

Űrszondákkal az üstökösök nyomában

Amíg az üstökösök az amatőrcsillagászok számára elsősorban látványosságuk, változékonyságuk, és nem ismétlődő egyedi, egzotikus művoltuk miatt érdekesek, addig a Naprendszer kialakulásának kutatásában egyenesen kulcsszerepet játszanak. Minél alaposabban meg tudjuk őket figyelni, annál közelebb juthatunk a nagy rejtélyhez: milyen is volt a Naprendszer ősi anyaga? Minthogy feltételezéseink szerint ennek az „ősanyagnak” máig is leghűségesebb hordozói, az üstökösök kutatása a csillagászat egyik kiemelt területe. A földi megfigyelésekkel — beleértve a régi krónikák feljegyzéseit, a szabadszemes, távcsöves és fotografikus észleléseket — rengeteg ismeretet gyűjtöttünk össze róluk, ugyanakkor már az űrkutatás legelső éveiben felvetődött annak gondolata, hogy közelebbről is érdemes lenne tanulmányozni őket.

Távcsöves fényképezéssel és színeképelemzéssel sokminden megállapítható egy üstökösről, de például a „lelke és motorja”, pár kilométeres magja — amely tömegének döntő többségét alkotja és alapvetően felelős viselkedéséért — nem figyelhető meg. Amikor ugyanis az üstökös napközben jár és aktív, akkor a parányi magot eltakarja az intenzív gáz és porkiáramlás, amikor pedig aktivitása alábbhagy, akkor már rendszerint messze jár a Naptól, és Földünkötől is, így a nagy távolság miatt lehetetlen részletes megfigyelése. Hasonlóképpen, helyszíni mérések nélkül csak elég korlátozott ismereteket szerezhetünk az üstökösmagból kiáramló anyag és a napszél kölcsönhatásáról. Ennek megismerése pedig nemcsak az üstököskóma és csóva létrejöttének megismeréséhez, hanem a bolygóközi tér, ezen keresztül pedig a Nap tulajdonságainak pontosabb megértéséhez is közelebb visz bennünket. Ezek kutatására az elmúlt évek során több olyan űreszközt is felbocsátottak, melyek feladata részben vagy kizárólagosan egy-egy üstökös megfigyelése volt. E cikk ezeket az űrprogramokat kívánja ismertetni, majd végül beszámol a közeljövőben tervezett hasonló jellegű vállalkozásokról is.

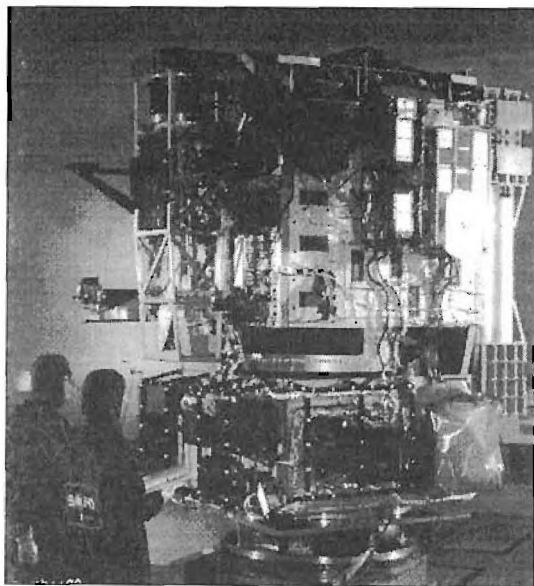
Légkörön kívüli megfigyelések

Ma már nehéz lenne megmondani, melyik volt az első, az űrből megfigyelt üstökös. Ha nem megyünk túl messzire vissza az időben — csak 24 évet —, akkor a Kohoutek üstökössel kezdhetjük a sort. Olvasóink közül sokan talán még emlékeznek rá, milyen óriási várakozás előzte meg ezt az égitestet, hiszen a felfedezés utáni némely előrejelzések –10 magnitúdónak jóslták. A hivatásos és az amatőrcsillagászok egyaránt nagy készültséggel várták, de sajnos messze elmaradt a várakozásoktól, jóval halványabb és jelentéktlenebb volt. (Ráadásul földi megfigyelését napközelsége idején Európából még a rossz időjárás is nehezítette.) Ebben az időben tartózkodott földkörüli pályán a Skylab űrállomás, melynek harmadik váltás személyzete 1973 december végén számos fényképfelvételt készített róla. Éppen ekkor volt pályájának legérdekesebb szakaszában, perihéliumában az üstökös, azaz ekkor a Földről a Nap közelsége miatt nem volt megfigyelhető.

Természetesen a Skylab űrállomás elsődleges feladata nem az üstökös-megfigyelés volt. Hasonlóan egy másik, általánosabb célú kutatási program vezetett, mintegy melléktermékként, az első űreszközzel felfedezett üstököshöz is. 1983 januárjában bocsátották fel a holland, amerikai és angol együttműködéssel megépített IRAS (Infra Red Astronomical Satellite) szondát. Ez az érzékeny detektorokkal felszerelt

csillagászati műhold 10 hónapig működött folyamatosan, és ezalatt az asztrofizika szinte minden területén új felfedezésekre vezetett. Feladata (a földfelszínről nem észlelhető) infravörös égbolt feltérképezése volt. Elsősorban pontforrásokat keresett, de nagyobb kiterjedésű alakzatokat is megfigyelt (állatövi fény), és színképelemzést is végzett. Miután működése alatt az eget többször is végigpásztázta, így az időben változó (főként a Naprendszerhez tartozó) forrásokat is ki tudta mutatni. Ennek köszönhető, hogy több kisbolygó mellett 5 üstököst is felfedezett, a legelső ezek közül az április 26-án megtalált IRAS-Araki-Alcock volt. Miután ez az üstökös két héttel később mindössze 3 millió kilométerrel robogott el Földünk mellett, szabad szemmel is látható volt (számos hazai amatőr függetlenül is felfedezte). A vizuális és infravörös megfigyeléseket összehasonlítva arra az érdekes jelenségre derült fény, hogy amíg látható fényben csóvája jelentéktelen volt, infrában kiterjedt, széles és kb. 400 ezer km hosszú. Ez arra utalt, hogy az égítést anyagát főként por alkothatta.

Ha a közelmúlt eredményeit nézzük, egyre nehezebb lenne felsorolni a légkörön túli üstökösfigyeléseket, hiszen ma már számtalan csillagászati műhold dolgozik, különböző színképtartományokban. A jelenleg is működő űroszervatóriumok közül elég például a HST-t említeni, mely természetesen számos üstökösfigyelést végzett és végez (ezek közül talán a legjelentősebb a Shoemaker-Levy 9 feldarabolódása és Jupiterbe csapódása volt, de mindnyájan emlékezhetünk a tavalyi egészen részletes Hyakutake-felvételekre, melyek az üstökösök legelső környezetét tárták fel).



A SOHO napkutató szonda a szerelőcsarnokban

Érdeemes felsorolni, hány űreszköz figyeli jelenleg is a Hale-Bopp-üstököst (valószínűleg ez a felsorolás sem teljes)! A NASA március és április során négy ballisztikus rakétakísérletet végzett, amelyek az ultrabolya színképben végeztek megfigyeléseket. Egy-egy repülés során mindössze 5 percen át lehet így észlelni, mielőtt a rakéta és műszerei visszatérnek és ejtőernyővel leereszkednek a földre. A Polar elnevezésű műhold szintén ultrabolya illetve látható fényben készít felvételeket. A Nap körül keringő európai (ESA) Ulysses űrszonda — melynek eredeti feladata csillagunk és környezetének tanulmányozása a Naprendszer síkján kívülről — azt vizsgálja, mi történik, amikor

az üstökös változó napszél-környezeten halad keresztül. Amint a Hale-Bopp pályája során a Nap alacsonyabb szélességei fölé kerül, drámai változások várhatóak a

napszél töltött részecskéivel kölcsönható ionsóvjában. Júliusban az Űrrepülőgép 11 napos STS-85 missziója során egy speciális ultraibolya leképező berendezéssel szintén az üstököst fogják megfigyelni, kiegészítve a rakétás észleléseket. A Hubble Űrteleszkóp a felfedezés óta eltelt idő alatt számos alkalommal tanulmányozta a kométát, különösen annak magját. Érdekes módon a HST pont a Hale-Bopp nap- és földközelsége idején nem képes megfigyeléseket végezni, mivel az üstököshöz túl közel látszó Nap tönkretethetné az űrobszervatórium detektorait. Az utolsó észleléseket tavaly október 18-án végezte, és legközelebb csak idén ősszel nyílik újabb lehetőség.



A SOHO szonda felvétele a Hyakutake-üstökös perihélium-átmenete idején készült

söket — leszámítva a ritka napfogyatkozásokat — nem is lehet másképpen megfigyelni, csak a légkör feletti műholdakról vagy kutató rakétákról. A SOHO szondának ez a rendkívül érzékeny optikai műszere a Nap korongját kitakarva, a légkör zavaró derengésétől mentesen fantasztikus érzékenységgel képes „látni” a Nap koronáját és külső légkört. Nem véletlen, hogy ez a berendezés eddig már 7 napsúroló üstököst fedezett fel. Az egyik legújabb ilyen, a SOHO 6 nevű, tavaly december 22-én jól követhetően megközelítette a napkorongot, majd másnapra teljesen eltűnt — valószínűleg elpárolgott és megsemmisült (l. Meteor 1997/3., belső borító).

Hasonló módon fedeztek fel napsúroló üstökösöket a Solwind nevű napkutató műhoddal (1979–1984 között 6 napsúroló) és az SMM keringő napobszervatóriummal (1987–89 között 10 napsúroló üstökös).

A Halley-láz

Az üstökös kutatás eddigi „nagy pillanata” kétségkívül 1985–86-ban jött el. 76 év után ekkor jutott ismét napközelsbe a „legnépszerűbb”, már több mint 2000 éve ismert üstökös, a Halley. Ebből az alkalomból egy minden korábinál kiterjedtebb nemzetközi kampány vette kezdetét, az IHW (International Halley Watch), melynek célja az üstökös, illetve a hozzá kapcsolódó meteorjelenségek megfigyelése volt, az

Egy fokkal „kijebb lépve” Naprendszerünkbe, elhagyva a közvetlen földkörüli pályát, feltétlenül szólni kell az 1995 végén felbocsátott európai-amerikai együttműködésben épített SOHO (Solar and Heliosphere Observatory) napfizikai szondáról. Ez az űreszköz tőlünk másfél millió kilométerre, a Nap és a Föld közötti L_1 librációs pontban tartózkodik (ott, ahol a Nap és bolygónk gravitációs ereje éppen kiegyenlíti egymást), és mint neve is mutatja, célja csillagunknak és közvetlen környezetének tanulmányozása. Nem sokkal fellövése után, első észlelései közé tartozott a Hyakutake-üstökös perihélium-átmenetének megfigyelése tavaly májusban, a szonda LASCO nevű koronográfjával. A napközeli vagy éppen a Napba hulló üstökösöket

összes lehetséges eszközzel, több ezer kutató közös munkájával és az amatőrcsillagász-közösség bevonásával. Ehhez a kampányhoz kapcsolódtak azok az űrkutatási programok, melyeknek elsődleges feladata az üstökös helyszíni megfigyelése volt.

A Halley-t azonban fél évvel megelőzte egy másik, rövidebb periódusú kométa, a 6,6 év keringési idejű, a Draconida meteorrajert „felelős” Giacobini-Zinner-üstökös megközelítése. Ezt a missziót a NASA egy eredetileg más célra készített, és menet közben átkeresztelt űrszondája teljesítette. Az eredetileg ISEE-3 (International Sun Earth Explorer) névre hallgatós, a Föld és a Nap közötti librációs pont körül keringő magnetoszféra kutató holdat, miután teljesítette elsődleges küldetését, egy rendkívül ravasz hűtamanőver-sorozat segítségével új pályára irányították. 1982 és 83 során hajtóműveinek 37-szeri bekapcsolásával, és a Hold melletti ötszöri elhaladással sikerült elérni, hogy 1985. szeptember 11-én elérje a Giacobini-Zinner-üstököst, és annak magjától 7800 km-re keresztezze az üstököscsövát. A pályamódosítás után a szondát átkeresztelték ICE (International Comet Explorer) névre. Ez lett tehát az első valódi üstökösszonda. Sajnos képfelvevő eszköz nem volt rajta, viszont részecske-detektoraival először figyelte meg egy üstökös csóvját „belülről”. A szonda feladata ezzel még nem ért véget, mivel olyan pályán haladt, hogy 1986 márciusában 28 millió kilométerre elhaladt a Halley-üstökös mellett is. Ekkor azonban már nem volt egyedül: öt további űreszköz is ebbe a térségbe tartott.

Több oka is volt, hogy miért pont a Halley-üstökös lehetett az első, amelyet ilyen kiterjedt műszeregyüttesel sikerült megvizsgálni. A legelső — szubjektív — indok a közismertség volt. Nyilván ez magyarázza, hogy a világ számos országának együttműködésében egyszerre több önálló űreszköz is elindulhatott, és az ehhez szükséges nem kevés pénz a kutatók megkaphatták — kihasználva az üstökös legközelebb csak újabb 75 év múlva bekövetkező perihélium-átmenetét. Ugyanakkor pályáját elég pontosan ismertük, ami nem mondható el minden „rokonáról”, főként nem a nála hosszabb periódusúakról. (Ez a pontosság korántsem volt olyan jó, mint pl. a bolygók esetében: az üstökösök esetében az eleve pontatlanabb pozíciókat még az is tovább rontja, hogy a kiáramló anyag a rakétaelvnek megfelelően kiszámíthatatlan mértékben módosíthatja az égitest pályáját.) A Halley mellett szólt az is, hogy a többnyire már kiégett rövidperiódusú üstökösökhöz képest ritkábban van napközelen, így több benne az illékony anyag, ami érdekesebb és látványosabb, „üstökösszerű” megfigyelhető jelenségeket produkál. Másrésről viszont a várható nagy aktivitás miatt a találkozás korántsem ígérkezett biztonságosnak a műszerek számára, mivel a nagy részecskeáram sérüléssel fenyegette azokat. Hátrányos volt az üstökös pályája az űrmissziók szempontjából, mivel majdem szemből kellett a megközelítésnek történnie, több mint 70 km/s relatív sebességgel (ez az első kozmikus sebesség tízszere!). Emiatt egy-egy porszem becsapódása is nagyob kárt okozhatott, és a találkozás mindössze csak órákig tarthatott. Mint azt a tapasztalatok bizonyították, ezalatt a rövid idő alatt is rengeteg új információt sikerült összegyűjteni.

Valamennyi Halley-szondát úgy irányították, hogy a mag Nap felőli oldalán haladjanak el, mivel egyrészt itt erőteljesebb az anyagkiáramlás, másrészt az üstökös magjából és a Napból kiáramló anyag ütközése során létrejövő jelenségek itt tanulmányozhatók jobban. A „nagy találkozásokra” 1986 márciusában került sor, még a Halley perihélium-átmenete előtt. Tekintsük át először ezen űreszközök műszerezettségét, majd pedig azt, hogy méréseik mivel gazdagították, illetve módosították az üstökösökről kialakult addigi tudományos képet.

„Érkezési sorrendben” a következő űrszondák közelítették meg a kométát:

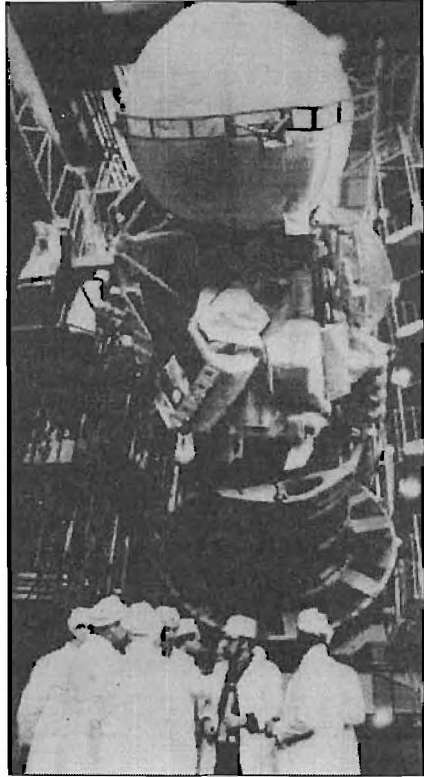
• Vega-1 és Vega-2, (Interkozmosz: Szovjetunió, szocialista országok és Franciaország)

- Suisei és Sakigake (ISAS, Japán)
- Giotto (ESA, Európai Űrügynökség)
- ICE (NASA, USA)

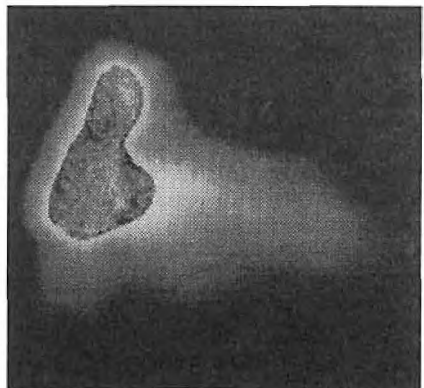
A Szovjetunió a már korábban sikeres Vénusz-leszállásokat is produkáló Venyera programjának újabb két szondáját tervezte át úgy, hogy azok bolygószomszédunk megközelítése után továbbhaladhassanak az üstökös felé. A Vega (Venyera-Gállej) program fejlesztése a nyolcvanas évek elején indult, több kelet- és nyugat-európai ország együttműködésével (ezek között Magyarország is fontos szerepet kapott, számos fedélzeti műszer építésével). A két csaknem egyforma űreszköz 1984 decemberében indult, és a következő év júniusában érte el a Vénuszt, ahol elsősorban meteorológiai méréseket végzett, többek között egy ballonra szerelt, a bolygó légkörében sodródó műszeregyüttessel.

A Halley-üstökössel való találkozásra 1986 márciusában került sor. A már korábban említett okok miatt a kométa helyzete csak kb. 400 km-es bizonytalansággal volt ismert, a cél a mag kb. 10 000 km-es megközelítése volt. A Vega-1 március 6-án repült el tőle 8900 km-rel. Ekkor sajnos a mag rendkívül aktív arcát fordította felé, így a felvett fényképeken a nagy anyagkiáramlás miatt éles határvonalú égitest nem is azonosítható. A Vega-2 három nappal később szerencsésebb volt: amikor 8000 km-re elsuhan az üstökösmag mellett, az épp nyugodtabb oldaláról látszott, így sikerült értékelhető felvételeket készíteni róla.

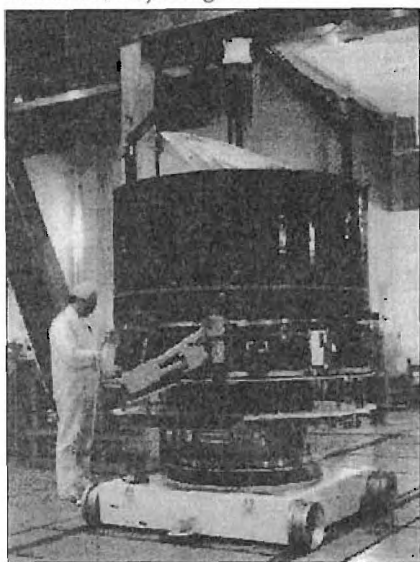
Természetesen nemcsak az üstökös fotózása volt a cél. Alapvetően háromféle műszertípus működött a Vegák fedélzetén: optikai (köztük a kis- és a nagylátószögű kamera, valamint spektrométerek), becsapódást érzékelő pordetektorok (ezek a háladási irányba néztek), és plazmafizikai műszerek (magnetométer,



Jól lemérhető a Vega űrszonda hatalmas mérete képünkön (fent). A Halley-üstökös magja a Vega-2 felvételén (lent)



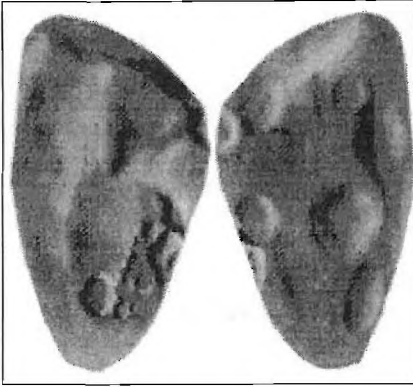
töltöttrészecske detektorok stb.). A már említett magyar részvétel keretében készült — a KFKI-ban, illetve a Műegyetemen — a tévérendszer elektronikája (TVSZ), egy spektrométer (Plazmag), egy részecskedetektor (Tünde), és a szondák adatgyűjtő számítógépe (Bliszi). A tévérendszer vezérlésének egyik kritikus feladata volt a nagyon gyorsan elszuhanó üstökös közepének megkeresése, azonosítása, és a kamerák megfelelő irányba állítása. A szigorú műszaki követelmények mellett azért is volt ez nehéz feladat, mert előzőleg közelről még senki nem látott üstököst, így nem is lehetett tudni, hogyan néz ki. Fennállt a veszélye annak, hogy a kamerák a megközelítéskor esetleg máshová néznek, mint kellene. Kisebb meghibásodásokat leszámítva a műszerek többségében jól működtek — a megközelítés aktív időszaka kb. 3 órán át tartott —, de a szondák a találkozást sajnos nem élték túl. A megközelítéskor fellépő nagy porsűrűség és a nagy relatív sebesség miatt olyan „pofont” kaphattak, hogy elvesztették stabilitásukat, és a rádióösszeköttetés velük bizonytalanra vált, majd megszakadt.



A Giotto űrszonda (balra) és egyik közelképe a Halley magjáról (fent)

A Vega űrszondák a közvetlen méréseik mellett még valamiben segítettek. Pozíciójukat a NASA-nak a Földet behálózó műholdirányító antenna rendszere (Deep Space Network) igen nagy pontossággal mérte, így a Vega észlelések felhasználásával sikerült precízebben (kb. tízszer kisebb hibával) meghatározni a Halley pályáját is. Ennek ismeretében pár nap alatt úgy tudták módosítani a közeledő Giotto szonda irányát, hogy az március 14-én mindössze 600 km-re közelíthette meg az üstökös magját. Ezáltal rendkívül részletgazdag közelképeket tudott készíteni (a legjobbak felbontása 50 méteres). A legnagyobb közelség pillanataira azonban már a Giotto is „megvakult”, mert több részét, köztük kameráját a porzárporból eredő találat érte, és forgástengelye is elbillent. A Giotto egyébként az Európai Űrügynökség (ESA) első bolygóközi szondája volt, 1985 júliusában indították az európai Ariane rakétával. Méretében és műszereinek tömegét tekintve a Vegáknál kisebb

szonda, eredményességét nézve azonban maximálisan sikeres küldetés volt. Ezt a sikert még tovább fokozta, hogy a megsérült űreszközt fél órával az ütközés után távvezérléssel sikerült stabilizálni, így új életre kelteni.



A Halley-üstökös „domborzati viszonyai” a Giotto-felvételek alapján

Japán számára is a Halley-üstökös kínálta az első alkalmat, hogy űreszközt küldjön a bolygóközi térbe. Két kis szondát, a Suiseit és a Sakigakét bocsátotta fel 1985 januárjában, illetve augusztusában. A Suisei az ibolyántúli színkép Lyman-alfa vonalában dolgozott, és célja az üstökös hidrogénkoronájának vizsgálata, valamint a plazmaáramlás nagyságának és irányának mérése volt. A Sakigake a plazmahullámokat mérte a rádiótartományban — vagyis az égítéstől kiáramló töltötttrészecske-áramot. Ezek a szondák, szintén 1986 márciusában, távolabb haladtak el a Halley mellett: Az előbbi 150 000 km-re, keresztezve az üstökösből kiáramló, és a napszél alkotó ionok által uralt tartományokat határoló lökésulámfrentot. A másik szonda 7 millió km-

re közelítette csak meg az üstököst.

A már említett ICE szonda mellett a NASA több földkörüli pályán keringő műholdjáról is történtek észlelések. Az IUE (International Ultraviolet Explorer) az ibolyántúli, az SMM (Solar Maximum Mission) hold a látható tartományban készített felvételeket, ez utóbbinak főként a perihélium-átmenet idején végzett észlelései voltak értékesek. De ebben az időben az üstököst figyelte még a már hét éve a Vénusz körül keringő Pioneer Venus Orbiter szonda is.

A tetemes űrarmada áttekintése után foglaljuk össze egész röviden az ilyen részletességgel eddig egyedüli közelről megfigyelt üstökösről összegyűjtött tudományos eredményeket!

A legizgalmasabb kérdések egyike kétségkívül az volt, milyen lehet a Halley üstökös magja közelről. Nos, a várakozásokkal ellentétben a mag nem gömbszerű, hanem szabálytalan alakú, leginkább földimogyoróra emlékeztet, az is elképzelhető, hogy összetapadt részekből áll. Mérete is nagyobb a vártnál, kb. 15×7 –8 km-es. A „piszkos hógolyó” elmélet nem dőlt meg, a magot valóban főként vízjégbe fagyott szilárd por, esetleg szilánkok alkotják, de meglepő, hogy a közeli mérések szerint a mag a ráeső fénynek csak 2–4 százalékát veri vissza, vagyis nem éppen hógolyóra emlékeztet, hanem „fekete” — azaz az üstökös a Naprendszer legsötétebb égítéstjei közé tartozna, ha nem bocsátana ki saját anyagot. A felvételek szerint a felszint vékony szilárd héj borítja, amelyen csak kisebb lyukak, repedések vannak. Ezt támasztja alá, hogy infravörös mérések szerint a felszín hőmérséklete 300–400 Kelvin fok, jóval nagyobb, mint az alatta levő „hógolyóé” lehet. Kiderült, hogy a kómát és a csóvát létrehozó anyagkiáramlás nem egyenletes, hanem ezekből a kicsiny, pár száz méteres lyukakból indul ki. Az üstökös mag felszínéből ugyanis rendkívül intenzív „jet”-ek törnek fel. Ezek pillanatnyi helyzetétől függ, mi látható az üstökösből. A jetek mindig a Nap felé eső (nappali) oldalon aktivizálódnak, „kora délután” a

legerősebbek, és amikor a tengelyforgás során az éjszakai oldalra kerülnek, kiálsznak. A Halley magján két nagyobb és néhány kisebb ilyen jetet sikerült megfigyelni. Az ezekből nagy erővel (mintegy 1000 m/s sebességgel) feltörő anyag legyezőszerűen szétnyílik. A felszín tehát korántsem egyenletes, igen változatos fényességű és domborzatú, és megfigyelése az anyagkitörések miatt még közről sem könnyű feladat, ezért a méreteket is csak kb. 1 km-es bizonytalansággal sikerült megbecsülni.

Ami a kómában levő szilárd anyag összetételét illeti, a tapasztalatok szerint igen finom és könnyű (10^{-17} –10 milligramm) szemcséjű por alkotja. Még a magtól nagy távolságban, 150–300 ezer km-re is találkoztak „nagyobb”, milligrammos részecskékkel, tehát a por nem csak a mag környezetére koncentrálódik. Ugyanakkor a Vega és a Giotto szondák a mag közelében is csak ekkora részecskébe botlottak, tehát ott sem lehetnek gyakoriak a nagyobb szilánkok vagy kődarabok. Valószínűleg a detektorok érzékenységénél jóval kisebb méretű porszemek (10^{-20} mg) is igen nagy mennyiségben fordulnak elő. Ez az egészen finom anyagáram hozza létre a távolról is megfigyelhető, a Nap által megvilágított porcsóvát.

A megfigyelések szerint a poréhoz hasonlóan a gázkibocsátás is szakaszosan történik, ugyanis a Suisei szonda az üstökös körüli hidrogénburok méretének pulzálását észlelte. A forgási periódus legpontosabb becslése is ebből a mérésből adódik: 52,9 óra. A becslések szerint a magból kiszökő, másodpercenként több tonnányi anyag legalább háromnegyede víz. A kóma fényességét a visszavert napfényen kívül a gáz gerjesztődése okozza. Az üstökösből kiáramló gázt a napsugárzás és a napszél részecskéi ionizálják, így plazmát alkotó töltött részecskék jönnek létre, ezek hozzák létre az ionsóvát. E részecskék mozgását alapvetően a mágneses tér befolyásolja. A napszél és az üstökös plazmája közötti kölcsönhatás két jelenséggel jellemezhető: a lökéshullámfronttal, és a kontakt felülettel. Az előbbin kívül az anyag a Nap által meghatározott irányban és sebességgel, attól kifelé áramlik. Átlépve a frontot, a részecskék mozgását döntően az üstökös határozza meg. Ezen a felületen belül a mágneses tér a mag felé haladva egyre erősödik, majd elérve a kontakt felületet, egy „mágneses üregbe” kerül, hirtelen nullára csökken. A Vega szondák egyike szinte észre se vette, a másik pedig fokozatosan lépte át a frontot. A Giotto 1,1 millió, a Suisei 450 000 km-re haladt át ezen a határfelületen. A kontakt felületet egyedül a Giotto keresztezte, 4700 km-es távolságban.

Egy Halley-szonda második élete

A Giotto űrszonda kisebb-nagyobb sebekkel túlélte a Halley üstökössel történt találkozást, 11 tudományos műszeréből 8 működőképes maradt. Miután stabilizálták helyzetét, az ESA szakembereinek nem kevés munkával sikerült olyan pályamódosítást végrehajtaniuk, hogy a Föld ismételt megközelítése után a berendezés útnak indulhatott egy újabb célpont, az 5 éves keringési idejű Grigg-Skjellerup-üstökös felé. A szonda 1990 júliusában haladt el bolygónk mellett, amely a kívánt pályára lendítette. A mindössze 15^{mm} -s üstökös helyzetét földi mérésekkel igyekeztek a lehető legpontosabban meghatározni, és a szondát annak közepébe célozni. Természetesen a pontos találatnak kicsi volt az esélye, de a mag 2–300 km-es megközelítése reális célnak látszott. Hosszú „hibernálás” után 1992 májusában kapcsolták be újra a műszereket, és július 10-én közelítette meg a Giotto az üstökös magját.

A Grigg-Skjellerup periburokban is megrutakozott. Anyagkibocsátása mindössze 90 kg/s körüli volt, ami 1/200-ad része a Halley-ének. Az üstökös plazmakörnyezete viszont „előírás-

szerűen” viselkedett. Az égitest közeledésének első jeleit 600 ezer km-es távolságban észlelte a Giotto, amikor az egyik berendezése a kómából kiáramló ionokat detektált. 300 ezer km-es távolságtól kezdve már a mágneses tér hullámzásait kezdte észlelni az ezt regisztráló műszer. A mag megközelítése mindössze 14 km/s sebességgel történt. A közeledéssel az ionsűrűség gyorsan nőtt, és kb. 25 ezer km-re a szonda már a napszél sebességének drámai csökkenését érzékelte, jelezvén, hogy itt már az üstökösből kibocsátott anyag mozgása meghatározó. Ez az átmenet a várakozásoknak megfelelően akkor következett be, amikor a Giotto áthaladt a gázkóma határán — ezt az egyik optikai műszer is megerősítette. A Halley-nél már említett lökeshullámfrontot a magtól 17 ezer km-re sikerült keresztezni, jóval messzebb, mint várták. Érdekes módon, míg befelé ez igen finom átmenet volt, kifelé haladva egészen éles. A por-detektor ennél az üstökösnél is igen finom porból álló záport érzékelt, de egy „nagyobb” (0,03 grammos) szemcse is eltalálta a szondát, amittől rövid időre egy kicsit imbolyogni kezdett. Ezt leszámítva semmilyen károsodás nem érte a berendezéseket, köszönhetően az üstökös jóval „barátságosabb” mivoltának, csekélyebb aktivitásának.

Sajnos ez alkalommal fényképfelvételek nem készülhettek, hiszen a kamera az előző üstökös-találkozásnál eldeformálódott és használhatatlanná vált. Így csak becslések vannak arra, milyen messze haladhatott el a szonda a Grigg-Skjellerup magjától. Mivel a mágneses tér soha nem csökkent le nullára, így a kontakt felületet nem keresztezhette, ami kb. 80–100 km-re húzódhat egy ilyen nyugodt üstökösnél. Az viszont megállapítható volt, hogy a mag éjszakai oldala mellett repült el, a kóma azon tartományában, ahol a csóva formálódni kezd. A környezet optikai fényességmérése alapján azt lehet valószínűsíteni, hogy kb. 200 km-en belül történéhetett a találkozás, azaz háromszor olyan közel, mint a Halley esetében. A Giotto szondának ez a „második élete” — bár kisebb visszhangot kapott — mindenképpen nagyon hasznos volt, hiszen egy jellegében eltérő, öregebb üstököst tudott közelről tanulmányozni, és a hasonlóságok mellett számos különbséget is talált — jelezvén, hogy a „Halley” nem feltétlenül *tipikus* üstökös.

Mind ez ideig ezek azok az űreszközök, amelyek a helyszínen figyeltek meg üstököket. A nyolcvanas évek végén a NASA szakemberei komolyan tervezni kezdtek egy újabb űrmissziót, amely hasonló célokat tűzött ki, némileg korszerűbb eszközökkel. A CRAF (Comet Rendezvous and Asteroid Flyby), ahogy angol neve is mutatja, egy kisbolygó melletti elrepülésből, majd egy üstökös megközelítéséből állt volna. A tervezett nagyméretű bolygóközi űrszonda csaknem teljesen azonos lett volna a Cassinivel (amely idén októberben indul el a Szaturnusz felé), természetesen némileg eltérő műszerezettséggel. A tervet a NASA kutatói úgy próbálták „eladni”, hogy a két egyforma szonda kifejlesztése nem került volna lényegesen többre, mint egy berendezés — azonban az amerikai kormányzat takarékosági okokból ezt a programot 1992-ben törölte.

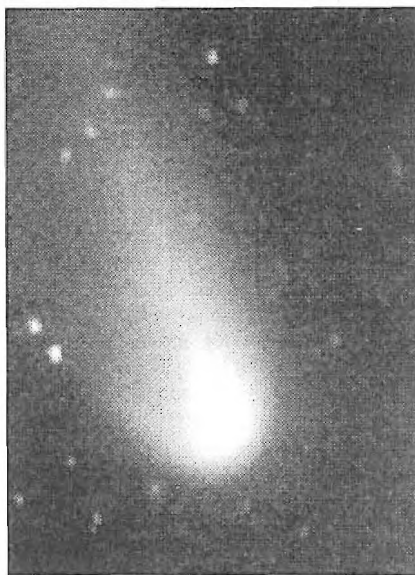
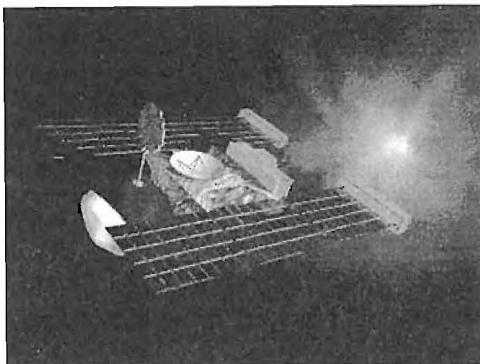
Az elkövetkezendő évek, az ezredforduló űrtervei az üstökös-kutatás területén már ennél ambiciózusabbak. Az eddigi „elsuhanásos”, mindössze néhány óráig tartó megközelítések után a következő logikus lépés az üstökös magjának egészen közeli tanulmányozása, anyagának, felszínének hosszabb időn át folyó helyszíni vizsgálata, anyagminta visszahozatala a Földre, vagy leszállás az üstökös-magra. Erre a célra egy Halley jellegű, aktív üstökös nyilván nem volna alkalmas, csak egy öregebb, nyugodtabb, rövid periódusú kométa, amely nem jelent veszélyt a műszerekre, nincs nagyon távol a Naptól, és pályáját jól ismerjük. Jelenleg két — jóváhagyott — prog-

ram is fut ezzel a céllal: az egyik a NASA Stardust programja, a másik az európai (ESA) Rosetta misszió.

A NASA Stardust programja

A kettő közül elsőként az 1999 februárjában induló amerikai Stardust űrszonda nem kisebb feladatot kap, mint porminta visszahozását egy üstökös közvetlen közeléből, és emellett a Naprendszerben található csillagközi anyagból, (a program neve is erre utal). Az ilyen interstelláris anyagrészecskékre nemrégén találtak rá az Ulysses szonda műszerei, és létüket a Galileo mérései is megerősítették. Az „égimechanikusoknak” sikerült egy olyan, csekély energiával megvalósítható pályát találniuk, hogy a 6,4 év periódusú, 1,5 Cs.E. perihéliumtávolságú Wild 2 üstökös 2004-es megközelítése után a szonda 2006 januárjában visszérhessen a Föld közelébe, és a hazahozott anyagmintát tartalmazó kapszulát ledobhassa. Ez a program a negyedik darabja lesz a NASA olcsón és gyorsan megvalósítható *Discovery* sorozatának, a NEAR (Near Earth Asteroid Rendezvous), a Mars Pathfinder, és a Lunar Prospector missziók után.

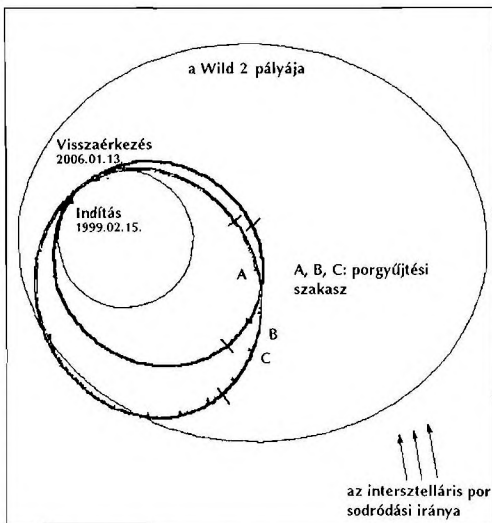
A Wild 2 egy még viszonylag „friss” üstökös, eddigi élete nagy részét a Naptól távol töltötte, csak 1974-ben lendítette a mai közelebbi pályára a Jupiterrel történt találkozás. Ennek köszönhetően anyaga nagymértékben még a Nap létrejöttét megelőző korszak interstelláris anyagából áll. A Stardust az üstökös belső kómájába kidobott apró porszemekből kíván „szemezgetni”. Érdekes lesz ezt összehasonlítani az odafelé és visszafelé úton gyűjtött, a Naprendszerben sodródó mai csillagközi anyaggal. Az üstökös-magot 100 km-nél is jobban szeretnék megközelíteni, és legalább 1000 db, 15 mikronnál nagyobb porrészecskét szeretnének onnét visszahozni. (Természetesen fényképfelvételek is készülhetnek, a Giottóénál remélhetően tízszer jobb felbontással.) A befogott csillagközi anyagszemcsékből legalább 100, egytized és egy mikron közötti darabot terveznek visszajuttatni. Ezt a nagyon kis mennyiségű mintát



A Stardust program célpontja: a periodikus Wild 2 üstökös

azután a földi laboratóriumokban analizálnák, a rendelkezésre álló legkorszerűbb és legérzékenyebb műszerekkel. (Emiatt nincs is igazán szükség e néhány porszemnél jelentősebb tömegű anyag befogására.)

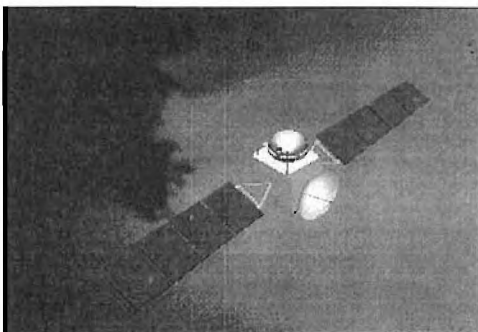
A terv legnagyobb technikai kihívása az űreszközhöz képest hipersebességgel (6 km/s) mozgó anyag befogása és konzerválása. Ezt egy a közelmúltban kifejlesztett különleges mikropórusos aerogél anyag teszi lehetővé. Ez ma a legkisebb fajsúlyú szilárd anyag (ezerszer könnyebb az üvegnél!), ugyanakkor a legjobb hőszigetelő. Laboratóriumi és űrrepülőgépes kísérletekkel bizonyították, hogy a beleszapódó apró részecskék lefékeződnek és megmaradnak benne, és remélhetően a hosszú út és a földet érés során megőrzik eredeti állapotukat — egyaránt hírt hozva a távolból és a múltból.



A Stardust program „útvonalvázlata”. Az űreszköz pályáját vastag vonal jelöli

Az ESA Rosetta programja

Az Európai Űrügynökség *Horizon 2000* elnevezésű hosszú távú tudományos programja egyik mérföldkövének ígérkezik a Rosetta misszió. A célbavett üstökös az öt és fél éves periódusidejű Wirtanen, amely perihéliumban kb. 1 Cs.E.-re közelíti meg a napot (9^m-s abszolút fényessége révén megfigyelése amatőrök számára sem nehéz feladat). A tervek szerint az űrszondát 2003 januárjában lőnék fel Ariane 5 rakétával, Francia-Guayanából.



Szokatlanul hosszú repülés után, egyszeri Mars- és kétszeri Föld-hintamanoőver kihasználásával csak 2011 augusztusában érné el az üstököst, de addig az odafelé vezető úton két kisbolygó mellett (Mimistrobell és Shipka) is elrepülne, 2006-ban és 2008-ban. A hosszú repülés idejére a műszereket „hibernálnák”, vagyis csak a találkozások idejére kapcsolnák be őket. Folytatás a 28. oldalon!