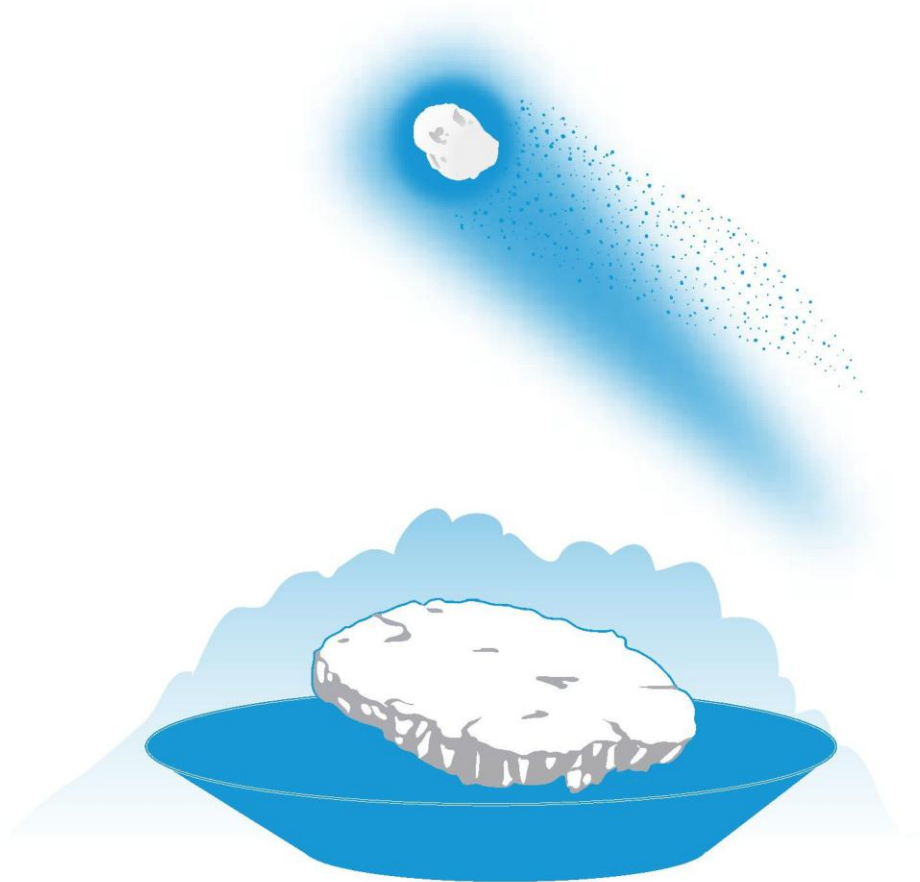


Tanítsunk a világűrrel!

→ KÉSZÍTSÜNK ÜSTÖKÖST!

Mi kell az élethez?



→ BEVEZETÉS

Az üstökösökre tekinthetünk úgy, mint időkapszulákra, mivel a Naprendszer legkorábbi időszakának jellemzőiről hordoznak információkat. Ahhoz, hogy megértsük, mik azok az üstökösök, honnan jönnek, és milyen hatással vannak a Föld fejlődésére, meg kell tudnunk, milyen anyagból állnak. Ennek a tanári bemutatónak és tanulói gyakorlati tevékenységnek, valamint az azt követő megbeszélésnek a révén megtudhatjuk, milyen kémiai összetevőkből állnak az üstökösök. Az anyag része egy olyan kibővített megbeszélés és tevékenység is, amely a Földbe való becsapódásokat vizsgálja, a mozgási energiára vonatkozó számításokkal.

Alapadatok	3. oldal
Háttér	4. oldal
Tevékenység – Készítsünk üstököszt!	12. oldal
Megbeszélés	14. oldal
Megbeszélés kibővítése	18. oldal
Következtetések	21. oldal
Tanulói munkalapok	22. oldal
Az űr megismerése és az ESA	24. oldal
Giotto	24. oldal
SOHO	27. oldal
A 103P/Hartley üstökös és a Herschel	28. oldal
Rosetta	29. oldal
Függelék	32. oldal
Glosszárrium	32. oldal
Linkek	33. oldal

→ KÉSZÍTSÜNK ÜSTÖKÖST!

Mi kell az élethez?

ALAPADATOK

Korosztály: 14–18 év

Típus: tanári bemutató és tanulói tevékenység

Nehézségi fok: könnyű

A tanár felkészülési ideje: 20 perc

Tanítási idő: 20 perc – 1 óra

Készletenkénti költség: közepes (5–25 euró)

Helyszín: beltér (nagy, jól szellőző osztályterem)

Eszközök: szárazjég (szilárd, -78°C -nál alacsonyabb hőmérsékletű szén-dioxid)

A tanulók számára szükséges előismeretek

1. A mozgási energia egyenlete
2. A spektroszkópia és az infravörös sugárzás fogalma

Tanulási célok

1. A tanulók értsék meg az üstökösök és aszteroidák közötti alapvető különbségeket.
2. A tanulók ismerjék az üstökösök összetételének legfontosabb paramétereit.
3. A tanulók el tudjanak végezni egyszerű számításokat az üstökösök és aszteroidák bolygóba csapódásakor zajló energiaátalakulásra vonatkozóan.

Amire még szükség van



↑ Készítsünk üstököst! – videó. Lásd a „Linkek” részt.

Kapcsolódás a tananyaghoz

Fizika

- Mozgási energia
- Energiamegmaradás
- Fázisátalakulások
- Ütközési folyamatok
- Keringési pályák (a Naprendszerben)

Csillagászat

- Az aszteroidák és üstökösök helye és jellemzői
- Az üstökös részeinek azonosítása (mag, kóma, por- és ioncsóva)
- Az ütközések következményei a Naprendszerben
- A Kuiper-öv és az Oort-felhő kapcsolata az üstökösökkel
- A Naprendszer égitestjeit vizsgáló űrszondák

Kémia

- Fázisátalakulások

Áttekintés

Ebben a tevékenységben a tanár és a tanulók osztálytermi körülmények között szimulálják egy üstökös magját. A felhasznált összetevők pontos analógiáját nyújtják a valódi üstökös magjában található anyagoknak, amelyeket spektroszkópia, illetve a különböző üstökösök mellett elhaladó űreszközöktől származó eredmények segítségével állapítottak meg.

→ HÁTTÉR

Mik azok az üstökösök?

Az üstökösök kicsi, jeges égitestek, amelyek főként a Naprendszer két területéről származnak (1. ábra). A rövid periódusú üstökösök (amelyek **keringési ideje*** kevesebb mint 200 év) a Kuiper-övből származnak. A Kuiper-öv egy korongszerű, a Naprendszer kialakulásának fagyott maradványaiból álló öv a Neptunusz pályáján kívül. A hosszú periódusú üstökösökről (amelyek keringési ideje akár több tízezer év is lehet) azt gondolják, hogy az Oort-felhőből származnak, amely a Naprendszer külső tartományában található, gömb alakú, jeges anyagokból álló felhő. A sok ezer **csillagászati egységnyi (CsE)*** távolságban elnyúló Oort-felhő túlságosan messze van ahhoz, hogy közvetlenül képet lehessen róla készíteni. Ehelyett azt kell tennünk, hogy a hosszú periódusú üstökös keringési pályáját időben visszafelé követjük, az eredetét (2. ábra).



↑ A Hale-Bopp üstökösről Horvátországban készült fénykép.

Az üstökösök nagyrészt a Nap körül keringenek, stabil pályán. Ugyanakkor a Kuiper-öv objektumaira hathat az óriásbolygók (Jupiter, Szaturnusz, Uránusz és Neptunusz) gravitációs mezője, az Oort-felhő objektumaira pedig a más csillagok mozgása által okozott **gravitációs perturbáció***. Az ilyen perturbáció vagy zavaró hatás időnként megváltoztathatja ezeknek a kis, hideg világoknak a keringési pályáját, és a Naprendszer belseje felé irányíthatja őket.

Ahogy ezek az objektumok közelednek a Nap felé, felmelegednek, és a bennük található jég **szublimál***. Az eredeti struktúráját „magnak” hívjuk. Amint a mag felmelegszik, gáz és por áramlik ki belőle, amelyek ritka, de hatalmas „léggömb” alkotnak, amelyet kómának hívunk (3. ábra).

Ahogy az üstökös egyre közelebb kerül a Naphoz, a kóma, valamint az erősödő napsugárzás és a **napszél*** közötti kölcsönhatás látványos „csóvát” eredményez – a leggyakrabban ez jut eszünkbe az üstökösökről. Nagyon ritkán az is előfordul, hogy a csóva olyan fényes, hogy a földi megfigyelő nappal is észleli.

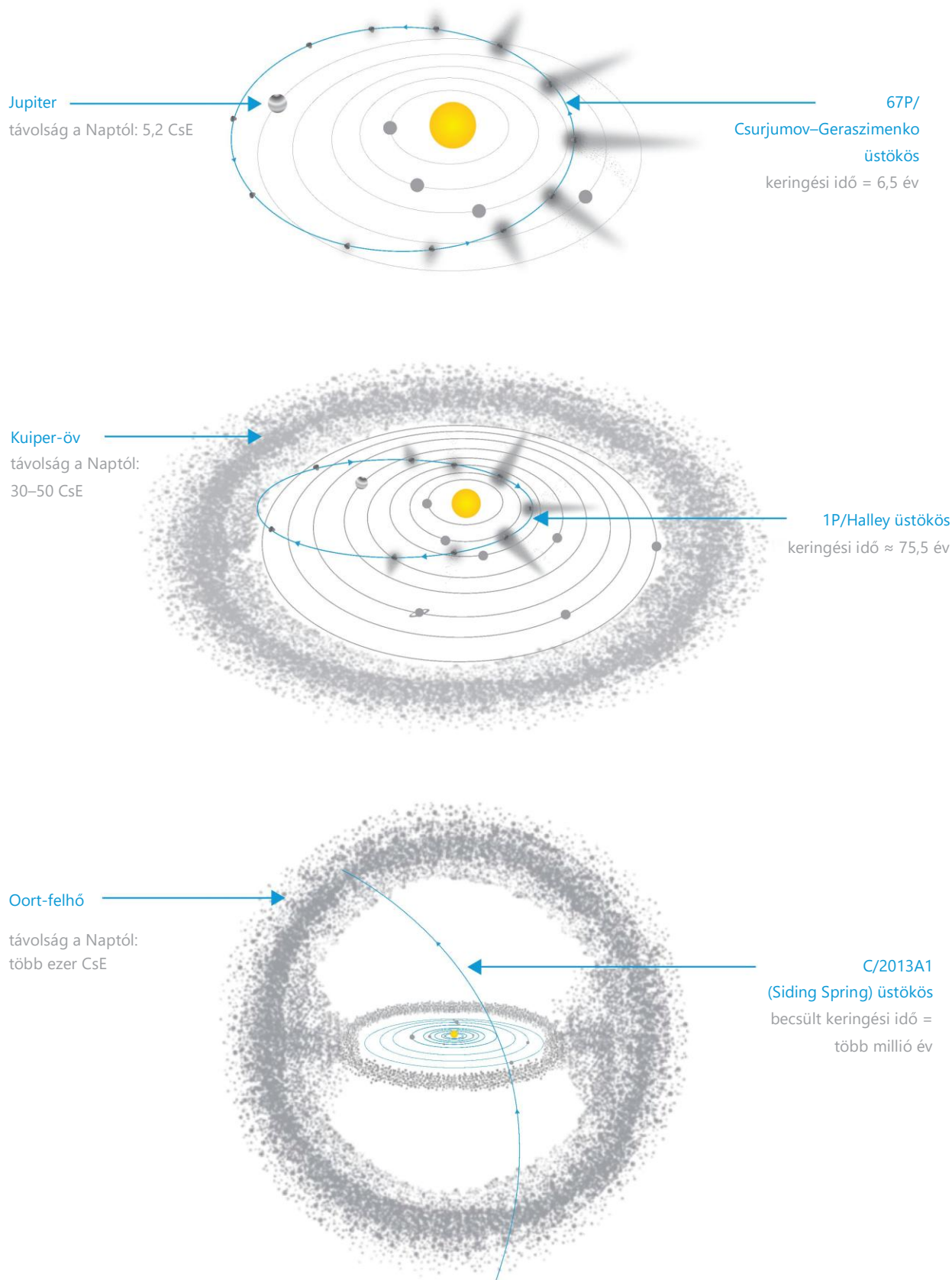
***Csillagászati egység (CsE)**: 1 CsE a Föld és a Nap közötti átlagos távolság, azaz a Föld keringési sugara, körülbelül 150 millió km.

***Gravitációs perturbáció**: égitest (pl. bolygó, üstökös) keringési pályájának módosulása más égitestek (pl. óriásbolygók, más csillagok) gravitációs mezőjével való kölcsönhatás miatt.

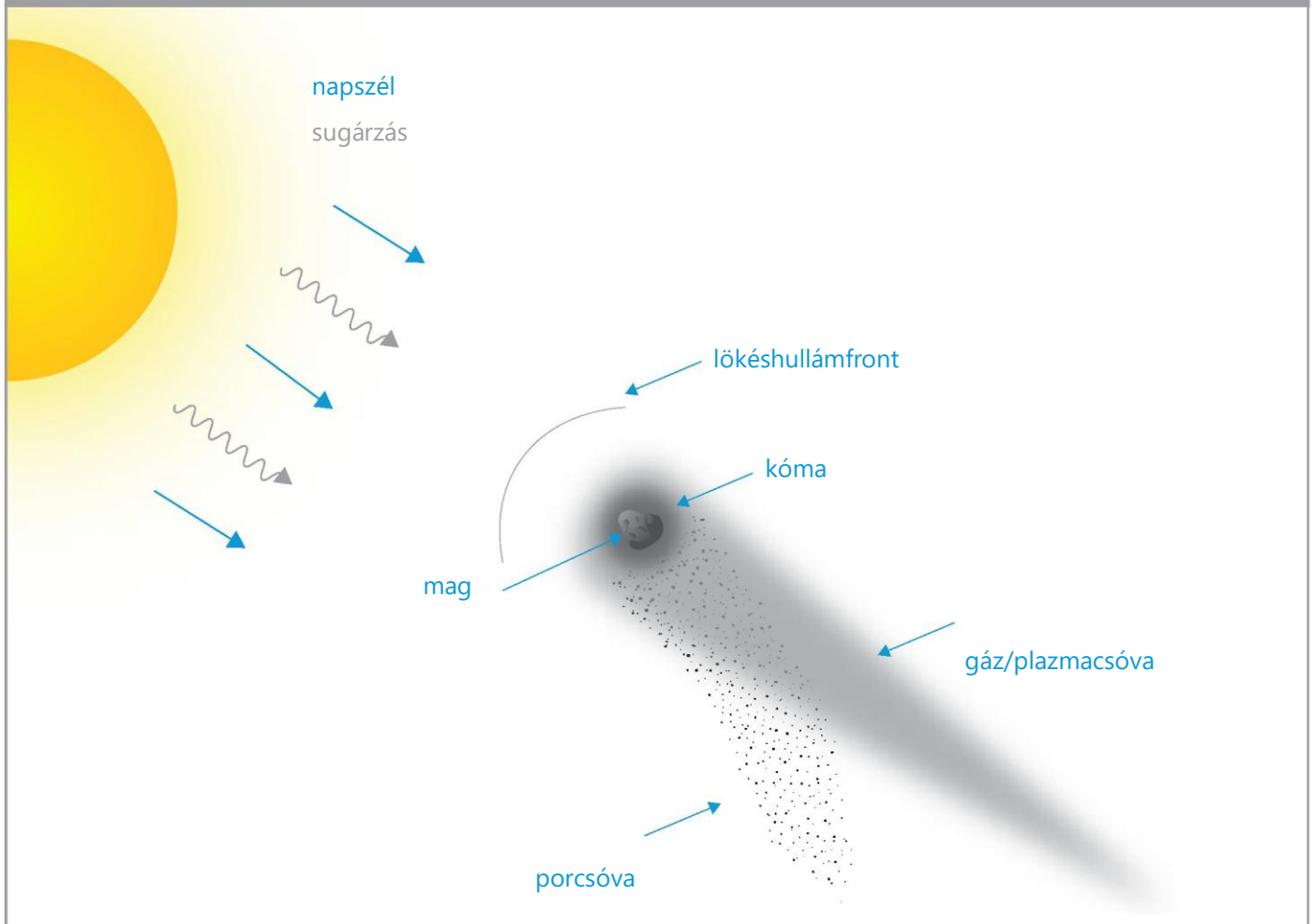
***Keringési idő (periódus)**: a keringési pályán egy kör megtételéhez szükséges idő.

***Napszél**: nagy energiájú részecskék (plazma) árama, amely a Nap felső atmoszférájából áramlik ki minden irányba. Nagyrészt elektronokból és protonokból áll.

***Szublimál (szublimáció)**: amikor melegítés hatására egy anyag szilárd halmazállapotából közvetlenül gáz-halmazállapotúvá válik, a folyékony halmazállapot kihagyásával. Amikor a gázt ismét lehűtjük, jellemzően szilárd anyaggént lerakódik.



↑ A Naprendszerben keringő üstökös.



↑ Az üstökösök felépítése.

Nem minden üstökös csóvája olyan látványos, mint az 1. ábrán szereplőké, van, amelyik a Földről nem is látszik. Az, hogy az üstökös csóvája mennyire látványos, függ a mag méretétől, összetételétől, attól, hogy milyen közel kerül a Naphoz, illetve hogy korábban már hányszor járt a Nap közelében. Amint az üstökös túlhaladt a pályája Naphoz legközelebbi pontján (**perihélium*** vagy napközelpont), visszatér a Naprendszer hidegebb területeire, végleg elvesztve a tömege egy részét.

Az üstökösök ellipszis alakú pályán keringenek, melynek egyik fókuszpontjában a Nap található (2. ábra), ezért csak rövid ideig láthatóak, amikor a perihéliumhoz közelednek. Az elnyúlt ellipszispályán mozgó üstökösöknél ez az egy Nap körüli kör megtételéhez szükséges idő töredéke csak. Létezésük legnagyobb részében enyhén lassulva távolodnak a Naptól az **aphéliumig***, majd gyorsulnak a Nap felé a perihéliumig, mindezt a Nap gravitációja miatt.

Az ellipszispályákról és az üstökösök pályájáról részletesebb információk találhatóak ebben az anyagban: ESA Tanítsunk a világűrrel – Csodás ellipszisek | P02 oktatási segédanyag (ld. a „Linkek” részt).

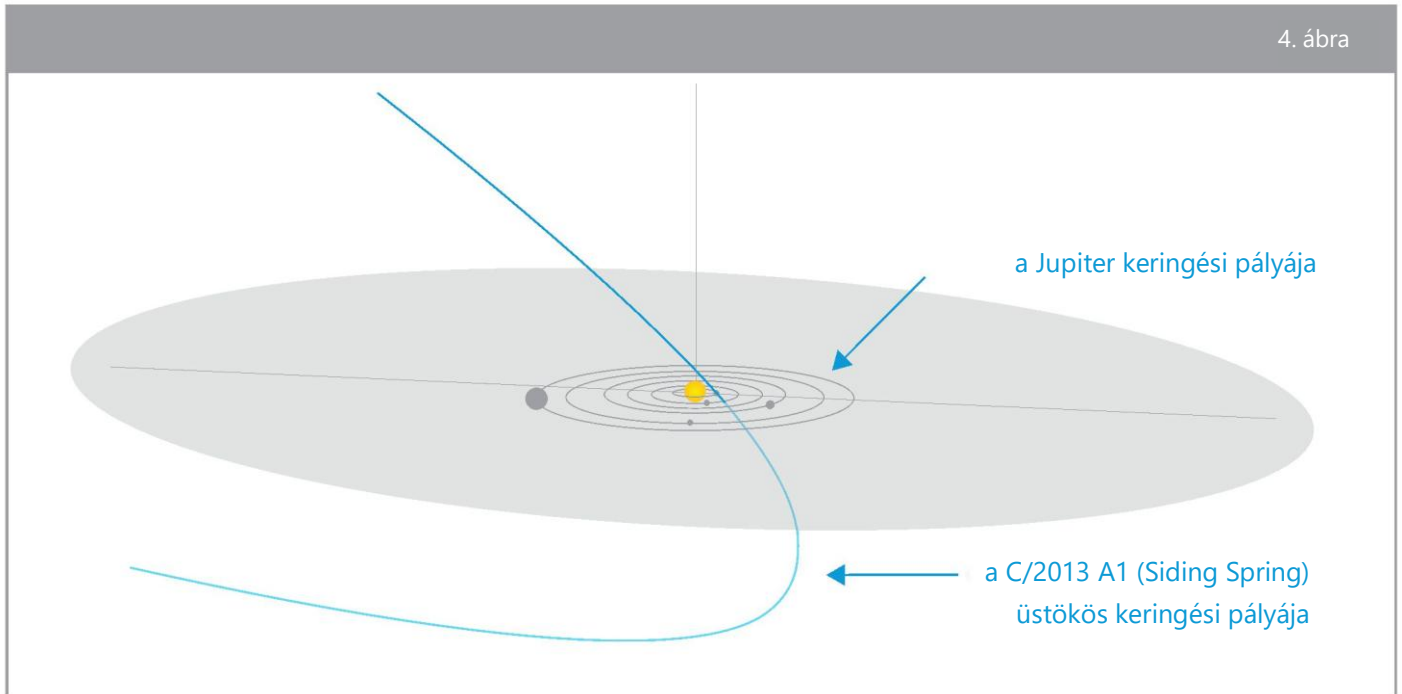
***Aphélium** (naptávolpont): a keringési pálya Naptól legtávolabbi pontja.

***Lökéshullámfront (üstökös)**: az üstökös kómájának ionjai és a napszél közötti kölcsönhatási felület. A lökéshullámfront azért alakul ki, mert az üstökös és a napszél relatív sebessége szuperszonikus. A lökéshullámfront az üstökös előtt, a napszél áramlási irányában alakul ki. A lökéshullámfronton az üstökös ionjai nagy koncentrációt érnek el, és plazmával töltik fel a Nap mágneses mezejét. Ennek eredményeképpen az erővonalak elhajlanak az üstökös körül, eltérítve annak ionjait, így jön létre a gáz/plazma/ioncsóva.

Perihélium (napközelpont): a keringési pálya Naphoz legközelebbi pontja.

Ütközések a Naprendszerben

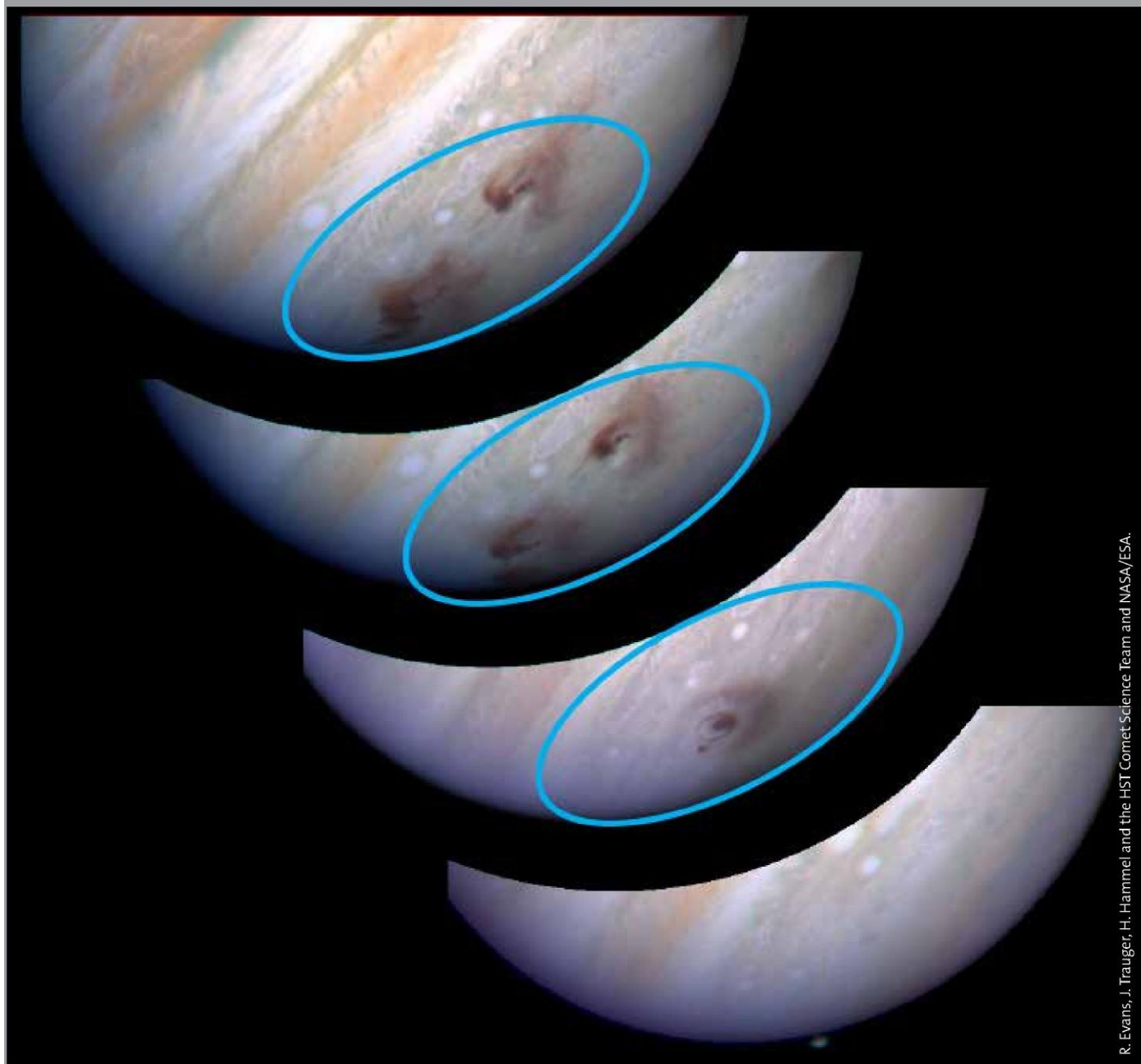
A 2. ábra 3 különböző üstökös keringési pályáját mutatja. Ezek mindegyike keresztezni látszik a bolygók keringési pályáját, és úgy tűnhet, hogy a bolygók és az üstökösök vagy aszteroidák közötti ütközések elkerülhetetlenek. Ugyanakkor az Oort-felhőből érkező üstökösök keringési pályája gyakran nagy szöget zár be a Naprendszer síkjával (az ekliptikával). Ezért bár a perspektíva miatt sok pálya közvetlenül keresztezni látszik a bolygók pályáját, ez félrevezető. Például a C/2013 A1 (Siding Spring) üstökös útja 2014-ben, amikor közeledik a perihéliumhoz, a Föld keringési síkjával nagy szöget zár be (4. ábra).



↑ A C/2013 A1 (Siding Spring) üstökös útja a Naprendszerben.

Ettől függetlenül meggyőző bizonyítékok vannak arra, hogy (geológiai léptékben) rendszeresen ütköznek üstökösök és aszteroidák a bolygókba. A Naprendszerben a holdakon és bolygókon látható kráterek nagy része becsapódások nyomán jött létre. A becsapódások a Naprendszer történetének kezdeti szakaszában (Késői nagy bombázás) voltak a leggyakoribbak, de még ma is előfordulnak.

1994-ben a Shoemaker-Levy 9 (D/1993 F2) üstökös számos darabja a Jupiter felszínébe csapódott. A legnagyobb megfigyelt becsapódási nyom több ezer kilométer átmérőjű. Ezt az üstökös „G” nevű, alig néhány kilométeres darabkája okozta. Az 5. ábra mutatja a becsapódás hatását a Jupiter légkörére – montázs a Hubble űrtávcső egymás után készült képeiből.



R. Evans, J. Trauger, H. Hammel and the HST Comet Science Team and NASA/ESA.

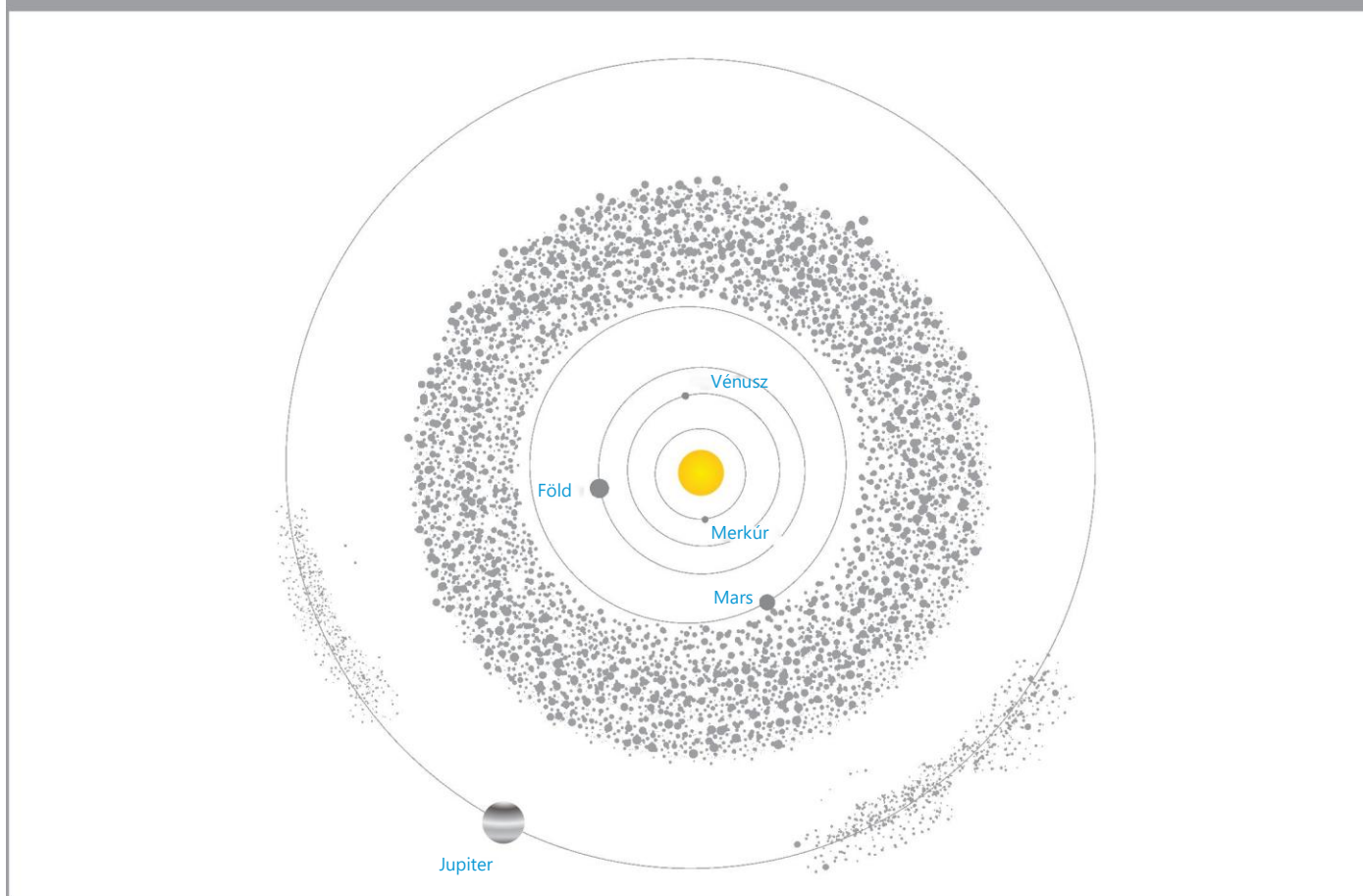
↑ A képek a „G” becsapódási hely alakulását mutatják a Jupiteren (kiemelve a kék ellipszissel).

Aszteroidák

Az üstökösökön kívül más objektumok is becsapódnak a Földbe és a Naprendszer más égitestjeibe. Az aszteroidák nagyrészt a Mars és Jupiter közötti aszteroidaövből (más néven kisbolygóövből, 6. ábra) származó nagy, kőzetből vagy fémes anyagokból álló objektumok. Általánosságban elmondható, hogy az aszteroidák a Naphoz sokkal közelebb jönnek létre, ezért kevesebb könnyű elemet tartalmaznak, mint az üstökösök. Főként fémek, fémoxidok, ásványok és szilikátok alkotják az aszteroidákat. Az üstökösökben több a könnyű elem, mint például a szén, a hidrogén, az oxigén, a nitrogén, a foszfor és a kén, így létre tudnak jönni bizonyos vegyületek, mint a víz, a metán és a szén-dioxid.

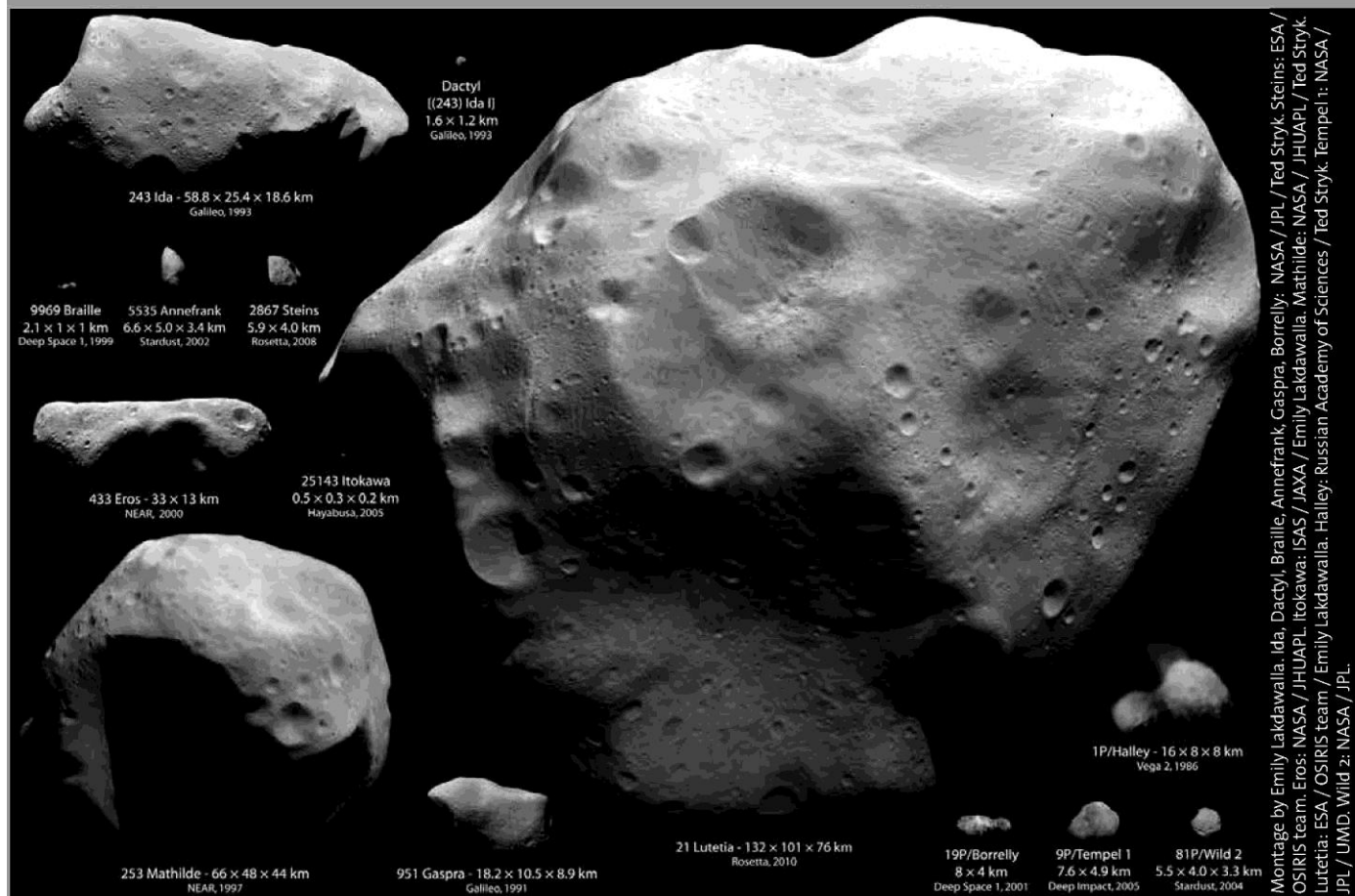
A legnagyobb ismert aszteroidák a Vesta és a Pallas, átmérőjük meghaladja az 500 km-t. A 7. ábrán néhány aszteroida és üstökös méretét lehet összehasonlítani. A 7. ábrán szereplő szabálytalan aszteroidák sokkal kisebbek, mint a Vesta és a Pallas, de sok közülük jelentősen nagyobb, mint az üstökösök, amelyekről készült már kép.

6. ábra



↑ Az ábra az aszteroidák eloszlását mutatja a Naprendszerben. Az aszteroidák nagy része a Mars és a Jupiter pályája közötti fő övben található. Nagyobb aszteroidahalmazokat alkot még a Jupiter trójai csoportja, a Jupiter keringési pályájának stabil L4 és L5 **Lagrange-pontjainál***.

***Lagrange-pontok:** bármilyen keringési konfigurációnál öt olyan pont van, ahol egy olyan objektum, melyre csak a gravitáció hat, nyugalomban tud keringeni. Részletesebb információk ebben az anyagban találhatóak: ESA Tanítsunk a világűrrel – Gravitációs kutak – videó | VP04 (ld. a „Linkek” részt).



↑Néhány aszteroida és üstökös méretének összehasonlítása.

Becsapódások a Földön

A Földön az aktív tektonikai és felszíni mállási folyamatok miatt a kráterek jellemzően néhány millió évig láthatóak maradnak, majd eltűnnek. Ugyanakkor a felszín alatti kőzetek és más jellemzők geológiai elemzésével következtetni lehet a kráterek múltbeli formálódására. Az 1990-es évek elején így bizonyították be, hogy mintegy 65 millió éve egy körülbelül 10 km átmérőjű üstökös vagy aszteroida csapódott be a Földbe a mai Yucatán területén (Mexikó). A becsapódás nyomán egy több mint 150 km átmérőjű kráter jött létre. Az ennek nyomán bekövetkező globális klímaváltozás volt az egyik legfőbb oka a földtörténet egyik legnagyobb kihalási eseményének – a kréta-tercier kihalási eseménynek –, amely végül a dinoszauruszok pusztulásához vezetett.

Időben ennél hozzánk sokkal közelebb jöttek létre kisebb, ma is látható kráterek, ilyen az Egyesült Államokban az arizonai meteoritkráter (vagy Barringer-kráter), amely a 8. ábrán szerepel.



↑ Bal oldali kép: Az arizonai meteoritkráter, USA. Jobb oldali kép: Az arizonai meteoritkráter a Nemzetközi Űrállomásról.

Az arizonai meteoritkráter körülbelül 50 000 évvel ezelőtt jött létre, mikor az egyesült államokbeli Arizonában egy síkságon becsapódott egy nikkel-vas aszteroida. A becsapódás nyomán egy közel 200 m mély és 1,5 km átmérőjű kráter jött létre. A becsapódott objektum törmelékei ma is megtalálhatók elszórtan a tájon.

1908-ban egy vélhetően 50 m-nél nagyobb átmérőjű aszteroida vagy üstökös 5-10 km-es magasságban felrobbant egy távoli, erdős terület felett a Tunguszka folyó közelében (ma Krasznojarszk, Oroszország). Bár úgy vélik, hogy az aszteroida vagy üstökös nem csapódott be a Föld felszínébe, a robbanás ereje több mint 2000 km² területen elpusztította az erdőt (9. ábra).



↑ A tunguszkai esemény során kidöntött fák.

Készítsünk üstököst!

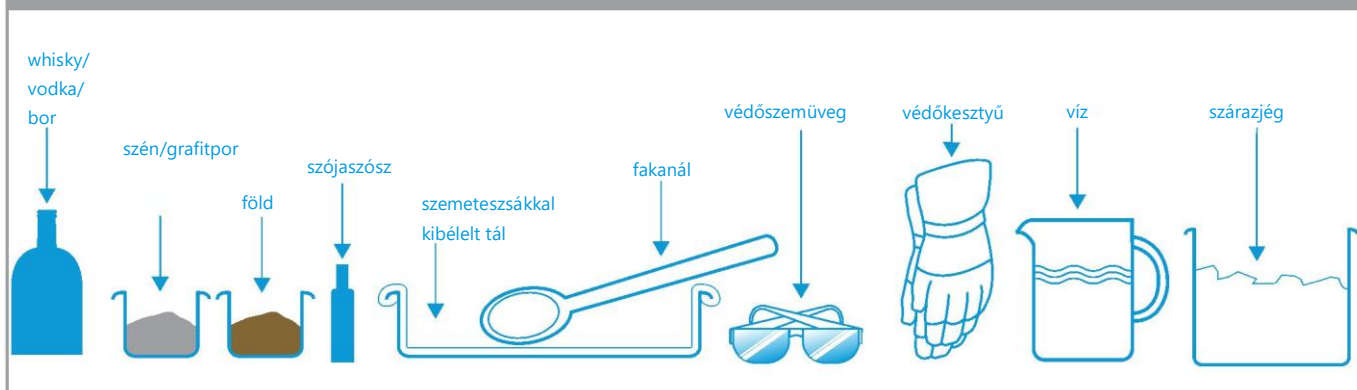
Ebben a bemutatóban a tanár osztálytermi körülmények között szimulálja egy üstökös magját. A felhasznált összetevők pontos analógiáját nyújtják a valódi üstökös magjában található anyagoknak.

A tevékenység tanulók által végzett verziójához kisebb mennyiségekre van szükség egy műanyag pohárban. Fontos, hogy a tanulók világos eligazítást kapjanak a veszélyekről, és hogy tartsák be az egészségre és biztonságra vonatkozó szabályokat. A tanulóknak szóló utasítások szerepelnek a tanulói munkalapon a tevékenység után.

Eszközök

- Szárazjég (kb. 0,75 liter, a lehető legkisebb pelleték)
- Víz (kb. 0,75 liter)
- Nagy méretű szemeteszákok
- 10 evőkanál (4 nagyon nagy fakanál) föld (fontos, hogy ne legyen darabos, hanem egységes állaga legyen)
- 1 evőkanál szénpor vagy grafitpor
- 2-3 evőkanál whisky, vodka vagy vörösbor (metanol/etanol összetevő)
- Néhány csepp szójaszósz (szerves összetevő)
- Néhány csepp tisztítószer (ammónia összetevő)
- Nagy műanyag tál
- Vödör a hulladéknak
- Fakanál
- Átlátszó védőpanel
- Polisztirol tároló a szárazjéghez
- Hőálló védőkesztyű
- Védőszemüveg minden résztvevőnek és a bemutatót elvégző személy(ek)nek
- Laboratóriumi védőköpeny a bemutatót elvégző személy(ek)nek (nem kötelező)
- Mérőedények

A1 ábra



↑ Kísérlet előkészítése.

Egészség és biztonság

- A szárazjéggel való munka során mindig viseljünk védőszemüveget és védőkesztyűt. Ne érintsük meg, nyeljük le vagy kóstoljuk meg a szárazjeget. Világosan ismertessük a tanulókkal a veszélyeket és azt, milyen messze kell ülniük a bemutatótól, mert az üstökös „köpködhet”.
- A szárazjeget tartalmazó edényt ne zárjuk le, mert robbanásszerű gázkilövellés következhet be.
- Az üstököst kint dobjuk el, olyan jól szellőző területen, amely a tanulók számára nem hozzáférhető.
- Háztartási fagyasztóban soha ne tároljunk szárazjeget.
- A kísérletet jól szellőző helyen végezzük.

Lépések

Kérjük megtekinteni a kapcsolódó videót: Tanítsunk a világűrrel! – Készítsünk üstököszt! | VC03.

1. Béleljük ki a tálat egy szemeteszákkal. Javasolt a tálat a szemeteszákba helyezni, és annak felső rétegével kibélelni. Így könnyebb a végén eldobni az üstököszt. Fontos, hogy a zsákot a tál belsejében elsimítsuk.
2. Helyezzük bele a következő összetevőket: víz, föld, szénpor, bor/alkohol, tisztítószer és szójaszós. Ezek az igazi üstökösök összetevői egy részének felelnek meg. A közönségből önként jelentkezők részt vehetnek az összetevők hozzáadásában. Keverjük el alaposan az összetevőket egy fakanállal.
3. A keverékhez adjuk hozzá a szárazjeget. Keverjük el a fakanállal. Hasznos, ha keverés közben egy segítő megdönti egy kicsit a tálat. Ezután védőkesztyűben gyúrjuk egybe az üstököszt kb. 30 mp-ig. Ha az üstökös nem ragad könnyen egybe, adjunk még hozzá vizet. Ne nyomjuk túl erősen, mert szétrepedhet.
4. A bemutató végén tegyük az üstököszt a tálba, óvatosan vegyük ki a tálat a szemeteszákból úgy, hogy az üstökös a zsákba kerüljön. Tegyük a szemeteszákot a vödörbe. Fontos, hogy a zsák nyitva legyen, hogy a gázok távozni tudjanak. Az üstökös magját kint dobjuk el, egy korlátozottan hozzáférhető helyen. Az üstökös magból a szárazjég 24 órán belül szublimál.

Tipp: ha a kísérletet délelőtt végezzük, a tanulók délután megnézhetik, hogyan alakult az üstökös.

Gyakorlat teszi az üstököskészítő mestert! A lehető legjobb eredmény érdekében javasolt a kísérletet néhányszor elgyakorolni, mielőtt a tanulókkal végeznénk azt.

Megbeszélés

Hogyan felelnek meg az összetevők annak, amit egy valódi üstökös magjában találunk? Mit jelent ez a földi életre nézve?

Az üstökösök első spektroszkópai megfigyeléseire a 19. század végén és a 20. század elején került sor. A csillagászok a spektroszkópia segítségével tudták elkezdeni meghatározni az üstökösök kómájának összetevőit. Ezekkel a korai megfigyelésekkel azonosították a kétatomos szén-, nátriumionokat és több szén-, oxigén és nitrogénalapú molekulát.

1950-ben Fred Whipple amerikai csillagász új modellt javasolt az üstökösök magjának leírására. Whipple „piszkos hógolyó”-modellje szerint az üstökösöknek van egy nyomokban porból és kőből, főként pedig jéggé fagyott illékony anyagokból, köztük **vízből, szén-dioxidból, metánból és ammóniából** álló, jeges magja. A Földről és az űrből végzett későbbi megfigyelések megerősítették Whipple modelljét, de néhány kisebb módosításra szükség volt, mert a megfigyelések szerint az üstökösök magja a modellben szereplőnél nagyobb és sötétebb.

A 103P/Hartley üstökös egy friss vizsgálata kimutatta, hogy a benne található **vízben** ugyanolyan a deutérium (nehézvíz)-hidrogén izotópos arány, mint a földi óceánokban. Ez egy jelentős felfedezés. Az általunk ismert élethez az egyik legfontosabb molekula a víz. Univerzális oldószer ez, amelyben a különböző kémiai összetevők feloldódhatnak. A tudósok úgy gondolják, hogy a víz elengedhetetlen az élet kifejlődéséhez. A földtörténet korai szakaszában becsapódó üstökösök a Föld eredeti vízkészletének jelentős forrását jelenthették.

Az üstökösök **széntartalma** fontos, mert az általunk ismert élet szénalapú. Lehet, hogy a földi élet e kulcsfontosságú összetevője üstökösök becsapódásaival érkezett ide.

A **szójaszósz** az aminosavakat jelképezi, és az aminosavak prekursorai megtalálhatók az üstökösökben. 2004-be a NASA Stardust űrszondája mintákat vett a 81P/Wild üstökös kómájában található porból, és elhozta a Földre. A por elemzése megerősítette a legegyszerűbb aminosav, a glicin jelenlétét. Ez rendkívül fontos eredmény volt. Az aminosavak ugyanis a fehérjék, és ezzel az élet egyik legfontosabb építőelemei. Az, hogy ezeket a biológiai molekulákat (képlete: $C_2H_5NO_2$) egy, a Földtől eltérő égitesten találták, arra utal a tudósok számára, hogy lehet, hogy a bolygónkon az élet bizonyos összetevői több milliárd évvel ezelőtt becsapódott üstökösökről származnak.

A bemutatóban használt **szén-dioxid** (szárazjég) mellett spektroszkópiával más gázokat is azonosítottak már az üstökösök kómájában. Ezek közül látható néhány az 1. táblázatban.

A1 táblázat

C_2H_4	etén
NH_3	ammónia
CH_4	metán
C_2H_6	etán
$C_2H_5NH_2$	etil-amin
O_2	oxigén
CH_3OH	metanol
NH_2CH_2OH	aminometanol
H_2O_2	hidrogén-peroxid
H_2	hidrogén
CH_3COOH	ecetsav
CH_3NH_2	metil-amin
C_2H_2	acetilén
HCN	hidrogén-cianid

↑ Az üstökösök magjában talált gázok.

Mi az a szárazjég?

A szárazjég fagyott szén-dioxid (CO_2), ami normál hőmérséklet és nyomás mellett gáz-halmazállapotú.

A szublimáció folyamata – amikor a szén-dioxid szilárd halmazállapotából közvetlenül gáz-halmazállapotúvá válik – felelős az üstökösök kómájának kialakulásáért. Az ellentétes folyamatot deszublimációnak hívjuk. Normál légköri nyomáson a szén-dioxid $-78^\circ C$ -on gázból közvetlenül szilárd halmazállapotúvá, szárazjéggé alakul.

Mik azok a fehér felhők/füstök, amik megjelennek a bemutató során?

Amikor a bemutató során használjuk a szárazjeget, a hőmérséklete $-78^\circ C$, fölé emelkedik, szublimál és hideg gázzá alakul. Ez lehűti a körülötte lévő levegőben lévő vízpárát, ami kicsapódik és fehér gomolygó felhőként jelenik meg.

Mi okozza a bemutató során látható robbanásszerű gázkilövelléseket?

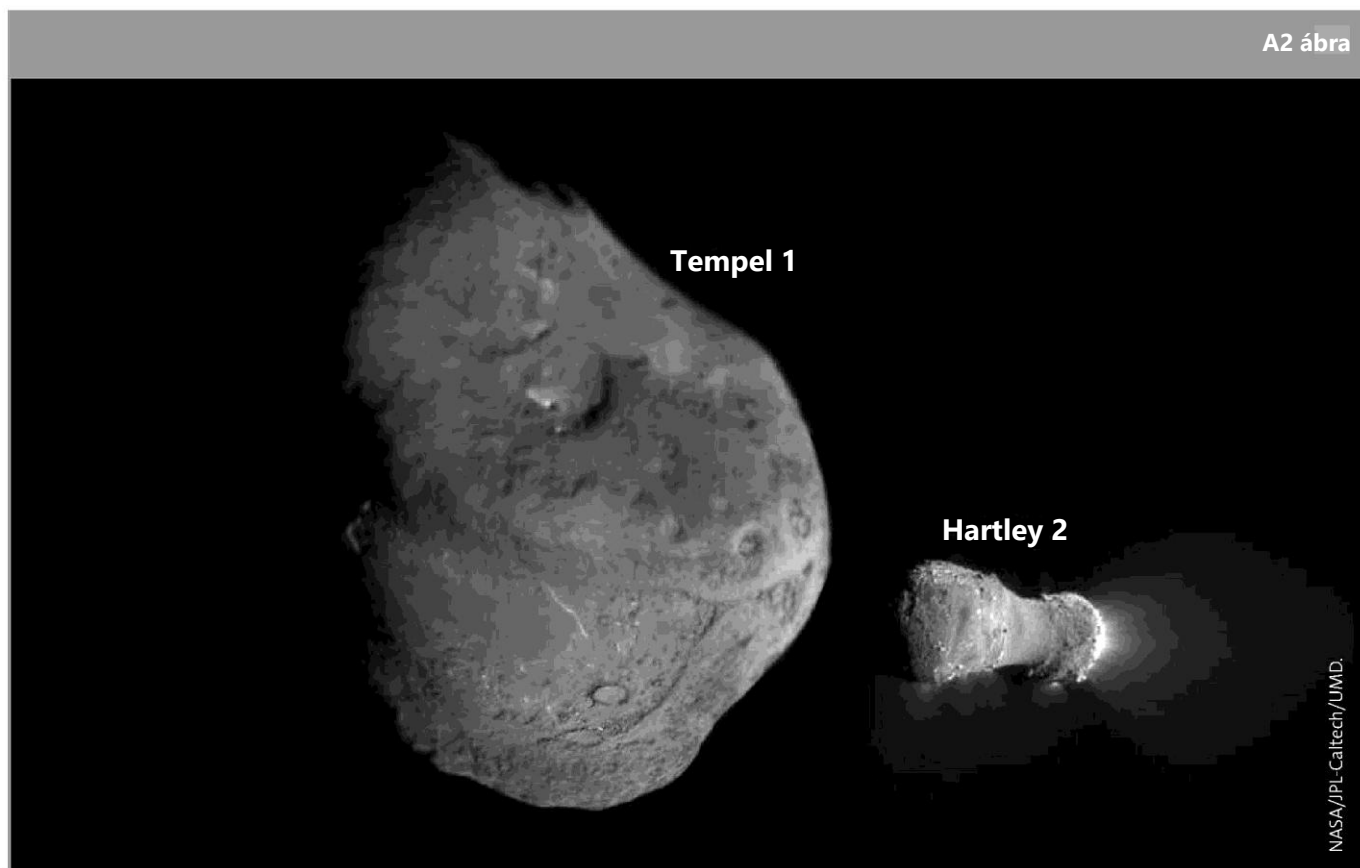
Ebben a tevékenységben ahogy az üstökös mag analógiájaként szolgáló objektumot létrehozunk, két tényező verseng egymással. A folyékony víz termikus kontaktusba kerül a $-78^\circ C$ -nál hidegebb szárazjéggel – a víz megfagy, és „jégburkot” képez a szárazjég körül. Ahogy a szárazjég termikus kontaktusba kerül a $-78^\circ C$ -nál melegebb anyaggal, beindul a szublimáció. Ahogy a szárazjég szilárd halmazállapotából gázzá alakul, térfogata több mint 600-szorosára nő. Ez azt jelenti, hogy a szublimáló szárazjég-darabokból időnként robbanásszerűen kilövell a gáz a magot körülvevő jégburkon keresztül. Ezért erősen ajánlott laboratóriumi védőköpenyt viselni a védőszemüveg és a védőkesztyű mellett.

Milyen alakú és mekkora az üstökösök magja?

Az üstökösök mellett **elhaladó*** űreszközök változatos méretű és formájú üstökös magokat figyeltek meg. Többek között ezekkel a küldetésekkel végeztek ilyen megfigyeléseket: a Giotto (ESA – az 1P/Halley üstökös és a 26P/Grigg-Skjellerup üstökös), a Stardust (NASA – a 81P/Wild üstökös és a 9P/Tempel üstökös), a Deep Impact (NASA – a 9P/Tempel üstökös és a 103P/Hartley üstökös) és a Rosetta (ESA – 67P/Csurjumov-Geraszimenko üstökös). Az A2 ábra méretarányos képén a 103P/Hartley üstökös látszik, melynek hosszú tengelye kb. 2,2 km, és a 9P/Tempel üstökös, amelynek a mag legnagyobb mérete kb. 7,6 km. Az ESA Rosetta küldetésének előzetes mérései, melyek akkor készültek, mikor az űrszonda megérkezett a 67P/Csurjumov-Geraszimenko üstököshöz, megerősítették, hogy annak legnagyobb mérete 4,1 km.

* **Elhaladás (flyby):** amikor egy űreszköz elhalad egy bolygó vagy más égitest közelében. Ha az űreszköz a bolygó gravitációs mezőjét használja sebessége növelésére vagy pályájának módosítására, akkor gravitációs hintamanőverről beszélünk.

A 7. ábrán látható montázon több üstökös magról készült képet lehet összevetni a különböző elhaladó űreszközökkel aszteroidákról és naprendszerbeli holdakról (2010-ig) készített képekkel. Az üstökös magok a 7. ábra jobb alsó sarkában láthatók.

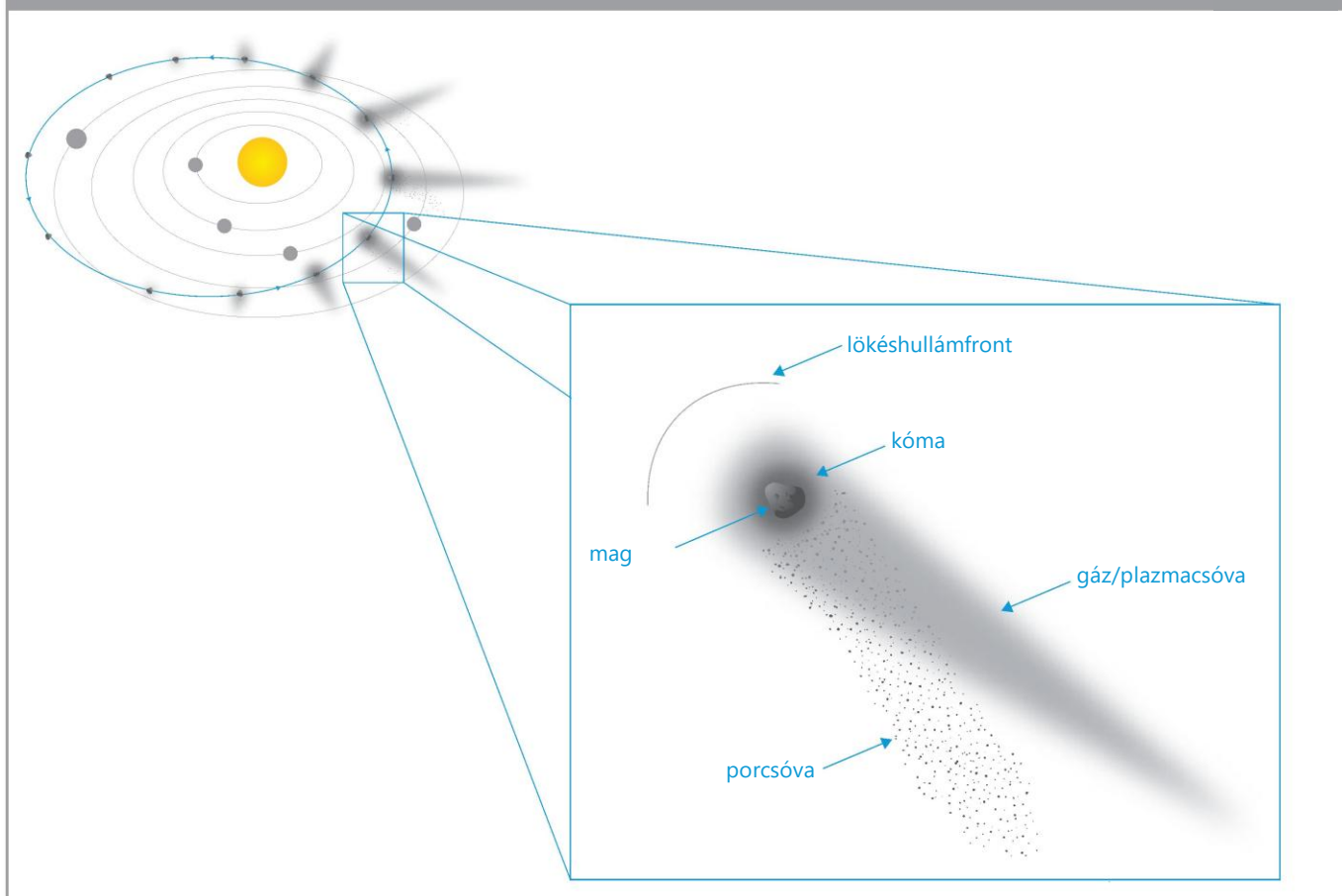


↑ A 9P/Tempel üstökös és a 103P/Hartley üstökös magjának mérete.

Miért más egyes üstökösök csóvájának alakja?

Az üstökös csóvájának formáját és megjelenését a napszél és a napsugárzás, illetve a magból kiáramló anyagok közötti kölcsönhatás alakítja. Gyakran látunk két, eltérő irányba mutató csóvát. Az egyik mindig a Nappal ellentétes irányba mutat. Ez a plazma- vagy ioncsóva. A Napból érkező ultraibolya fény ionizálja a kómában található gázokat. Ezeket az ionizált részecskéket aztán a napszél az üstököstől eltávolítja. A másik csóva a porcsóva, amelyet a kóma kis, szilárd, a napsugárzás nyomása miatt a Naptól eltávolodó részecskéi alkotnak. A porcsóva enyhén visszafelé ível abba az irányba, ahonnan az üstökös érkezett (A3 ábra). Mivel a naptevékenység mértéke, a mag forgása és a gázkilövellés sebessége üstökösönként nagy mértékben eltérhet, számtalan formájú csóvát láthatunk.

A3 ábra

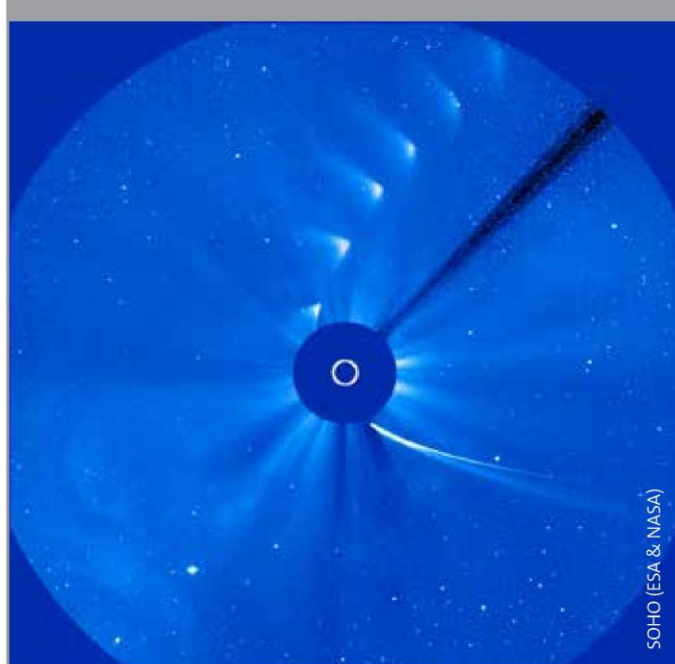


↑ Az ábra egy üstökös két csóvját mutatja, illetve azt, hogyan változnak ezek, ahogy az üstökös halad a Nap körüli pályáján.

Mennyi ideig marad meg egy üstökös magja?

Az üstökösök veszítenek az illékony anyagaikból (pl. a szén-dioxidból és a vízből) és a porból minden alkalommal, amikor áthaladnak a perihéliumon, törmelékét hagyva maguk után. Ez azt jelenti, hogy egy adott mag véges számú alkalommal tud áthaladni a perihéliumon, mielőtt elfogy belőle az összes illékony anyag. Erre volt egy példa a 2012/S1 ISON napsúroló üstökös, amely először 2013-ban ért napközelsébe (A4 ábra). A 2012/S1 ISON üstökösnél úgy tűnt, hogy röviddel azelőtt, hogy elhaladt a Nap mellett, megszűnt a gáz és a por kibocsátása.

A4 ábra



↑ Az ISON üstökös találkozása a Nappal 2013. november 28 és 30 között, az ESA/NASA SOHO nevű műholdjának felvételén.

Milyen hatásokra változhat meg egy üstökös keringési pályája, amikor napközben van?

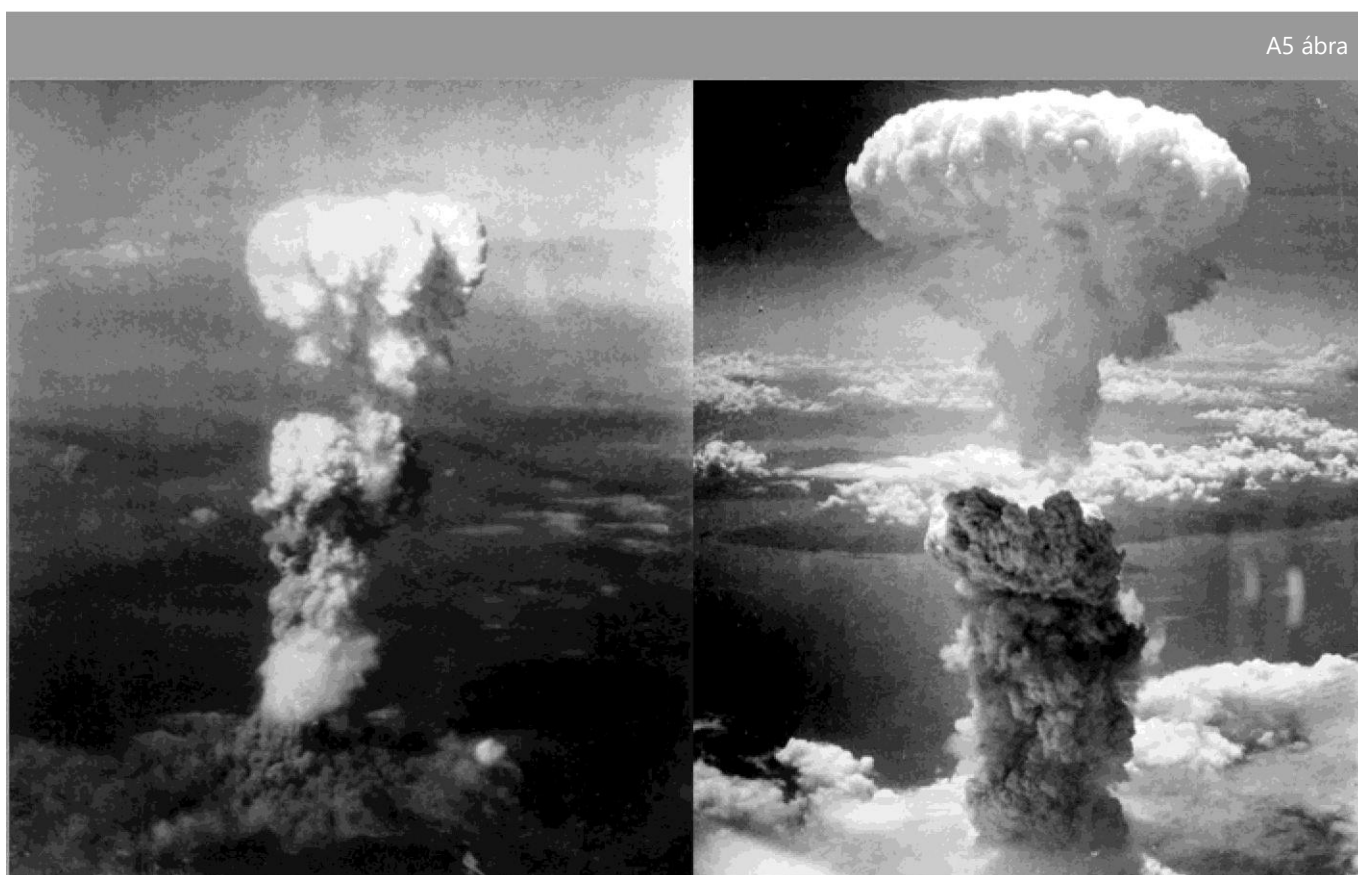
Amikor egy üstökös magjában az illékony anyagok (mint a szén-dioxid és a víz) a Nap felé közeledve elkezdnek felmelegedni, a gázok kilövellése visszalökődési effektust hozhat létre. A kiáramló gáz ugyanakkora, ellentétes irányú erőt fejt ki az üstökösre (Newton harmadik törvénye), így nagyon enyhén meglöki azt. Az ilyen hatás kis mértékben módosíthatja az üstökös keringési pályáját, illetve a Nap körüli keringés idejét is, hiszen a mag eltérül a korábban várt útvjáról. Tekintve, hogy a legtöbb mag forog is (akár több tengely mentén, előre és oldalra is bucskázva), a módosulások üstökösönként rendkívüli mértékben eltérhetnek.

A megbeszélés kibővítése – előfordulhat, hogy egy üstökös vagy aszteroida a Földre csapódik?

A különböző országok által 1945 óta végzett atomrobbantások tapasztalatait és a mozgási energia egyenletét felhasználva jó közelítéssel meg lehet határozni, hogy milyen méretű objektum hozta létre az arizonai meteoritkrátert.

A nukleáris fegyverek energiáját kilotonnában (kt) mérjük, 1 kt 1000 tonna TNT felrobbanásakor felszabaduló energiának felel meg. $1 \text{ kt} = 4,2 \times 10^{12} \text{ J}$.

A Hirosimára és Nagaszakira ledobott atombombák (A5 ábra) felrobbanásakor felszabaduló energia kb. 20 kt volt.



↑ Bal oldali kép: füst Hiroshima felett az első atombomba felrobbanásakor. Jobb oldali kép: a Nagaszakit ért atombomba-támadás.

Egy akkora kráter létrejöttéhez, mint az arizonai meteoritkráter, a területre jellemző kőzetet figyelembe véve kb. 2,5 Mt (2500 kt) energiára, azaz kb. 125 olyan bombára lenne szükség, mint a hirosimai. Egy matematikai/számítógépes szimulációs modell szerint az objektum $12,8 \text{ km s}^{-1}$ sebességgel csapódott a Földre. Ez már elegendő információ ahhoz, hogy körülbelüli méretét kiszámíthassuk.

Az arizonai meteoritkráter létrehozó, becsapódó objektumnak számos darabja szétszóródott a környező területen. Ezeknek a törmelékeknek a vizsgálata azt mutatja, hogy az objektum 92%-ban vasból és 7%-ban nikkelből állt (a maradék 1%: kalcitzárványok és más nyomelemek). A becsapódó objektum átlagos sűrűsége kb. 7000 kg m^{-3} volt.

Ezeket az adatokat felhasználva a következő számításokat végezhetjük el, feltételezve, hogy az objektum mozgási energiája robbanási energiává alakult a kráter kialakulásakor:

1. Paraméterek összefoglalása

Mozgási energia, $E_k = 2500 \text{ kt}$

Belépési sebesség $= 12,8 \text{ km s}^{-1}$

$1 \text{ kt} = 4,2 \times 10^{12} \text{ J}$

Vas meteorit sűrűsége, $\rho = 7000 \text{ kg m}^{-3}$

2. A kráter létrejöttéhez szükséges energiát átszámítjuk joule-ba.

$$E_k = 2500 \text{ kt} = 2500 \times 4,2 \times 10^{12} \text{ J} = 1,05 \times 10^{16} \text{ J}$$

3. A mozgási energia egyenletét használva kiszámítjuk a becsapódó objektum tömegét.

$$E_k = 1/2 mv^2$$

Átrendezzük m-re:

$$m = (2E_k)/v^2 = (2 \times 1,05 \times 10^{16} \text{ J}) / (12\,800 \text{ m s}^{-1})^2 = 128 \times 10^6 \text{ kg} = 128\,000 \text{ t}$$

4. A sűrűség egyenletét használva kiszámítjuk a becsapódó objektum térfogatát.

Mivel tömeg = sűrűség \times térfogat

$$\text{Térfogat} = \text{tömeg} / \text{sűrűség} = (128 \times 10^6 \text{ kg}) / (7000 \text{ kg m}^{-3}) = 1,83 \times 10^4 \text{ m}^3$$

5. Feltételezve, hogy a becsapódó objektum gömb alakú, a gömb térfogatának egyenletével kiszámíthatjuk a sugarát. Másik lehetőség, hogy a becsapódó objektumot kockaként modellezzük.

$$\text{Mivel a gömb térfogata} = (4/3)\pi r^3$$

Átrendezve

$$r^3 = (3 \times 1,83 \times 10^4 \text{ m}^3) / (4 \times \pi) = 4371 \text{ m}$$

tehát $r = 16,4 \text{ m}$

Ezt követően a tanulók megvizsgálhatják a modellben használt feltételezések korlátait/bizonytalanságait, köztük ezeket:

- a mozgási energia 100%-os átalakulásának feltételezése. Az energia egy része másra fordítódva elveszett volna, például hang jött volna létre, illetve felmelegítette volna a légkört.
- a becsapódási sebesség bizonytalansága. Ezt az értéket egy régi becsapódási kráter megfigyeléseiből következtették ki, így pontatlan lehet, ami viszont a méret számításakor is pontatlansághoz vezet.
- a becsapódási szög hatása. Az elpárolgó/kilövellő kő mennyisége a belépési szög függvényében változhat. Mivel az eredeti tényezők jelentős részét ebből a bizonyítékból következtették ki, a belépési szög nagyban befolyásolja az eredményeket. A Down2Earth becsapódási szimulátorban (ld. lent és a „Linkek” részben) adott objektum esetén különböző belépési szögekkel végzett kísérletek segíthetnek jobban feltárni ezt a kérdést.

Online becsapódásszimulátor – Down2Earth

A Down2Earth (ld. a „Linkek” részt) egy oktatási célú, webalapú becsapódásszimulátor, amelyben a tanulók megadhatják a becsapódás paramétereit, köztük a becsapódó objektum (aszteroida vagy üstökös) összetételét, belépési szögét, méretét, a becsapódás helyét és az ott jellemző közet típusát. A tanulók megbecsülhetik ezen tényezők hatását a kráter méretére, és összeköthetik ezt a becsapódáskor történő energiaátadással. Ezt követően a tanulók virtuális környezetben ellenőrizhetik becsléseik helyességét.

→ KÖVETKEZTETÉSEK

Az üstökösök érdekes kontextust jelentenek több tantervi téma tanításához, például a következőkhöz: gravitációs mezők és keringési pályák, mozgási energia és energiaátadás, üstökösök spektroszkópiai vizsgálata, az élethez szükséges összetevők. Ezeknek a fagyott világoknak a vizsgálata lenyűgözően érdekes, és számos izgalmas tanítási lehetőséget tartogat.

Készítsünk miniüstököszt!

Ebben a tevékenységben egy üstökös magjának analógiájaként szolgáló objektumot hoztok létre hétköznapi, az üstökösök magjában található legfontosabb anyagoknak megfelelő összetevőkből. A felhasznált anyagok egy része, például a szárazjég, veszélyes – ezek megfelelő kezelését a tanárotok ismerteti.

Eszközök

- Szárazjég (kb. 100 ml)
- Víz (kb. 100 ml)
- Kis szemeteszákok
- 3 teáskanál föld
- 1 teáskanál szénpor vagy grafitpor
- 1 teáskanál whisky, vodka vagy vörösbor (metanol/etanol összetevő)
- Néhány csepp szójaszós (szerves összetevő)
- Egy csepp tisztítószer (ammóniát tartalmazó termék)
- Eldobható műanyag pohár
- Vödör a hulladéknak
- Teáskanál
- Polisztirol tároló a szárazjéghez
- Hőálló védőkesztyű
- Védőszemüveg minden résztvevőnek
- Laboratóriumi védőköpeny

Lépések

1. Tegyétek a következő összetevőket egy kibélelt, eldobható műanyag pohárba: víz, föld, szénpor, bor/alkohol, tisztítószer és szójaszós. Ezek az igazi üstökösök összetevői egy részének felelnek meg. Keverjétek el alaposan a teáskanállal.
2. Adjátok hozzá a szárazjeget. Keverjétek meg a víz és szárazjég elegyét. Ezután védőkesztyűben gyúrjátok egybe az üstököszt kb. 30 mp-ig. Ne nyomjátok túl erősen, mert szétrepedhet.
3. A tevékenység végén helyezétek az üstököszt egy szemeteszákba, és azzal együtt a tanároktól kapott vödörbe.

Az üstökös tömegének, sebességének és energiájának kiszámítása

A következő feladatokkal az alábbi táblázatban szereplő adatokat használva állapítsátok meg az üstökösök tömegét, sebességét és energiáját.

A Nap tömege

$$m_{\text{Nap}} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$$

A jég sűrűsége

$$\rho = 1000 \text{ kg m}^{-3}$$

Gravitációs állandó

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$$

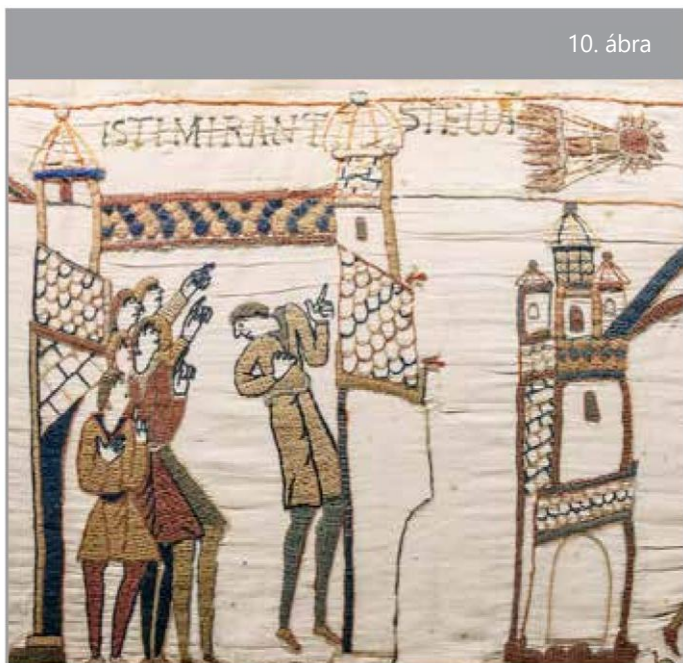
Feladatok

1. Egy üstökös mozgási energiája $4,5 \times 10^{13} \text{ J}$. 34 km s^{-1} -es sebességgel halad. Számoljátok ki az üstökös tömegét.
2. Egy nagy, $5,2 \times 10^8 \text{ kg}$ tömegű üstökös nagyon közel halad el a Földhöz, súrolva a légkört. A mérés pillanatában a sebessége $49,0 \text{ km s}^{-1}$.
 - a) Számoljátok ki az üstökös mozgási energiáját (joule-ban).
 - b) Ha 1 kilotonna (1000 tonna) TNT felrobbanásakor $4,2 \times 10^{12} \text{ J}$ energia szabadul fel, hány kilotonna energiája lett volna ennek az üstökösnek, ha becsapódik a Földbe?
 - c) Miután éppen elkerüli a Földet, az üstökös tömege és pályája megváltozik. Mi lehet ennek az oka?
3. Egy üstökös elliptikus pályán kering a Nap körül. Amikor a legjobban megközelíti a Napot, akkor $4,9 \times 10^{10} \text{ m}$ távolságra van tőle. Ezen a ponton a sebessége $8,9 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$. Az üstökös az Oort-felhőből érkezett, ami jóval a Neptunusz pályáján túl található. Mekkora a sebessége, amikor $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$ -re van a Naptól (ami a Föld keringési pályájának a Naptól mért távolságával egyezik meg)?
4. Mit gondoltok, hogyan hatottak az üstökösök és aszteroidák becsapódásai a Földre és a földi életre az idők folyamán?

→ AZ ŰR MEGISMERÉSE ÉS AZ ESA

Giotto

Az 1P/Halley üstökös keringési ideje körülbelül 75,5 év (ez kis mértékben változik minden megtett körnél a magból kilövellő gázok és a gravitációs perturbáció miatt). Ezt az üstököst rendszeresen megfigyelték a Földről (szabad szemmel), i.e. 240 körüli észleléseknek is van már nyoma. A megfigyelésekről szóló feljegyzéseknek köszönhetően a csillagászoknak sikerült az 1P/Halley üstökös pályájának a perihéliumon való áthaladás körüli néhány hónapban bejárt szakaszát behatárolni. Az 1P/Halley üstökös földi észlelésének egyik híres nyoma az 1066-os hastingsi csatát megörökítő bayeux-i kárpiton szerepel (10. ábra).



10. ábra



11. ábra

↑ Az 1P/Halley üstökös a bayeux-i kárpiton.

↑ A Giotto készen áll a szoláris szimulációs tesztre. Szerzői jog: ESA

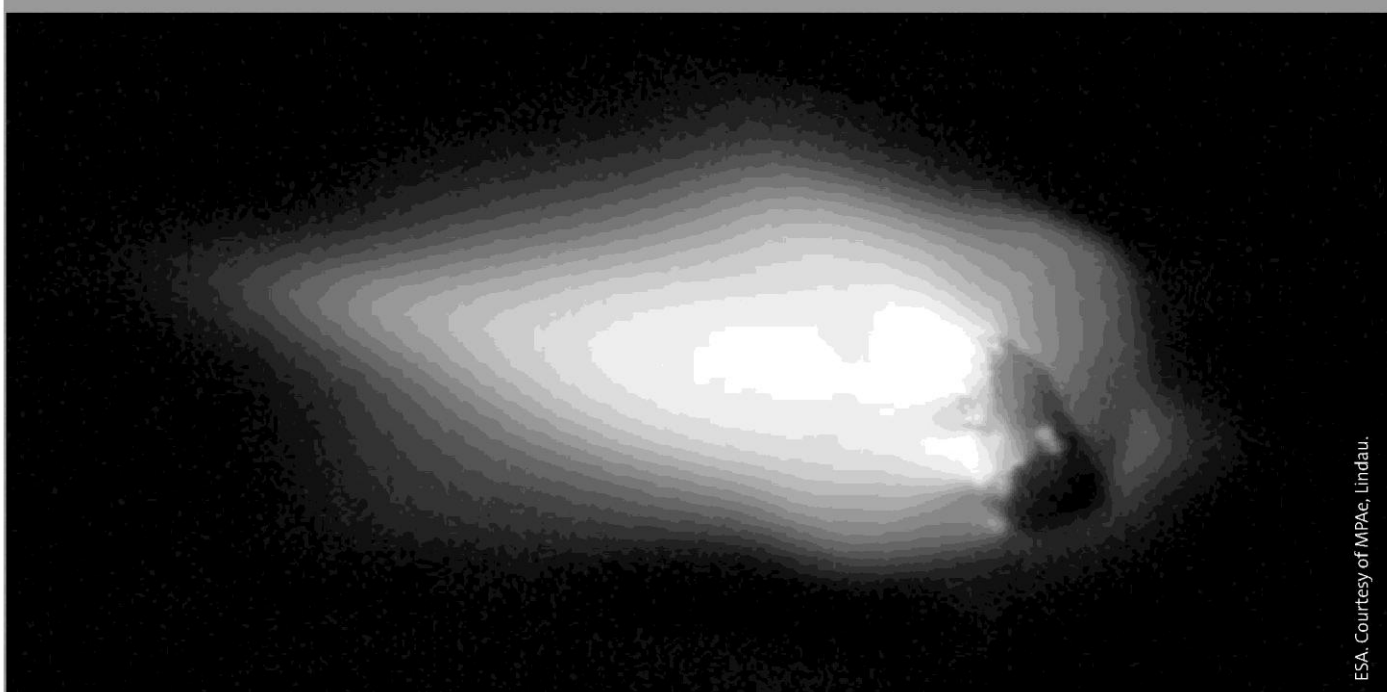
Ennél időben sokkal közelebb hozzánk, 1986-ban, az 1P/Halley üstökös először közelítette meg a Napot az űrkorszak kezdete óta. Az ESA Giotto nevű űrszondája (11. ábra) kevesebb, mint 600 km-re haladt el a Halley magjától, és elkészítette az első közeli képeket egy üstökösmagról (12. és 13. ábra). Az űrszonda megfigyelései segítették a tudósokat ezeknek a jeges objektumoknak a pontosabb megértésében.

A Giotto megfigyelte, hogy a mag felülete nagyon sötét, feketébb, mint a szén: ez arra utalt, hogy porréteg borítja. Az adatok azt mutatták, hogy a könnyű elemek (hidrogén, szén és oxigén) előfordulása, illetve aránya az 1P/Halley üstökösben hasonló volt a Napnál tapasztaltakhoz, ami azt jelenti, hogy az üstökös abból az anyagból épül fel, amelyből a Naprendszer kialakult.

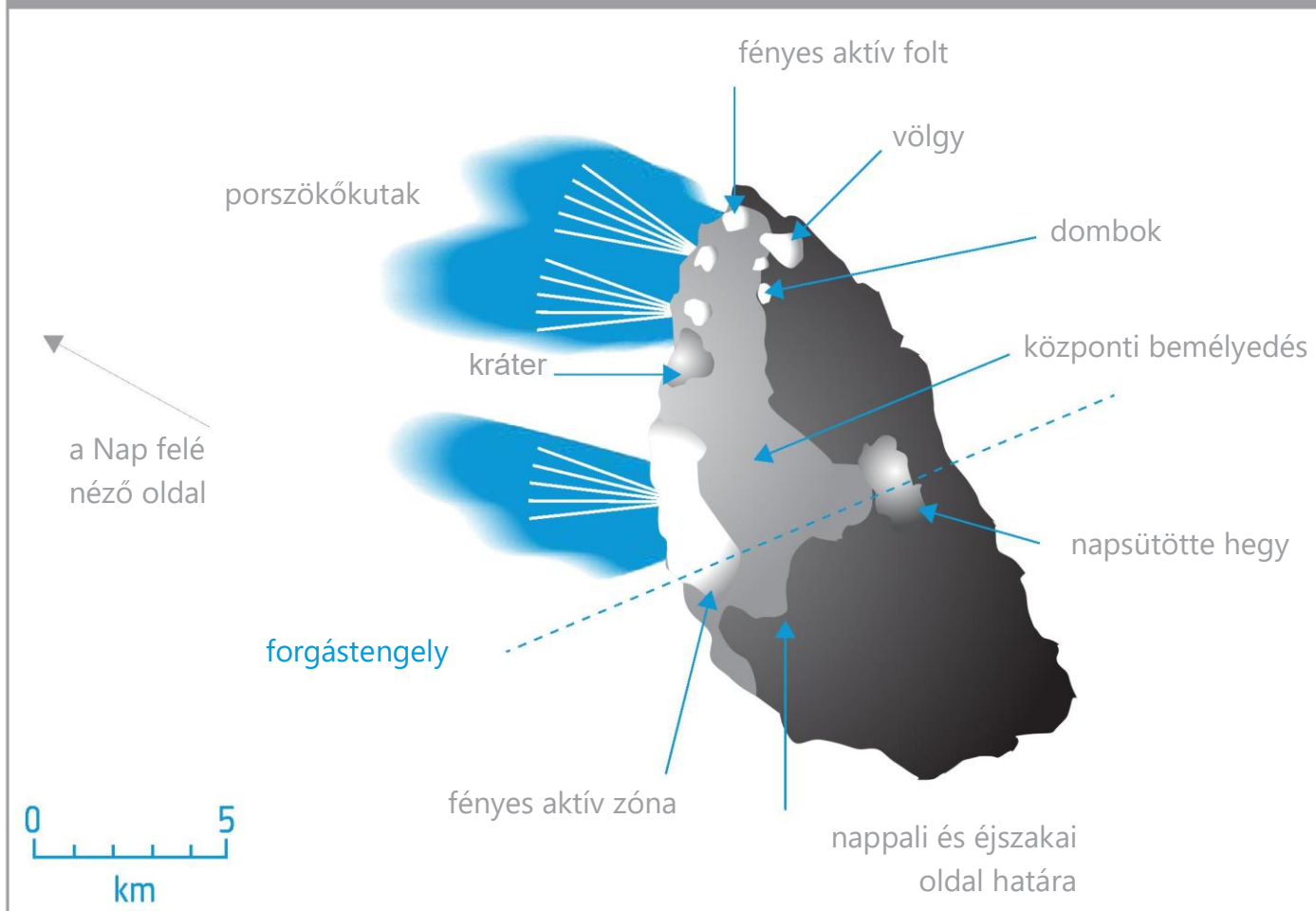
A 12. ábrán látható montázképen látszik, ahogy egyre több részlet vált láthatóvá, amikor az űreszköz megközelítette a magot.



↑ Az 1P/Halley üstökös magja, amikor a Giotto a legjobban megközelítette.



↑ Az 1P/Halley üstökös magja a Giotto felvételén.



↑ Az 1P/Halley üstökös legfontosabb jellemzői az ESA Giotto űrszondája által küldött képen.

A 14. ábra az 1/P Halley üstökös magjáról készült kép alapján (13. ábra) meghatározott jellemzőket mutatja. Azt látjuk, hogy a mag felszínéről anyag lövell ki, azaz porszökőkutak jönnek létre. Ennek oka a mag felszínén, illetve a felszín közelében található illékony anyagok gyors szublimációja. Ahogy ezeknek a táguló illékony anyagoknak nő a nyomása, egy idő után kilövellnek.

SOHO – Solar and Heliospheric Observatory

Az ESA/NASA Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) műholdja a Napot figyeli meg a Földtől 1,5 millió km távolságból (15. ábra). Itt a Föld és a Nap együttes gravitációs hatása az űreszközt egy, a Földet a Nappal összekötő vonalhoz rögzített keringési pályán tartja. Ebből a helyzetből a SOHO folyamatosan rálát a Napra, és napi 24 órában tud megfigyeléseket végezni.

A SOHO-t arra tervezték, hogy a Nap belső szerkezetét, az atmoszféra kiterjedt legkülső részét (a koronát) és a napszél eredetét tanulmányozza. A SOHO 1995-ben indult útjára, már egy teljes napcikluson keresztül figyelte a Napot, és értékes adatokkal szolgált a tudósoknak a Nap hosszú távon mutatott, változó mértékű aktivitásáról.

Egyedi helyzetének köszönhetően a SOHO több ezer napsúroló üstököst is meg tudott figyelni, többek között a 2012/S1 ISON napsúroló üstököst, amely 2013-ban ért napközelsébe. A SOHO fedezte fel eddig a legtöbb üstököst, elindítása óta több mint 2700-at.

15. ábra



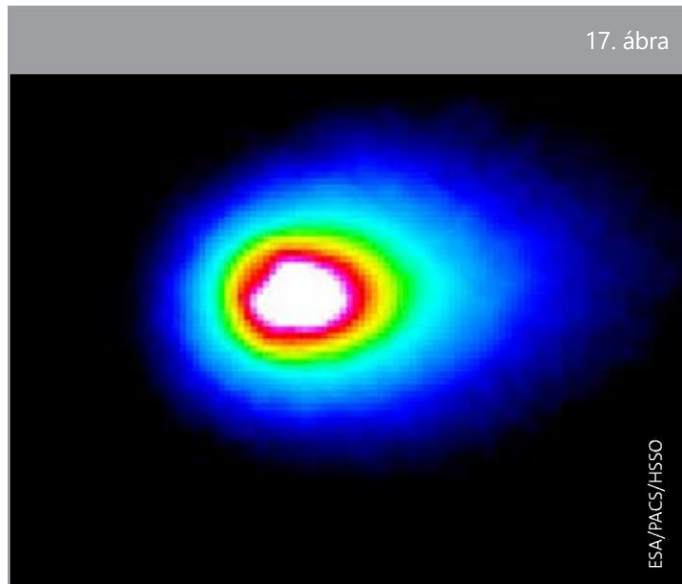
↑ A SOHO művészi ábrázolása.

A 103P/Hartley üstökös és a Herschel

Az ESA Herschel műholdját (16. ábra) 2009-ben indították el a valaha az űrbe juttatott legerősebb infravörös távcsővel. Ez volt az első űrtávcső, amely a teljes spektrumot lefedte a távoli infravöröstől a milliméter alatti hullámhosszokig. A Herschel megfigyelései a távoli infravörös tartományban tovább terjedtek, mint bármelyik megelőző küldetésnél, és a világűr egyébként nem látható, közelebbi és távolabbi poros és hideg területeit vizsgálta.



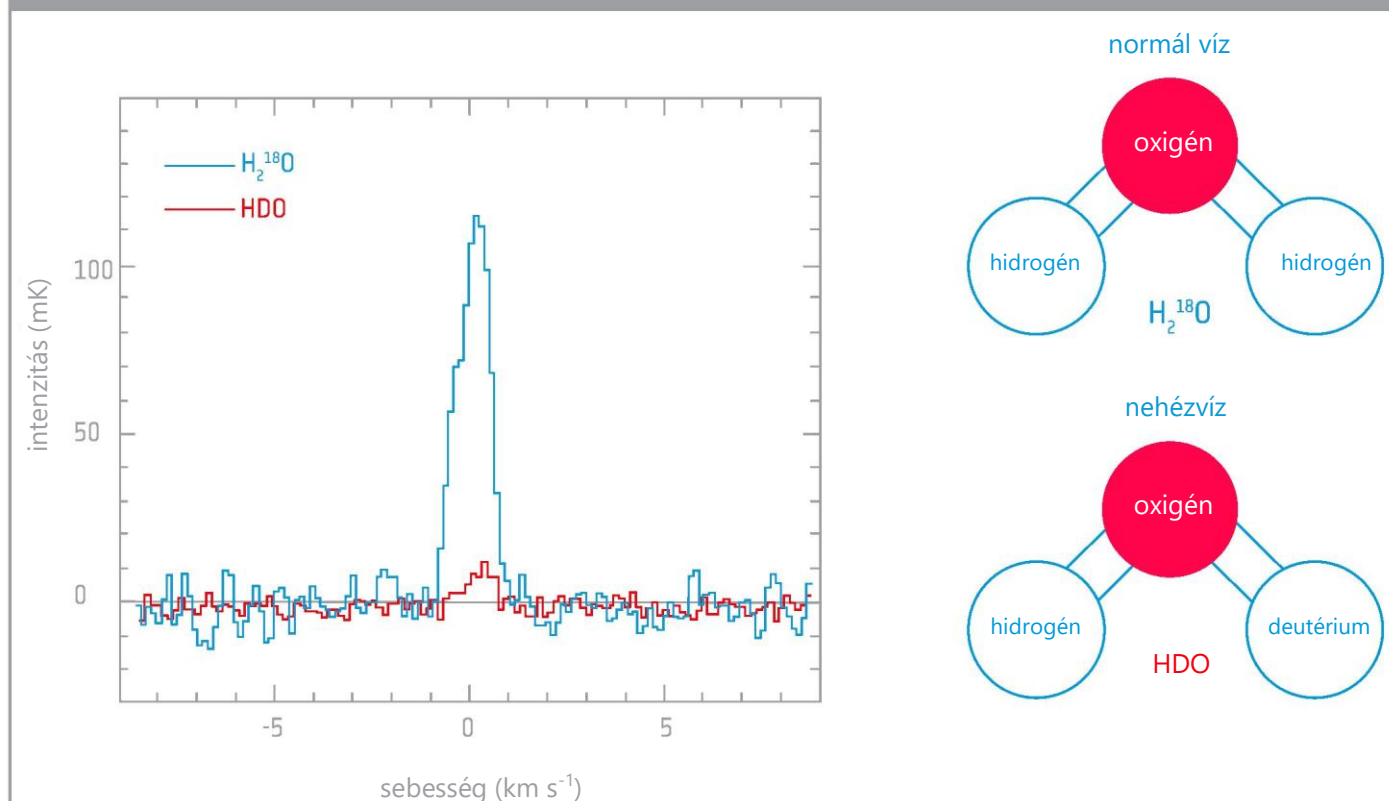
↑ A Herschel infravörös űrtávcső művészi ábrázolása.



↑ A 103P/Hartley üstökös a Herschel infravörös űrtávcső PACS (kamera és közepes felbontású spektrométer) műszerének képén.

2010-ben a Herschel távoli infravörös spektroszkópiai megfigyeléseket végzett a 103P/Hartley üstökösnél, és nagy mennyiségű víz kibocsátását figyelte meg a magból. Ezt a 17. ábrán piros és fehér szín jelzi. Ezeket a megfigyeléseket az üstökös perihéliumának (a pálya Naphoz legközelebbi pontjának) közelében végezte.

A Herschel HIFI (nagy felbontású, a távoli infravörös tartományban működő spektrográf) műszere által végzett infravörös spektroszkópiai mérések segítségével meg lehetett becsülni a deutérium („nehéz hidrogén” – olyan hidrogénatom, amelynek magjában a proton mellett neutron is található) hidrogénhez viszonyított arányát az üstökös magja által kibocsátott vízben (azaz a normál és a „deuterált” víz arányát; 18. ábra). Azt állapították meg, hogy ennek az üstökösnek a vizében, a többi megfigyelt üstököstől eltérően, a földi óceánokéval megegyezett ez az arány. Ez volt az első közvetlen bizonyíték annak az elméletnek az alátámasztására, hogy a Földön eredetileg jelen lévő víz onnan származott, ahonnan bizonyos üstökösök.



↑ A molekula egyik hidrogénjében található plusz neutron miatt a nehézvíznél kisebb spektrális csúcsot látunk.

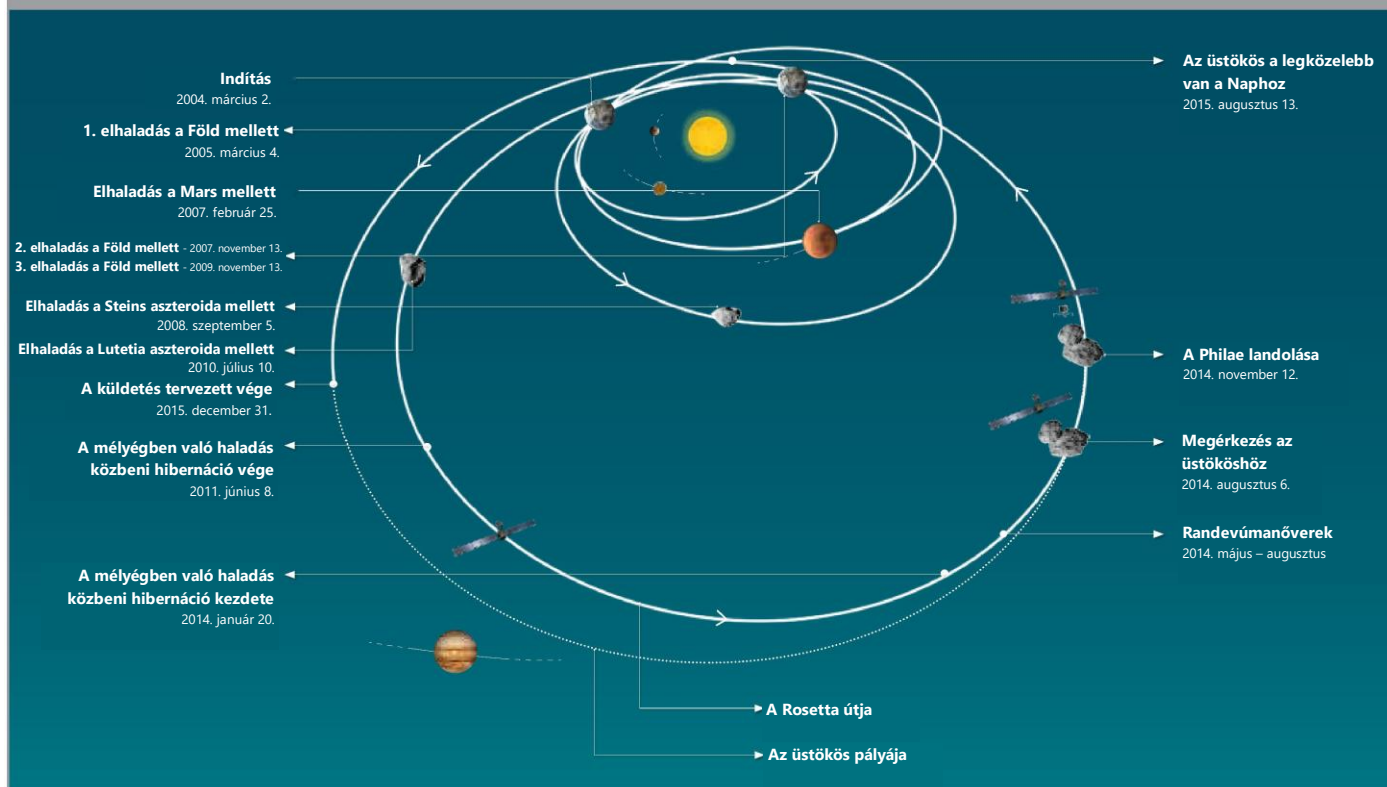
Rosetta

Az ESA Rosetta nevű űrszondáját 2004-ben indították el a 67P/Csurjumov–Geraszimenko üstököshöz egy 10 éves útra, hogy találkozzon az üstökössel és leszálljon annak magján.

A Rosetta elsődleges célja az volt, hogy segítse feltérképezni a Naprendszer eredetét és fejlődését. Az üstökös összetétele olyan, mint azé a csillagködé, amelyből a Nap és a Naprendszer bolygói több mint 4,6 milliárd évvel ezelőtt létrejöttek. A Rosetta és leszállóegysége mélyrehatóan elemzi majd a 67P/Csurjumov–Geraszimenko üstököst, rendkívül fontos adatokkal szolgálva a Naprendszer kialakulásáról.

Meggyőző bizonyítékok támasztják alá, hogy az üstökösöknek komoly szerepe volt a bolygók fejlődésében, mert tudjuk, hogy a Naprendszer történetének korai szakaszában az üstökösök becsapódása sokkal gyakoribb jelenség volt, mint most. Lehet például, hogy az üstökösök révén került víz a Földre. A 67P/Csurjumov–Geraszimenko üstökös vizének kémiai elemzése megmutatja majd, hogy megegyezik-e a földi óceánok vizével. A jég és a por mellett az üstökösök sok összetett molekulát tartalmaznak, köztük szerves anyagokat, amelyek kulcsszerepet tölthettek be a földi élet kialakulásában.

Ahhoz, hogy a Rosetta eljusson az üstökösig, több gravitációs hintamanővert kellett végrehajtania: így nevezzük, amikor egy égitest gravitációs mezőjét használja egy űreszköz a gyorsulásra (19. ábra). Ahhoz, hogy távolabbra jusson az űrben, a Rosettának négy hintamanővert kellett végrehajtania, háromszor a Föld és egyszer a Mars mellett kellett közel elhaladnia. Mindegyik ilyen manőver módosította a Rosetta mozgási energiáját, ezzel az űreszköz sebességét és az elliptikus keringési pálya tulajdonságait.



↑ Az ESA Rosetta űrszondája több gravitációs hintamanővert hajtott végre, hogy elérhesse célját.

Mivel ilyen hosszú utat kellett megtennie, a Rosettát hibernálták 2011 júniusában, hogy csökkentsék az energia- és üzemanyag-fogyasztását és minimalizálják a működtetésének költségeit. A Rosetta majdnem minden elektronikus rendszerét kikapcsolták a számítógép és néhány fűtőelem kivételével.

2014 januárjában a Rosetta előzetesen beprogramozott, beépített „ébresztője” óvatosan felébresztette az űreszközt, hogy felkészüljön a 67P/Csurjumov–Geraszimenko üstökössel való randevúra. A feléledését követően a keringő egység 11 tudományos műszerét és a leszállóegység 10 műszerét újra bekapcsolták és felkészítették a tudományos megfigyelésekre. Ezt követően tíz, kritikusán fontos korrekciós manővert hajtottak végre az űreszköz pályáján, hogy az üstököshöz képesti relatív sebességét csökkentsék és igazodhasson annak elliptikus pályájához.

Miután a Rosetta megérkezett a 67P/Csurjumov–Geraszimenko üstököshöz 2014. augusztus 6-án, további manőverekbe kezdett, hogy az üstökös magja körüli „pályára” álljon. Ebből a megfigyelési pontból a Rosetta műszerei részletes tudományos vizsgálatot tudtak végezni az üstökösről: felmérték és addig nem látott részletességgel ábrázolták annak felszínét (20. ábra).

20. ábra



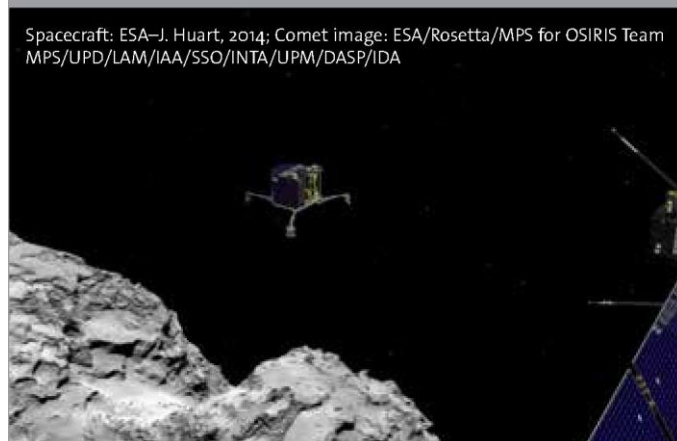
↑ 4 képből álló NAVCAM-mozaik a 67P/Csurjumov–Geraszimenko üstökösről; a felhasznált képek 2014. szeptember 19-én készültek, amikor a Rosetta 28,6 km-re volt az üstököstől.

Leszállás után a Rosetta tovább fogja kísérni az üstököst az elliptikus pályáján. A Rosetta gyorsulva fog haladni vissza, a Naprendszer belseje felé az üstökössel, és továbbra is közélről fogja vizsgálni, amint a jeges üstökösmag felmelegedik a Nap felé közeledve.

2014 novemberében, miután hónapokat töltött az üstökösmag feltérképezésével és elemzésével, a Rosetta elindítja Philae nevű leszállóegységét, hogy megkísérelje a történelem első leszállását egy üstökös magjára. Mivel az üstökös gravitációs hatása nagyon kicsi, a Philae szigonyokkal és jégcsavarokkal fogja rögzíteni magát a felszínre. A 14. ábra művészi ábrázolása a Philae landolásának az üstökösmag felszínén.

A Philae leszállóegység 10 műszert fog használni, többek között egy fúrót, amellyel mintát vesz a felszínről, valamint **spektrométereket***, hogy közvetlenül tudja elemezni az üstökös szerkezetét és összetételét.

21. ábra



↑ A Philae leszállóegység soha nem látott adatokkal fog szolgálni az üstökös felszínéről és belső szerkezetéről.

***Spektrométer:** műszer, amellyel a fényt az őt alkotó hullámhosszokra lehet bontani, és ezáltal meghatározni a fényforrás tulajdonságait.

Glosszárium

Aphélium (naptávolpont): a keringési pálya Naptól legtávolabbi pontja.

Csillagászati egység (CsE): 1 CsE a Föld és a Nap közötti átlagos távolság, azaz a Föld keringési sugara, körülbelül 150 millió kilométer.

Lökéshullámfront (üstökös): az üstökös kómájának ionjai és a napszél közötti kölcsönhatási felület. A lökéshullámfront azért alakul ki, mert az üstökös és a napszél relatív sebessége szuperszonikus. A lökéshullámfront az üstökös előtt, a napszél áramlási irányában alakul ki. A lökéshullámfronton az üstökös ionjai nagy koncentrációt érnek el, és plazmával töltik fel a Nap mágneses mezejét. Ennek eredményeképpen az erővonalak elhajlanak az üstökös körül, eltérítve annak ionjait, így jön létre a gáz/plazma/ioncsóva.

Elhaladás (flyby): amikor egy űreszköz elhalad egy bolygó vagy más égitest közelében. Ha az űreszköz a bolygó gravitációs mezőjét használja sebessége növelésére vagy pályájának módosítására, akkor gravitációs hintamanőverről beszélünk.

Gravitációs perturbáció: égitest (pl. bolygó, üstökös) keringési pályájának módosulása más égitestek (pl. óriásbolygók, más csillagok) gravitációs mezőjével való kölcsönhatás miatt.

Lagrange-pontok: bármilyen keringési konfigurációnál öt olyan pont van, ahol egy olyan objektum, melyre csak a gravitáció hat, nyugalomban tud keringeni. Részletesebb információk ebben az anyagban találhatóak: ESA Tanítsunk a világűrrel – Gravitációs kutak – videó | VP04 (ld. a „Linkek” részt).

Keringési idő (periódus): a keringési pályán egy kör megtételéhez szükséges idő.

Perihélium (napközelpont): a keringési pálya Naphoz legközelebbi pontja.

Bolygó retrográd mozgása: Egy bolygó látható mozgása az éjszakai égbolton, amely a szokásosan megfigyelttel (prográd vagy direkt mozgás) ellentétes irányú.

Napszél: nagy energiájú részecskék (plazma) árama, amely a Nap felső atmoszférájából áramlik ki minden irányba. Nagyrészt elektronokból és protonokból áll.

Szublímál (szublimáció): amikor melegítés hatására egy anyag szilárd halmazállapotából közvetlenül gáz-halmazállapotúvá válik, a folyékony halmazállapot kihagyásával. Amikor a gázt ismét lehűtjük, jellemzően szilárd anyagként lerakódik.

Linkek

Rosetta

Az ESA weboldala a Rosettáról: www.esa.int/rosetta

Az ESA blogja a Rosettáról: blogs.esa.int/rosetta/

Videók és animációk a Rosettáról: www.esa.int/spaceinvideos/Missions/Rosetta

Képek a Rosettáról: [www.esa.int/spaceinimages/Missions/Rosetta/\(class\)/image](http://www.esa.int/spaceinimages/Missions/Rosetta/(class)/image)

Adatok a Rosettáról, köztük a küldetés ütemezése: [www.esa.int/Our Activities/Space Science/Rosetta/Rosetta factsheet](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Rosetta_factsheet)

Mi történt eddig: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_the_story_so_far

Egy üstökös nyomában: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Chasing_a_comet

Egy 12 éven át tartó utazás a világűrben:

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/10/Rosetta_s_twelve-year_journey_in_space

A Rosetta pályája az üstökös körül: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_s_orbit_around_the_comet

Hogyan lehet egy üstökös körül keringeni: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/08/How_to_orbit_a_comet

Üstökösök

ESA Kids gyerekeknek szóló cikk az üstökösökről: www.esa.int/esaKIDSen/SEMWK7THKHF_OurUniverse_0.html

Az ESA (szakmai) weboldala a Rosettáról: [www.esa.int/Our Activities/Space Science/Rosetta](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta)

ESA Giotto website: sci.esa.int/giotto/

Az ESA weboldala a Rosettáról: www.esa.int/rosetta

ESA Kids gyerekeknek szóló cikk a Világegyetemről: www.esa.int/esaKIDSen/SEMYC9WJD1E_OurUniverse_0.html

Giotto

A Giotto fő adatai: [www.esa.int/Our Activities/Space Science/Giotto overview](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Giotto_overview)

Herschel

Az ESA weboldala a Herschel űrtávcsőről: www.esa.int/herschel

A földi óceánok az üstökösökről származnak?:

[www.esa.int/Our Activities/Space Science/Herschel/Did Earth's oceans come from comets](http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Herschel/Did_Earth_s_oceans_come_from_comets)

SOHO

Az ESA weboldala a SOHO-ról: soho.esac.esa.int

Videó az ISON üstökös találkozásáról a Nappal az ESA/NASA SOHO nevű műholdjának felvételén:

sci.esa.int/soho/54346-soholasco-view-of-comet-ison-27-30-november-2013/

Becsapódás a Földbe

Down2Earth becsapódásszimulátor: education.down2earth.eu/

„Tanítsunk a világűrrel”-gyűjtemény

ESA Tanítsunk a világűrrel – Gravitációs kutak – videó | VP04:

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Gravity_wells_-_classroom_demonstration_video_VP04

ESA Tanítsunk a világűrrel – Csodás ellipszisek tanári útmutató és tanulói tevékenységek | P02:

esamultimedia.esa.int/docs/edu/P02_Marble-ous_ellipses_teacher_guide.pdf

ESA Tanítsunk a világűrrel – Csodás ellipszisek – videó | VP02:

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Marble-ous_ellipses_-_classroom_demonstration_video_VP02

Tanítsunk a világűrrel! – Készítsünk üstökösöt – videó | VP06:

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/10/Cooking_a_comet_ingredients_for_life_-_classroom_demonstration_video_VP06

Tanítsunk a világűrrel! – Készítsünk üstököst! | P06

www.esa.int/education

Kidolgozta az ESA számára: az egyesült királyságbeli

National Space Academy

Illusztrációk: Kaleidoscope Design, Hollandia

Az Európai Űrügynökség oktatási programja

Copyright © Európai Űrügynökség 2014