok színes üstökösei is becsapódással fenyegetve száguldanak a Föld felé, csóvájuk pedig a Nap irányába mutat (1. ábra).

A nagyobb diákoktól legalább elemi szintű konkrét tudást vártunk. Tájékozottságukat kérdőíves módszerrel mértük fel. Megkérdeztük láttak-e már üstököst? Mekkora és milyen anyagból állnak az üstökösök? Miért van csóvája az üstökösnek, miből áll és milyen sűrű lehet a csóva? Honnan származnak a Naprendszer belsejében és így a Föld közelében megjelenő üstökösök? stb.

A kapott válaszokból kitűnt a diákok többségének teljes tájékozatlansága a témában. Talán nem tanulság nélküli néhány tipikus választ meglemlítenünk.

A megkérdezettek közül üstököst az égen valójában még senki nem látott – az 1996 tavaszán fénylő Hyakutake- (melyről a Fizikai Szemle az év augusztusi számában jelent meg címlapkép), majd az 1997-ben ragyogó Hale-Bopp-üstökösre (címlapon 2005 decemberében) már csak a felnőttek emlékeznek –, sokan összekeverték az üstököst a meteorhullással. Az üstökösök méretére és anyagára vonatkozóan a legkülönbözőbb válaszok érkeztek a néhány méteres

1. ábra. Üstökösöket mutató gyerekrajzok a program kezdetén.

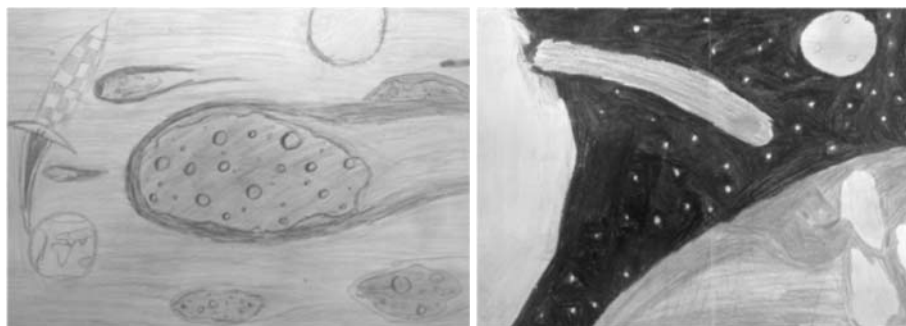
A szerzők, akik az ELTE Fizika Doktori Iskola Fizika Tanítása Program hallgatói köszönetet mondanak *Érdi Bálintnak*, *Jubász Andrásnak* és *Tél Tamásnak* (mindhárman az ELTE oktatói), hogy tanácsaikkal segítették cikkük megírását. Programjaik a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0030 számú projekt keretében, illetve iskoláik támogatásával valósulhattak meg.

<sup>1</sup> mno.hu

<sup>2</sup> index.hu

<sup>3</sup> www.origo.hu

<sup>4</sup> www.origo.hu



nagyságtól („egy szekrényhez hasonló méretű”) egészen a Nap méretének negyedéig. Az üstökösök anyagára legtöbbször kőzetet írtak – jégről, gázokról senki nem tett említést. Rákérdeztünk arra is, hogy veszélyesek-e az üstökösök? Erre legtöbbször igennel válaszoltak és azt a Földdel történő esetleges ütközéssel magyarázták.

## Az üstökösprojekt programja

A program iránt érdeklődők nagy száma és a kiinduló tudásfelmérésben tükröződő tudatlanság igazolta, hogy az üstökösök feldolgozása szerencsés témaválasztás volt. Ezután minden figyelmünket a program megvalósítására koncentráltuk. A foglalkozásokat úgy terveztük meg, hogy legyenek nagy közös rendezvények, kiscsoportos iskolai beszélgetések, és végül szeretnénk volna, ha a projektet az ISON-üstökös közvetlen megfigyelésének élménye zárja le.

A közös rendezvények közül elsőként a Planetáriumban tett látogatást, az üstökösökről itt elhangzott előadásokat és a vetített látványos bemutatót kell kiemelni. A munka ezután az iskolákban külön kisebb csoportokban folytatódott, elsősorban a Planetáriumban látottak, hallottak részletes megbeszélésével, csoportos feldolgozásával. A foglalkozásokra a diákok igyekeztek maguk is utánanézni az üstökösökkel kapcsolatos érdekességeknek, aktuális híreknek. Fontos szempont volt az üstökös kutatás történeti bemutatása.

Meghatározó rendezvényünk volt a két iskola közös projektnapja, amit a Lónyay Utcai Református Gimnáziumban tartottunk. Meghallgattuk két meghívott tudós vendégünk előadását. *Lukács Béla* (MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont) *Üstökösök, avagy a látható semmik* címmel tartott izgalmas előadást, amiben történeti áttekintés keretében hallhattunk érdekesebb üstökösökről, majd egy rövid összefoglalást az üstökösökkel kapcsolatos legfontosabb tudnivalókról. *Vizi Pál Gábor* (MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont) *Az égi anyagok* című előadása az üstökös megfigyelő őrszondák érdekességeinek bemutatásával indult, majd az előadó meteoritkereső kalandjairól hallottunk élménybeszámolót.

A projektnap fő attrakciója a valósághoz hasonlatos üstökösmodell közös elkészítése volt. Az előadások szünetében klubszerű beszélgetés, játékos üstökös-puzzle és kvíz<sup>5</sup> tette változatossá a programot. A kvíz eredménye egyúttal azt is megmutatta, hogy programunk nem volt hiábavaló, az induláskor meglehetősen tudatlan diákjaink a végére biztosan többet tudtak az üstökösökről, mint akár az egyetemisták átlaga.

A projekt záró programja, amitől az igazi nagy élményt reméltük, sajnos elmaradt. Az „évszázad üstököséként” várt ISON-üstökös a Nap közelében elhalad-

va gyakorlatilag megsemmisült, mielőtt a Földről szabad szemmel is megfigyelhető lett volna [1]. A közvetlen élmény helyett meg kellett elégednünk az ISON-ról készült csillagászati felvételekkel és a megsemmisüléséről az interneten megtekintett videóval.

A következőkben a projekt során az üstökösökről szerzett ismereteket és az „élethű” üstökösmodell elkészítését foglaljuk össze, remélve, hogy segítséget és kedvet adunk más iskolák tanárainak és diákjainak hasonló programokhoz.

## Amit az üstökösökről megtanultunk

### *Mióta tudjuk, hogy az üstökösök égitestek?*

A szabad szemmel is látható üstökösök minden korban kiváltották az emberek csodálatát, a régi időkben félelmüket is. A félelem természetesen az üstökösök ismeretének teljes hiányából fakadt. Amíg egyes égi jelenségeket már megszoktak, sőt előre jelezni is tudták bekövetkezésüket (például a napfogyatkozásokat már az ókorban is), az üstökösök előre kiszámíthatatlanul, váratlanul jelentek meg, majd tűntek el rövid idő után az égboltról. Érdekes módon az üstökösöket ötszáz éve még a tudósok többsége légköri fényjelenségnek vélte az arisztotelészi elgondolás szerint.

*Tycho Brahe* (1546–1601) megfigyelései és mérései alapján már sajátos égitesteknek tartotta az üstökösöket. Megvizsgálta az 1577. évi nagy üstökös helyzetét, és mivel nem tudta a parallaxisát<sup>6</sup> kimutatni, a Holdtól messzebb levőnek találta, és ezért a „távoli égi világba” sorolta. Brahe még két üstökösöt (1585-ben és 1590-ben) figyelt meg, és végzett helyzetükre vonatkozó méréseket. Ezek a mérések is megerősítették meggyőződését, hogy az üstökösök égitestek. Csillagász kortársai azonban nehezen változtatták meg nézetüket a kométákkal kapcsolatosan. Még *Galileo Galilei* sem hitte el, hogy az üstökösök égitestek, hanem légköri fényjelenségeknek tartotta őket [2].

### *Az üstökösök pályája*

Mivel egy üstökösöt csak rövid ideig lehet megfigyelni az égbolton, a kevés mérési adat alapján nem volt egyszerű meghatározni az üstökösök pályáját. *Kepler* (1571–1630), aki a bolygók mozgását helyesen írta le három törvényével, az üstökösökről még úgy gondolta, hogy azok egyenes vonalú mozgást végeznek. *Isaac Newton* (1643–1727) az általa felismert gravitációs erőtvényéből arra következtetett, hogy miként minden Nap közelében mozgó égitest, így az üstökösök is kúpszelet (általában ellipszis vagy parabola) pályán kell, hogy mozogjanak. *Edmund Halley* (1656–1742) korábbi üstökösök pályadatait tanulmányozva a 18. század elején igazolta, hogy vannak visz-

<sup>5</sup> A kvíz kérdéseit és a megoldásokat a cikk internetes változatának függelékében, <http://fiztan.phd.elte.hu/nyilt/hallgatoi.html> mutatjuk be.

<sup>6</sup> A napi parallaxis jelenségének oka az, hogy a Föld felszínén elhelyezkedő megfigyelő a közelebbi égitesteket más és más irányokból látja (a Holdnak a legnagyobb a horizontális napi parallaxiszöge).



2. ábra. A Biela-üstökös 1846 februárjában, nem sokkal azután, hogy magja két darabra esett szét.

szatéró, elnyújtott ellipszis pályán mozgó üstökösök. A később róla elnevezett üstökös periódusidejét és így a következő megjelenése időpontját is kiszámolta. Az üstökös a megadott időben visszatért, de ezt a csillagász már nem élhette meg. A későbbiekben kiszámolt pályákon az egyre nagyobb távcsövek segítségével a nagyon halvány üstökösöket is sikerült megtalálni, és távolodásukat egyre tovább nyomon követni [2].

#### Az üstökös magja és csóvája

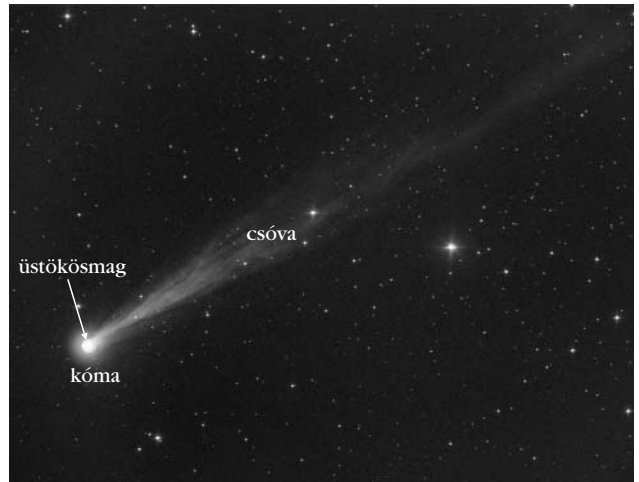
Az üstökös látványának értelmezéséhez az első lépést a csóva irányának megfigyelése jelentette. Megfigyelték, hogy az üstökös csóvája mindig a Nappal ellentétes irányban áll. (Ez akkor a legmeglepőbb, amikor az üstökös a Naptól távolodik, hiszen ekkor a csóva halad elől.) Észrevették, hogy a csóva Nap felőli kezdőpontja egyfajta fényes „mag”, aminek fényessége azonban változhat. 1846-ban a Biela-üstökös magja láthatóan darabokra esett szét (2. ábra). Megfigyeltek olyan (napsúroló<sup>7</sup>) üstökösöket, amelyek napközben „szétporlaktak”, de voltak olyanok is, amelyek „túléltek” a Nap közelségét, és távolodva tőle vált igazán látványossá csóvájuk. Fokozatosan elfogadottá vált, hogy az üstökös egy viszonylag kis kiterjedésű magból, az azt körülvevő „kómából” és a mindig a Nappal ellentétes oldalon megfigyelhető, hosszan elhúzódó csóvából áll (3. ábra).

#### Az üstökösök anyaga

Az üstökösök anyagi összetételéről a 19. század közepétől vannak spektroszkópiai mérésekből származó adataink. Ezek fontos információt adtak a csóva és a kóma anyagáról, de a mag mibenlétére a csillagásznak hosszú ideig csak feltevéseik, sejtéseik voltak. Az üstökös mag erős szublimációjára és anyagkiáramlásaira koncentrálna a csillagászok többsége több darabból összeállt testnek, egyesek jeges porszemcsékből álló kondenzátumnak gondolták a magot. A laza szerkezetű mag modelljével szemben súlyos ellenérv volt, hogy egy ilyen mag nem élhetné túl a Nap közelségét, pedig ezt több megfigyelés is bizonyította.

A múlt század közepén alkotta meg *Fred Lawrence Whipple* (1906–2004) az üstökös magok „piszkos hó-

<sup>7</sup> A napsúroló üstökösök nagyon közel, sokszor csak pár százezer kilométerre haladnak el a Nap felszínétől.



3. ábra. Az üstökös<sup>8</sup> részei.

golyó” modelljét. Eszerint a mag egyetlen anyagdarabbá erősen összefagyott, szilárd, döntően vízjeget tartalmazó test. A Nap sugárzása a mag felszíni rétegét felmelegíti, elporlasztja, így a magból folyamatosan gáz és por áramlik ki, hol gyorsítva, hol fékezve az üstökös mag mozgását (forgását és kis mértékben keringését is). A Halley-üstökös közelében elhaladó űrszondák 1986-ban megerősítették a magról alkotott elképzeléseket. A Deep Impact űrszonda Tempel 1-üstökössel 2006-ban történt találkozása óta az üstökös magjáról alkotott kép némileg módosult. Az űrszonda egy becsapódó egységet lőtt az üstökös magba, és az így kirobbantott anyag összetételét vizsgálta. Az eredmények szerint a mag porózus szerkezetű (átlagos sűrűsége mintegy  $0,6 \text{ g/cm}^3$ ), és a magban a korábban feltételezettnél jóval nagyobb volt a por aránya és kevesebb a jég. Az új modellt „jeges porlabda” elnevezéssel emlegetik, egyszerre utalva az anyagösszetétel – a korábbi elképzeléshez képest megváltozott – arányaira és a szilárd mag porózus szerkezetére is [3].

#### Honnan jönnek és hova mennek az időnként a Föld közelébe kerülő üstökösök?

Az üstökösök származási helyéről a 20. század közepén születtek elfogadható feltételezések. *Gerard Kuiper* (1905–1973) és *Kenneth Edgeworth* (1880–1972) úgy gondolta, hogy a rövid (200 évnél kisebb) periódusú üstökösök pályái a Naptól 40-100 Cs<sup>9</sup> távolságban lévő Kuiper-övig terjednek. *Jan Oort* (1900–1992) szerint a hosszú periódusú üstökösök a Naprendszer külső tartományában (100-100 000 CsE távolságban), a róla elnevezett Oort-felhőben keringenek, mielőtt egy közeli csillag hatására a Naprendszer belső vidékébe lökődnének [4]. Nem zárhatjuk ki a csillagközi térből származó üstökösök létét sem.

<sup>8</sup> A SWAN-üstökös, *Michael Jäger* és *Gerald Rhemann* felvétele 2006. október 4-én a nap csillagászati fényképe volt.

<sup>9</sup> 1 CsE (csillagászati egység) a Föld és a Nap átlagos távolsága, körülbelül 150 millió km.

## *Jelentenek-e veszélyt Földünkre a Naprendszer üstökösei?*

Az augusztusi égen gyakran megfigyelhető „hullócsillagok”, ha pillanatszerűen is, de mutatnak látvány-hasonlóságot az üstökösökkel. Az aggodalmaskodó kérdésekre a tudomány nem adhat egy esetleges katasztrofális ütközést biztosan kizáró választ. 1994-ben például megfigyelték, ahogy a Shoemaker–Levy 9-üstökös a Jupiter bolygóba csapódott, és ennek nyomai még a becsapódás után is hosszan látszottak. Azt azonban állíthatjuk, hogy a Föld és egy üstökös hasonló találkozásának valószínűsége nagyon-nagyon kicsi. Ennek ellenére a csillagászok szervezeten és folyamatosan figyelik a Föld környezetébe kerülő égi objektumok, aszteroidák és természetesen az üstökösök mozgását is, és többféle megoldást is találtak egy esetleges ütközés elkerülésére.

### *Napjaink üstökösmegfigyelései*

Az üstökösök kutatásában – a csillagászat több más területéhez hasonlóan – nagy előrelépést hoztak az elmúlt évtizedek űrszondás megfigyelései. A SOHO űrtávcső például 1995-ös fellövése óta több mint kétezer (napsúroló) üstökösöt fedezett fel. Ennek jelentősége jól érzékelhető, ha azt nézzük, hogy 1978-ig összesen 1027 üstökösöt katalogizáltak, és ha ezek között a visszatérőket csak egyszer számítjuk, a korábban megfigyelt üstökösök száma 658-ra csökken [2].

A déli Föld-féltekén az elmúlt években két igen fényes üstökös is megfigyelhető volt, a McNaught (–5 magnitúdós<sup>10</sup>) üstökösöt 2007-ben, míg a Lovejoy (C2011 W3, –3 magnitúdós) üstökösöt 2011-ben csodálhatták meg az ott lakók. Az említett üstökösök fényességét érzékelhetjük, ha összehasonlítjuk a telihold körülbelül –13, a Vénusz –4, a Szíriusz –1 magnitúdós fényességével, és figyelembe vesszük, hogy a szabadszemes észlelés határa körülbelül +6 magnitúdó. Különösen fényes üstökösökről régi időkben is tudunk. Így például a korabeli források 1680-ban és 1744-ben is beszámolnak a nappali égbolton is látható üstökösökről. A valaha megfigyelt és hitelesen leírt üstökösök közül a legfényesebb az 1882-es évi „nagy üstökös” lehetett, aminek fényességét –15 magnitúdósra valószínűsítik a csillagászok. Legutóbb 1965-ben a napsúroló Ikeya–Seki-üstökös látszott a nappali égbolton is –10 magnitúdós fényességével.

## Üstökösmodell készítése az iskolában

Az üstökösökről tudományos előadásokat hallgatunk, bemutatókat nézünk végig. Úgy gondoltuk azonban mindezek után sem felesleges, ha diákjaink legalább egy kicsinyített modellen közvetlenül is ta-

pasztalják az üstökösjelenséget: megtapogathatják a fagyott magot, és láthatják az üstökös csóváját.

A modellüstökös magját a tudományos anyagösszetétel szerint igyekeztünk megkeverni. A valódi üstökösök magja vízzel együtt összefagyott porszerű anyagokból (legnagyobb hányadban szilikátokból) és a fagyott anyag közti pórusokba bezáródott gázokból áll. Az elkészített modell tömegének döntő részét szilícium-dioxid (körülbelül egy pohárnyi homok) és 1-1,5 liter csapvíz alkotta. A tudományos hűség és a játék kedvéért minden olyan anyagot igyekeztünk belekeverni üstökösünk magjába, amikhez hasonlókat a tudományos vizsgálatok a valóságban is kimutattak. Így a szulfidok képviselésében kevés elporított vasszulfidot, ammóniaként 1-2 ml szalmiákszeszt kevertünk az anyagba. A kimutatott szénvegyületek képviselésében vörösbort, kevés keményítőt adtunk hozzá, az erőteljesebb párolgás (csóvaképződés) reményében, pedig alkoholt.

Az üstökösök magok a Naprendszer legsötétebb, legfényelnyelőbb anyagai. A fényvisszaverő képességük tipikusan 2-4% között van. Ezt az értéket az általunk készített modell esetében por alakú aktív szén hozzáadásával értük el.

A fenti anyagokat 5 literes műanyagtálba helyeztünk vastag szemeteszsákba öntöttük és a vízzel masszává kevertük. Hátra volt még az üstökösök mag „összefagyasztása”, lehetőleg úgy, hogy a keménnyé fagyott jég és por gázokat is tartalmazzon. A megoldást a „szárazjég” jelentette. A kereskedelemben beszerezhető szárazjég (szilárd széndioxid) hőmérséklete –78,5 °C, ezen a hőmérsékleten a szilárd anyag szublimál, azaz belőle közvetlenül CO<sub>2</sub> gáz fejlődik, miközben hőt von el környezetéből. A műanyagzsákban előkészített anyagmasszához körülbelül 1,5-2 kg granulált (a kereskedelemben legkisebb méretben kapható) szárazjeget kevertünk és az egészet vastag, jól szigetelő műanyagkesztyűt húzva gyorsan egybegyűrtük és egy hosszabb fapálcára nyomkodtuk. A kísérlet ezen fázisa valódi látványosság. Miközben a képlékeny anyagmasszát a víz összefagyasztja, az elpárolgó széndioxid egy része gázbuborékok formájában bezáródik az anyagba, a széndioxid másik része elkeveredik a környező levegővel és azt annyira lehűti, hogy a levegő páratartalma füstszerű látványt adva kicsapódik. Üstökösünk magja néhány perc alatt elkészült, azaz csontkemény tömbként ráfagyott a fapálcára, amivel azután kiemeltük és a levegőben tartottuk.

Az így elkészített fagyott sárgolyó valóság-hű modellje az üstökösök tudományos elképzelésének. Az üstököshöz azonban a magon túl a jellegzetes csóva is hozzátartozik. Modellüstökösünk csóvája is láthatóvá tehető, ez azonban csak látványában nyújt hasonlóságot, a különbségek lényegesebbek. A valódi üstökös csóváját a magból a napsugárzás hatására leváló por és gázok alkotják, amit a napszél terel át a mag Nappal ellentétes oldalára. Modellünk esetén a „csóvát” egyszerű köd alkotja. Az apró vízcseppek szórják a fényt, ezért a ködcsóva különösen oldalról megvilágítva látható jól. Ha a magot nyugalomban tartjuk a

<sup>10</sup> Magnitúdó: az égitestek fényességének meghatározására használt, a fény intenzitásának logaritmusával arányos skála mértékegysége. Egy magnitúdó különbség 2,5-szeres fényintenzitás-aránynak felel meg. A magnitúdóskála fordított, azaz minél kisebb a magnitúdó értéke, annál fényesebb az objektum [7].

levegőben, a csóva függőlegesen lefelé irányul, ahogy a nagyobb sűrűségű hideg levegő „lefolyik” a magról, vízszintesen húzva a magot a levegőben, a ködcsóvát a „menetszél” a mag mögé tereli. Modellüstökösünk látványát – kis ügyeskedéssel – a valódiéhoz hasonlóvá tehetjük. A Nap hatását helyettesítsük egy erős fényű lámpával és egy mellette elhelyezett, meleg levegőt fújó hajszárítóval! A 4. ábrán bemutatott fotó modellüstökösünkről készült sötét háttér előtt. A képen jól látszik a fagyott üstökösragot tartó pálca. A meleg levegőt a pálca irányából, kicsit távolabbról fújtuk a fagyott magra. A megvilágító lámpát a hajszárító irányából, de enyhén ferdén irányítottuk az üstökösre, így a fény nem csak a fagyott magot, de a mögötte húzódó csóvát is jól megvilágította.



4. ábra. Modellüstökösünk fagyott magja és csóvája.

#### Megjegyzések

Az üstökösrag összefagyasztása gyors, határozott mozdulatokat és óvatosságot kíván, hiszen a vastag kesztyű csak korlátozottan véd a fagyástól. Épp a fagyásveszély miatt a mag összefagyasztása tanári feladat.

A megfagyott mag megtapogatása, keménységének tesztelése rövid ideig tart, így nem jár fagyásveszéllyel. Foglalkozásunk alkalmával valamennyi diák ragaszkodott ahhoz, hogy maga is hozzáérjen, egy pillanatig megfogja, megnyomja a fagyott sárgolyót, még úgy is, hogy az anyagba kevert szén befeketítette kezüket.

A látványos kísérlet nem jelent igazán nagy költséget. Alapanyagainak döntő része és a védőkésztyű a kémiaszertárban megtalálható, a legnagyobb kiadást a szárazjég jelenti.<sup>11</sup>

## Az ISON-üstökös, amely megsemmisült mielőtt megfigyelhettük volna

Terveink szerint a féléves üstökösprojektünk fénypontja az „évszázad üstököseként” várt ISON-üstökös közös megfigyelése lett volna a 2013 decemberében.

#### Amit az ISON-üstökösről a projekt során megtudtunk

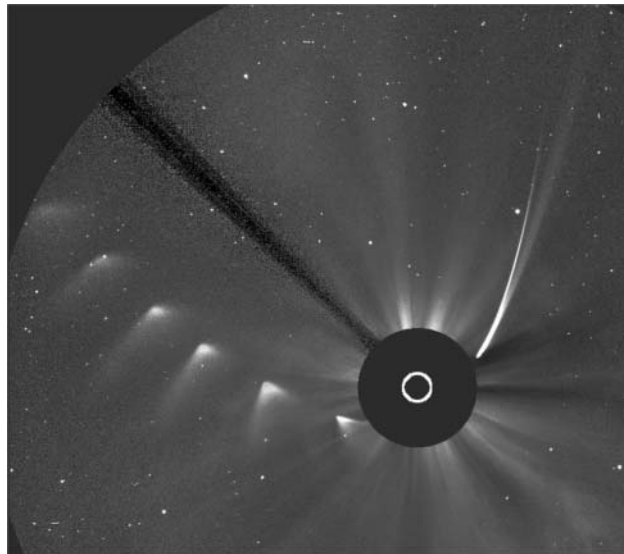
Az üstököst 2012. szeptember 21-én, a Jupiteren túl, 6,3 CsE távolságban fedezte fel *Vitali Nevski* és *Artyom Novichonok* az oroszországi Kislovodskban. Az újonnan felfedezett üstökösökről, amelyek először kerülnek a Naprendszer belsejébe, eleinte nagyon keveset mondhatunk. A csillagászok a korábbi üstökösökhöz hasonlítva próbálnak meg előrejelzéseket adni velük kapcsolatban. Az összehasonlítás fontos támpontja az új üstökös pályaelemeinek meghatározása. Mivel az ISON mért pályaadatái az 1680-as (C/1680 V1 Kirch), igen látványos üstököséhez hasonlítottak, különleges érdeklődés és figyelem fordult felé. A mérési adatokból hamar egyértelművé vált, hogy az ISON is napsúroló üstökös. Pályaelemeinek megfigyeléseiből arra következtettek a csillagászok, hogy valószínűleg az Oort-felhőben keringhetett létrejötté óta, amely körülbelül a Naprendszer keletkezésének idejére tehető. Valamilyen gravitációs hatás vagy egy ütközés térítette ki néhány millió évvel ezelőtt, közel kör alakú pályájáról, és így került arra a közel parabola alakú pályájára, amelyen a Naphoz közelített. A megfigyelések arra mutattak, hogy az ISON most került először napközelsébe [5]. Ez azért érdekes, mert első alkalommal az üstökösök különösen sok anyagot veszítenek, ami nagy fényességet és látványos csóvát eredményezhet. Az ISON 2013. november 28-án került legközelebb a Naphoz. Keletkezése óta feltehetően nem szenvedett komoly anyagvesztést, őrizte még magjának külső burkát, így sokan remélték, hogy lényeges anyagvesztéssel ugyan, de túléli a Nap közelségét. Ha így történik, éppen karácsonykor került volna – látványos csóvát húzva – a Föld közelébe. Sajnos nem így történt.

Az ISON-üstökös „balála”

A Naphoz ilyen közel elhaladó üstökösök esetén gyakori, hogy az erős sugárzás hatására megsemmisülnek. A csillagászok az ISON esetén is számoltak ennek bekövetkezésével, de biztosat senki nem tudott mondani. Előadónk az ISON-ról beszélve ennek esélyét nekünk is elmondták, mindezek ellenére bizakodtunk, hogy mégsem így történik. Az ISON-üstökös november végi perihélium-átmenetkor a tudósok műszereikkel követték az eseményeket. Ha nem is lett az évszázad üstököse az ISON, a legjobban megfigyelt üstökös címet bizonyosan megkaphatná.

<sup>11</sup> Az szárazjeget egy, az internetről kikeresett cégnél vásároltuk. 2013 novemberében körülbelül 4500 Ft volt a megvásárolható legkisebb kiszerelés.

A földi obszervatóriumok és lelkes amatőr csillagászok távcsövein túl több űrtávcső, űrszonda is nyomon követte az ISON-t. Amikor a Marshoz közeledett (10,5 millió km-re közelítette meg a vörös bolygót), akkor a Messenger és a Mars Express műholdak kísérték figyelemmel. Amikor a Naptól nem látszott egy ideig (2013 nyara), akkor a Hubble-űrtávcső készített képeket róla. Figyelte a Chandra, a Venus Express, a Proba-2 is, a végnapjait pedig a SOHO és STEREO űrszondák segítségével örökítették meg [5]. Bár szabad szemmel nem láthatuk, de ezekkel az eszközökkel igen szép, látványos felvételek készültek az ISON-üstökösről. Az üstökös utolsó napjának pillanatfelvételeit egy képre vetítve láthatjuk az 5. ábrán. Középen a Napot, egy úgynevezett koronagráffal takarták ki. E korong takarásába szép csóvával repült az ISON-üstökös (a kép jobb oldalán), de onnan már csak porfelhőként jött ki. E szétoszló porfelhő maradványait távcsövekkel, köztük űrtávcsövekkel is keresték, de az üstökösnek nyoma sem volt – teljesen megsemmisült<sup>12</sup> [5].



5. ábra. Az ISON-üstökös utolsó napja. Szétporlásának fázisait láthatjuk a Nap közelében. [SOHO (ESA & NASA)]<sup>13</sup>

## Irodalom

1. Sárnecky Krisztián: Az ISON-üstökös a Nap áldozata lett. *Fizikai Szemle* 64/4 (2014) 110–112.
2. Hédekvári Péter: *Üstökös kutatás az űrkorszakban*. Magvető Kiadó, Budapest, 1983.
3. <http://solarsystem.nasa.gov/deepimpact/index.cfm>
4. Szegő Károly: Új eredmények az üstökösök fizikájából. *Fizikai Szemle* 52/5 (2002) 149–151.
5. <http://solarsystem.nasa.gov/smallworlds/cometison.cfm>
6. Csillagászati hírportál: <http://www.csillagaszat.hu>
7. A Magyar Csillagászati Egyesület honlapja: <http://www.mcse.hu>

## Függelék

Az *Üstököskvíz* kérdéseiből (a helyes válasz kiemelve, a válaszok végén zárójelben az adott válaszok aránya).

- 1) Ki nevezte először az üstökösöket „piszkos hógolyónak”?
  - A. Fred Whipple (14%)
  - B. Gerard Kuiper (47%)
  - C. Jan Oort (22%)
  - D. Kenneth Edgeworth (17%)
- 2) Ki ismerte fel először, hogy az üstökösök nem légköri jelenségek, hanem a Föld atmoszféráján kívüliek?
  - A. Nikolasz Kopernikus (23%)
  - B. Tycho Brahe (11%)
  - C. Johannes Kepler (47%)
  - D. Galileo Galilei (19%)
- 3) Hogyan különböztetik meg az üstökösöket egymástól?
  - A. A színük és a nagyságuk alapján. (22%)
  - B. Az alakjuk alapján. (3%)
  - C. A pályájuk alapján. (67%)
  - D. Minden üstökös más, nem látunk többször egy üstökösöt. (8%)
- 4) Átlagosan milyen méretű egy Nap közelében járó üstökös?
  - A. A magja néhány méter, a kómája ezer km átmérőjű és a csóvája akár 10 000 km hosszú is lehet. (20%)
  - B. A magja száz méter, a kómája 10 000 km átmérőjű és a csóvája akár millió km hosszú is lehet. (9%)
  - C. A magja néhány kilométer, a kómája millió kilométer átmérőjű és a csóvája 150 millió km hosszú is lehet. (40%)

- D. A magja ezer kilométer, a kómája 100 millió kilométer átmérőjű és a csóvája 1,5 milliárd km hosszú is lehet. (11%)
- 5) Mennyire sűrű az üstökös csóvája?
    - A. Olyan ritka, hogy a Földön nem is tudunk annyira ritka vákuumot létrehozni. (19%)
    - B. Olyan ritka, mint a bennünket körülvevő levegő. (11%)
    - C. Egy sűrű ködhez hasonló sűrűségű. (17%)
    - D. Mivel por is van benne, egy porviharhoz hasonlíthatnánk leginkább. (53%)
  - 6) Átlagosan milyen távol haladnak el bolygónk mellett az üstökösök?
    - A. Néhány kilométernyire közelítenek meg bennünket. (11%)
    - B. A földi légkör tetejét súrolják. (17%)
    - C. 50–100 millió kilométer távolságban subannak el. (69%)
    - D. Egy-két fényévnire. (3%)
  - 7) Milyen anyagokból állnak az üstökösök általában?
    - A. Víz, széndioxid, por, metán, ammónia (61%)
    - B. Víz, nitrogén, oxigén, szén (28%)
    - C. Szén, aminosavak, szénhidrogének, cián (11%)
    - D. Szilikátok, nátrium, szulfidok (0%)
  - 8) Hány üstökös létezik a Naprendszerben?
    - A. Néhány száz (11%)
    - B. Néhány ezer (11%)
    - C. Néhány millió (53%)
    - D. Több milliárd (25%)
  - 9) Mi történik, ha a Föld áthalad egy üstökös csóváján?
    - A. Az egész égen keresztül látjuk átívelni az üstökösöt. (67%)
    - B. Lehűl a Föld légköre. (5%)
    - C. Nem látunk semmit, mintha sűrű köd venne körül bennünket. (17%)
    - D. Meghalunk a csóvában levő mérgező gázoktól. (11%)
  - 10) Melyik üstökösre szállt le 2014-ben a Rosetta-űrszonda?
    - A. A Halley-üstökös magjára (46%)
    - B. A Lovejoy-üstökös magjára (14%)
    - C. A Csurjumov–Geraszimenko-üstökösre (17%)
    - D. A Donati-üstökösre (23%)

<sup>12</sup> Részletes beszámolót olvashatunk a Nap áldozatává lett ISON-üstököséről Sárnecky Krisztiántól [1].

<sup>13</sup> Az üstökös végső óráit megörökítő kisfilmet a [http://sohowww.nascom.nasa.gov/hotshots/index.html/1311\\_038\\_AR\\_EN.mp4](http://sohowww.nascom.nasa.gov/hotshots/index.html/1311_038_AR_EN.mp4) internet-címen láthatjuk.